

Российская академия наук  
Институт психологии

**В. И. Белопольский**

# **ВЗОР ЧЕЛОВЕКА**

## **Механизмы, модели, функции**



Издательство  
«Институт психологии РАН»  
Москва — 2007

УДК 159.9  
ББК 88  
Б 75

Рецензенты:

доктор психол. наук *А.А. Гостев*  
доктор психол. наук *А.А. Обознов*  
доктор психол. наук, профессор *Е.А. Сергиенко*

**Белопольский В.И.** Взор человека: Механизмы модели, функции. —  
**Б 75** М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2007. — 415 с.

УДК 159.9  
ББК 88

Монография посвящена проблеме активности зрительного восприятия. В качестве центрального используется понятие «взор человека», трактуемое как перцептивно-моторный функциональный орган, субъективно представленный в пространственной системе отсчета как визуальный эгоцентр. Проведенный теоретический анализ, а также подробно изложенные в книге экспериментальные исследования позволили описать механизмы управления взором, выделить и проанализировать его функции и обозначить его место в системе процессов моторного, сенсорного, перцептивного и когнитивного уровня.

Книга предназначена для специалистов в области психологии и психофизиологии зрительного восприятия, а также для специалистов прикладных областей, где используются оценки качества и эффективности зрительного образа.

© Институт психологии Российской академии наук, 2007

ISBN 978-5-9270-0112-5

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ:</b> Основные проблемы, методы и теории зрительного восприятия. ....	9

## 1

### Механизмы управления взором

Низкоуровневые механизмы регуляции движений глаз .....	41
Селективное внимание и регуляция движений глаз .....	81
О механизме управления взором человека .....	106

## 2

### Проблемы пространственной ориентации

Механизмы стабильности видимого мира при ограничении поля зрения .....	127
Стабильность видимого мира как проблема визуальной экологии. ....	138
Механизмы константности ориентации человека относительно гравитационной вертикали .....	160
Торзионные движения глаз в системе зрительной пространственной ориентации человека .....	189
Роль конвергенции при восприятии удаленности .....	209

### 3

## Пространственно-временные характеристики зрительного внимания

Внешнее и внутреннее управление размером зоны фокального зрительного внимания .....	223
Временная динамика эффекта предупреждающего сигнала в задаче обнаружения .....	234
Пространственно-временные стратегии зрительного внимания...	251

### 4

## Управление взором в процессе чтения

Перцептивные и глазодвигательные механизмы в структуре навыка чтения .....	279
Эффективность считывания динамической текстовой информации .....	302
Возрастные изменения в скорости чтения статического и динамического текстов .....	312
Электрофизиологические и глазодвигательные корреляты фиксационной нагрузки при подвижном взоре .....	326
Пространственные стратегии взора при нормальной и высокой скорости чтения .....	333
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ: О ФУНКЦИЯХ ВЗОРА ЧЕЛОВЕКА</b> .....	367
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	377

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная книга подытоживает исследования автора, посвященные изучению процессов и механизмов зрительного восприятия. Еще в студенческие годы, слушая на факультете психологии МГУ лекции А.Н. Леонтьева, В.П. Зинченко, Ю.Б. Гиппенрейтер, А.И. Когана, Е.Н. Соколова, я заинтересовался проблемами чувственного познания мира и был впечатлен накопленной здесь богатейшей и занимательной феноменологией, а также строгостью, экспериментальной изощренностью и объективностью применяемых исследовательских методов. В те годы тематика, связанная с восприятием, занимала центральное место в работе самых разных кафедр и примкнувших к ним студентов, так что я до сих пор с теплотой вспоминаю существовавшую там атмосферу живого научного поиска и острых дискуссий. Было ясно, что, несмотря на длительную историю теоретического и конкретно-научного изучения проблем восприятия представителями таких наук как философия, физика, биология и медицина, психология и кибернетика, остается немало нерешенных вопросов, ряд из которых можно отнести к разряду «вечных». В то же время, несмотря на высказываемые возражения, развиваемый А.Н. Леонтьевым и его последователями деятельностный подход к восприятию, отдающий приоритет в порождении предметного, реалистичного образа моторной активности наблюдателя, весомо обосновывал свои претензии на статус обобщающей теории.

Работа в Институте психологии АН СССР, а затем РАН, перевела мой познавательный интерес в практическую плоскость. Первый директор Института Б.Ф. Ломов принимал активное участие в обсуждении перспективных направлений моих исследований. Его идеи системного строения психических процессов высветили новые перспективы в анализе получаемых эмпирических данных. Значительное влияние на мое формирование как экспериментатора оказал Н.Ю. Вергилес, обладавший уникальной способностью реализовать в «железе» самые невероятные идеи и методики. В то время, в отсут-

ствии компьютеров и серийно выпускаемой аппаратуры, все приходилось делать своими руками и зачастую из подсобных материалов, так что путь от замысла эксперимента до его воплощения занимал иногда месяцы и даже годы. Поэтому без Н.Ю.Вергилеса, моего научного руководителя и друга, некоторые из приведенных в книге исследований были бы просто невозможны. Он же привил мне вкус к проведению «критических» экспериментов, когда выводы строятся не на количественных статистических выводах, а на качественных феноменах.

Предлагаемая вниманию читателей книга построена на материале очерков и статей, опубликованных в разные годы в отечественных и зарубежных изданиях, а также на основе ряда докладов, прочитанных на конференциях и симпозиумах. Некоторые экспериментальные исследования публикуются в этом издании впервые. Все тексты были заново отредактированы и существенно переработаны, сокращены или дополнены, чтобы придать тексту книги большую цельность.

В центре книги находится проблема активности зрительного восприятия. т.е. восприятия подвижным глазом. Уже в конце 19 века классиками психофизиологии зрения были высказаны решающие аргументы в пользу того, что структура световых раздражений на сетчатке неподвижного глаза не способна обеспечить наблюдателя достоверной информацией о качестве воспринимаемых объектов.

Между тем вся история психо-физиологических исследований зрения последних полутора столетий показывает, что феномены пространственно-временной интеграции перцептивной информации, получаемой подвижным глазом, не могут получить адекватного объяснения на уровне сенсо-моторных взаимодействий, прежде всего из-за отсутствия источника объективной пространственной информации. Потенциальные кандидаты на эту роль — проприоцепция глазных мышц, чувство иннервации, эфферентный или просто экстраретинальный сигнал неизвестной природы — все они не выдержали теоретической и экспериментальной проверки.

Один из вопросов, к которому я постоянно обращаюсь на протяжении всей книги, как раз и состоит в уточнении природы того субъективного ощущения, которое люди связывают с изменением направления фокуса их внимания, или взора.

Другой вопрос, который достаточно подробно обсуждается на страницах этой книги, связан с функциями, которые приписывают движениям глаз. Не вызывает сомнения, что субъективная динамика взора находит отражение в траекторных и временных параметрах

движений глаз, равно как и то, что значительная часть глазодвигательной активности обусловлена сетчаточной или вестибулярной стимуляцией, нестабильностью или патологией внешней глазной мускулатуры и лишь частично осознается наблюдателем. Поэтому до сих пор нет однозначного ответа, каким образом в контуре регуляции движениями глаз взаимодействуют управляющие сигналы сенсорного, перцептивного и когнитивного уровня. В результате, несмотря на тысячи работ, выполненных с использованием окулографического метода, и накопленную там статистику распределения формальных параметров движений глаз, обратная задача по реконструкции перцептивных процессов по имеющимся параметрам глазодвигательной активности представляет весьма непростую задачу.

Еще один вопрос, которому посвящен целый раздел книги, касается характеристик процесса пространственного зрительного внимания и его места в системе управления взором.

Выделение причинно-следственных, системных и иерархических связей в зрительной системе невозможно лишь путем изменения задач, инструкций и внешних условий наблюдения. Поэтому наш основной методический принцип состоял в манипулировании *внутренними* параметрами работы зрительной системы — использовали увеличение или уменьшение коэффициента оптической обратной связи, стабилизацию изображений относительно сетчатки глаза при движениях глаз и головы, редукцию зоны зрительной афферентации, а также гравитоинерционные воздействия, необычные режимы предъявления информации или испытываемых с разным уровнем развития зрительно-моторных навыков.

Второй принцип — это реалистичность экспериментальных условий наблюдения. Лабораторные исследования зачастую продуцируют факты, которые с большой осторожностью можно переносить на естественную, экологически достоверную ситуацию. Поэтому всегда, где это было возможно, мы стремились сравнивать результаты, полученные в естественной и обедненной среде, и искать объяснение полученных различий.

Формат книги позволяет чувствовать себя более свободно в формулировке гипотез и введении новых понятий. Обобщая всю совокупность собственных и литературных данных, относящихся к пространственной активности зрительного восприятия, я широко использую понятие «взор», которому придан новый смысл, по сравнению с разделяемой многими идеей «фовеального взора». По моему глубокому убеждению, только критический анализ понятийного

аппарата и иногда заменяющего его научного жаргона может приблизить нас к решению самых принципиальных и «долгоиграющих» проблем зрительного восприятия.

В заключении хотелось бы выразить свою признательность коллегам, принимавшим участие в проведении ряда опубликованных в книге исследований: Б.Н. Безденежных, А.В. Белопольскому, Н.Ю. Вергилесу, В.В. Гусеву, В.Е. Дубровскому, А.Л. Курочкину, О.В. Лови и А.Д. Логвиненко. Хочу поблагодарить также Дж. Макконки., Х. Дойбеля, Дж. Дедевайла и Х. Кришера, общение с которыми, а также их помощь, участие и советы помогли мне в трудные годы перестройки продолжить экспериментальные исследования и познакомиться с их результатами более широкую аудиторию. С В.А. Барбаншиковым, А.А.Гостевым и Е.А. Сергиенко, А.А. Обозновым меня связывают не только долгие годы совместной работы, но и постоянное профессиональное общение и взаимопомощь. Их советы и замечания, высказанные по поводу рукописи книги, очень помогли мне в процессе ее доработки.

Техническую работу по подготовке рукописи к печати добросовестно выполнили О.В. Шапошникова и А.Б. Пожарский. Особую благодарность хочу высказать А.Л. Журавлеву, поддержку которого я постоянно чувствовал в процессе всего времени работы над книгой.

Наконец, работа вряд ли была завершена без повседневной помощи, терпения и любви моей жены Наталии, которой я посвящаю эту книгу.

## **ВВЕДЕНИЕ:**

# **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ И ТЕОРИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ**

## **Определения**

### **Функции восприятия**

Любой акт взаимодействия человека с окружающим миром опирается на *чувственную представленность* его ближайшей (а иногда и удаленной) среды, включающую общую ориентировку, оценку местоположения релевантных объектов, их физических свойств и ситуативной значимости, поведенческого, символического или эстетического смысла. Такого рода первичная информация служит источником для появления и функционирования высших форм психической деятельности, выходящих за пределы непосредственной данности, и обеспечивает регуляцию разнообразной ориентировочной, познавательной и практической деятельности, будь то локомоция, поиск решения задачи, акт социальной коммуникации или трудовая операция.

*Восприятием* называется психический процесс, приводящий к порождению *чувственного образа*, структурированного по определенным принципам и содержащего в качестве одного из обязательных элементов самого наблюдателя. Отражательная природа образа восприятия предполагает, что его содержание должно охватывать существенные объективные свойства физического мира<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Мы не подвергаем здесь сомнению материальность, или объективность существования предметов и явлений внешнего мира, т.е. их независимость от воспринимающего субъекта. Вопрос этот имеет глубокие гносеологические корни и длительную историю философского анализа. Именно феномены

Чувственный образ является объектом изучения многих наук — философии, эстетики, физиологии, биологии, физики и др. Специфический предмет психологии восприятия состоит в изучении механизмов порождения и функционирования чувственного образа окружающего мира, а также механизмов перцептивного управления и контроля деятельности.

### **Основные характеристики образа восприятия**

Условием существования и действия в мире физических объектов является соответствие их субъективного описания объективным качествам и свойствам этих объектов. В этом смысле говорят об *адекватности* образов восприятия отображаемым объектам. Непосредственность восприятия придает воспринимаемому содержанию ощущение *реальности*, или *достоверности*. Мы видим объект именно там, где он находится, т.е. можем быстро приблизиться к нему или без промаха протянуть руку в его направлении, а правильно воспринимаемый размер и форма позволяет заранее подготовить кисть руки к его захвату. Любая ошибка — промах, недооценка, неверная идентификация и т.п. — приписывается скорее исполнителю, чем внешнему источнику. Более того, «наивный реалист», не отягощенный гносеологическими вопросами, легко дифференцирует сенсорные артефакты типа «искр из глаз» (фосфенов, вызванных механической или электрической стимуляцией органа зрения), «головокружения» (вращения всей воспринимаемой сцены вследствие непрерывного раздражения вестибулярной системы), «звона в ушах» и т.п. от реальных событий, что и закреплено в их словесном описании. Потеря чувства реальности может возникнуть, например, при *сенсорной депривации* (т.е. ситуативном или патологическом сокращении притока внешних раздражителей), или конфликте сенсорной информации, и ведет к потере

---

восприятия, часто служили важным аргументом в споре о познаваемости внешнего мира. Не вдаваясь в подробности исторических дискуссий следует подчеркнуть, что в современной конкретно-научной традиции изучения восприятия доминирует методологическая установка на выяснение закономерностей и механизмов, обеспечивающих «правдоподобие» образа и отображаемого им объекта (стимула). Конкретные же подходы, а также привлекаемые в их рамках механизмы и уровни анализа различаются столь значительно, что можно говорить об отсутствии какой-то общепринятой теории восприятия.

правильной ориентировки, затормаживанию поведенческой активности и появлению *галлюцинаций*.

Кроме *пространственных признаков* (направление, удаленность, локализация, протяженность), играющих первостепенную роль в ориентировке и целенаправленном перемещении наблюдателя в среде, чувственный образ может включать и такие характеристики, как *интенсивность* воздействия (громкость, яркость, тяжесть, сила запаха и т.п.), его *динамику* (изменение, движение, мелькание, биение), *чувственный тон* (освещенность, цветность, теплота, тональность, гладкость, приятность) и *структурные* отношения (размер, ориентация, форма, контраст, созвучие, вкусовое сочетание, композиция запаха).

Несмотря на наличие нескольких *воспринимающих систем* (зрительной, слуховой, осязательной, обонятельной, вкусовой, вестибулярной, интероцептивной), результирующий образ не дробится на несколько модальных копий одного и того же объекта. Поэтому говорят о *полимодальности*, или *амодальности*, чувственного образа. Разные модальные «окраски» образа могут сказываться на степени детализации либо наборе воспринятых признаков, но не меняют *идентичности* воспринимаемого объекта или события. Известно, что тяжелые сенсорные дефекты, такие как слепота, глухота и даже их комбинация, не искажают воспринимаемой картины мира (Скорородова, 1972).

Важнейшим свойством восприятия является *константность*, т.е. относительная независимость образа объекта от изменения внешних условий его наблюдения (освещенность, удаленность, ракурс, помехи и т.д.) и от подвижности самого наблюдателя и его сенсорных органов.

Наконец, говоря о чувственном отображении человеком окружающей среды, или *сознательном образе мира* (Леонтьев, 1982; Смирнов, 1985), нужно подчеркнуть первичную *означенность* воспринимаемого содержания. Другими словами, воспринимаются объекты или события, имеющие свое название и значение (научное, житейское или функциональное) и в этом смысле определенным образом диктующие логику своего существования при значительной изменчивости стоящих за ними чувственных данных. Например, говорят о листе бумаги, а не о белом пятне на темном фоне, о звуке гитары, а не о чередовании тональных ощущений, о вкусе меда, а не о чем-то съедобном, и т.д. Процесс порождения означенного образа называют также *опознанием*, или *категоризацией* (Носуленко, 1988; Шехтер, 1981)

Обобщенной формулировкой вышеперечисленных характеристик чувственного познания является *предметность* образа восприятия.

Образ восприятия отличается, однако, от физического описания объекта, или *модели* явления, поскольку строится на базе собственных (психофизиологических и психологических) механизмов, имеет собственную метрику и систему отсчета. На непосредственное (т.е. без специальных оптических, акустических и других приборов) восприятие накладываются ограничения пределы чувствительности сенсорных систем — глаз работает в определенном диапазоне световых излучений, ухо воспринимает только ограниченную частотную полосу акустических колебаний и т.д. В восприятии большее значение имеют относительные, а не абсолютные размеры, удобство и эстетичность формы, а не ее математическое описание. Например, расстояние воспринимается в метрике руки (дотянется или нет), в шагах или времени ходьбы, хотя при известном навыке (*глазомер*) можно использовать и физические эталоны: метры или сантиметры. Для указания направления люди используют *эгоцентрическую систему координат* (направо, налево, вниз, вверх *от меня*), тогда как физическое описание пространства допускает произвольность выбора системы координат и точки отсчета. Даже младенцы легко различают мужские и женские лица, типы эмоциональной экспрессии, идентифицируют голоса (Бауэр, 1979; Сергиенко, 1992), тогда как даже современные средства формального описания и вычислительные мощности не позволяют сделать это с достаточной надежностью.

Яркой демонстрацией особой природы чувственных образов являются ошибки восприятия, или *иллюзии*. Некоторые иллюзии (аффективного или установочного типа) могут обнаруживаться самим наблюдателем и исчезают при изменении вызвавших их условий, другие сохраняются даже тогда, когда наблюдателю известно о каком-либо несоответствии между воспринимаемым им образом и самим рассматриваемым объектом. К первому типу относятся, например, ошибки опознания слов или лиц при частичном их сходстве с ожидаемыми, а ко второму — так называемые геометрические иллюзии (например, Мюллера-Лайера), кажущееся движение луны на фоне облаков и т.п. (см. Грегори, 1970; Рок, 1980; Титченер, 1914; Hochberg, 1965)

## **Процессуальность восприятия**

Наиболее интенсивный период развития восприятия, его дифференцированности и точности, приходится на ранний и детский возраст (см. Бауэр, 1979; Запорожец и др., 1967; Митькин, 1988; Сергиенко, 2006), но способность к перцептивному развитию сохраняется на протяжении всей жизни. На продуктивность восприятия оказывают влияние условия жизнедеятельности и род профессиональных занятий. Необходимость *обучения* восприятию особенно возросла в связи с появлением множества искусственных, т.е. созданных руками человека, объектов (дома, машины, предметы быта), а также изобразительных (картины, скульптуры, кино, телевидение, компьютерная или голографическая имитация) и символических (буквы, знаки, приборные шкалы, графики, карты) средств отображения реальности.

Перцептивное обучение, равно как и актуальное функционирование воспринимающей системы, трудно представить без участия специально организованной *активности* субъекта. Экспериментально показано, что поддержание ясного и детализированного чувственного образа требует постоянных изменений входной сенсорной стимуляции, обеспечиваемых главным образом за счет мобильности органов чувств и самого воспринимающего субъекта (Ярбус, 1965). Сенсорный *опыт* существенным образом связан с формами жизнедеятельности воспринимающего субъекта, его предметно-ориентированной активностью. В генезисе перцептивного образа лежит внешнедвигательная, эфферентная деятельность наблюдателя (Венгер, 1969). В этой деятельности структурно оформляются, проверяются и уточняются *перцептивные гипотезы*. Развитие восприятия сопровождается автоматизацией специфических ориентировочных компонент деятельности, что ведет к сокращению времени на опознание данного класса объектов. Однако, несмотря на кажущуюся *симультанность* (одномоментность) восприятия в зрелом возрасте, детальный *микрогенетический* анализ показывает наличие, хотя и в свернутой форме, всех атрибутов перцептивного процесса, включая и его *эфферентные компоненты*.

Процесс чувственно-предметного взаимодействия со средой может занимать доминирующее положение в определенные моменты жизнедеятельности, выступая как специализированное *перцептивное действие*, однако чаще всего он включен в выполнение целостной познавательной или исполнительской деятельности в качестве источ-

ника поступления значимой *внешней информации* и для обеспечения *управления и коррекции* двигательными компонентами деятельности (Движение глаз ..., 1978; Гиппенрейтер, 1978).

### **Методы исследования восприятия**

*Феноменологический* метод — один из самых старых, однако он не потерял актуальности и до настоящего времени. Чувственный образ рассматривается здесь как непосредственная данность — феномен. Вопрос, занимающий исследователя: что человек видит, слышит, ощущает в данных, определенных условиях? Закономерности организации и трансформации воспринимаемого содержания описываются прежде всего на качественном уровне.

*Самонаблюдение* (интроспекция) — это самоанализ содержания образов сознания с акцентом на их динамику. Анализируется ясность, четкость, детальность образов, их угасание, возникновение, взаимосвязь с другими актуальными образами при разной стимуляции и условиях наблюдения. Вариант — *аналитическая интроспекция*, специальная процедура расщепления образа объекта на составляющие его далее неразложимые элементы (качество, интенсивность, протяженность, длительность). Такой процедуре нужно специально учиться, и она требует от наблюдателя неподвижности и «отстройки» от предметной реальности. Рисунок поддается такому расщеплению лучше, чем реальная сцена.

Наибольшее признание и распространение приобрел *экспериментальный* метод исследования восприятия. Он предполагает: 1) формулировку гипотезы; 2) составление плана эксперимента; 3) определение и контроль зависимых и независимых переменных; 4) сбор экспериментальных данных; 5) верификацию гипотезы с использованием статистических процедур.

В экспериментах по восприятию применяются следующие методические подходы:

- (i) *тахистоскопия* (строго дозированное ограничение времени экспозиции для контроля за скоростью обнаружения, опознания или идентификации стимула); развитием этого подхода являются процедуры *маскировки* и *метаконтраста* (последовательное или одновременное предъявление значимого и шумового стимулов); *предустановки* (priming) (целевому стимулу предшествует информация о его веро-

- ятных характеристиках — локализации, размере, категории, и т.д.); *подпорогового накопления*; *быстрого последовательного предъявления*;
- (ii) *хронометрический метод* (измерение времени реакции как индикатора эффективности перцептивных процессов); различают *простую реакцию* (на одиночный стимул) и *реакцию выбора* из нескольких альтернатив; по форме ответа это может быть вербальная, моторная или физиологическая реакция;
  - (iii) *измерительный метод* (относительная или абсолютная оценка параметра стимуляции, которая дается с помощью специальной аппаратуры или вербально);
  - (iv) анализ *моторных компонентов* перцептивной деятельности (регистрируются движения воспринимающих органов: глаза, руки, головы и т.д., несущие оперативную пространственно-временную информацию о процесса восприятия);
  - (v) *манипулирование прямой и обратной связью* в перцептивной системе. Посредством специальных устройств (псевдоскоп, псевдофон, инвертоскоп, линзы, зеркала, электронно-дисплейные комплексы), хирургических операций или фармакологических инъекций вносятся систематические искажения в естественные (количественные и/или качественные) соотношения между воспринимаемым объектом и наблюдателем;
  - (vi) *генетический метод* нацелен на выделение этапов развития перцептивных способностей; включает приемы *онтогенетического* и *формирующего* исследования восприятия. В рамках онтогенетического исследования, где часто невозможно получить адекватный вербальный отчет, измеряют параметры условно-рефлекторных и ориентировочных реакций, реакции привыкания и предпочтения, исследовательскую и манипулятивную деятельность детей. На уровне сформированного восприятия применяют *микрогенетический* и *экспериментально-генетический методы*;
  - (vii) *анализ событий* не ставит жестких ограничений на время экспозиции стимульных объектов, на время ответа, а также на подвижность самого наблюдателя в процессе восприятия.

*Клинический метод* применяется при исследовании патологических нарушений восприятия, вызванных соматическим или психическим заболеванием либо имеющих травматическую природу. Оцени-

вается качественное своеобразие восприятия больных по сравнению с нормальным контингентом и уровень функционирования отдельных сенсорных, моторных и центральных перцептивных механизмов. Используются процедуры *беседы, функциональных и тестовых проб*. Для диагностики системных нарушений опознания (*агнозии*) используют набор *нейропсихологических* приемов исследования. Важную информацию дает анализ *отдельных случаев* течения болезни.

Метод *моделирования* работы перцептивной системы нацелен на строгое математическое описание и предсказание отдельных феноменов восприятия и полученных эмпирических зависимостей. Формализованное описание механизмов и принципов преобразования перцептивной информации находит применение при построении автоматизированных систем распознавания.

## **Краткий исторический экскурс**

Научные исследования в области психологии восприятия берут начало с со второй половины XIX в., базируясь на философских традициях сенсуализма и эмпиризма, на данных физиологии органов чувств, а также значительном числе ранее известных наблюдений и феноменов (иллюзия луны на горизонте, движение последовательного образа вместе с головой и глазом, стробоскопическое движение и др.), рассматривавшихся часто лишь как забавный курьез. Центральными проблемами, подход к которым специфицирует любое оригинальное направление, школу или психологическую теорию восприятия, были и остаются следующие: психофизическая проблема, единицы восприятия, принципы их организации, необходимость активности наблюдателя, роль перцептивного опыта и способы его приобретения, восприятие и познание.

## **Классические теории восприятия**

Так называемые *классические теории восприятия* предложили несколько вариантов решения этих фундаментальных проблем, оставаясь в целом на позиции построения образов восприятия на основе элементарных сенсорных качеств — ощущений.

*Интеракционизм.* Согласно Й. Мюллеру (Müller J., 1840), все множество сенсорного опыта («Сенсориум») определяется состоянием сенсорных нервов или их мозговой проекции, а каждый орган чувств связан с нервами, вырабатывающими «*специфические энергии*»,

или качества, в ответ воздействующий на них стимул. Один и тот же стимул, действуя на разные нервы, вызывает разные качества переживаний, а разные воздействия на один и тот же нерв приводят к одинаковому сенсорному качеству. Эта идея была подхвачена Г. Герингом в его теории цветового зрения, и Г. Гельмгольцем в отношении анализа слухового восприятия.

Другой подход к взаимоотношению физической стимуляции и ее феноменального образа опирался на постулат «*психофизического параллелизма*», сформулированный Г. Мюллером в 1896 г. (Müller, G.E., 1896). Количественную *психофизическую* закономерность, связывающую силу ощущения определенного сенсорного качества и величину соответствующего воздействия (вес, размер, интенсивность и т.п.), предложил Г. Фехнер (Fechner, 1860).

*Интроспекционизм.* В рамках этого направления предметом психологического исследования являлось содержание сознания, в частности, его сенсорные качества и атрибуты. Предложенный Э. Титченером «*структуралистский*» подход предусматривал поиск «элементов» сознания путем аналитической интроспекции: наблюдатель-испытуемый описывал свои переживания при выполнении задачи разложения образа предъявленного объекта на максимально простые составляющие. Э. Титченер (Титченер, 1914; Titchener, 1918) предполагал, что именно таким способом можно добраться до элементарных ощущений, имеющих свои физиологические корреляты; неотъемлемыми *атрибутами* этих ощущений являются их *качество, интенсивность, длительность, протяженность и ясность*. Предполагалось (хотя интроспекция не дает для этого достаточно информации), что после анализа наступает стадия *агрегации*, или *синтеза* компонентов. Именно перцептивный синтез и составляет центральную психологическую проблему; для объяснения этого процесса привлекались законы *ассоциации* и *внимания*. Образы, оставшиеся от прошлого опыта, дополняют ощущения, а смысл *фокальному* («*core*») ощущению придает широко понимаемый *контекст*.

Близкие идеи развивал В. Вундт (Вундт, 1897, 1912 ; Wundt, 1862), хотя он ограничивался выделением только двух атрибутов ощущений — *качества* и *интенсивности*. Как и Э. Титченер, он считал, что восприятие является нечто большим, чем просто сумма ощущений, поскольку последние не содержат информации о прошлом опыте и о значении сознательного образа. В. Вундт описывал процесс комбинирования элементарных ощущений в терминах *фузии, ассимиляции, контраста* и *усложнения*, а также *апперцепции*,

или *творческого синтеза*, объединяющего процессы восприятия, воображения и памяти.

*Функционализм.* Этот подход рассматривает восприятие не с точки зрения результирующего образа и составляющих его компонентов, а со стороны самого перцептивного процесса. Другими словами, образ восприятия понимается как функция перцептивной системы. Идеи функционализма были развиты в теории *бессознательных умозаключений* Г. Гельмгольца (Helmholtz, 1866). Он исходил из положения, что первичных сенсорных данных в принципе недостаточно, чтобы воспринимать *дистальные* объекты. Во-первых, они *многозначны* по природе (зрительное направление не связано жестко с сетчаточной позицией стимула и зависит как от положения глаза в пространстве, так и от позиции второго глаза; проекция плоскостей объекта допускает разные объемные интерпретации и т.д.). Кроме того, они *избыточны*, т.е. не каждое ощущение становится компонентом образа объекта. (Примером могут служить эксперименты О. Кюльпе (Külpe, 1903), который показал зависимость воспринятых атрибутов кратковременно предъявленного стимула от заданной инструкцией предубежденности.) В качестве определяющего принципа функционирования перцептивной системы он принимал *жизненный опыт*, накапливающийся в процессе практической, главным образом двигательной активности и фиксирующийся в форме представлений. Сопряжение представлений (знаний) и актуальных впечатлений достигается за счет привычных, повторяющихся и подтверждающихся на практике связующих процессов, имеющих форму эмпирического «умозаключения», или логического вывода, но происходящих автоматически, бессознательно. Такая *эмпирическая* точка зрения противопоставлялась *нативизму*, признающему врожденность и неизменность стимульно-сенсорных связей. Решающим аргументом в пользу «эмпиризма» послужили исследования Дж. Стрэттона (Stratton, 1897), доказавшего возможность успешно и быстро восстанавливать адекватную пространственную ориентировку после инверсии (развороте вокруг горизонтальной оси) сетчаточного изображения.

Факты упреждающего влияния двигательного опыта на сенсорные данные (феномены стабильности видимого мира при движении глаз и др.) привели Г. Гельмгольца к гипотезе *иннервационных*, или *волевых*, ощущений, связанных с интенцией к осуществлению произвольного движения. Сходная гипотеза была высказана и Э. Махом (1907). Позиция И.М. Сеченова была иной: он, исходя из развиваемого им *рефлекторного подхода* и признания *сигнальной* функции

психического, высказал мысль о движении как механизме *объективизации восприятий*. Иннервационные, или волевые, ощущения не имеют объективного источника, но такого рода источником может быть ощущение движения, или «темное мышечное чувство» (по терминологии И.М.Сеченова). Согласно И.М. Сеченову (1952b), преобразования в плане образа, операции обнаружения, сравнения и т.п. есть не что иное, как проявление скрытых, свернутых форм двигательной активности.

### **Конфигурационизм. Гештальт теория восприятия**

Направление, возникшее из признания первичности сознательных, или феноменальных, объектов (Ф. Brentano, Э. Гуссерль) и резком неприятии *элементаризма* предшественников. Идея формокачеств (*гештальтов*) связана с именами Э. Маха (1907) и Х. фон Эренфельса (1890). Последний продемонстрировал ее на примере транспозиции музыкальной мелодии в другую тональность: мелодия (форма) узнается как неизменная, несмотря на полное несходство составляющих ее тонов. Центральная идея гештальтпсихологов — примат *формы* как субъективного феномена и как природного (внешний мир, мозг) явления, между которыми существуют отношения *изоморфизма*, или структурного подобия. Исследования гештальтпсихологов (М. Вертгеймер, К. Кофка, В. Келлер, К. Дункер, Д. Катц и др.) ставили целью установить конфигурационные законы того, «как выглядят вещи». Начало было положено обнаружением в 1912 г. феноменального («*фи*») движения, когда при определенном сочетании длительности предъявления двух стимулов, их пространственной разнесенности и межстимульного интервала возникало ощущение движения, его протяженности и других его атрибутов без идентификации самого движущегося объекта. Исследовались также феномены индуцированного и автокинетического кажущегося движения, восприятия скорости движения, цветовых и структурных отношений, организации и восприятия пространства. Были сформулированы принципы (*законы организации*), в соответствии с которыми части комбинируются в устойчивое целое. Главными из них являются: *близость, сходство, направление, хорошая линия, «общая судьба», завершенность*. Считается, что воспринимаемую целостность никак нельзя объяснить раздельным переживанием ее частей. Отмечена тенденция к максимальному упрощению и ясности, к симметрии и регулярности, другими слова-

ми — к «наилучшей» форме, допускаемой стимульными условиями. Это обобщение получило название «*закон прегнантности*».

Важным вкладом гештальтпсихологов явилась разработка проблемы среды, или *поля восприятия*, в котором на объекты действуют определенные силы притяжения и отталкивания. Устойчивое состояние достигается при равновесии приложенных моментов и может быть выведено из принципов векторного анализа. Динамические принципы организации включают отношения фигуры и фона, иерархической организации перцептивных систем отсчета, транспозиции и константности скорости.

## Теории восприятия

### *Психофизиологические теории восприятия*

**Теория электрических полей.** В своих поздних работах, выполненных в конце 1940-х — начале 1950-х годов, В. Келер (Köhler, Held, 1949) попытался построить теорию *мозговых гештальтов* и получить экспериментальные подтверждения в ее пользу. Идея состояла в том, что отдельным гештальтам (образам) соответствуют определенные нейроэлектрические поля постоянного тока, мозговая локализация которых не имеет решающего значения. Однако полученные результаты оказались недостаточно убедительными и не выдержали критической проверки. Основная масса психофизиологических исследований восприятия более тяготела к идее организации целого из элементов, где центральная роль отводилась принципу ассоциации. Но это не было возрождением классической теории «ассоциации идей». Радикальное видоизменение ассоцианистского подхода заключалось в том, что научение и закрепление приобретенных связей относилось не к элементам сознания, а к стимулам и реакциям, а сами принципы объединения специфических элементов существенно усложнялись и дополнялись новыми переменными.

**Клеточные ансамбли и фазовые последовательности.** Примером такого подхода можно считать теорию канадского психофизиолога Д. Хэбба (Hebb, 1949). Признавая важность конфигурационных связей, он считал, что существенные свойства восприятия не являются врожденными и нуждаются в научении. Опираясь на генетические, клинические, экспериментально-психологические и физиологические данные (этапы восприятия после снятия врожденной

катаракты, тахистоскопическое изучение процесса чтения и др.), он пришел к выводу, что идентификации фигуры как целого необходимо предшествует процесс избирательного внимания к отдельным частям фигуры, их активного и последовательного сканирования. Важная роль в этом процессе отводилась моторике в форме движений глаз. Согласно Д. Хэббу, заучиваются и воспроизводятся последовательные акты, включающие сенсорные и моторные компоненты. Физиологическими единицами восприятия признаются *клеточные ансамбли*, объединяющие сенсорно-сенсорные и сенсорно-моторные связи корковых нейронов. Более сложные восприятия формируются из простых ансамблей на тех же принципах взаимного облегчения и временной консолидации нервных связей, но несводимы к их простой сумме. Этот процесс сложного, фигуративного восприятия, формирования ансамблей более высокого уровня Д. Хэбб назвал *фазовой последовательностью*.

**Теории детекции и обработки признаков.** Накопленные к середине 20-го века нейроанатомические данные о системе обработки входной информации выявили, что, наряду с проекционным (поточечным) представительством рецепторных систем в коре, их фактическое представительство там гораздо шире за счет коллатеральных переключений. Это создает основу для генерализации процессов перцептивного обучения (различения) и компенсации разрушений первичных сенсорных зон коры. Было показано, однако, что, когда научение уже произошло, информация в мозгу уже не распространяется по всем потенциальным связям.

Достаточно перспективным представлялось следующее объяснение процесса восприятия: сначала с помощью отдельных нейронов или их небольших групп выделяются (детектируются) «признаки» воздействующих стимулов, которые затем интегрируются посредством иерархической системы таких детекторов. Этот подход получил широкое распространение после открытия Д. Хьюбелом и Т. Визелом (Hubel, Wiesel, 1962) корковых нейронов, чувствительных не только к контрасту, но и к длине, ориентации и направлению движения стимула. Было сформулировано понятие «канал» — последовательно соединенные клетки, рецептивные поля которых отражают этапы выделения сложных и гиперсложных признаков. Предложено большое количество нейрофизиологических моделей, призванных учесть, как прошлый опыт видоизменяет или дополняет процесс детекции основных признаков, обеспечивающийся врожденными механизмами.

Накопленные в психологии восприятия факты (влияние контекста, роль установки, эффекты группировки, константность и позиционная стабильность, перцептивное обучение и адаптация к сенсорным искажениям) убеждают, однако, что воспринимаемый образ нельзя свести только к детектированию и логической обработке признаков воспринимаемого объекта. В моделях нового поколения больше внимания уделяется динамическим характеристикам нейрональной активности, их историчности и включенности в конкретный познавательный или поведенческий акт (Арбиб, 1976; Шевелев, 1977; Эделмен, Маункасл, 1981).

### **Теории перцептивной установки**

**Сенсорно-тоническая теория поля.** Теория предложена американскими исследователями С. Уопнером и Х. Вернером (Warner, Werner, 1952) для интерпретации большого количества фактов и феноменов пространственного восприятия, рассматриваемого как результат интеграции всей совокупной сенсорной информации — исходящей как от объекта, так и от самого субъекта. Всякое восприятие есть отношение между психофизическим стимулом и состоянием организма и имеет сенсорно-тоническую природу. Эта система обычно находится в равновесии, а при нарушении этого состояния стремится восстановить его путем изменения одного из параметров. При постоянном стимуле это происходит за счет изменения состояния организма, которое может выражаться в формах как сомато-тонической, так и перцептивной активности. Таким образом, позна-двигательная система наблюдателя рассматривается как неотъемлемый компонент перцептивной системы, определяющий взаимное положение субъекта и объекта восприятия, хотя природа сенсорно-тонического события остается скорее гипотетическим конструктом, чем психофизиологическим фактом.

**Теория фиксированной установки.** Предложенная грузинским психологом Д.Н.Узнадзе, эта теория делает попытку объяснить организующую роль предшествующего опыта в форме потребностных или предметных ожиданий, преднастроек, большей частью неосознанных, по отношению к актуальным (ситуационным) сенсорным данным. Экспериментальной основой теории послужили эксперименты с *фиксированной установкой*, проводимые на материале восприятия веса, звуков, величины и т.д. После многократного предъявления пары

стимулов, различавшихся по критическому параметру, испытуемый получал идентичные стимулы, которые воспринимались как неравные. Иллюзия имела либо контрастный (чаще при количественных восприятиях), либо ассимилятивный (для качественных восприятий) характер. Обнаружен эффект переноса установочных влияний на другую модальность. В итоге, в теории Д.Н. Узнадзе установка рассматривается не как непосредственная субъективная обработка сенсорного воздействия, а как интенциональная активность субъекта в определенной ситуации (Натадзе, 1960; Узнадзе, 1961).

**Теория перцептивной готовности.** В рамках теории, сформулированной американским психологом Дж.Брунером (Bruner, 1957), восприятие рассматривается как процесс *категоризации*: поступивший сигнал сличается с соответствующим образом (лучше или хуже) «подготовленной» категорией, которая определяет условия, необходимые для подтверждения или опровержения *перцептивной гипотезы*. Стратегии процесса решения включают несколько стадий: первичную, грубой категоризации, поиска дополнительных признаков, промежуточной и окончательной проверки. На готовность категорий оказывает влияние контекст, степень знакомства с объектом и актуальные потребностные установки. Предлагается четыре механизма — прототипы нейрофизиологических процессов, обеспечивающие перцептивную готовность: группировка и интеграция (по типу клеточных ансамблей Д. Хэбба); упорядочение альтернатив; установление соответствия и блокировка «входов». Психологи, которые объединились вокруг данного теоретического подхода, получившего название «Новый взгляд» (Л. Постман, А. Лачинс, М. Шериф и ряд других), внесли существенный вклад и в экспериментальное исследование процессов перцептивной установки, широко применяя процедуру тахистоскопического предъявления стимулов (рисунков, слов), имеющих разную субъективную вероятность.

### **Теории активного восприятия**

**Моторная теория восприятия.** Важная роль моторной активности в восприятии, особенно в зрении и гаптике (активном осязании), признавалась многими исследователями (Г. Гельмгольц, И.М. Сеченов, Н.Н. Ланге, Ч. Шеррингтон, Д. Хэбб и др.). Однако на вопрос о специфическом вкладе моторики в формирование и функционирование чувственного образа они давали разные ответы. Одна из

крайних позиций, рассматривающая позно-кинестетические ощущения в качестве источника и основы пространственного и гностического чувственного образа, получила название *моторной теории* восприятия. В ее основе — известные факты о процессах ощупывания и рассматривания в целях опознания, когда пальцы следуют по граням предъявленного объекта, а глазные фиксации распределяются на углах и контурах фигур и на наиболее значимых и информативных зонах объекта, что особенно явно выражено у детей и при рассматривании взрослыми нового, незнакомого объекта. Д. Нотон и Л. Старк (1974), например, установили, что при рассматривании сюжетной картинки в целях запоминания человек вновь и вновь перемещает глаза по одному и тому же стабильному маршруту, различающемуся у разных людей. Различные картинки вызвали у одного и того же наблюдателя разные пути осмотра, которые воспроизводились и в процессе узнавания. Согласно выдвинутой Д. Нотоном и Л. Старком гипотезы, во внутреннем (в памяти) отображении объекта его отдельные элементы связаны между собой в последовательность («кольцо признаков») следами тех движений глаз, которые необходимы для перехода от одного элемента к другому.

В.П.Зинченко и Б.Ф.Ломов (1960) высказали мнение, что движения глаз могут выполнять как вспомогательные (ориентировка, поиск, установка глаза в оптимальное для приема информации положение), так и гностические (измерение, контроль, построение образа и опознавание) функции. Не уточняется, однако, каким образом информация о сокращении внешних глазных мышц, отражающая перемещение органа зрения в эгоцентрической (глаз-голова) системе координат, может перекодироваться в координаты внешнего пространства в единой метрике со зрительной информацией. Б.Х. Гуревич (1971), следуя традициям И.М. Сеченова и Ч. Шеррингтона, предположил существование генерализованного проприоцептивного отображения окружающего пространства, которое позволяет, в частности, достаточно точно ориентировать движения глаз даже в случае полной темноты.

В настоящее время под напором многочисленных экспериментальных данных ряды сторонников этого *афферентного* (inflow) варианта моторной теории восприятия значительно поредели. Больше число приверженцев данной теории либо следуют в русле иннервационной, или *эфферентной* (outflow), концепции (Г. Гельмгольц, Э. фон Хольст и Х. Миттельштадт, Р. Сперри), либо вовсе отказываются определить источник дополнительной, *экстрарецепторной* информации (см. Грегори, 1970; Луук и др., 1978).

**Праксеологический подход к развитию восприятия.** Решение фундаментальных проблем восприятия может быть найдено при изучении процесса его развития в онтогенезе. Придерживаясь этой принципиальной точки зрения швейцарский психолог Ж.Пиаже (1961) предложил рассматривать развитие восприятия как определенного рода деятельность, организующую и обогащающую взаимосвязи между элементами в сенсорном поле. Многочисленные экспериментальные данные, полученные в рамках этого направления исследований на детях разного возраста, позволили выделить стадии развития восприятия, его тенденции и соответствующие каждой стадии формы деятельности.

Первоначальная недифференцированность перцептивного поля определяет соответствующую внешнедвигательную активность ребенка, которая, сталкиваясь с неизменными свойствами вещей, порождает *сенсомоторные схемы* перемещения в среде и манипулирования с объектами.

Согласно Ж. Пиаже, развитие восприятия происходит на протяжении всего детского возраста, все больше обогащаясь опытом разнообразной перцептивной деятельности, преодолевая *эффекты поля* и двигаясь в направлении константного и категориального образа, который, однако, всегда слишком ситуативен по сравнению с научным понятием.

Открытому в рамках этого исследовательского направления *эффекту центрации* (субъективной переоценки фиксируемого объекта или фрагмента) предается всеобщее значение. Он дает ключ к объяснению ошибок и иллюзий восприятия и открывает доступ к измерению адекватности восприятия по степени его *децентрированности*.

**Восприятие как действие.** Развиваемая в отечественной психологии с 1950-х годов теория восприятия основывалась на принципиальном признании рефлекторного строения психических процессов и отражательной природе чувственного образа. Считается, что фундаментальная роль в формировании адекватного образа внешнего объекта, который не дан изначально, принадлежит практической деятельности субъекта с этим объектом. Таким образом, активность воспринимающего субъекта понимается прежде всего как внешнедвигательная активность. Даже в случае *дистантного*, например, зрительного восприятия, движение привносит пространственную размерность в поток поступающих на рецепторную поверхность сенсорных данных,

относя их на счет объективных свойств воспринимаемой обстановки или элемента среды, а не к рецепторным событиям. Эта важнейшая функция движений — функция *объективации*, опредмечивания образа, очень наглядно демонстрируется в ситуациях инструментального, т.е. опосредованного различного рода промежуточными звеньями (инструментами, системами управления, информационными индикаторами) восприятия. Изменение привычных, естественных соотношений рецепторного органа со средой, вызванное, например, ношением перед глазом смещающих или инвертирующих сетчаточное изображение призм, может быть компенсировано достаточно быстро, но только при наличии активных движений наблюдателя, сохраняющего возможность контролировать визуальные последствия этих движений (Рок, 1980; Логвиненко, 1981).

Восприятие изначально выступает как задача, решение которой побуждается определенной потребностью и целью. Решение этой задачи представляет собой поведенческое или познавательное действие, включающее ориентировочные, предметно-образные и исполнительные компоненты. Посредством эффекторного (в широком смысле) звена деятельности возникающий образ постоянно соотносится, *«уподобляется»* своему источнику — реальному объекту или ситуации, за счет чего и достигается его адекватность, степень которой определяется уровнем сформированности *функциональных единиц* восприятия и ситуационной спецификой деятельности.

Проведенный в рамках данного подхода цикл онтогенетических исследований (Запорожец, и др., 1967; Венгер, 1969) выявил, что исходно *перцептивные действия* имеют у детей форму манипулирования, опробования, обследования, изменения, наложения и т.д., что обеспечивает во внешнедвигательном плане селекцию и организацию сенсорных данных, необходимую для достижения актуальной цели. Процесс сенсорного развития предстал как последовательное укрупнение перцептивных эталонов, или оперативных единиц восприятия, развитие способности к выполнению операций в плане образа (сравнение, оценивание, поиск, опознание) при редуцировании собственно моторной активности. Этот путь проходит и формирование новых, сложных опознавательных действий у взрослых людей (Подольский, 1978). Принципиальное значение в перцептивном развитии отводится опосредованному взрослыми усвоению и последующей интериоризации общественно-исторических знаний и умений, в отличие от Ж. Пиаже, понимавшего развитие как самодетерминированный адаптивный процесс.

Роль эффекторного звена перцептивной системы была изучена также в отношении слухового восприятия, сенсорный орган которого абсолютно иммобилен, что существенно отличает его от органов зрения и осязания. В цикле исследований, проведенных под руководством А.Н.Леонтьева (1965), включение активной вокализации (пропевание) в процесс слушания позволило существенно снизить пороги звуковысотного различения. Удалось экспериментально доказать, что такая функциональная система сохраняет свою эффективность и при подключении вокального аппарата к ощущению вибрации или при передаче моторных функций тоническим изменениям кисти руки. В сформированном слуховом восприятии эти моторные звенья не исчезают полностью, а приобретают форму скрытой артикуляции или вокализации. Следовательно, даже для слуха моторика составляет неотъемлемую часть перцептивной системы, обеспечивая избирательное, уподобительное взаимодействие субъекта с воспринимаемым объектом.

В цикле экспериментов, проведенных под руководством Ю.Б. Гиппенрейтер (1978), были изучены формы включения глазодвигательной активности в решение разнообразных познавательных задач — как зрительных, так и общедвигательных — взрослыми людьми, чье восприятие уже в достаточной степени сформировалось. Показано, что движения глаз, хотя и в редуцированной по сравнению с детьми форме, участвуют в решении любых задач, в том числе и мыслительных (см. также Тихомиров, 1969), но их специфические параметры зависят от типа задачи, ее конкретных условий и фазы решения. В систему управления взглядом включены также движения руки и головы, что позволяет перераспределять их функции. В помощь особого приема — регистрации фиксационного оптокинетического нистагма — удалось выявить тоническую форму глазодвигательной активности, которая сопровождает перцептивные преобразования в условиях относительно неподвижного взгляда.

Глазодвигательная активность сохраняется и тогда, когда она, кажется, не выполняет никакой целесообразной функции, например, при длительной стабилизации изображения относительно сетчатки глаза (Белопольский, 1985; Зинченко, Вергилес, 1969; Ярбус, 1965). Однако в данном случае определяющую роль играют движения фокуса внимания по стабилизированному изображению, которые и обеспечивают решение разнообразных перцептивных задач даже при таких условиях их предъявления.

Ряд исследований был проведен с использованием техники псевдоскопии, когда две призмы перед глазами меняли знак бинокулярной диспаратности на противоположный. Когда *псевдоскопический эффект*, состоящий в обращении рельефа объектов, входит в противоречие с предметными нормами восприятия, то происходят удивительные трансформации, причем всегда — в сторону придания сцене наибольшего правдоподобия, даже если для этого требуется существенная модификация сенсорного паттерна (Столин, 1976).

Подытоживая эти исследования, А.Н. Леонтьев (1982) призывал к отказу от традиционной постановки проблемы восприятия как восприятия объекта. Он считал, что данная проблема «должна быть поставлена и решена как проблема психологии образа мира» (с. 37). Это означает, что образ восприятия является сознательным образом, охватывающим все многообразие окружающего предметного мира, существующего в объективном пространстве и времени. При этом осмысленность образов, их категориальность не является какой-то прибавкой, дополнением к первичным перцептам, а включается в сознательный образ изначально, как его неотъемлемая характеристика. Усваиваемые отдельным индивидом понятия, знания, выработанные общественной практикой, воспринимаются как объективно существующие, образуя «пятое квазиизмерение» воспринимаемого мира. Более подробно идея «образа мира» обсуждается С.Д. Смирновым (1985).

### **Информационно-когнитивный подход к восприятию**

Бурное развитие вычислительной техники привело к тому, что в середине 1960-х годов возникла современная разновидность функционального подхода, ассимилировавшая идею стадиальности (фазности) восприятия и взявшая на вооружение компьютерную метафору — описание процесса восприятия в терминах приема, хранения и переработки информации, на основе которой принимается решение об ответной реакции. Существенное влияние на работающих в этой парадигме исследователей оказали современные нейрофизиологические открытия детекторов и специализированных каналов обработки признаков.

Исходным пунктом когнитивистской модели восприятия является предположение о докатегориальном, первичном описании стимула в сенсорной памяти, хранящемся там в неизменном виде в течение нескольких десятком миллисекунд после окончания стимуляции. Гипотеза о существовании инерционности сенсорного воздействия не нова (например, *теория перцептивного момента*), но она по-

лучила новую жизнь после опытов Дж. Спергинга по методике частичного ответа. Предполагается, что такая «иконическая» (для зрения) или «эхоческая» (для слуха) кратковременная память содержит *всю* информацию о стимуле, считывание и обработка которой составляет содержание следующих этапов восприятия. В терминах У. Найссера эти стадии носят название *предвнимательной* и *внимательной* обработки. Перцептивные операции кодирования–декодирования, селекции, поиска, интеграции, категоризации и др. представляются в виде отдельных функциональных блоков, связанных между собой последовательно в целостную структуру.

Поскольку функциональные блоки принято рассматривать как самостоятельные автоматизированные операции, протекающие в микроинтервалы времени и обеспечивающие кажущуюся одномоментность восприятия, адекватный экспериментальный подход состоял в применении хронометрического метода анализа (время реакции) и временного контроля за последовательностью стимулов в пробе. Широкое применение нашли методики прямой и обратной маскировки (Бахман, 1989; Breitmeyer, 1984), метаконтраста (Колерс, 1970) быстрого последовательного предъявления (Intraub, 1979; Potter, 1975), предустановки (Posner, 1978), зрительного поиска (Treisman, Gelade, 1980), фланкирования (Eriksen, Schultz, 1977), бинаурального и диоптического предъявления и др.

Огромная популярность этого подхода на протяжении 15–20 лет, подкрепленная ясной схемой анализа и детальной проработкой экспериментальных приемов, принесла лавину новых эмпирических данных и закономерностей, часто весьма впечатляющих (см. Величковский, 1982; Линдсей, Норман, 1974; Солсо, 1996). В последнее время, однако, преимущества данного подхода потеряли былую привлекательность в силу ряда причин. Во-первых, воспроизводимость и прогностические возможности полученных данных оказались очень невысокими. Небольшое изменение условий эксперимента или параметров стимулов нередко приводило к качественно иным результатам, что не способствовало их генерализации и выделению механизмов перцептивного процесса. Во-вторых, слишком сильным оказалось влияние субъективного фактора: знакомости с предъявляемым объектом, установки на категорию стимула или ответа, стратегии перцептивной деятельности — словом, всего того, что принято относить к активности, произвольности или вниманию субъекта. Поэтому простые модульные модели стали усложняться, допуская как прямые, так и обратные связи в структуре функциональных

блоков, гибкость, а потому и неоднозначность итогового ответа. Наконец, сами исходные предпосылки этого подхода вызвали разочарование у многих его бывших приверженцев (например, Найссер, 1981) в силу искусственности той реальности, восприятие которой пытались описать, а также из-за невозможности сконструировать сознательный перманентный чувственный образ на основе акта последовательной обработки стимульной информации, имеющего четко определенное начало (предъявление стимула) и конец (реакция).

### **Экологический подход к восприятию**

Совершенно очевидно, что экспериментальное исследование восприятия в его традиционном виде, с жесткими требованиями к выделению и описанию стимульных переменных и ответных реакций, искусственностью самих предъявляемых для рассматривания объектов (точки, линии, контурные фигуры или рисунки) и условий наблюдения (неподвижный наблюдатель, обедненная внешняя обстановка), существенно сужает возможность переноса получаемых данных на реалистические условия наблюдения. Хотя идеи экологической валидности признаков удаленности (Brunsvik, 1956), проблемы восприятия событий (Johansson, 1950), поверхностей (Beck, 1972), причинности (Michotte, 1963) обсуждались начиная с 1950-х годов, наибольший вклад в исследование и теоретическое оформление экологического подхода к восприятию как самостоятельного научного направления внес американский ученый Дж. Гибсон (1988).

Принципиальная установка этого подхода состоит в том, что восприятие существенным образом определяется условиями обитания и способом жизнедеятельности того или иного животного или человека. Объектом восприятия является не пустое геометрическое пространство, оно — абстракция, а окружающий мир, который лучше описывается в терминах среды, поверхностей и веществ. Соответственно, свет распространяется в среде по законам не геометрической, а экологической оптики, существуя в форме объемлющего наблюдателя оптического строя.

Воспринимаются экологические объекты, которые всегда что-то значат для наблюдателя. Это — опора, прежде всего земная, открытое пространство или укрытие, изолированный или прикрепленный объект, изогнутости, выпуклости, щели и т.д. Существуют и искусственные объекты, специально созданные для показа (рисунки, киноизображение), сохраняющие некоторые свойства реальных объектов.

Таким образом, из взаимодополнительности окружающего мира и субъекта жизнедеятельности следует, что не стимул, а содержащаяся в экологическом мире «информация» является потенциальным источником для восприятия, ее «возможностями». (Оба выделенных термина употребляются Дж. Гибсоном в новом, нетрадиционном смысле.)

Теорию Дж. Гибсона иногда называют (с его подачи) теорией непосредственного восприятия (*direct perception*). Непосредственность понимается им в том смысле, что в объемлющем оптическом строе существуют инварианты всех возможных деталей или объектов окружающего мира и для их восприятия не требуется какого-то опосредующего процесса в виде предустановки, гипотезы, ассоциации, логического вывода или чего-то другого. Понятие инварианта играет важную роль в представлениях Дж. Гибсона о механизме и развитии восприятия, в его терминах — о процессе извлечения оптической информации о возможностях. Хотя структура поверхностей при неизменности их компоновки позволяет делать правильные оценки удаленности, расстояния, наклона и т.д., более общим случаем является восприятие в условиях изменяющейся компоновки. Такие изменения вызываются движениями наблюдателя или внешними процессами, но именно восприятие этих инвариантных преобразований — событий — позволяет получать все более полную информацию об объектах окружающего мира и о самом наблюдателе.

Восприятие осуществляется активным наблюдателем. Активность понимается Дж. Гибсоном как свобода, во-первых, в выборе длительности наблюдения и, во-вторых, в осуществлении разнообразных собственных движений — глазами, головой, торсом, ногами (локомоции) или управляя движущимся средством (автомобилем, самолетом) — по отношению к воспринимаемому объекту. Неясный, неотчетливый образ можно уточнить и прояснить, если посмотреть на объект подольше, изменить ракурс рассматривания или подойти к нему поближе. Тем самым происходит принципиальная переформулировка традиционных проблем психологии восприятия, ориентированных на объяснение одномоментной структуры образа на основе избирательного набора воздействующих стимулов. Согласно Дж. Гибсону, предметом психологии восприятия является выделение инвариант событий.

Такого рода инварианты существуют и для самого наблюдателя, непосредственно представленного в объемлющем оптическом строе. Введенное Дж. Гибсоном понятие *зрительных кинестезий*, или транс-

формаций компоновки оптического строя при движениях наблюдателя, специфических для разных типов движения, позволяет в новом свете взглянуть на многочисленные факты из области индуцированного эго-движения (Howard, 1982), визуального управления локомоциями (Wallach, 1976), стерео-кинетических эффектов, кинетического эффекта глубины и др. (Braunstein, 1976). Дж. Гибсон предлагает отказаться от моделей, привлекающих дополнительные (кроме сенсорных) эфферентные источники информации об окружающем пространстве; для него стабильность видимого мира — экологический постулат, а движения наблюдателя и внешнего объекта различаются постольку, поскольку они вызывают разные трансформации оптического строя.

Надо сказать, что данный подход, отличаясь существенной новизной и целостностью, намечен пока лишь в достаточно общих чертах, базируется больше на теоретических посылах и демонстрациях, использует не всегда четко определенные понятия и призывает к ревизии фундаментальных постулатов традиционной психологии восприятия, что отнюдь не способствует его широкому признанию. Но, несмотря на многочисленные резкие выпады против экологического подхода, особенно против идеи непосредственности восприятия, работа в этом направлении продолжает расширяться.

## **Современные направления в исследовании восприятия**

Последние годы характеризуются появлением некоторых новых тенденций в исследованиях по психологии восприятия. Во-первых, отмечено стирание резких граней между отдельными направлениями исследований, их взаимопроникновение и взаимовлияние. Во-вторых, намечилась линия на усиление экологической валидности изучаемых и описываемых явлений. В-третьих, появился определенный крен в сторону поиска нейропсихологических перцептивных механизмов и построения на их основе модульных моделей восприятия. Наконец, приобрело значительный размах вычислительное моделирование процессов восприятия, использующее методологию построения искусственного интеллекта.

Бурное развитие технологии исследований, связанное прежде всего с многократно увеличившейся производительностью вычислительной техники и новыми возможностями предъявляющей и регистрирующей аппаратуры, открывает широкие возможности для экс-

периментирования. Более того, возникли новые области прикладных исследований, связанные с построением визуальных интерфейсов для сложной аппаратуры и компьютеров, визуализацией многомерной дискретной информации, оценкой качества изображения и звуковоспроизведения, деятельностью человека в искусственной (виртуальной или обогащенной) реальности и т.д. В целом, однако, следует признать, что, несмотря на все возрастающий поток эмпирических данных и публикаций, исследователи продолжают вновь и вновь возвращаться к фундаментальным проблемам психологии восприятия, сформулированным еще классиками. Это означает, что новые решения этих проблем, обладающие большей объяснительной силой, могут быть получены только при существенном пересмотре некоторых постулатов и категорий психологии восприятия. Такая работа уже началась (идея образа мира А.Н. Леонтьева и теория непосредственного восприятия Дж. Гибсона) и, безусловно, будет продолжена. Кратко обозначим некоторые из последних попыток продвинуться в этом направлении.

### ***Искусственный интеллект и восприятие***

Книги Д. Марра (1987) и Ш. Ульмана (1983) дают представление о вычислительном подходе к зрительному восприятию. Предлагаются алгоритмы описания и преобразования исходной стимульной информации для восстановления 3-мерных координат каждой точки изображения и детекции движения, выделения плоскостей, их цвета и освещенности, а также соединения плоскостей в отдельные объекты. «Зрительные программы» (Ullman, 1984) имеют уровневую организацию, используют как процедуры обработки «снизу вверх» (bottom-up), так и «сверху вниз» (top-down), а также обеспечивают селективное пространственное перераспределение вычислительных ресурсов.

Строгую математическую модель восприятия, претендующую на охват широкого круга перцептивных способностей, предложили Б. Беннет с соавт. (Bennett et al., 1989). Эта модель, получившая название «*Наблюдатель*», выполняет логические операции по вероятностной интерпретации первичных перцептивных наблюдений в терминах воспринимаемого объекта. Первичными наблюдениями могут быть как элементы низкоуровневого сенсорного анализа типа линий или границ, так и результаты высокоуровневых выводов, полученных другими *Наблюдателями*. Таким образом, с формальной точки зрения перцептивная информация рассматривается как малая посылка ин-

дуктивного силлогизма, не приводящего, как известно, к однозначному выводу. Один биологический индивид может обладать несколькими *Наблюдателями*, объединенными в сети разного типа с рекурсивными возможностями, что позволяет объяснить, в частности, многие феномены когнитивных влияний на восприятие.

### **Когнитивная нейропсихология восприятия**

Изучение распада перцептивных функций дает важную информацию о структуре обслуживающих мозговых процессов и их локализации (Humphrey, Riddoch, 1987; Kosslyn et al., 1990). В последнее время методика нейропсихологических исследований, традиционно использовавшая наблюдения и эксперименты на больных с локальными поражениями мозга, дополнилась техникой позитронно-эмиссионной томографии (PET) и магниторезонансного отображения (MRI), что дает возможность проводить строгие эксперименты на здоровых испытуемых. Первые результаты таких исследований дали впечатляющую объемную картину динамики мозговой активности в процессе выполнения перцептивных заданий (Posner, Raichle, 1994; Näätänen, 1992).

Основное допущение этого подхода — модулярность функций. Модули — это специализированные процессуальные мозговые единицы, получающие входную информацию и выдающие на выходе специфический ответ (см. Fodor, 1983). Выпадение какого-нибудь модуля ведет к утрате соответствующей функции. Взаимосвязь модулей образует «функциональную карту» мозга, наложенную на его анатомическую карту.

Нейропсихологические данные накладывают ограничения на «технологические» элементы, являющиеся базовыми для вычислительных моделей. Примером такого комбинированного подхода служит модель зрительного опознания и идентификации объектов, предложенная С. Косслиным с соавт., (Kosslyn et al. 1990). Эта модель основывается на систематическом обследовании больных с агнозиями и постулирует существование ряда процессуальных подсистем («центров»), организованных в соответствии с полученными данными. Она описывает функционирование процессов опознания у здоровых людей и, в случае внесения в нее определенных возмущений, хорошо имитирует клинические формы мозговых дефектов. Модель доказала свои возможности по дифференцировке дефектов разной этиологии и способна выдавать рекомендации по типу диагностического задания, необходимого для выявления комплексного нарушения опознания.

### **Восприятие объектов**

Развитием подхода к опознанию объектов на основе выделения их признаков явилась теория «*Опознания по компонентам*», предложенная И. Бидерманом. Он считает, что необходим небольшой набор простых форм чтобы описать все многообразие зрительных объектов, наподобие фонем для опознания слов. В теории И. Бидермана (Biederman, 1989) выделяется алфавит из 24 таких форм — *геонов* (*геометрические ионов*), спецификой которых является их различимость друг от друга независимо от точки наблюдения и устойчивость к зрительному шуму. Геоны представляют собой типичные фрагменты объектов, объединяющие смежные поверхности на основе параметра выпуклости. Предложенная И. Бидерманом (Biederman, 1987) четырехуровневая структурная модель дает представление об операциях, приводящих к идентификации геона. Активизация образа геона служит началом для построения образа всего объекта. Остается неясным, однако, каким образом происходит объединение активированных геонов, поскольку они могут сконструировать несколько разных объектов.

### **Восприятие движения**

Идея Дж. Гибсона, что структура перемещающегося перед глазом оптического потока является наиболее важным источником информации о движении наблюдателя, получила математическое оформление в работе Д. Ли (Lee, 1974). Он показал, что в оптическом потоке содержится информация о направлении и расстоянии до цели, а также о времени ее достижения. Например, в процессе локомоции параметром удаленности внешнего объекта от наблюдателя служит отношение между расстоянием от центра оптической структуры до соответствующего элемента текстуры и радиальной сетчаточной скоростью этого элемента. Было продемонстрировано (Lee et al., 1982), что при выполнении прыжков в длину атлеты ориентируются именно на зрительные признаки для точного попадания ноги на доску отталкивания, а не выполняют стереотипные моторные программы. Во многих случаях, где требуется выполнить простые моторные реакции, нет необходимости оценивать такие параметры как скорость, ускорение или расстояние — достаточно иметь информацию о времени до столкновения, которую несет расширяющийся оптический паттерн.

Ряд исследователей (см. Пик и Розенгрэн, 1990) высказывают предположение, что при редукции или полном отсутствии зрительной

информации человек, старающийся выполнить двигательный акт, будь то локомоция или манипуляция, ориентируется на мысленную репрезентацию пространственных отношений. Эти мысленные репрезентации претерпевают в процессе движения те же трансформации, что и обычная зрительная сцена, что обеспечивает достаточно высокую успешность выполнения заданий даже при минимальной зрительной информации о цели.

Широкий спектр современных исследований в области восприятия самодвижения представлен в книгах Р. Варрена и А. Вертхейма (Warren, Wertheim, 1990), Дж. Каттинга (Cutting, 1986), а также в обзоре Х. Валлаха (Wallach, 1987).

Особым классом перцептивных событий является так называемое «живое движение», т.е. движение, которое не может быть описано с помощью ригидных трансформаций элементов оптического потока (Гибсон, 1988; Johansson, 1973). Примерами такого движения служат перемещения муравьев в муравейнике, походка, езда на велосипеде, лицевая мимика и т.п. (Bassili, 1978; Kruse, Stadler, 1991). При изучении механизмов идентификации инвариантной структуры биологического движения широко используется метод «движущихся точек» (см. Павлова, 1989), когда экспонируется локальная информация от узловых точек структуры. Так, человеческая фигура может быть задана 8–9 светящимися точками, прикрепленными к основным сочленениям. Если при статическом предъявлении такой точечной структуры идентификация структуры не происходит вовсе, то восприятие ее биологического движения приводит не только к выделению класса движущейся структуры (человек, животное, трава на ветру), но и к спецификации ее особенностей (тип локомоции, направление и скорость движения и т.д.). Более того возможно даже опознать конкретного человека по его походке или мимике. Высказывается мнение, что выделение структуры и интерпретация при восприятии биологического движения являются процессами разного уровня (см. Cutting, 1986; Johansson et al., 1980).

### **Восприятие сцен**

В цикле исследований, проведенных Э. Джафаровым (Dzhafarov, 1992), сделана попытка построить формальную теорию трансформации метрики визуального пространства при восприятии движения. Эффекты сжатия расстояния между двумя зрительными объектами, двигающимися в одном направлении и с одинаковой ско-

ростью, обнаружены только в направлении движения как для неподвижного глаза, так и при свободном наблюдении. Установлены зависимости, связывающие величину этого эффекта со скоростью, а также с параметрами, влияющими на воспринимаемую скорость при фиксированной угловой скорости. В предлагаемой теории используется негалилеевские трансформации пространственно-временных координат движущихся зрительных объектов. Зрительные деформации в процессе движения являются сложной комбинацией геометрических трансформаций и изменений в распределении цвета/яркости, обусловленных зрительными механизмами взаимодействия и интеграции.

Интеграция сенсорной информации в процессе собственных движений наблюдателя продолжает оставаться в фокусе исследовательских интересов. Так, в двух обзорных статьях, посвященных данной проблеме (Bridgeman et al., 1994; Wertheim, 1994) делаются (хотя и с разных позиций) попытки по-новому рассмотреть механизмы, опосредующие переживание стабильности и движения видимого мира подвижным наблюдателем. Хотя обе теории не приемлют идею непосредственного восприятия Дж. Гибсона, они предлагают решения, которые принципиально не выходят за рамки классического подхода к проблеме, разделяющего источники внешней и эго информации о движении. Как показало широкое обсуждение этих работ (опубликовано одновременно с основными статьями), замена Дж. Вертгеймом «эфферентного» сигнала на «референтный», учитывающий положение зрачка в координатах внешнего пространства, а также механизм «перекалибровки» сигналов пространственного перемещения зрачка в процессе каждой фиксации, предложенный Б. Бриджменом с соавторами, оставляют, тем не менее, много открытых вопросов.

Ряд новых феноменов стабильности видимого мира был получен в цикле экспериментов, где использовали метод оптической трансформации зрительной обратной связи (Барабанщиков, 1997; Барабанщиков и др., 1980; Белопольский, 1978а). Эти результаты, а также ряд других наблюдений (Белопольский, 1978б; Петров, Зенкин, 1976), не укладываются как в рамки классической инервационной теории, так ее современных модификаций.

Вариантом метода трансформации зрительной обратной связи является привязанное к движениям глаз манипулирование параметрами изображения на экране дисплея. Развернувшиеся в рамках этой методической парадигмы исследования суммированы в книге, издан-

ной под редакцией К. Рейнера (Eye movements..., 1992). В исследовании Дж. Макконки и К. Курье (McConkie, Currie, 1996) в момент скачка глаза на заданный на картине объект смещали либо сам этот объект, либо фон, оставляя объект неподвижным, либо фон вместе с целевым объектом. Оказалось, что лучше всего замечается движения цели, хуже — фона вместе с целью. На основании этих и других экспериментов авторы выдвинули новую теории стабильности видимого мира, где решающая роль принадлежит процессам пространственной ориентировки в зоне будущего объекта фиксации. Данный метод позволяет проводить и хронометрический анализ пространственного распределения перцептивных ресурсов при рассматривании реалистичных сцен. Для этого используется техника «движущегося окна» или «движущейся скотомы» (van Diepen et al., 1994; van Diepen et al., 1995).

# 1

## **МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗОРОМ**



# НИЗКОУРОВНЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

## Введение

Одна из задач исследования глазодвигательных аспектов зрительного восприятия состоит в том, чтобы найти универсальные средства экспериментального анализа зрительной системы, включающей в качестве своих подсистем сенсорные и моторные компоненты.

В конкретной форме единство сенсорных и моторных компонентов зрительной системы проявляется уже в том, что любой стимульный паттерн на сетчатке нормального глаза может привести к изменению положения глаз, причем их движение в свою очередь вызовет изменение самого стимульного паттерна. Рассматривая отношение сенсорных и моторных компонентов как частный случай системы управления, можно сказать, что сенсорный «вход» (сетчатка) и моторный «выход» (поворот глаза) зрительной системы замкнуты общим контуром регулирования. Сетчатка глаза — тот исходной узловой пункт, который связывает зрительную и глазодвигательную подсистемы. В методическом отношении этот факт чрезвычайно «удобен», поскольку искусственное изменение общего «входа» зрительной системы — способа приема оптической информации — позволяет исследовать не только особенности функционирования каждой из ее подсистем, но и взаимоотношения между ними.

Рассмотрим основные составляющие глазодвигательной системы (ГДС) в терминах системы автоматического управления. На вход системы поступает сигнал рассогласования между положением периферического стимула (объектом регулирования), и центром сетчатки (фовеа), обладающим наибольшей разрешающей способностью. Выходом системы является поворот глаза. Цель регулирования состоит в минимизации входного сигнала. Таким образом, система переходит в устойчивое состояние только в том случае, когда проекция объекта регулирования совмещается с фовеа и величина управ-

ляющего сигнала становится равной нулю. Так как каждый поворот глаза в сторону объекта регулирования сопровождается уменьшением сигнала рассогласования, то ГДС человека может быть описана как следящая система позиционного контроля с отрицательной обратной связью (Андреева и др., 1975; Глезер, 1959; Милсум, 1968; Milhorn, 1966; Robinson, 1965; Young, Stark, 1962).

Величина зрительной обратной связи ГДС есть отношение между углом поворота глаза и соответствующей ему амплитудой смещения проекции объекта по сетчатке. В обычных условиях работы ГДС величину зрительной обратной связи можно считать близкой к единице. Однако в принципе эта величина может быть как больше единицы (визуальный угол, на который смещается проекция объекта, больше угла поворота глаза), так и меньше единицы (отношение углов обратное). Случаю, когда величина зрительной обратной связи равна нулю, соответствует хорошо известный в психологии и психофизиологии зрения феномен стабилизации изображения объектов на сетчатке (Зинченко, Вергилес, 1969; Ярбус, 1965).

Среди кибернетических моделей, предназначенных для описания работы ГДС, наиболее разработанной и авторитетной является модель Л. Янга и Л. Старка, которую они обозначили как дискретную (sample data model) (Young, Stark, 1962, 1963). Одно из главных допущений этой модели состоит, как это следует из ее названия, в дискретной обработке сигнала, подаваемого на вход системы. Интервал дискретизации, принятый Л. Янгом и Л. Старком, равен 200 мс.

Основанием для введения принципа дискретности как ведущего принципа работы ГДС явились следующие данные. Во-первых, это результаты измерений латентных периодов движений глаз в ответ на предъявление периферического целевого объекта, которые показали, что глазодвигательная реакция имеет задержку 200–300 мс (Леушина, 1971; Alpern, 1972; Becker, Fuchs, 1969; Dodge, 1903). Во-вторых, представление о баллистическом типе движений глаз, основанное на близкой к линейной зависимости средней скорости саккады от ее амплитуды (Гуревич, 1971; Леушина, 1971; Ярбус, 1965; Westheimer, 1954a), задержка в 100 мс для изменения скорости плавных движений глаз в ответ на ускорение или замедления скорости стимула (Rashbass, 1961; Westheimer, 1954b) и невозможность произвольной коррекции амплитудно-скоростных параметров движения глаз (Леушина, 1971; Ярбус, 1965; Alpern, 1972; Heiwood, Churcher, 1972). Наконец, в-третьих, это идея о рефрактерности ГДС в течение латентного периода, т. е. ее

нечувствительности к происходящим в этот период изменениям входного зрительного сигнала (Westheimer, 1954a).

Более поздние модификации модели Л. Янга и Л. Старка, как авторские (Young et al., 1968), так и других исследователей (Милсум, 1968; Becker, 1973; Milhorn, 1966; Robinson, 1975), сохранили дискретный принцип управления только для саккадических движений глаз, а контур регуляции плавных движений глаз стал описываться как замкнутый, непрерывно учитывающий изменения входного сигнала, без чего оказалось невозможным объяснить диапазон устойчивого плавного прослеживания объекта, движущегося по синусоидальному или экспоненциальному закону.

По-видимому, уже в этом можно усмотреть непоследовательность в проведении принципа дискретности, так как и плавные движения глаз имеют латентный период около 200 мс (Леушина, 1971; Westheimer, 1954b). Данное замечание приобретает особый смысл, если учесть, что очень остро стоит проблема эффективного стимула для плавных движений глаз. Из того факта, что плавные движения глаз в обычных условиях запускаются только в ответ на перемещение целевого объекта и их скорость подравнивается к скорости перемещения цели, обычно заключают о независимости механизмов регуляции плавных движений глаз и саккадических, возникающих как реакция на сигнал позиционной ошибки проекции целевого объекта относительно фовеа (Лаурингсон, Шедровицкий, 1965; Rashbass, 1961; Starr, 1967). Однако следует учесть, что в режиме плавного прослеживания проекция объекта на сетчатке глаза практически не меняет своего положения, а значит, ни скорость, ни даже сам факт перемещения сетчаточного изображения не могут являться специфическими эффективными стимулами для плавных движений глаз (Barlow, Hill, 1963; Robinson, 1976; Yasui, Young, 1975; Wertheim, 1994). Что же касается самого момента запуска плавных движений глаз, то здесь перемещение изображения объекта по сетчатке сопровождается также и изменением сигнала позиционной ошибки. Кроме того, режим плавного прослеживания обычно начинается именно с саккадических движений глаз. Имеются и другие факты, на основе которых можно предположить, что саккадические и плавные движения глаз являются элементарными формами целостного переходного процесса ГДС, функционирующей по единым принципам. Среди них можно упомянуть отдельные плавные «дотяжки» глаза сразу после саккады, направленные на коррекцию небольших позиционных ошибок, и особенности движений глаз в

неустойчивых режимах работы ГДС, например при нистагмах различных типов, когда плавные движения глаз без остановок переходят в саккадические и, наоборот, саккадические без остановок переходят в плавные.

За последние годы накопился также и экспериментальный материал, показывающий ограниченность принципа дискретности применительно к работе ГДС в целом.

Один из критических экспериментов состоял в следующем (Андреева и др., 1975). На глаз испытуемого укрепляли миниатюрный проектор, зажигающий на экране световую точку с заданным углом рассогласования ( $1^\circ$ – $6^\circ$ ). Аналогичная точка могла предъявляться и с помощью внешнего проектора. Условия предъявления чередовались в случайном порядке, так что испытуемый до начала поворота глаза не знал, предъявлен ли ему объективно неподвижный объект, или этот объект неподвижен относительно сетчатки и будет перемещаться вместе с движением глаза. Было обнаружено, что в первом случае возникает обычная саккада, тогда как во втором глаз начинает плавно скользить с постоянной скоростью, зависящей от величины позиционной ошибки и уровня контраста объекта с фоном. На контраст освещенности как параметр ГДС указывают также работы (Prablanc, Jeannerod, 1974; Wheelless et al., 1967).

Сходные результаты были получены в экспериментах, где в качестве целевого объекта использовали экстрафовеальный последовательный образ — при угле рассогласования порядка  $3^\circ$ , а иногда даже и  $10^\circ$  отмечали доминирование в глазодвигательном ответе плавной составляющей (Heiwood, Churcher, 1972; Komerell, Klein, 1971).

Предложенная в работе (Андреева и др., 1975) модель ГДС как следящей системы объясняет появление саккадических и плавных движений глаз только в зависимости от величины зрительной обратной связи. Условия устойчивого прослеживания движущегося объекта эквивалентны с этой точки зрения ситуации обрыва зрительной обратной связи, тогда как при рассмотрении неподвижного изображения с помощью саккадических движений величина зрительной обратной связи равна  $-1$ .

Одно из допущений этой модели заключается в постулировании непрерывности поступления зрительной стимуляции на вход ГДС, что позволяет модифицировать глазодвигательное поведение то текущему сигналу позиционной ошибки.

К исходному выводу пришли и те исследователи, которые строили эксперимент по схеме «пульсовых стимулов», впервые

предложенной Дж. Вестгеймером (Westheimer, 1954a). В эксперименте Дж. Вестгеймера испытуемые следили за световой точкой, скачком смещавшейся в сторону и возвращавшейся в исходную позицию через заданный интервал времени. При этом глазодвигательный ответ всегда воспроизводил конфигурацию «пульсового стимула» и состоял из двух саккад даже тогда, когда световая точка возвращалась в исходную позицию уже через 40 мс, т.е. задолго до начала первой саккады. Напомним, что именно от этих результатов Дж. Вестгеймера отталкивались Л. Янг и Л. Старк, когда вводили в свою модель импульсный прерыватель, стоящий на входе ГДС и периодически отключающий поступление сигнала на 200 мс.

Однако последующее повторение экспериментов с пульсовыми и ступенчатыми пульсовыми стимулами при широком варьировании соотношения амплитуд, направлений и временных параметров стимульной динамики, взаимной ориентации последовательных смещении целевого объекта (горизонталь — горизонталь, горизонталь — вертикаль), задачи слежения (фиксация точки, опознание цифры) (Becker, Jurgens, 1975; Findley, Gilchrist, 2003; Komoda et al., 1973; Lévy-Schoen, Blanc-Garin, 1974; Lusberger et al., 1975; Robinson, 1974; Täumer, 1975; Wheelless, et al., 1966) показало недостаточную достоверность результатов Дж. Вестгеймера и, соответственно, его теоретических заключений.

Было установлено, что наряду с воспроизведением динамики пульсового стимула встречаются глазодвигательные ответы, состоящие из одной саккады и направленные сразу на конечное положение объекта. Вероятность ответов последнего типа зависела от длительности пульса и, согласно данным Л. Уиллеса с соавт. (Wheelless et al., 1966), они возникали в 92% случаев при длительности пульса 50 мс; при 100 мс — в 77% случаев, а при 200 мс — в 32%.

Другой новый и важный результат состоял в том, что при глазодвигательном ответе, составленном из двух саккад, временной промежуток между саккадами был сильно укорочен. По данным М. Комоды с соавт. (Komoda et al., 1973), использовавших малоамплитудные ( $1^{\circ}$ – $4^{\circ}$ ) смещения стимула, он мог снижаться до 120–140 мс, для больших же амплитуд пульсовых стимулов, которые применяли В. Бекер и Р. Юргенс (Becker, Jurgens, 1974) ( $15^{\circ}$ – $60^{\circ}$ ) и А. Леви-Шоэн и Дж. Бланк-Карин (Lévy-Schoen, Blanc-Garin, 1974) ( $20^{\circ}$ – $80^{\circ}$ ), интервал между двумя саккадами часто был меньше 100 мс. Эти авторы приводят отдельные записи, где видно, что вторая саккада может

следовать за первой и без остановки глаза, и даже до окончания первой саккады, прерывая ее на полпути.

Некоторые авторы предлагают пересмотреть дискретную модель Л. Янга и Л. Старка таким образом, чтобы заменить импульсный прерыватель входного сигнала с постоянной частотой срабатывания на стохастический (Fuchs, 1971) или на прерыватель с широкой временной полосой пропускания (Becker, Fuchs, 1969; Robinson, 1971).

Более же строгой и обоснованной интерпретацией изложенных выше данных является предположение о непрерывном учете визуальной информации на входе ГДС с принятием в расчет истинной латентности, или времени чистой задержки, определяемой скоростью проведения сигнала по нервным путям и временем формирования иннервационных команд к мышцам глаз (Becker, Jurgens, 1975; Komoda et al., 1973; Robinson, 1975).

Отсюда принципиальное значение приобретает вопрос о длительности чистой задержки в ГДС. Очевидно, для того чтобы зрительная обратная связь могла бы оказать влияние на параметры саккады, время чистой задержки должно быть меньше длительности саккады, т.е. меньше 40–60 мс.

Один из методических подходов к измерению времени чистой задержки в ГДС состоит в оценке минимальных межсаккадических пауз или оценке того временного интервала, в течение которого вновь поступившая информация уже не успевает учитываться ГДС. Минимальная межсаккадическая пауза в условиях фиксации неподвижного объекта равна 30 мс (Филин, 2001). Большой интерес исследователей привлекают в последнее время коррекционные саккады, которые компенсируют ошибку первой неточной саккады при больших (более  $10^{\circ}$ – $15^{\circ}$ ) углах поворота глаза. В. Бекер (Becker, 1976) указывает, что если величина ошибки первой саккады достигает  $2^{\circ}$ – $3^{\circ}$ , то коррекционная саккада имеет латентный период порядка 120–140 мс, а при максимальных величинах ошибки ( $15^{\circ}$ ) коррекция следует уже через 50–80 мс. Появление сильно укороченных (порядка 50 мс) латентных периодов у коррекционных саккад отмечено и Б. Х. Гуревичем (1971).

Данные о том, что саккадическое движение глаз учитывает информацию, поступающую за 50–60 мс до начала саккады, содержатся в работах А. Хоррокса, Л. Старка (Horrocks, Stark, 1964), В. Бекера, А. Фукса (Becker, Fuchs, 1969), Л. Старка с соавт. (Stark et al., 1962).

Все эти оценки имеют тот же порядок, что и длительность саккады. Все же они не дают решающего доказательства роли зрительной обратной связи в организации саккады и, следовательно, возможности целостного описания ГДС.

Прямые данные на этот счет могут быть получены только при использовании метода трансформации обратной связи. По дискретной модели Л. Янга и Л. Старка в условиях измененной обратной связи каждая саккада из фиксационного поворота глаз должна строиться заново и строго соответствовать углу до целевого объекта.

Отсюда следует, что

$$K_{np} = 1, \quad (1)$$

где  $K_{np}$  — коэффициент прямой связи ГДС.

Согласно этим условиям можно определить диапазон изменений  $K_{обр}$ , в котором ГДС сохраняет устойчивость, т.е. способность устанавливать устойчивое, или равновесное состояние после подачи на вход сигнала рассогласования.

Амплитуду  $n$ -ой саккады из фиксационного поворота для дискретной модели можно рассчитать по формуле

$$A_n = A_{n-1} (1 + K_{обр}), \quad (2)$$

где  $K_{обр}$  берется с учетом знака. Для сохранения устойчивости ГДС должно выполняться неравенство

$$|A_n| < |A_{n-1}|,$$

или

$$\frac{A_n}{A_{n-1}} < |1|. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим, что

$$\frac{A_n}{A_{n-1}} = (1 + K_{обр}) < |1|. \quad (4)$$

Из (4) находим, что

$$-2 < K_{обр} < 0. \quad (5)$$

Л. Янг и Л. Старк представили и экспериментальное подтверждение выводов дискретной модели, используя для трансформации обратной связи способ электронного управления позицией световой точки на экране дисплея сигналом от регистратора движений глаз. Однако к этим результатам надо относиться с осторожностью, так как они не были воспроизведены полностью в более поздних исследованиях, использующих иные способы трансформации  $K_{обр}$ .

Было показано (Барабанчиков, 1978; Шахнович, 1974; Howard, 1970), что при  $K_{обр} > 0$ , т.е. при положительном знаке обратной связи, ГДС действительно, теряла устойчивость, однако конкретные формы глазодвигательной активности не соответствовали тем, которые приводят Л. Янг и Л. Старк.

В уже цитированном выше эксперименте с  $K_{обр} = 0$  (Андреева и др., 1975) был подтвержден только сам факт наличия неустойчивости ГДС, но в отличие от предлагаемой дискретной моделью ступенчатой саккадической реакции была установлена возможность плавного прослеживания экстрафовеального объекта.

Особый интерес представляет исследование ГДС в диапазоне устойчивости, поскольку именно в таких условиях ГДС способна выполнить свою основную функцию и осуществить полный цикл регулирования. Одна из важнейших задач, стоящая перед таким исследованием — экспериментальное определение границ устойчивости ГДС с отрицательной обратной связью.

Нам известно только одно исследование после Л. Янга и Л. Старка, проведенное Дж. Фоссиусом (Vossius, 1972), в котором ставилась подобная задача. Фоссиус использовал тот же способ изменения величины  $K_{обр}$ , что и его предшественники, однако внес модификации в регистрирующую и усилительную аппаратуру, позволившие расширить полосу пропускания и оперировать на выходе не только быстрыми составляющими глазодвигательного ответа, но и медленными. Такое чисто методическое усовершенствование привело к совершенно другому результату — ГДС сохраняла устойчивость при  $K_{обр} = -4,6$  и даже при  $K_{обр} = -8,4$ . Среди других новых и важных результатов, полученных Дж. Фоссиусом, следует отметить резкое сокращение количества саккад уже при третьей попытке осуществить фиксационный поворот, а также значительный процент плавных движений глаз в фиксационном повороте.

Сравнение результатов этих двух исследований убедительно показывает, какое важное значение имеет адекватность способа изменения обратной связи, в частности, ее величины. К сожалению,

способ, использованный Дж. Фоссиусом, также не лишен недостатков. Во-первых, как видно из приводимых им записей, в начальных стадиях первого фиксационного поворота световой луч выскакивал за экран, т.е. переставал быть видимым. Во-вторых, использованный им способ позволяет осуществить только однократный режим предъявления объекта в условиях изменения обратной связи. В-третьих, не исключена возможность произвольного управления взглядом с опорой на границы экрана и внешнюю обстановку, что интерферирует с задачей фиксации целевого объекта.

Нами было предпринято собственное исследование механизмов регуляции движений глаз в условиях трансформации зрительной обратной связи. Основная *цель* исследования — апробация нового метода искусственной оптической трансформации обратной связи в связи с анализом закономерностей функционирования ГДС, понимаемой как многоуровневая, сложноорганизованная функциональная система, обеспечивающая оптимальные условия зрительного восприятия посредством перемещения проекции объекта фиксации в центральную зону сетчатки. В связи с этим мы поставили перед собой *задачу* исследовать параметры и закономерности переходного процесса ГДС с отрицательной зрительной обратной связью и, в частности, проверить выводы дискретной модели регуляции движений глаз. Предполагается, что при сохранении натуральных функций ГДС произойдет изменение способов их реализации, поэтому можно ожидать, что анализ особенностей окуломоторной активности в этих условиях позволит полнее раскрыть структуру и закономерности функционирования ГДС. Поскольку трансформация зрительной обратной связи ГДС моделирует «срывы» биорегуляций, функционирование систем в ситуации патологии, которая может экстренно возникнуть в жизни организма (Анохин, 1960), интересным представляется вопрос о возможностях адаптации ГДС, а также сравнение принципов работы ГДС человека и технических систем автоматического регулирования, функционирующих в близких условиях.

## **Общая методика исследования**

***Обзор существующих способов трансформации обратной связи в ГДС человека.*** В технических системах автоматического регулирования трансформация обратной связи не представляет проблемы, так как эти связи имеют материальный субстрат (электрические провода, механические детали и т. п.) и допускают непосредственное вмеша-

тельство. Например, чтобы систему с обратной связью превратить в систему без обратной связи, достаточно, скажем, оборвать эту связь физически. Или другой пример: чтобы увеличить величину обратной связи, надо поставить в ее цепь более мощный усилитель. И т. д.

Иное дело — биологические системы. Здесь разрушение какой-либо связи может сказаться на жизнедеятельности всего организма, а направленные ее изменения не всегда возможно. Несмотря на то, что такого рода воздействия зачастую связаны с острым хирургическим вмешательством в деятельность организма, ими активно пользуются при физиологических исследованиях. Так, Э. фон Хольст (Holst, 1954) с целью изменения знака зрительной обратной связи разворачивал голову мухи на  $180^\circ$  относительно оси ее тела. Р. Сперри использовал для аналогичных целей хирургическую операцию, с помощью которой глаза рыб и амфибий переворачивались на  $180^\circ$ . Были сделаны попытки аналогичного подхода и по отношению к исследованию человека. А. Хекенмюллер (цит по: Зинченко, Вергилес, 1969) использовал кураризацию внешних мышц глаза, чтобы полностью подавить его моторную активность. Однако в целом для исследования человека такие методы оказываются непригодными. Поэтому были разработаны особые методические приемы, позволяющие изменять величину обратной связи без вмешательства в биологические структуры.

Один из старых приемов подобного рода основывается на известном физиологическом факте, что при подаче яркого светового стимула на сетчатке глаза возникает его последовательный образ, видимый и после прекращения внешней стимуляции. Положение этого образа на сетчатке не зависит от движения глаз. Это означает, что при рассматривании послеобраза ГДС работает с нулевой обратной связью. Данный прием широко применялся и продолжает применяться для исследования параметров зрительно-моторных отношений у человека (Heiwood, Churcher, 1972; Howard, 1970).

В последние годы было разработано несколько экспериментальных способов изменения обратной связи, использующих самые различные принципы. Перечислим кратко важнейшие из них.

1. Использование внешних оптических систем. При помещении на определенном расстоянии перед глазом сильной собирающей или рассеивающей линзы можно добиться такой ситуации, при которой будет восприниматься энтоптический образ зрачка. Связь между перемещением образа и движениями глаз (или обратной связью ГДС) можно менять в доволь-

но широких пределах, включая изменение знака и величины коэффициента обратной связи ( $K_{обр}$ ), а также стабилизировать изображение относительно сетчатки глаза ( $K_{обр} = 0$ ) (Doesschate, 1954). Одна из разновидностей данного приема — использование сферического зеркала отдельно или в сочетании с линзой, когда  $K_{обр}$  можно варьировать, меняя положение центра вращения глаза относительно фокуса зеркала. Испытуемые в этом случае следят за отражением собственного глаза в зеркале (Hedtun, White, 1959).

2. Метод «оптических рычагов». Сфокусированный от проектора луч отражается на экран от зеркальца, укрепленного на глазу с помощью контактной линзы. Меняя длину «пути» луча от экрана до глаза и его направление, можно получить весь интересующий нас диапазон  $K_{обр}$  (Fender, Nye, 1961; Riggs, Tulunay, 1959).
3. Электронное управление положением стимула на экране дисплея в зависимости от направления и амплитуды поворота глаза. Данный метод получил наиболее широкое распространение. Реализация его состоит в усилении и (или) инверсии электрического сигнала во внешней цепи между регистратором движений глаз и дисплеем (Назаров, 1970; Robinson, 1965; Deubel et al., 1986; Vossius, 1972; Young, Stark, 1963) или же в избирательном манипулировании содержанием отдельных зон экрана в зависимости от будущего или актуального положения глаза (McConkie, Currie, 1996; van Diepen et al., 1994).

Необходимо отметить, что описанные выше способы трансформации  $K_{обр}$  обладают рядом существенных недостатков и ограничений (мы не касаемся здесь методических принципов, с помощью которых можно получить только стабилизацию изображения объектов относительно сетчатки, где  $K_{обр} = 0$ ). Во-первых, почти все эти способы накладывают ограничения на характеристики объектов рассматривания в условиях измененной обратной связи — на их размер, локализацию, пространственную динамику. Во-вторых, многие способы ограничивают диапазон движений глаз, при котором сохраняются заданные условия окулomotorной активности. В-третьих, для некоторых способов не исключена возможность попадания в поле зрения других объектов, например частей аппаратуры или обстановки, воспринимаемых без изменений  $K_{обр}$ . И, наконец, имеются также частные ограничения для тех или иных способов. Так, необходимое условие реализации

«электронного» принципа — точная регистрация движений глаз, что до сих пор представляет известную проблему. Наиболее адекватным способом изменения обратной связи для исследования ГДС и механизмов зрительного восприятия следует признать такой, который позволил бы длительно рассматривать внешние объекты (любой формы и содержания, неподвижные и подвижные) в условиях строго контролируемых параметров движений глаз и  $K_{обр}$ . Этим требованиям удовлетворяет методический принцип устойчивой трансформации оптической проекции внешних объектов на сетчатке глаза.

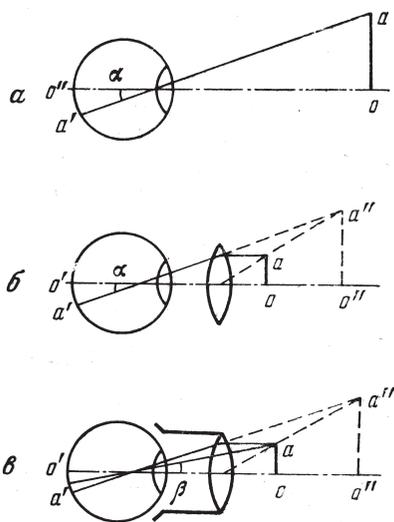
**Способ трансформации обратной связи, использованный в исследовании.** В задачу нашего исследования, входило изучение механизмов регуляции движений глаз в условиях изменения величины зрительной обратной связи. Для этих целей была разработана (совместно с Н.Ю.Вергилесом) и реализована новая оптическая методика.

В основу данного способа положены эффекты, возникающие при изменении коэффициента увеличения оптической системы глаза. Принцип его состоит в следующем.

Проекция стимула на сетчатке определяется углом между его позицией и оптической осью глаза. Именно на этот угол и должен повернуться глаз, чтобы стимул спроецировался точно в центр фовеа (рисунок 1а). Аналогичные отношения имеют место и в том случае, если перед глазом находится увеличивающая или уменьшающая оптические системы (на рисунке 1б для простоты построения изображена только одна положительная линза). Здесь стимул виден под углом  $\alpha$ , т.е. под тем, под которым рассматривается его мнимое изображение  $a''$ , и на этот же угол  $\alpha$  должен повернуться глаз, чтобы перенести фиксацию с точки  $o$  на точку  $a''$ .

Иное дело, когда оптическая система поворачивается вместе с глазом (рисунок 1в). В этом случае угол поворота глаза, необходимый для точного совмещения проекции точка  $a$  с фовеа, будет равен  $\beta$ . Из построения видно, что  $\alpha \neq \beta$ , причем если использована увеличивающая линза, то  $\alpha > \beta$ , а при уменьшающей линзе  $\alpha < \beta$ .

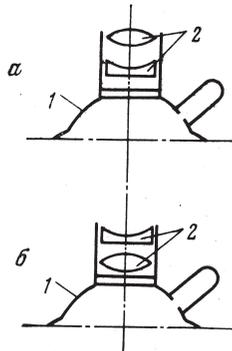
Отношение  $a/b$  даст значение  $K_{обр}$ . Нетрудно заметить, что отношение  $\alpha/\beta$  совпадает по абсолютной величине с коэффициентом увеличения оптической системы ( $K_{оп}$ ), т.е.  $K_{оп} = |K_{обр}|$ . Следовательно, меняя силу оптической системы, можно управлять и величиной  $K_{обр}$ , оставляя без изменения естественный знак обратной связи (отрицательный).



**Рис. 1.** Схема, иллюстрирующая зависимость угла смещения проекции объекта на сетчатке от угла поворота глаза:

$a$  — в обычных условиях; б — при линзе, расположенной перед глазом; в — при линзе, укрепленной на глазу,  $o, a$  — объекты фиксации,  $o', a'$  — проекция объектов на сетчатке,  $o'', a''$  — мнимое (воспринимаемое) положение объектов в пространстве;  $\alpha, \beta$  — угол поворота глаза с точки  $o$  на точку  $a$

Практически данный способ был реализован в виде оптической системы, укрепленной на центральной глазной присоске. Использовались два типа оптических систем: увеличивающих с коэффициентами увеличения 1.8; 2.4 и 3.5 и уменьшающих с коэффициентами 0.5 и 0.3. Реально каждая оптическая система состояла из двух линз — положительной и отрицательной, что обеспечивало фокусировку четкого изображения на сетчатке. При использовании в качестве окуляра отрицательной линзы (рисунок 2а) система работала на увеличение, а при окуляре из положительной линзы (рисунок 2б) — на уменьшение. Размеры линз колебались от 5 до 8 мм в диаметре. Размер поля зрения зависел от коэффициента увеличения оптической системы и длины тубуса, используемого для ее крепления к присоске, и был равен  $15^\circ$ – $40^\circ$  в диаметре.



**Рис. 2.** Схематическое изображение глазных присосок с оптическими системами, которые использовались для увеличения (а) и уменьшения (б) угла проекции внешнего объекта на сетчатке:

1 — корпус присоски с центральным тубусом; 2 — оптическая система, состоящая из положительной и отрицательной линз

**Экспериментальная установка и общая процедура экспериментов.** Аппаратурный комплекс, на котором проводились эксперименты, состоял из двух частей: установки для предъявления зрительной информации и установки для регистрации движений глаз, а также других форм реакций испытуемого — голосовой и мануальной.

Предъявление зрительной информации осуществлялось двояким образом. Для стимуляции, которую необходимо было контролировать по времени и скорости движения, мы использовали функциональный генератор Г6-15, подключаемый к индикатору ИМ-789, служившему дисплеем. Картинная информация предъявлялась или в виде тест-объектов, или на слайдах с помощью автоматического диапроектора «Протон». Слайды проецировались на экран, находившийся перед испытуемым. Максимальные угловые размеры изображения составляли  $40^\circ \times 60^\circ$ .

Регистрация движения глаз велась электромагнитным способом в модификации Н. Ю. Вергилеса (Андреева и др., 1975). Этот способ обеспечивает высокую точность измерений сразу по двум координатам — вертикали и горизонтали, обладает хорошей чувствительностью и линейностью и дает на выходе электрический сигнал, эквивалентный повороту глаза. Излучающая катушка, создающая переменное электромагнитное поле, крепилась на той же присоске, на которой была установлена оптическая система. Четыре приемные

антенны-катушки располагались симметрично относительно излучающей катушки. Перемещение глаза и, соответственно, жестко связанной с ним излучающей катушки приводило к изменению напряжения в приемных катушках и, после предварительного усиления, подавалось на 8-канальный полиграф RM-85 (Япония).

Наряду с раздельной записью вертикальной и горизонтальной составляющих движений глаз, на полиграфе велась их запись на магнитную ленту 4-канального регистратора данных ДТК-1204 (Япония). Это позволяло в случае необходимости не только повторить запись после окончания эксперимента, но и изменить ее масштаб, скорость записи, а также произвести запись на координатный (X–Y) самописец HE-230 (Венгрия).

Параллельно с регистрацией движений глаз в отдельных случаях мы использовали мануальные (нажатие на кнопку) или голосовые реакции испытуемых, дававшие отметку о стадии решения задачи, конце решения, содержащие ответы на поставленный вопрос и т. п. Запись этих реакций велась на том же полиграфе и регистраторе данных, сменные блоки которых позволяют регистрировать как низкочастотные сигналы, так и сигналы в голосовом диапазоне частот.

Кроме того, на полиграф записывался также сигнал с функционального генератора Г6-15, что позволило сопоставить динамические параметры стимуляции и движений глаза.

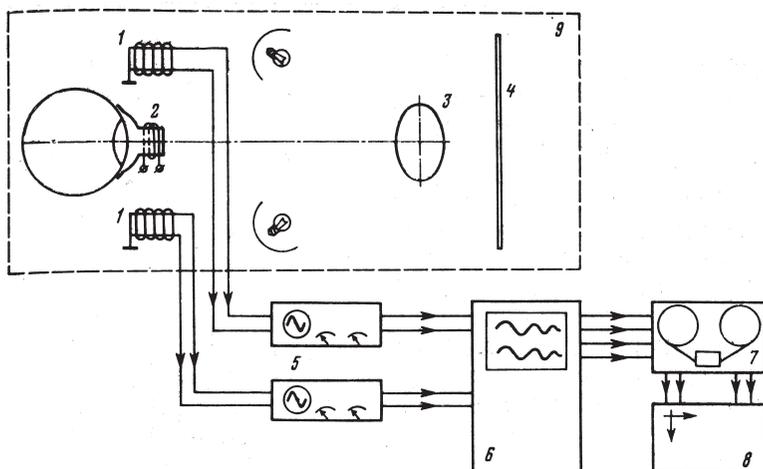
Блок-схема экспериментальной установки изображена на рисунке 3.

Эксперименты проводились в звуконепроницаемой экранированной камере. Испытуемый сидел в кресле, его голова фиксировалась в подбороднике. Наблюдений почти во всех случаях велось монокулярно. Второй глаз, закрывали светонепроницаемой повязкой.

После получения инструкций и ознакомления с условиями эксперимента проводили тренировочные опыты без регистрации движений глаз с целью проверки правильности выполнения инструкции. После этого в рабочий глаз закапывали 2–3 капли 1%-ного раствора дикаина для анестезии.

Перед началом опыта проводилась индивидуальная настройка оптических систем — подгонка резкости для увеличивающей и уменьшающей оптики, после чего проводили калибровку записи.

По ходу эксперимента могли вноситься коррективы, осуществляемые по каналу звуковой связи между камерой и экспериментатором, находящимся рядом с регистрирующей аппаратурой. После эксперимента фиксировался субъективный отчет испытуемого.



**Рис. 3.** Принципиальная схема экспериментальной установки:  
 1 – приемные катушки; 2 – излучающая катушка, установленная на глазной присоске; 3 – тест-объект (дисплей, реальное изображение); 4 – экран; 5 – усилители; 6 – полиграф RM-85; 7 – регистратор данных DTR-1204; 8 – двухкоординатный (X-Y)-самописец HE-230; 9 – экранированная экспериментальная камера

## ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Повороты глаз при смене точек фиксации

Основная цель эксперимента – регистрация фиксационных поворотов глаз в ответ на ступенчатое смещение позиции целевого объекта и сравнение полученных параметров фиксационных поворотов с теми параметрами, которые ожидалось по прогнозу дискретной модели Л. Янга и Л. Старка.

**Методика.** Тест-объектом служила световая точка, предъявляемая в полной темноте на экране индикатора с электронно-лучевой трубкой, имеющей малое время послесвечения. Яркость точки подбиралась с таким расчетом, чтобы не вызвать появления последовательного образа.

Для управления положением точки на экране использовали прямоугольные электрические импульсы в интервале частот от 0.05 до

0.2 Гц, подаваемые от функционального генератора. Исследовали только фиксационные повороты в горизонтальной плоскости. Частоты переключения были подобраны таким образом, чтобы было достаточно времени для завершения полного цикла фиксационного поворота.

Измерения проводились для пяти значений  $K_{обр}$ :  $-0.3$ ;  $-0.5$ ;  $-1.8$ ;  $-2.4$  и  $-3.5$  и трех углов смещения точки:  $2.5^\circ$ ,  $5^\circ$  и  $10^\circ$  (исключение составлял случай, когда  $K_{обр} = -3.5$ , где ограниченное поле зрения позволяло предъявлять только смещение точки на  $2.5^\circ$ ). Кроме того, для контроля были проведены опыты без изменения  $K_{обр}$  ( $K_{обр} = -1$ ). Для каждого угла смещения с каждым  $K_{обр}$  было проведено не менее чем по три опыта с разными испытуемыми.

Основной анализ проводился для первых 10 фиксационных поворотов из каждого опыта. Наряду с этим, чтобы учесть возможные временные изменения в работе глазодвигательной системы, анализировались по 10 фиксационных поворотов через 5 и 10 мин с начала опыта.

Кроме оценки общего характера фиксационного поворота, сравнение полученных результатов с дискретной моделью включало также оценку амплитудных параметров саккад с целью получить количественные данные о работе ГДС. Так как в течение опыта  $K_{обр}$  оставался без изменений, то о работе ГДС можно вполне однозначно судить по величине  $K_{пр}$ .

По определению,

$$K_{пр} = \frac{A_1}{\alpha}, \quad (6)$$

где  $A_1$  — амплитуда первой саккады из фиксационного поворота (выход системы), а  $\alpha$  — визуальный угол до целевого объекта.  $\alpha$  удобней выразить через угол смещения точки  $\beta$  и коэффициент увеличения оптической системы, установленной на присоске ( $K_{он}$ ) (см. рисунок 1):

$$\alpha = \beta K_{он}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получим

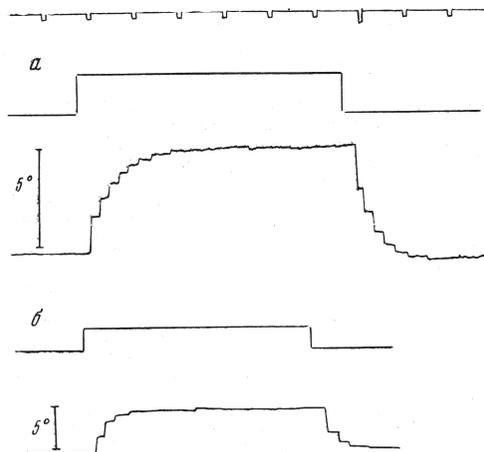
$$K_{пр} = \frac{A_1}{\beta K_{он}}. \quad (8)$$

Амплитуда саккад измерялась с точностью до  $0.25^\circ$ .

Всего в этом эксперименте участвовало пять испытуемых с нормальным зрением в возрасте от 21 до 30 лет. Все они имели опыт работы с глазами присосками.

Сразу же после установки на глаз присоски с оптической системой или без нее создавались темновые условия, при которых оставалась видимой только одна световая точка. Каждый опыт длился не менее 10 мин. В течение этого времени испытуемый совершал фиксационные повороты на один и тот же угол.

**Результаты.** Общий характер фиксационных поворотов, зарегистрированных в опытах при  $-2 < K_{обр} < 0$ , совпадает с тем, который описан у Л. Янга и Л. Старка. Так же как и эти авторы, мы получили на наших записях специфические движения глаз, не свойственные фиксационному повороту в естественных условиях. При  $K_{обр} > 1$  фиксационный поворот состоял из целого ряда однонаправленных саккад, амплитуда которых последовательно уменьшалась вплоть до достижения глазом устойчивого положения. При  $K_{обр} = -0.3$  саккад было больше, а их амплитуды, соответственно, меньше, чем при  $K_{обр} = -0.5$  (рисунок 4а, б).

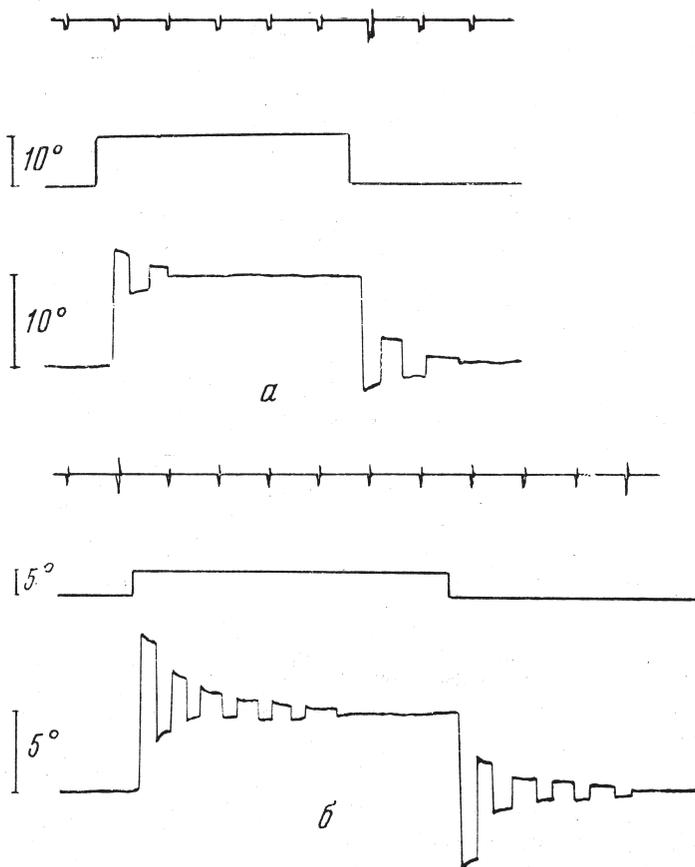


**Рис. 4.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при  $K_{обр} = -0.3$  (а) и  $K_{обр} = -0.5$  (б). Вверху — стимул

При  $K_{обр} = -1.8$  на записях появлялись позиционные «забросы» глаза, за которыми следовали возвратные саккады, постепенно уменьшающие величину позиционной ошибки до нуля (рисунок 5а).

Однако для  $K_{обр} < -2$  мы получили результаты, отличающиеся от прогноза дискретной модели и данных Л. Янга и Л. Старка.

При  $K_{обр} = -2.4$  (рисунок 5б) фиксационный поворот имел характер затухающих колебаний и был более развернут как во временном,



**Рис. 5.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при  $K_{обр} = -1.8$  (а) и  $K_{обр} = -2.4$  (б). Вверху — стимул

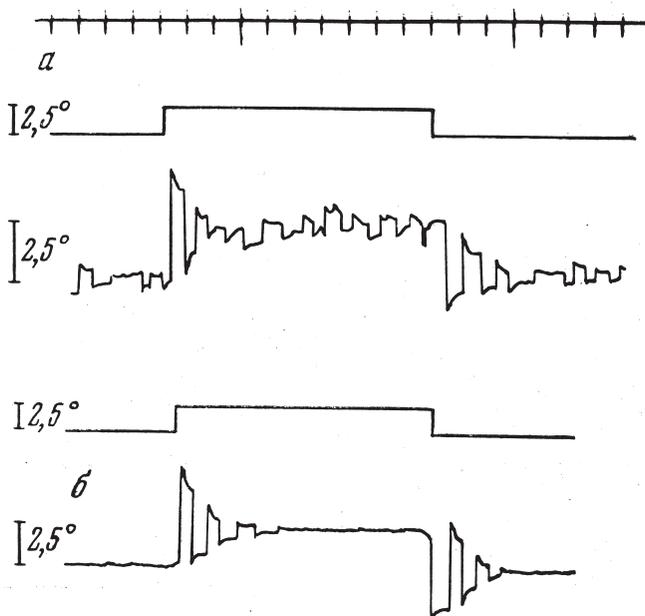
так и в пространственном отношении по сравнению с фиксационным поворотом при  $K_{\text{обр}} = -1.8$ . Свое численное выражение это находит в количестве саккад, составляющих фиксационный поворот. Если для  $K_{\text{обр}} = -2.4$ , при угле поворота  $5^\circ$  фиксационный поворот состоял из 10–12 саккад, то для  $K_{\text{обр}} = -1.8$  и том же угле поворота их было 4–6.

Этот факт — возможность смены точек фиксации при  $K_{\text{обр}} = -2.4$ , имеет принципиальное значение. Он показывает, что предел устойчивости ГДС лежит, по-видимому, выше  $K_{\text{обр}} = -2$ . Поэтому особый интерес приобретает исследование характера фиксационного поворота при  $K_{\text{обр}} = -3.5$ . Здесь мы не получили полного затухания колебаний глаза при первых попытках фиксировать световую точку, сместившуюся на угол  $2.5^\circ$ . Не было получено, однако, и режима самогенерации с непрерывным увеличением амплитуды движений, как это следует из дискретной модели. Начало фиксационного поворота состояло из нескольких саккад, амплитуда которых уменьшалась вплоть до величины  $1^\circ$ – $2^\circ$ , после чего глаз вступал в периодический колебательный режим. В ответ на новое смещение световой точки этот процесс повторялся, заканчиваясь колебаниями глаза вокруг нового положения точки (рисунок 6а). Тем не менее через 5–6 мин практики, некоторым испытуемым удалось добиться достаточно устойчивого состояния фиксации, которое могло быть воспроизведено и в ответ на новое смещение цели (рисунок 6б).

В целом следует отметить, что фиксационные повороты глаз в условиях измененной зрительной обратной связи носят автоматизированный, произвольный характер, осуществляются как единый процесс.

Это проявляется еще и в том, что даже в промежутках между саккадами глаз не остается в покое, как предсказывает дискретная модель, а совершает плавное движение, всегда направленное в сторону цели. При  $K_{\text{обр}} = -0.3$  и  $K_{\text{обр}} = -0.5$  скорости плавных движений невелики ( $0.5$ – $1.0^\circ/\text{с}$ ), хотя и они значительно выше скорости обычного фиксационного дрейфа. Особенно ясно виден закономерный характер плавных движений, заполняющих межсаккадические паузы, при  $K_{\text{обр}} < -1$ . В этих условиях плавные движения начинаются сразу же после саккады и направлены в сторону, противоположную направлению предыдущей саккады. Скорости плавных движений зависят от величины  $K_{\text{обр}}$ . Так, при  $K_{\text{обр}} = -1.8$  они достигают  $0.5$ – $2.0^\circ/\text{с}$ , а при  $K_{\text{обр}} = -3.5$  составляют  $5.0$ – $7.0^\circ/\text{с}$ .

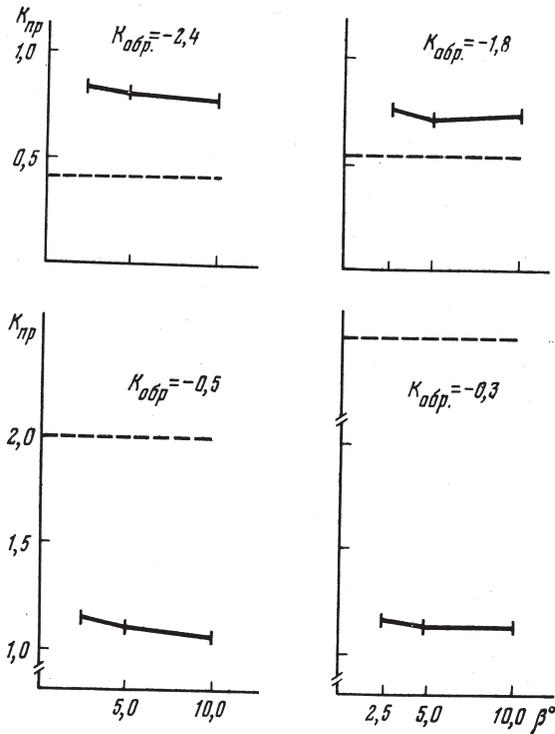
К общим наблюдениям за характером фиксационных поворотов глаз следует добавить и тот факт, что хотя первые 10–20 поворотов



**Рис. 6.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при  $K_{обр} = -3.5$ :  
*a* — в начале эксперимента, *б* — через 5–6 мин после начала.  
*Вверху* — стимул

и отличались большим постоянством параметров, их параметры могли измениться к концу опыта. Мы уже касались временных изменений при  $K_{обр} = -3.5$ . Были они выраженными и при  $K_{обр} = -2.4$ . В одном и том же опыте первые фиксационные повороты на  $5^\circ$  содержали по 10–12 саккад, через 5 мин их количество в фиксационном повороте уменьшилось до 6–8, а через 10 мин — до 2–5. Следы этой тенденции проявляются и при  $K_{обр} = -1.8$ , хотя они сглажены невысоким исходным количеством саккад в фиксационном повороте. Для  $K_{обр} > -1$  временные изменения в отношении количества саккад в фиксационном повороте были незначительны.

Обратимся теперь к количественным оценкам работы ГДС в условиях измененной обратной связи. На рисунке 7 нанесены значения  $K_{пр}$  для всех величин  $K_{обр}$  за исключением  $K_{обр} = -3.5$ . Эти значения подсчитаны по формуле (8) и усреднены для каждого угла поворота.



**Рис. 7.** Графики зависимости  $K_{пр}$  от угла поворота ( $\beta$ ) и от величины  $K_{обр}$ . Вертикальные черточки на графиках указывают значение среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ). Штриховая линия показывает значение  $K_{пр.опт}$ .

Вертикальные отрезки указывают величину среднеквадратического отклонения.

Сразу следует указать, что  $K_{пр}$  для всех  $K_{обр}$  мало зависит от угла поворота  $\beta$ . Это и понятно, так как ГДС является линейной, по крайней мере в диапазоне  $2,5^\circ - 10^\circ$ .

Далее, обращает на себя внимание то, что при  $K_{обр} < -1$  значения  $K_{пр}$  лежат ниже уровня  $K_{пр} = 1$ , а при  $K_{обр} > -1$  — несколько выше этого уровня. Таким образом, вопреки дискретной модели, которая описывает систему регуляции движений глаз как систему с постоянными параметрами, мы получили, что она реагирует на изменение

оптической обратной связи изменением коэффициента прямой связи. Как при  $K_{обр} < -1$ , так и при  $K_{обр} > -1$ , направление изменений  $K_{пр}$  зависит от величины  $K_{обр}$ . Во всех случаях изменения  $K_{пр}$  направлено в сторону сокращения позиционной ошибки, возникающей после очередной саккады.

Увеличение  $K_{пр}$  означает, что каждая саккада будет больше визуального угла до цели, а уменьшение  $K_{пр}$  обозначает сокращение амплитуды саккады по сравнению с визуальным углом. Следовательно, должны существовать условия, при которых точный поворот глаза будет состоять из одной саккады даже при изменении  $K_{обр}$ .

Оптимальное значение  $K_{пр}$  ( $K_{пр. оптим}$ ) можно получить из равенства

$$\Delta E_1 = A_1 - \beta, \quad (9)$$

где  $\Delta E_1$  — величина позиционной ошибки в установке глаза после первой саккады.

$$\text{Так как } A_1 = \alpha K_{пр}, \text{ а } \beta = \frac{\alpha}{K_{обр}},$$

то (9) можно записать как

$$\Delta E_1 = \alpha \left( K_{пр} - \frac{1}{K_{обр}} \right). \quad (10)$$

Если первая саккада является точной, то  $\Delta E_1 = 0$ , а  $\alpha \neq 0$ . Таким образом, из (10) следует, что

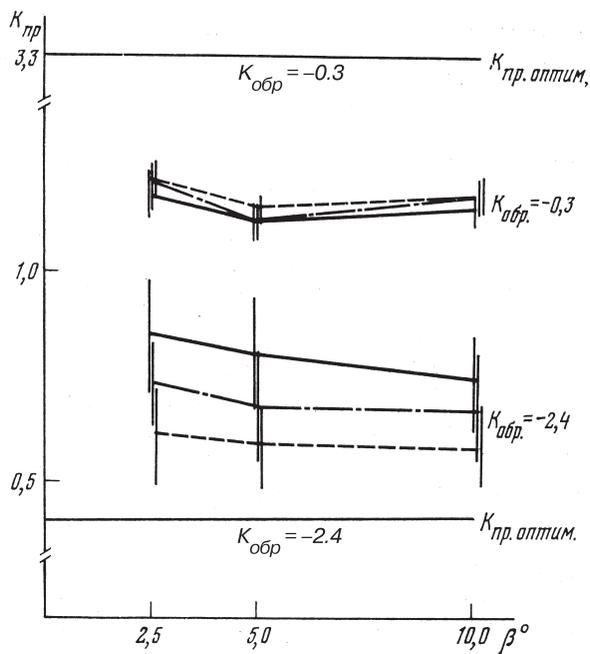
$$K_{пр. оптим} = -\frac{1}{K_{обр}}. \quad (11)$$

Значения  $K_{пр. оптим}$  отмечены на рисунке 7 пунктирной линией.

Учитывая те наблюдения, которые указывали на временные изменения параметров фиксационных поворотов, мы провели измерения  $K_{пр}$  для  $K_{обр} = -2.4$  и  $K_{обр} = -0.3$  через 5 и 10 мин после начала опыта.

Результаты этих измерений показаны на рисунке 8.

Можно сказать, что если для  $K_{обр} = -0.3$  значения  $K_{пр}$  почти не изменились во времени (заметна лишь легкая тенденция в направлении к  $K_{пр. оптим}$ ), то для  $K_{обр} = -2.4$  эта тенденция выражена значительно. Статистический анализ показал, что при  $K_{обр} = -2.4$ ,  $K_{пр}^{(0с)}$



**Рис. 8.** Графики зависимости  $K_{пр}$  от угла поворота ( $\beta$ ) и от длительности периода изменения  $K_{обр}$  для  $K_{обр} = -0.3$  и  $K_{обр} = -2.4$ . Вертикальные черточки на графиках указывают значение среднее квадратичного отклонения ( $\sigma$ ):

- 1–2 мин эксперимента,
- · — · — 5–6 мин эксперимента,
- — — — 10–11 мин эксперимента

значимо больше, чем  $K_{пр}^{(5c)}$  ( $p < 0.05$ ), а  $K_{пр}^{(5c)}$  превышает значение  $K_{пр}^{(10c)}$  ( $p < 0.10$ ). Для  $K_{обр} = -0.3$  различия между  $K_{пр}^{(0c)}$  и  $K_{пр}^{(5c)}$ , а также  $K_{пр}^{(0c)}$  и  $K_{пр}^{(10c)}$  незначимы.

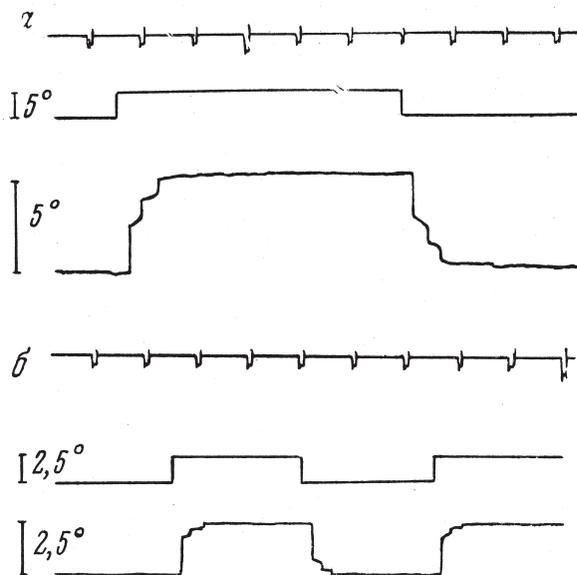
**Обсуждение результатов.** Полученные результаты можно суммировать следующим образом.

1. Фиксационный поворот при изменении величины  $K_{обр}$  осуществляется с помощью нескольких саккад, пространственно-временные параметры которых зависят от величины  $K_{обр}$ . При

- $K_{обр} > -1$  все саккады из фиксационного поворота направлены в одну сторону, а при  $K_{обр} < -1$  направление саккад чередуется. И в том, и в другом случае каждая последующая саккада имеет меньшую амплитуду, чем предыдущая.
2. Вопреки предсказаниям дискретной модели регуляции движений глаз, предел устойчивости глазодвигательной системы находится выше  $K_{обр} = -2.0$ . При  $K_{обр} = -2.4$  фиксационный поворот сразу имеет характер затухающих колебаний, а при  $K_{обр} = -3.5$  устойчивая фиксация наступает через несколько минут.
  3. Расширение диапазона устойчивости ГДС связано с изменением  $K_{пр}$  в направлении, обеспечивающем оптимизацию фиксационного поворота, уменьшение угла рассогласования между позицией глаза и целевого объекта. Изменение  $K_{пр}$  является реакцией системы на изменение  $K_{обр}$  и имеет определенную временную динамику, особенно выраженную для  $K_{обр} < -1$ .

По-видимому, главная причина отличия наших результатов от результатов Л. Янга и Л. Старка заключается в особенностях использованных способов изменения обратной связи. Отличаются они и от результатов Дж. Фоссиуса, хотя и совпадают с ними относительно сдвига предела устойчивости ГДС к величинам  $K_{обр} < -2$  и относительно изменения параметров повторных фиксационных поворотов. Отличие же заключается в том, что, по нашим данным, предел устойчивости ГДС лежит ниже значения  $K_{обр} = -3.5$  и что процесс изменения параметров фиксационных поворотов идет несколько медленнее.

Обнаруженные эффекты перестройки параметров работы ГДС, суммарным выражением которых является изменение  $K_{пр}$ , есть не что иное, как адаптивный сдвиг системы к новым условиям функционирования. Нам удалось получить и прямое подтверждение данного вывода. В нескольких дополнительных опытах с  $K_{обр} = -2.4$  и  $K_{обр} = -3.5$  были зарегистрированы движения глаз при смене точек фиксации сразу же после окончания основного эксперимента, после удаления оптической системы. Если ГДС не изменила свои параметры, то мы должны были получить фиксационный поворот, состоящий из одной саккады. Однако полученные записи (рисунок 9) показывают, что фиксационный поворот состоит в этом случае из двух-трех, а иногда из четырех однонаправленных саккад, что отражает последствие — уменьшение  $K_{пр}$ . Следовательно, можно утверждать, что ГДС не является системой с постоянными внутренними параметрами и может перестраивать, адаптировать их к изменившимся условиям.



**Рис. 9.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) при смене точек фиксации, сделанные сразу после 10-минутного опыта с  $K_{обр} = -2.4$  (а) и  $K_{обр} = -3.5$  (б). Вверху — стимул

Вероятно, наиболее интенсивный процесс адаптации при  $K_{обр} < -1$  связан с тем, что режим «перерегулирования» с последующим изменением направления движения глаз вообще не свойствен ГДС, а также тем, что уменьшение  $K_{пр}$  является более простым процессом, чем его увеличение. В первом случае достаточно просто притормозить или загрузить какой-то этап перекодирования зрительной стимуляции в моторную команду, а во втором — необходимо изыскать пути для усиления этого процесса.

Режим «недерегулирования» ( $K_{обр} > -1$ ) не требует экстренной перестройки еще и потому, что такая форма глазодвигательного ответа встречается и в естественных условиях, при созревании глазодвигательной системы в онтогенезе (Сергиенко, 2006), при фиксационных поворотах на угол более  $10^\circ - 15^\circ$  (Гуревич, 1971; Becker, 1976). Это не означает, однако, что адаптация здесь вообще невозможна — и опыт онтогенетического развития, и сдвиги  $K_{пр}$  в направлении

к оптимальному значению, зафиксированные в нашем эксперименте, говорят, что такая перестройка возможна, но она должна быть более длительной.

Следует также более подробно остановиться на фактах появления выраженных плавных движений глаз в процессе фиксационного поворота, которые вносят значительный вклад в уменьшение позиционной ошибки глаза относительно целевого объекта. Эти данные свидетельствуют против допущения о существовании особого эффективного стимула для плавных движений глаз, так как плавные движения возникают здесь при фиксации неподвижного объекта. Наряду с этим наличие плавных движений глаз, следующих сразу же после саккады и направленных именно в ту сторону, где находится целевой объект, позволяет предположить, что сигнал зрительной обратной связи непрерывно учитывается ГДС, а время «чистой» задержки меньше времени осуществления саккады. Зрительная обратная связь и является, по-видимому, тем механизмом, который запускает и регулирует процесс адаптивной перестройки параметров ГДС.

В противном случае адаптацию ГДС можно было бы попытаться объяснить, как это делает, например, Дж. Фоссиус, через гипотетический центральный механизм, оценивающий те позиционные ошибки глаз, которые возникают в процессе фиксационного поворота, и вводящий соответствующие поправки в  $K_{\text{пр}}$ . Для такого механизма решающее значение должна играть только абсолютная величина ошибки. Наши же результаты показывают, что два режима — «перерегулирования» и «недорегулирования», в процессе которых возникали сходные по величине позиционные ошибки глаза, — резко отличаются друг от друга по динамике процесса адаптации ГДС. Следует также указать, что фиксационный поворот глаз в условиях измененной зрительной обратной связи не сопровождался субъективным переживанием неточной фиксации, хотя величина позиционной ошибки глаза могла достигать  $4^\circ$ – $5^\circ$ . Таким образом, результаты эксперимента 1 не подтверждают гипотезу о существовании центрального механизма, вычисляющего величину изменения параметров ГДС.

В эксперименте 2 изучали частотные характеристики фиксационных поворотов глаз в условиях изменения величины зрительной обратной связи.

## ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Частотные характеристики фиксации поворотов глаз

Для исследования систем автоматического регулирования широко применяются методы частотного анализа, основанные на оценке амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик реакции системы в ответ на периодические изменения входного сигнала. Эти методы неоднократно применялись и к исследованию ГДС (Андреева и др., 1975; Duke-Elder, 1936; Robinson, 1965), однако все они использовались только в ситуации плавных (синусоидальных) колебаний входного сигнала, т.е. тестировали низкочастотные составляющие переходного процесса ГДС. Ответ ГДС на увеличение частоты колебаний характеризовался снижением амплитуды и увеличением фазового запаздывания, вплоть до срыва плавного прослеживания, определяющего границу устойчивости системы. В соответствии с теорией автоматического регулирования частота, при которой наблюдался срыв плавного прослеживания, зависела от величины обратной связи — ее уменьшение сопровождалось возможностью прослеживать более высокие частоты, тогда как при ее увеличении срыв происходил раньше, чем в обычных условиях.

Эквивалентным методом исследования является частотный анализ реакции системы при подаче прямоугольного периодического сигнала. Между тем, к ГДС такой метод, по известным нам литературным источникам, не применялся. Для нас использование прямоугольного периодического сигнала, или принудительного режима смены точек фиксации, имеет существенное значение, так как если справедливо развиваемое выше представление о едином механизме регуляции движений глаз, то следует ожидать, что и в этом режиме прослеживания частотные характеристики системы должны быть связаны с величиной зрительной обратной связи.

**Методика.** Предъявление и движение световой точки, служащей целевым объектом, осуществлялись тем же способом, что и в эксперименте 1. Точку перемещали в горизонтальной плоскости по прямоугольному периодическому закону. Тестировался частотный диапазон от 0.1 до 10 Гц при амплитуде колебаний точки  $5^\circ$ . В эксперименте приняли участие 3 испытуемых, каждый из которых участвовал в трех сериях опытов с  $K_{обр} = -1.8$ ,  $K_{обр} = -0.5$  и  $K_{обр} = -1$  (без изменения обратной связи).

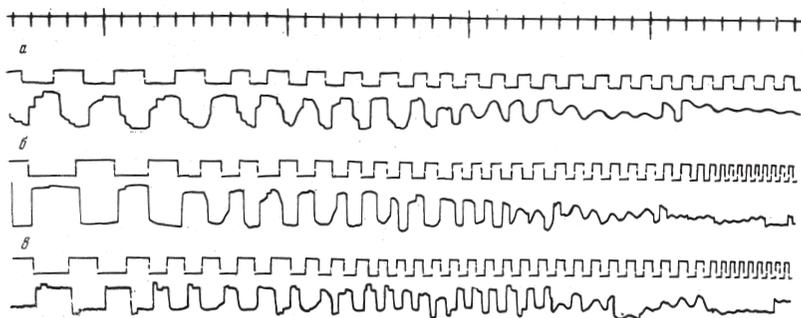
**Результаты.** Образцы записей движений глаз при прослеживании прямоугольных колебаний световой точки приведены на рисунке 10. Обращают на себя внимание следующие закономерности изменений фиксационных поворотов, связанные с увеличением частоты колебаний.

Прежде всего, это исчезновение коррекционных саккад при частоте около 0.5–1.0 Гц. В силу этого амплитуда движений глаз при  $K_{обр} = -1.8$  на данной частоте несколько превышала амплитуду движений глаз при  $K_{обр} = -1$ , которая, в свою очередь, была выше, чем при  $K_{обр} = -0.5$ .

При дальнейшем увеличении частоты, амплитуды движений глаз для всех значений  $K_{обр}$  падали, но их соотношение не менялось. Для  $K_{обр} = -0.5$  срыв прослеживания наступает при частоте около 1.5 Гц, для  $K_{обр} = -1$  — при 1.8–2.0 Гц, а для  $K_{обр} = -1.8$  — при 2.5 Гц.

Важно отметить (и это было довольно неожиданным результатом), что срыв прослеживания для всех  $K_{обр}$  характеризуется исчезновением саккадических движений и заменой их на плавные со скоростями до 5–10°/с. Следовательно, увеличение  $K_{обр}$  повышает устойчивость ГДС в режиме отслеживания сигнала, содержащего высшие гармоники. Этот результат хорошо согласуется с расчетом теории автоматического регулирования для систем с непрерывной обратной связью.

**Обсуждение результатов.** Основной результат эксперимента 2 состоит в доказательстве существенной роли зрительной обратной связи в регуляции движений глаз для режима прослеживания прямо-



**Рис. 10.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющих) при прослеживании прямоугольных колебаний стимула (вверху):

(а)  $K_{обр} = -0.5$ ; (б)  $K_{обр} = -1$ ; (в)  $K_{обр} = -1.8$

угольного периодического стимула, в котором доминирует саккадическая форма движений. Один из пунктов доказательства этого положения основывается на зависимости частоты срыва прослеживания от величины  $K_{\text{обр}}$ . Не менее важным аргументом является и факт перехода саккадических движений глаз в плавные при переходе через частоту срыва. Можно напомнить, что при прослеживании синусоидального гармонического сигнала имеют место обратные отношения — срыв плавного прослеживания сопровождается появлением саккадических движений глаз (Андреева и др., 1975; Fender, Nye, 1961). Наличие взаимопереходов саккадических движений глаз в плавные и плавных в саккадические без изменения типа входного сигнала, а только в связи с изменением его частоты, дает дополнительное доказательство того, что форма движений глаз определяется параметрами работы ГДС в целом, т.е. не только в цепи прямой, но и в цепи обратной связи, и не зависит однозначно от входного сигнала.

Таким образом, результаты эксперимента 2, так же как и результаты эксперимента 1, подтверждают модель ГДС как единой следящей системы с замкнутым контуром регулирования и непрерывным учетом сигнала зрительной обратной связи, причем время чистой задержки в ГДС, по всей вероятности, имеет величину меньше 40 мс.

Следует подчеркнуть, что время чистой задержки есть параметр состояния ГДС в процессе фиксационного поворота, т.е. в процессе перехода из неустойчивого состояния в устойчивое. Переход же ГДС из устойчивого состояния в неустойчивое представляет особое состояние, которое на языке теории автоматического регулирования может быть описано как изменение объекта регуляции. Отсюда становится понятным, что в обычных условиях, когда каждая саккада представляет собой отдельный фиксационный поворот, измеряют именно латентность ГДС в данном, особом состоянии. В то же время измерение межсаккадических интервалов для коррекционных саккад относится уже к измерению времени чистой задержки.

Можно также упомянуть в этой связи, что в следящих системах, наряду с параметрами коэффициентов прямой и обратной связи, могут меняться и временные параметры, что выражается в изменении быстродействия системы. Например, система с нулевой обратной связью работает медленнее, чем та же система с отрицательной обратной связью. По-видимому, этот факт должен быть учтен при интерпретации данных, полученных в условиях  $K_{\text{обр}} = 0$ .

Быстродействие системы может зависеть и от величины входного сигнала. Хорошей иллюстрацией этому положению служит рису-

нок 4, где ясно видно увеличение длительности межсаккадических пауз по мере сокращения позиционной ошибки глаза, причем минимальные значения этих пауз равнялись 30–35 мс.

В то же время переход ГДС из устойчивого состояния в неустойчивое не является собственно параметром ГДС (ее латентностью), а относится скорее к тем процессам и механизмам, которые опосредуют работу ГДС и ответственны за выбор объекта регулирования. В этом пункте особенно резко обозначаются границы, за которыми ГДС уже не может быть отождествлена с техническими системами автоматического регулирования, где объект регулирования задан достаточно определенно.

Механизмы, опосредующие функционирование ГДС, имеют собственно зрительную природу. В случае единственного светового объекта в полной темноте, при неожиданном появлении объекта или при движении объекта по периферии поля зрения автоматически срабатывает биологически закрепленная реакция зрительной фиксации, что и влечет за собой соответствующий ответ ГДС. Фундаментальный факт, доказывающий реальность существования такого зрительного механизма и в условиях рассматривания сложного, структурированного изображения, состоит в том, что глаз в этих условиях не застревает в оптическом или структурном центре изображения и не «приклеивается» к тому или иному объекту, а свободно перемещается по изображению, последовательно останавливаясь на наиболее информативных его участках, определяемых задачаей (Ярбус, 1959).

Одной из главных характеристик зрительного процесса, опосредующего выбор объекта регулирования для ГДС, является прием и оценка визуальной информации с точки зрения решаемой задачи. Другая его характеристика состоит в возможности пространственно-динамической настройки на объект фиксации, которая подчиняется произвольному управлению. Объект (зона) фиксации может иметь небольшие или значительные размеры и находиться в любом пространственном отношении к объекту предыдущей фиксации, что подтверждается сопоставлением субъективных отчетов испытуемых с количеством и распределением так называемых точек фиксации, получаемых на записи движений глаз. Кроме того, можно произвольно регулировать скорость изменения объекта фиксации. Так, при смене точки фиксации инструкция «перемещать взор медленно» приводит к появлению нескольких небольших саккад, тогда как при обычной (быстрой) фиксации возникает одна саккада, равная расстоянию между точками (Ярбус, 1965). Тот же

эффект имеет место и при варьировании инструкции медленно или быстро проследить взглядом линию (Гиппенрейтер, 1964).

Наконец, еще одной характеристикой этого зрительного механизма является интенсивность, или операциональная нагрузка, процесса просмотра. Как было показано Р. Штайнманом с соавт. (Steinman et al, 1973), при инструкции «держать фиксационную точку в поле зрения» микроскачки возникают значительно реже, чем при инструкции, требующей «жесткой» фиксации точки. С помощью, специальной инструкции можно добиться и изменения скорости плавного проследивания (Гиппенрейтер, Смирнов, 1971).

Мы, вслед за А. Сандерсом (Sanders, 1970), приняли для обозначения данного зрительного механизма термин «функциональное поле зрения». Его понятийными эквивалентами являются также «рабочее поле зрения» (Mackworth, 1965; 1976), «оперативное поле зрения» (Гиппенрейтер, 1964; Леонтьев, Гиппенрейтер, 1968), зона внимания (LaBerge, 1995). Все эти термины описывают пространственный зрительный механизм, который, наряду со своей основной функцией — приемом и переработкой визуальной информации, возможно, участвует в регуляции ГДС.

Почти все методы исследования функционального поля зрения (периметрия, тахистоскопия) адресованы к статическому, устойчивому положению глаза. О характеристиках же функционального поля зрения в процессе решения перцептивных задач и ориентировки в окружающем пространстве судят опосредованно — по координатам точек фиксации и амплитудам движений глаз.

Гораздо больше возможностей открывает в этом отношении оценка фиксационных поворотов глаз при рассматривании и выполнении других задач в условиях изменения величины зрительной обратной связи, что и явилось предметом исследования в эксперименте 3.

### **ЭКСПЕРИМЕНТ 3. Фиксационные повороты глаз в процессе решения перцептивных задач**

Фиксационный поворот глаз при изменении величины зрительной обратной связи представляет собой автоматизированный режим работы ГДС, отличающийся от фиксационного поворота в естественных условиях рассматривания тем, что он развернут как во временном, так и в пространственном отношении, и глаз лишь постепенно приближается к объекту фиксации. Совокупность же фиксационных поворотов

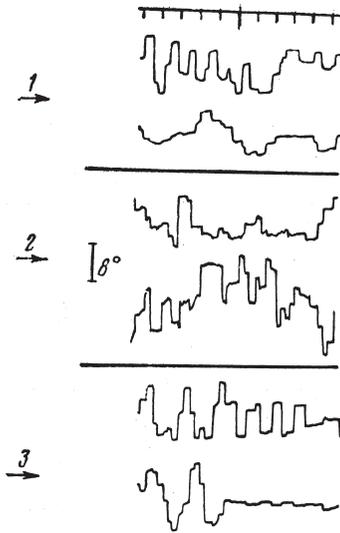
составляет ту форму окуломоторной активности, которая обслуживает решение подавляющего большинства зрительных задач (кроме тех, которые решаются за одну фиксацию). Поэтому нам чрезвычайно интересно было посмотреть, повлияют ли условия решения зрительной задачи на те устойчивые параметры фиксационного поворота, которые были получены при произвольных фиксациях. В том случае, если такие влияния, действительно, обнаружатся, специфика изменений фиксационного поворота может дать некоторую информацию о содержании зрительной фиксации, управляющей данным поворотом. Кроме того, эти данные могут оказаться полезными для рассмотрения отношений между зрительной системой и ГДС.

**Методика.** Световые изображения предъявлялись с помощью автоматического проектора на экран, находившийся на расстоянии 2 м от испытуемого. Смена кадров производилась экспериментатором после получения ответа о решении поставленной задачи. В описанных ниже опытах приняли участие шестеро испытуемых, трое из которых участвовали ранее в экспериментах с изменением величины зрительной обратной связи. Длительность каждого опыта была ограничена 1 мин во избежание наступления эффекта адаптации.

**Результаты.** Прежде всего мы предложили испытуемым простейшую задачу — свободное рассматривание сюжетного изображения (вид Ленинграда). Необходимо сразу отметить, что несмотря на изменение величины зрительной обратной связи испытуемые не усматривали различий этих условий с обычными условиями рассматривания — по крайней мере на вопрос экспериментатора о том, возникали ли в процессе рассматривания какие-либо трудности или необычные зрительные эффекты, они всегда отвечали отрицательно.

Записи движений глаза при  $K_{обр} = -1.8$ ,  $K_{обр} = -0.5$  и  $K_{обр} = -1$  приведены на рисунке 11. На них практически отсутствуют те закономерности фиксационных поворотов, которые были обнаружены при произвольных фиксациях световой точки в темноте. Только в очень редких случаях можно найти две-три саккады, по направлению и амплитудам которых можно сказать, что они относятся к одному фиксационному повороту. Все остальные саккады, по всей вероятности, должны быть интерпретированы как отдельные фиксационные повороты.

Чтобы убедиться, что сама по себе оптическая структура не влияет на параметры фиксационных поворотов глаз, мы указывали испытуемым две маленькие детали изображения и предлагали фиксировать их попеременно. Движения глаз при этом мало отличались от тех, которые возникали при поворотах на светящуюся точку в тем-

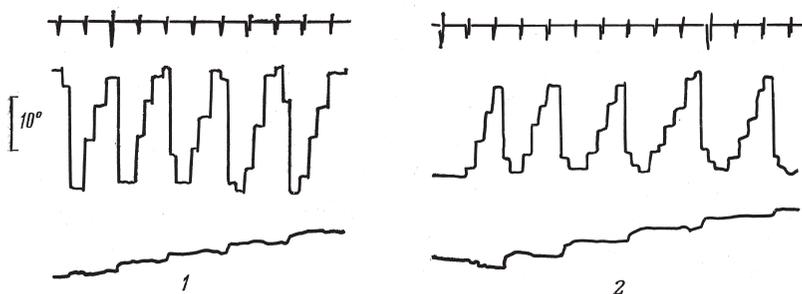


**Рис. 11.** Записи горизонтальной (*вверху*) и вертикальной (*внизу*) составляющих движений глаз при свободном рассматривании сюжетного изображения:  
 (1)  $K_{обр} = -1$ ; (2)  $K_{обр} = -1.8$ ; (3)  $K_{обр} = -0.5$

ноте. Отсюда ясно, что сама по себе оптическая структура не влияет существенно на характер фиксационных поворотов.

Как же в этом случае отнестись к фиксационным поворотам, состоящим, несмотря на изменение величины зрительной обратной связи, из одной саккады? Ведь такая саккада не может быть точной — ее ошибка как при  $K_{обр} = -1.8$ , так и при  $K_{обр} = -0.5$  составляет не менее 40% от ее амплитуды (см. рисунки 4 и 5). По-видимому, даже такая неточная саккада оказывалась достаточно эффективной с точки зрения решаемой задачи, а далее выбирался новый объект фиксации, на который и была направлена следующая саккада.

Аналогичный результат был получен и при задаче чтения текста. Процесс чтения однозначно задает направление движения взора вдоль строки, и движения глаз как при  $K_{обр} = -0.5$ , так и при  $K_{обр} = -1.8$  строго соответствовали этому направлению (рисунок 12). Единственно, на что влияет изменение зрительной обратной связи — это темп чтения: при  $K_{обр} = -1.8$  он несколько ускорен по сравнению с обычной скоростью чтения данного испытуемого, а при  $K_{обр} = -0.5$  замедлен.



**Рис. 12.** Записи движений глаз при чтении текста. *Вверху* — записи горизонтальной составляющей движений глаз, *внизу* — записи вертикальной составляющей движений глаз:

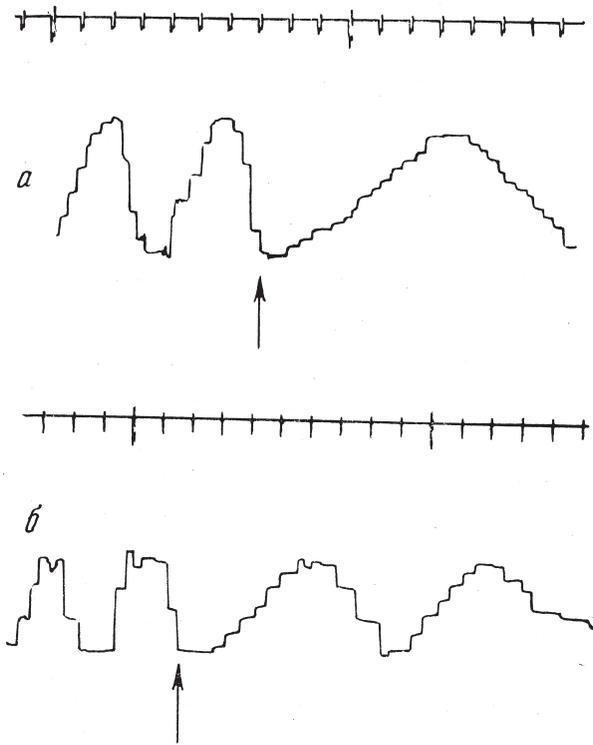
(1)  $K_{\text{обр}} = -1.8$ , (2)  $K_{\text{обр}} = -0.5$

Это становится понятным, если вспомнить, что при  $K_{\text{обр}} = -1.8$  глаз работает с перерегулированием и объем информации, которую приходится считать за одну фиксацию, увеличивается. При  $K_{\text{обр}} = -0.5$  этот объем уменьшается, так как глаз не доходит до той точки, на которую был направлен взор.

Сходные записи получены и при выполнении задачи прослеживания взором линии (рисунок 13). При  $K_{\text{обр}} = -1.8$  саккады однонаправлены и имеют большую амплитуду, чем при  $K_{\text{обр}} = -0.5$ . В ответ на команду «замедлить темп прослеживания» амплитуды саккад в обоих случаях уменьшились, но их отношение друг к другу осталось прежним.

Наиболее интересные записи были получены при задаче поиска фигуры — восьмисегментной звездочки с заданным индексом — среди других аналогичных фигур ( $K_{\text{обр}} = -2.4$ ), размещенных случайным образом в матрице  $30^\circ \times 30^\circ$ . Образец стимульного материала изображен на рисунке 14а. Индекс фигуры указывался точкой в одном из сегментов. Фигура \* получала индекс 1, \* — 2 и т. д. по часовой стрелке до 8. Предъявляли два типа стимульных матриц — с большими ( $4^\circ$ ) и малыми ( $1^\circ$ ) фигурами.

Решение данной задачи включало последовательность фиксационных поворотов, каждый из которых был направлен к одной из фигур. Однако точность фиксационных поворотов и, соответственно, их длительность не была одинаковой для всех фигур — она зависела как от размера фигур (для малых поворот состоял в среднем из трех-четырех саккад, для больших — из одной-двух), так и от бли-

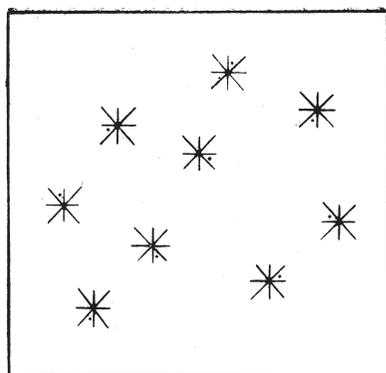


**Рис. 13.** Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) при выполнении задачи прослеживания взглядом по линии. Стрелкой обозначен момент подачи команды прослеживать как можно медленнее:

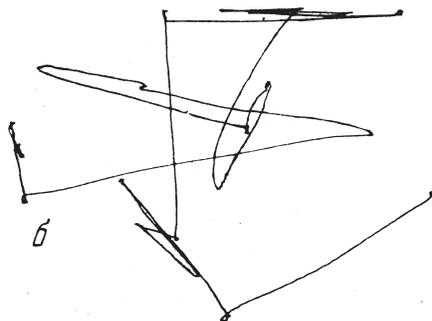
(а)  $K_{\text{обр}} = -0.5$ ; (б)  $K_{\text{обр}} = -1.8$

зости искомого индекса к индексу рассматриваемой в данный момент фигуры, т.е. определялись перцептивной сложностью опознания (рисунок 14б, в).

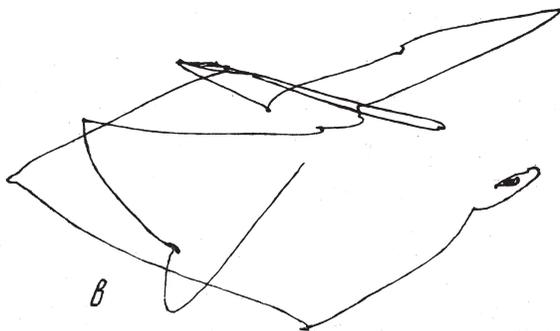
**Обсуждение результатов.** Полученные результаты показывают, что работа ГДС по точному наведению фовеальной области сетчатки на объект фиксации, являющаяся ее основной биологической функцией, действительно, находится под контролем функциональной системы более высокого порядка, а именно: зрительно-гностической



*a*



*б*



*в*

**Рис 14.** Образец стимульного материала (*a*) и пространственная развертка движений глаз при поиске на данной матрице фигуры с индексом «5» среди малых ( $1^\circ$ ) фигур (*б*) и при поиске фигуры с индексом «3» среди больших ( $4^\circ$ ) фигур (*в*).  $K_{\text{обр}} = -2.4$

системы, определяющей динамику смены объектов фиксации в соответствии с требованиями задачи и ходом ее решения. Ведущая роль перцептивного процесса по отношению к фиксационному повороту; глаз проявляется, прежде всего, во влиянии операциональных и пространственных характеристик продуктивного акта восприятия на точность фиксационного поворота, а также в том, что завершение акта восприятия приводит к окончанию данного поворота безотносительно к тому, куда направлена в данный момент фовеальная область сетчатки.

Эти результаты позволяют представить структуру перцептивно-моторных отношений в зрительной системе человека в самом общем виде следующим образом. Среди всего поля стимуляции, поступающей на сетчатку глаза, зрительная система отбирает и выделяет лишь ту ее часть, которая представляет повышенный актуальный интерес. Пространственные координаты этой части стимуляции (деталь изображения, зона) определяют границы функционального поля зрения и становятся объектом регулирования для ГДС, а сетчаточная проекция данного объекта относительно фовеа — эффективным стимулом, запускающим фиксационный поворот глаз. Поскольку частота движений глаз должна быть не реже трех в 1 с, чтобы предотвратить угасание зрительного ощущения (Зинченко, Вергилес, 1969), а сам акт восприятия может длиться и дольше, чем 300 мс, то в таком случае фовеализация объекта фиксации сможет создать наиболее благоприятные условия для его различения и опознания. Однако, по-видимому, фовеализация объекта фиксации не является решающим условием для его адекватного восприятия, как это явствует из результатов эксперимента 3, где зрительные задачи успешно решались при систематической ошибке наведения глаз.

Таким образом, использование метода изменения величины зрительной обратной связи при решении перцептивных задач оказалось весьма продуктивным и позволило выявить некоторые существенные характеристики динамического зрительного механизма — функционального поля зрения.

Можно высказать уверенность, что данный метод имеет большие перспективы именно для исследования функционального поля зрения. В частности, можно предположить, что величина позиционной ошибки глаз, при которой наступает адекватное опознание объекта фиксации, несет информацию о размерах функционального поля зрения, а точка, в которую направлен фиксационный поворот, — о локализации центра функционального поля зрения.

## Заключение

1. Исследование фиксационных поворотов глаз в условиях изменения величины зрительной обратной связи показало, что диапазон устойчивости ГДС шире, чем предсказывает дискретная модель Л. Янга и Л. Старка. Нижняя граница этого диапазона определяется, по-видимому, наличием хотя бы минимальной величины отрицательной обратной связи (по нашим данным, он лежит между  $K_{обр} = 0$  и  $K_{обр} = -0.3$ ). Верхняя граница находится между  $K_{обр} = -2.4$  и  $K_{обр} = -3.5$ .
2. Обнаружен эффект адаптивной перестройки внутренних параметров ГДС, развитие которого во времени зависит от направления изменения  $K_{обр}$ . При  $K_{обр} < -1$  этот процесс идет достаточно быстро и его можно зарегистрировать уже через 5–10 мин после изменения  $K_{обр}$ , тогда как при  $K_{обр} > -1$  за это время можно зарегистрировать лишь следы этой тенденции. Достоверность факта перестройки параметров ГДС подтверждается наличием последствия при возвращении  $K_{обр}$  к исходной величине. Направление изменения внутренних параметров ГДС (или  $K_{пр}$ ) указывает на то, что ГДС стремится восстановить оптимальный режим работы, при котором коэффициент усиления всей системы ( $K_{пр} * K_{обр}$ ) равен  $-1$ .
3. Наличие адаптивных изменений ГДС и при  $K_{обр} = -3.5$  позволяет предположить, что с учетом этих изменений диапазон устойчивости ГДС фактически гораздо шире, чем это можно обнаружить по первому фиксационному повороту.
4. Данные о диапазоне устойчивости ГДС, наличие адаптации ГДС, появление в фиксационном повороте как саккадических, так и плавных движений глаз, выполняющих одну и ту же функцию, зависимость частоты, при которой происходит срыв прослеживания периодического прямоугольного сигнала, от величины  $K_{обр}$ , взаимопереходы саккадических движений в плавные и плавных в саккадические при неизменном типе сигнала убедительно свидетельствуют в пользу утверждения о непрерывности поступления сигнала зрительной обратной связи на вход ГДС, причем время «чистой» задержки на прохождение информации по внутреннему контуру ГДС, по-видимому, достаточно мало, чтобы этот сигнал мог включиться в реализацию самых быстрых, саккадических движений глаз.

5. Зрительная система задает объект регулирования для ГДС и управляет изменением и выбором этого объекта, в чем проявляется активная, опосредующая роль зрительного восприятия по отношению к ГДС. Адекватными понятиями для описания характеристик зрительного механизма, непосредственно связывающего зрительную систему и ГДС, являются функциональное поле зрения и поле внимания.

## СЕЛЕКТИВНОЕ ВНИМАНИЕ И РЕГУЛЯЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

Многие виды человеческой деятельности включают в себя зрительную ориентировку и зрительный поиск, необходимым компонентом которых являются движения глаз. Поэтому не случайно, что параметры движений глаз входят во многие концептуальные построения, относящиеся к зрительному гнозису. Широко используются они и как индикатор динамики психических процессов.

Решение круга вопросов о роли и репрезентативности движений глаз тесно связано с представлениями о механизмах, определяющих их пространственные и временные характеристики. Современные модели регуляции движений глаз описывают их как рефлекторную реакцию на неожиданное появление в поле зрения светового стимула, а саму глазодвигательную систему (ГДС) рассматривают по аналогии с техническими системами автоматического регулирования, поскольку для нее можно указать сигналы входа, выхода и ошибки (Андреева и др., 1975; Bouma, 1978; Rexroad, 1928; Young, Stark, 1963). Входом ГДС является зрительное направление на целевой объект (стимул), выходом — направление оптической оси глаза, проходящей через фовеа, а ошибка есть угол рассогласования между этими двумя направлениями. ГДС отрабатывает сигнал ошибки таким образом, чтобы он стал равен нулю, т.е. чтобы проекция целевого объекта попала в фовеа. При достижении нулевой ошибки ГДС переходит в устойчивое состояние. Поскольку ГДС охвачена контуром обратной связи (сигнал выхода влияет на сигнал входа), то она относится к классу следящих систем.

На пути использования методов теории автоматического регулирования, в частности метода трансформации величины и знака зрительной обратной связи (Движение глаз ..., 1978) выявлены важные характеристики передаточной функции ГДС; показано, что она обладает адаптивными свойствами и последствием. Есть здесь и нерешенные проблемы: имеет ли ГДС отдельные подсистемы для сак-

кадических и плавных движений глаз (аргументы «за» и «против» суммированы в (Белопольский, Вергилес, 1979); каково время «чистой» задержки сигнала в ГДС (Андреева и др., 1975; Белопольский, 1978а; Robinson, 1975; и др.). Главное, что здесь нужно отметить, однако, состоит в том, что объектом моделирования при таком подходе является собственно переходный процесс ГДС, т.е. переход из неустойчивого состояния в устойчивое в результате поворота глаз.

Не менее важный, а с точки зрения практического использования записей движений глаз, пожалуй, даже более важный аспект регуляции движений глаз связан с фазой, когда ГДС теряет устойчивость. Выведение систем автоматического регулирования из устойчивого состояния происходит под воздействием внешних помех или внутренней нестабильности. Применительно к ГДС это означает, что сигнал ошибки необходимо возникает при изменении пространственной позиции стимула или под действием тонической нестабильности глазных мышц. Многочисленные данные действительно показывают, что и при задаче наблюдать за движущимся или вновь появившимся объектом, и при длительной фиксации неподвижного объекта ГДС закономерно теряет устойчивость и отрабатывает возникшую ошибку.

Но эти ситуации не описывают полностью условия возникновения глазодвигательной активности. Более общим случаем является регулярный переход ГДС из устойчивого состояния в неустойчивое при рассматривании неподвижного структурированного изображения (сцены, окружения). Хорошо известно, что глаза не остаются фиксированными в направлении оптического «центра тяжести» такого изображения, как следовало бы ожидать, если принять в расчет лишь суммарные позиционно-энергетические параметры стимуляции на входе ГДС. Напротив, хотя траектория движений глаз и привязана к конфигуративным, цветовым и другим физическим особенностям объектов, она прежде всего определяется их содержанием: степенью новизны, привлекательности, неопределенности, информативности для наблюдателя; в ней отражаются привычки и опыт субъекта, его эмоциональное состояние, и все эти факторы в целом находятся под контролем решаемой субъектом задачи (инструкции) (Гиппенрейтер, 1978; Brandt, 1940; Buswell, 1935; Loftus, 1972; Mackworth, Bruner, 1970; Mackworth, Morandi, 1967; Williams, 1967).

Важно отметить, что в ситуациях рассматривания и поиска сам переходный процесс ГДС сохраняет, видимо, амплитудно-скоростные характеристики, описываемые моделью следящей системы (Андре-

ева и др., 1972; ). Но остается открытым вопрос: какой же внутренний процесс постоянно, с частотой 3–4 раза в 1 с, выводит ГДС из устойчивого состояния при отсутствии изменений в оптической структуре, находящейся в поле зрения? С помощью какого механизма выбирается визуальная цель (каждый раз новая) среди множества потенциальных объектов фиксации? «О механизмах такого выбора пока что почти ничего не известно» (Леушина, 1971, с. 71),— читаем мы в одном из руководств по сенсорной физиологии. С этим мнением перекликается и вывод ведущих специалистов в области психологии восприятия: «Механизмы, отвечающие за вычисление направления и амплитуды движения [глаз] по данным, заключенным в зрительном изображении, не выяснены» (Линсдей, Норман, 1974, с. 176). Обычно этот механизм обозначают термином «зрительное внимание»: объект привлек внимание, внимание переместилось с одного фрагмента изображения на другой и т. д. Таким образом, целенаправленность движений глаз пытаются связать с динамикой внимания. Но простого указания на процесс внимания здесь явно недостаточно, поскольку внимание традиционно определяют через объекты (объект), на которые направлена деятельность субъекта и которые находятся в «фокусе» его сознания. Между тем для управления ГДС необходим сигнал, отсчитываемый не от объекта, определяемого содержательно, а от точки пространства с определенными координатами. Следовательно, возникает проблема: как связана содержательная селективность внимания, открывающаяся, например, в самонаблюдении, с пространственной селективностью внимания, приводящей к формированию сигнала на входе ГДС?

*Цель* описанного далее исследования состояла в изучении зрительного внимания как процесса, включенного в регуляцию движений глаз. Исходным пунктом работы послужила гипотеза о существовании пространственной зоны актуального внимания, охватывающей не все объекты, находящиеся в поле зрения, а лишь те, на которые внимание направлено в настоящий момент времени. Мы предположили, что размеры и пространственная позиция зоны актуального внимания подвержены периодическим изменениям, и только та визуальная стимуляция, которая попадает в зону актуального внимания, учитывается при формировании сигнала рассогласования на входе

---

<sup>1</sup> Ниже, употребляя термин «зона внимания», мы будем иметь в виду зону актуального внимания.

ГДС, обрабатываемого ею по законам следящей системы позиционного контроля с зрительной обратной связью.

Основная *задача* исследования заключалась в том, чтобы показать, что избирательность движений глаз по отношению к стимульному паттерну непосредственно обусловлена динамикой зоны внимания. Вторая, более конкретная задача состояла в оценке пространственной позиции той точки внутри зоны внимания, координаты которой вводятся в ГДС. Обозначим эту точку как центр зоны внимания. Следовало ответить на вопрос, в какой степени позиция центра зоны внимания детерминирована стимульными параметрами объектов внимания и в какой может задаваться произвольно. Наконец, третья задача состояла в одномоментном соотнесении пространственных позиций зоны внимания и зоны собственно восприятия: существует мнение, что они не совпадают и внимание лишь указывает место будущей фиксации (Лурия и др., 1961; Ярбус, 1965).

В качестве методического приема была использована стабилизация рассматриваемого изображения относительно сетчатки глаза. Показано, что условия стабилизации не препятствуют возможности переноса внимания при наличии достаточно сложного изображения, симметричного относительно фовеа (Зинченко, Вергилес, 1969; Rexroad, 1928). (Интересно, что этот эффект сначала отнесли к ряду экстраординарных.) Динамика внимания выступает здесь как бы в «чистом» виде, без изменений сенсорного паттерна на входе зрительной системы. Это делает метод стабилизации сетчаточного изображения удобной экспериментальной моделью для систематического изучения взаимосвязи внимания и движений глаз (см. Баранчиков, Зубко, 1980).

ГДС в режиме стабилизации сетчаточного изображения работает с нулевой обратной связью. Это означает, что при однозначном и неизменном входном сигнале ГДС (точечный стимул на темном или однородном фоне) фиксационные повороты глаз не будут уменьшать сигнал ошибки и приобретают следующие закономерности (см. Андреева и др., 1975; Heywood, Churcher, 1971, 1972; Kommerell, Täumer, 1972): а) при эксцентриситете целевого объекта  $< 6^\circ$  (по другим данным,  $< 3^\circ$ ) поворот глаз в его сторону осуществляется почти исключительно с помощью плавных движений; б) при увеличении эксцентриситета объекта на плавные движения глаз накладываются саккады; в) скорость плавных движений глаз почти линейно возрастает от 3–5 до  $20^\circ/\text{с}$  при увеличении сетчаточного эксцентриситета объекта или его относительной яркости (контраста); г) максимальная амплитуда отклонения глаз

от центральной позиции в орбитах составляет  $15^{\circ}$ – $25^{\circ}$ , и ее величина прямо пропорциональна эксцентриситету объекта. Таким образом, по направлению, типу и кинематическим характеристикам движений глаз в условиях сетчаточной стабилизации изображения открывается возможность судить о сигнале на входе ГДС, т.е. о позиции центра зоны внимания. Поскольку в условиях стабилизации фиксационный поворот глаз занимает значительно больше времени (до нескольких секунд), чем в обычных условиях, это открывает уникальные методические возможности для выявления временной динамики зоны внимания и сопоставления ее с отдельными глазодвижительными и перцептивными актами.

В своем экспериментальном исследовании мы руководствовались следующими методическими принципами:

1. Были предъявлены стабилизированные стимульные конфигурации с заранее известными сетчаточными координатами. Число стимулов было ограничено (не больше 2), и они располагались на некотором расстоянии друг от друга, чтобы облегчить выделение объекта внимания.
2. Почти все стимульные конфигурации (за исключением одной) имели амбивалентную структуру, т.е. они были локализованы на горизонтальном меридиане сетчатки и занимали позиции с обеих сторон от фовеа. Исходной формой стимуляции была равновесная структура, оптический «центр тяжести» которой приходился на фовеа. Возникающие при рассматривании такой структуры движения глаз в том или ином направлении призваны были служить индикатором смещения зоны внимания на соответствующий объект.
3. Использовали и неравновесные стимульные конфигурации, «центр тяжести» которых был сдвинут относительно фовеа. По характеристикам движений глаз судили, в какой степени позиция зоны внимания зависит от структуры оптической стимуляции.

## Методика

Для стабилизации изображений на сетчатке использовали структурированную яркую вспышку света, вызывавшую последовательные образы (ПО). Этот способ стабилизации прошел всестороннюю проверку в ряде исследований и доказал свою эквивалентность другим

способам стабилизации, по крайней мере при изучении сопутствующей глазодвигательной активности (ср. Андреева и др., 1975 и Heywood, Churcher, 1972; Kommerell, Täumer, 1972). Наряду с простотой и удобством для испытуемого, преимуществом ПО является возможность точно контролировать позицию каждого стимула на сетчатке. При этом ПО могут быть достаточно сложными и наблюдаться в течение нескольких десятков секунд.

**Аппаратура.** ПО вызывали вспышкой фотостимулятора ФС-2, в схему которого была подключена дополнительная емкость 1400 мФ для увеличения разряда стробоскопа до 100–120 Дж. Матовое стекло фотостимулятора закрывали светонепроницаемой маской с вырезанными в ней отверстиями. Изменение стимульной конфигурации достигали путем смены маски. На маске от внешнего проектора высвечивали небольшую (5') тусклую световую точку, служившую для фиксации взора перед подачей вспышки. Позицию ПО относительно фовеа устанавливали путем соответствующего расположения вырезов в маске и точки фиксации. Расстояние от наблюдателя до фотостимулятора составляло 28.5 см. Регистрацию движений глаз вели электромагнитным способом (Зинченко, Вергилес, 1969). Горизонтальные и вертикальные составляющие движений глаз записывали на бумажную ленту на полиграфе RM-85 (Япония) и на магнитную ленту на регистраторе данных DTR-1204 (Япония). Одновременно регистрировали реакции испытуемого, подаваемые нажатием на кнопку.

**Стимулы.** Использовали следующие стимульные конфигурации:

- а) ПО двух кругов, расположенных на горизонтальном меридиане сетчатки с противоположных сторон от фовеа. Равновесная конфигурация включала круги равного размера (по  $2^\circ$  в диаметре), центры которых отстояли от фовеа на расстоянии  $4^\circ$ . Неравновесная конфигурация состояла или из одинаковых кругов ( $2^\circ$ ), равноудаленных от фовеа (на  $2^\circ$  и на  $6^\circ$ ), или кругов разного размера ( $1^\circ$  и  $2^\circ$  в диаметре), удаленных от фовеа на одно и то же расстояние ( $4^\circ$ ).
- б) ПО одного круга. Он был центрирован относительно фовеа (размеры круга  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $50^\circ$  в диаметре) или смещен относительно центра фовеа на  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $4^\circ$  или  $5^\circ$  (размер круга  $1^\circ$  в диаметре).

в) ПО двусмысленной фигуры «лицо Шафер – Мурфи» (Lindauer, Baust, 1974). Размер фигуры –  $10^\circ$  в диаметре, она была центрирована относительно фовеа.

Схематическое изображение всех стимульных конфигураций представлено в верхней части рисунков 1–4.

**Испытуемые.** В опытах участвовали трое испытуемых (мужчины) в возрасте от 20 до 36 лет с нормальным зрением, Все они ранее принимали участие в экспериментах с регистрацией движения глаз. С явлением последовательного образа впервые познакомились в процессе подготовки к данному эксперименту.

**Процедура.** Испытуемого помещали в светонепроницаемую камеру со звуковой изоляцией, экспериментатор общался с ним через переговорное устройство. Подвижность головы испытуемого ограничивали подбородником и рамкой с височными зажимами. После 10 мин темновой адаптации на правый глаз испытуемого устанавливали присоску с излучателем для регистрации движений глаз. Наблюдение во всех случаях велось бинокулярно, так как это увеличивает длительность сохранения четкого ПО. После калибровки записи движений глаз зажигали фиксационную точку. Предупреждающий сигнал (звук) подавали за 1 с до вспышки, и испытуемый должен был по этому сигналу сосредоточиться на фиксационной точке. Одновременно со вспышкой фиксационная точка гасла. ПО наблюдали в полной темноте. На подлокотнике кресла имелась кнопка, нажатием на которую испытуемый сообщал об исчезновении ПО. При восприятии двусмысленной фигуры нажатием на кнопку испытуемые сообщали об изменении перцептивной версии фигуры.

Предварительно все испытуемые получали несколько тренировочных проб для ознакомления с явлением ПО, со сменой фаз ПО, их цвета и т. д. Длительность опыта ограничивалась видимостью ПО, но не превышала обычно 3–4 мин. Все наблюдения и приводимые ниже записи движений глаз соответствуют первой позитивной фазе восприятия ПО, которая длилась 30–50 с. Поскольку для полного угасания ПО нужно не менее 10 мин, каждый опыт состоял из однократного предъявления той или иной стимульной конфигурации. С каждым испытуемым было проведено 10–12 опытов.

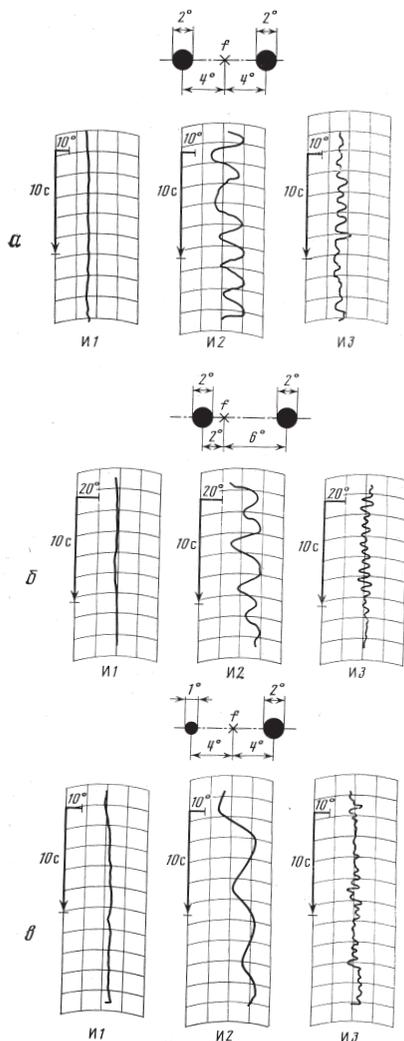
**Инструкции.** Для ПО двух кругов: смотреть на оба круга одновременно (И1); смотреть медленно на один круг, затем на другой и т. д. (И2); то же самое, но быстро (И3). Для ПО центрального круга: смотреть на круг таким образом, чтобы он начал раскачиваться из стороны в сторону с максимальной амплитудой. Для ПО экстрафовеального круга: попробовать удержать круг неподвижным; попытаться плавно сместить круг влево, т. е. в сторону, контралатеральную по отношению к эксцентриситету ПО. Для ПО двусмысленной фигуры: рассматривать фигуру и отмечать нажатием на кнопку изменения в восприятии лиц — когда восприятие правого лица сменяет восприятие левого и наоборот.

## Результаты

**ПО двух кругов: равновесная стимульная конфигурация.** Примеры записей движений глаз для И1, И2 и И3 даны на рисунке 1а. При инструкции смотреть на оба ПО одновременно (И1) отмечены лишь незначительные медленные колебания глаз с амплитудой  $2-4^\circ$ . По скорости эти движения были сопоставимы с фиксационным дрейфом —  $15-30$  угл. мин/с. Иная картина глазодвигательной активности наблюдалась при инструкции медленно перемещать внимание с одного ПО на другой (И2). Плавные движения глаз, имевшие преимущественно горизонтальное направление, приняли ритмический колебательный характер с частотой смены направления  $0.3-0.5$  Гц и амплитудой  $20^\circ-30^\circ$ . Скорости плавных движений глаз в обе стороны мало отличались друг от друга и укладывались в диапазон  $12-16^\circ/с$ . Требование увеличить частоту переключения внимания (И3) выразилось в учащении плавных колебаний глаз до  $1.5-2$  Гц и падении их амплитуды до  $5^\circ-10^\circ$ . Плавные движения глаз несколько утратили при этом свою равномерность, хотя их максимальные скорости укладывались в тот же диапазон, что и при И2. Отмечено также незначительное увеличение процента саккадических движений глаз, но в целом число саккад не превышало  $4-5$  за  $10$  с.

При И2 и И3 испытуемые видели плавное движение ПО, направление которого менялось в зависимости от объекта внимания: при обращении внимания на правый ПО стимулы двигались вправо и наоборот. При И1 стимульная конфигурация воспринималась как неподвижная.

Таким образом, движения глаз в условиях стабилизированного паттерна сетчаточной стимуляции оказались чувствительны к дина-



**Рис. 1.** Записи горизонтальных движений глаз при рассматривании двух локальных последовательных образов, а, б, в:

*вверху* — схематическое изображение стимульной конфигурации в координатах сетчатки ( $f$  — фовеа), *внизу* — результаты выполнения трех разных инструкций. И1 — смотреть на оба круга одновременно; И2 — смотреть сначала на один круг, затем на другой и т. д. (медленно); И3 — делать то же самое, только быстро

мике зоны внимания. Зона внимания могла включать либо оба ПО — тогда ее центр проецировался на область фовеа и ГДС длительное время сохраняла устойчивое состояние, либо зона внимания смещалась на какой-либо из эксцентричных ПО — в этом случае другой ПО не участвовал в формировании глазодвигательного ответа, который характеризовался наличием постоянного сигнала на входе ГДС. Исходя из скорости плавных движений глаз в установившемся режиме, можно рассчитать, что центр зоны внимания совпадал в этот период времени с сетчаточной позицией центра ПО. Из сравнения результатов при И2 и И3 следует, что амплитуда отдельного поворота глаз определяется прежде всего тем временем, в течение которого внимание удерживается на экстрафовеальном ПО — чем дольше длится акт внимания, тем больше его амплитуда.

***ПО двух кругов: неравновесная стимульная конфигурация.***

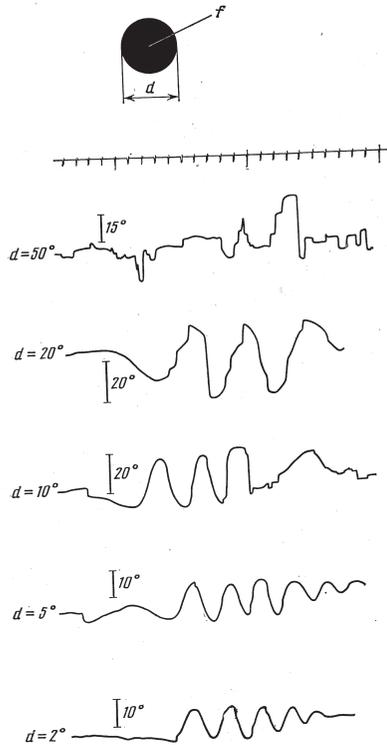
Типичные записи движений глаз для равноудаленных от фовеа одинаковых ПО представлены на рисунке 1б, а для ПО разных размеров — на рисунке 1в. Во всех этих ситуациях доминировали горизонтальные движения глаз. При выполнении И1, требующей фиксировать одновременно оба ПО, не было отмечено выраженной глазодвигательной активности. Зарегистрированы лишь дрейфовые движения глаз с некоторой тенденцией к смещению позиции глаз в сторону более удаленного ПО или ПО большего размера. Амплитуда отклонения глаз от исходной позиции составляла не более  $4-6^\circ$  за 10 с. При попеременном обращении внимания на каждый из ПО (И2) глаза включались в высокоамплитудный колебательный режим, причем скорость движения глаз в сторону более удаленного ПО (или ПО большего размера) была, соответственно, в 1.5–2 (2–2.5) раза выше ( $10-20^\circ/\text{с}$ ), чем в противоположную сторону ( $5-12^\circ/\text{с}$ ). Поскольку объекты внимания менялись ритмично, то средняя за период позиция глаз в орбитах постепенно смещалась в сторону более «мощного» (в позиционно-энергетическом смысле) объекта. Амплитуда колебаний глаз в крайнем положении была меньше, чем в центральном. В случае более частого (1.5–2.5 Гц) изменения объекта внимания при И3 асимметрия скоростей была выражена в значительно меньшей степени, чем при медленном, и практически отсутствовали закономерные изменения позиции глаз в орбитах. Видимые движения ПО коррелировали с характером глазодвигательной активности.

Относительно устойчивая позиция глаз при обращении внимания на всю неуравновешенную, амбивалентную стимульную кон-

фигурацию показывает, что зона внимания была центрирована в этот момент на сетчатке. Смещение зоны внимания на определенный экстрафовеальный ПО запускало плавные равномерные движения глаз в соответствующую сторону. Как и предсказывает модель следящей системы, на увеличение сетчаточного эксцентриситета либо относительного размера (энергии) фиксируемого стимула ГДС реагировала пропорциональным изменением скорости движения; параметры же другого стимула не оказывали влияния на движения глаз. Частота перемещения зоны внимания с одного ПО на другой могла меняться в широких пределах. Следовательно, пространственной динамикой зоны внимания можно управлять произвольно и в случае неравновесного сетчаточного паттерна стимуляции — для этого достаточен лишь сам факт наличия нескольких локальных объектов в поле зрения.

**ПО центрального круга.** Выясняли вопрос — может ли внимание быть избирательным и по отношению к одиночному локальному объекту. На рисунке 2 представлены записи движений глаз при рассматривании ПО центрального круга разных размеров:  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $50^\circ$  в диаметре. Для всех центральных кругов (кроме ПО  $50^\circ$ ) начало рассматривания характеризовалось периодом незначительной глазодвигательной активности, длящимся обычно тем дольше, чем меньше размер круга. После этого следовал период «раскачки», когда глаза начинали медленное движение в каком-либо направлении, чаще по горизонтали, но нередко и по косой, с выраженной вертикальной составляющей. После 1–2 циклов «раскачки» глаза включались в периодический колебательный режим, частота которого мало зависела от размера круга. Напротив, скорость и амплитуда плавных движений глаз пропорционально увеличивались с возрастанием размера круга. При рассматривании самого большого из использованных ПО центрального круга ( $50^\circ$ ) плавные движения глаз, характерные для условий стабилизации, отсутствовали вовсе — были зарегистрированы исключительно саккадические движения.

По самоотчетам испытуемых им не сразу удавалось вывести ПО круга из неподвижного состояния и увидеть его колебательные перемещения из стороны в сторону, как этого требовала инструкция, а для кругов максимального размера ( $50^\circ$ ) все такие попытки вовсе оказались безуспешными. Испытуемые также сообщали, что, добиваясь «раскачки» видимого круга, они смотрели на него «периферией внимания», «краем глаза», а в случае небольших кругов концентрировали внимание на области темного пространства, непосредствен-



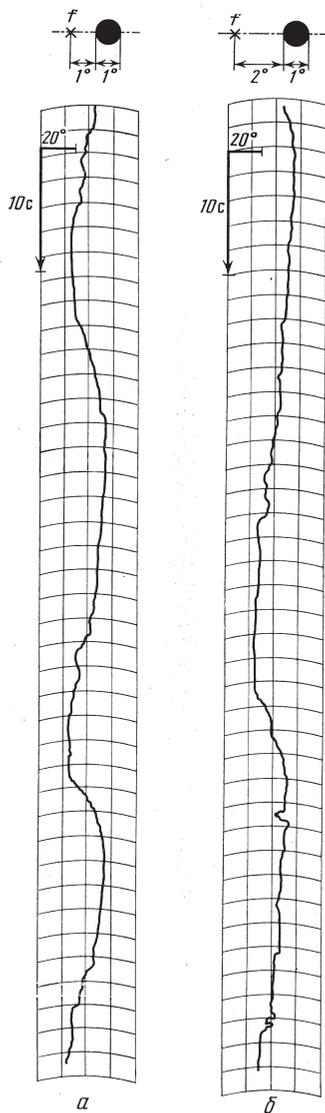
**Рис. 2.** Записи горизонтальных движений глаз при рассматривании последовательного образа центрального круга:  
*вверху* — схематическое изображение стимула в координатах сетчатки ( $f$  — фовеа), *внизу* — записи, соответствующие кругам разных размеров ( $d$  — диаметр круга)

но примыкавшего к краю круга. При кругах  $50^\circ$  испытуемые были не в состоянии смотреть внимательно на весь круг целиком и отмечали сканирующий режим рассматривания.

С учетом того, что центральный круг представляет собой уравновешенную стимульную конфигурацию, данные можно интерпретировать следующим образом. Устойчивый режим ГДС на первом этапе рассматривания соответствовал равномерному распределению внимания по всему ПО. Постепенно центр зоны внимания смещался к одному из краев ПО круга, что приводило к появлению результи-

рующего сигнала для запуска плавных движений глаз. Воспринимаемое движение круга подкрепляло асимметричную фиксацию круга, а после отклонения глаза в крайнее левое или правое положение происходил сдвиг центра зоны внимания к противоположному краю ПО круга. Объективные данные в пользу такой интерпретации дает анализ зависимости амплитуды и скорости плавных движений глаз от размера ПО. Он показывает, что сигнал на входе ГДС коррелирует (в установившемся следящем режиме) с позицией края центрального круга. При этом для достаточно больших ( $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$ ) кругов центр зоны внимания располагался несколько центральнее, а для малых ( $2^{\circ}$ ) кругов — несколько периферичнее позиции края круга. Таким образом, центр зоны внимания может смещаться относительно геометрического (оптического) центра локального объекта. Существенно также, что в ситуации такого «асимметричного» внимания центр зоны внимания тяготеет к границе между световой стимуляцией и окружающим темным пространством, т.е. эта граница выступает как самостоятельный локальный объект. При рассмотрении ПО центрального круга размером  $50^{\circ}$  его края не выделялись отчетливо, и центр зоны внимания приходился на внутренние участки, которые, в силу своей гомогенности, не могли обеспечить устойчивого внимания. Следствием такой динамики зоны внимания являлись саккадические движения глаз и неподвижность видимого круга.

**ПО экстрафовеального круга.** Согласно инструкции, испытуемые пытались сначала так организовать свое внимание, чтобы удержать ПО небольшого ( $1^{\circ}$  в диаметре) экстрафовеального круга в неподвижном состоянии. Это довольно легко удавалось им во всем диапазоне тестируемых сетчаточных эксцентриситетов — от  $1^{\circ}$  до  $5^{\circ}$  — и не вызывало макроамплитудной глазодвигательной активности. Однако попытки манипулировать своим вниманием так, чтобы добиться плавного движения ПО в сторону, противоположную его сетчаточному эксцентриситету, были успешными лишь при величине эксцентриситета  $1^{\circ}$ . Правда, двум из трех испытуемых удалось добиться такого эффекта и при эксцентриситете  $2^{\circ}$ . Записи движений глаз при успешных попытках такого прослеживания представлены на рисунке 3. Отметим, что за время около 50 с движения глаз несколько раз меняли свое направление: при движении в сторону эксцентриситета ПО их скорость была равна  $5$ – $10^{\circ}/с$ , а в противоположную сторону —  $0.5$ – $2.0^{\circ}/с$ . В последнем случае скорость движений глаз оставалась постоянной в течение не более чем  $3$ – $4$  с и была подвержена флуктуациям. Когда эксцентриситет ПО превышал  $2^{\circ}$ ,

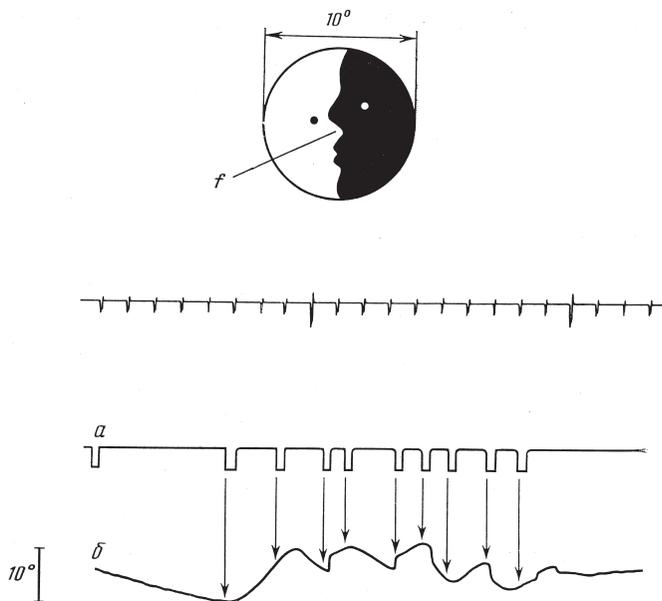


**Рис. 3.** Записи горизонтальных движений глаз при успешных попытках плавно перемещать последовательный образ экстрафовеального круга в сторону, противоположную его эксцентриситету: *вверху* — схематическое изображение стимула в координатах сетчатки ( $f$  — фовеа).  $a$  — эксцентриситет  $1^\circ$ ,  $b$  — эксцентриситет  $2^\circ$

то подобные попытки вызывали саккады, сопровождавшиеся довольно продолжительным (около 1 с) подавлением восприятия ПО.

Следовательно, ситуация, при которой единственный стимульный объект занимает асимметричную позицию в зоне внимания, может быть достигнута и удержана без особого труда, если центр зоны внимания проецируется в фовеальную область сетчатки. Однако удержание центра зоны внимания на периферии сетчатки (условия появления плавных движений глаз) возможно лишь при удалении его не более чем на  $1-2^\circ$  от границы стимульного объекта и требует при этом значительного усилия. Появление типичных саккад в сторону невидимой цели свидетельствует об обрыве зрительной обратной связи в ГДС. Другими словами, в этом случае визуальный объект уже не входит в границы зоны внимания, а само по себе неструктурированное пространство не может обеспечить устойчивое удержание центра зоны внимания в фиксированной экстрафовеальной позиции.

**ПО двусмысленной фигуры.** ПО фигуры «лицо Шафер — Мурфи» был центрирован относительно фовеа. Так как данная фигура обладает латеральной перцептивной симметрией, то визуальная стимуляция, относящаяся к альтернативным перцептивным версиям («лица»), попадала на разные половины сетчатки. Хотя данная фигура и представляет с точки зрения стимульной конфигурации неравновесную структуру (одна половина светлая с черной точкой, а другая темная со светлой точкой), это, в соответствии с ранее полученными результатами, не препятствовало билатеральной динамике зоны внимания. Факт такого рода динамики подтверждают записи движений глаз, которые имели выраженный колебательный характер. Условия стабилизации не препятствовали и перцептивным флуктуациям, о которых испытуемые сообщали нажатием на кнопку — их частота составляла около 20 в 1 мин, что лишь немного ниже нормативных данных (Lindauer, Baust, 1974). Пример сопоставления динамики движений глаз и восприятия одного из «лиц» дан на рисунке 4. Видно, что каждый момент перцептивного обращения фигуры совпадает с этапом изменения направления движений глаз. Во время устойчивой перцептивной фазы (фиксация лица) глаза плавно движутся в сторону, соответствующую сетчаточной позиции фиксируемого фрагмента фигуры. Эти наблюдения свидетельствуют в пользу гипотезы о пространственно-временной идентичности зоны внимания, определяющей направление движений глаз, и зоны, внутри которой происходит съем содержательной информации.



**Рис. 4.** Пример сопоставления динамики актов внимания и перцептивных флуктуаций при рассматривании последовательного образа двусмысленной фигуры «лицо Шафер — Мурфи»:

*вверху* — схематическое изображение стимульной конфигурации в координатах сетчатки (*f* — фовеа), *внизу*: *a* — отметка о перцептивных флуктуациях, подаваемая испытуемым нажатием на кнопку, *б* — запись горизонтальных движений глаз. Стрелки указывают моменты, соответствующие началу восприятия новой перцептивной версии фигуры

## Обсуждение результатов

Полученные результаты дают достаточно веские основания для принятия гипотезы о пространственной селективности зрительного внимания как реального процесса, определяющего сигнал на входе ГДС и, таким образом, периодически выводящего ее из устойчивого состояния. Показано, что возможности пространственной настройки, направленности зоны внимания, не ограничены ни позицией глаз в тот или иной момент времени, ни структурой оптической стимуляции — достаточно лишь наличия локальных объектов в поле зрения. Зона внимания может избирательно «накладываться» на любой из локальных объектов (в нашем

случае их число было ограничено двумя), либо на целую группу объектов, и ГДС в автоматическом режиме обрабатывает сигнал, соответствующий сетчаточным координатам центра зоны внимания. Наши наблюдения, правда, наводят на мысль, что имеются некоторые предельные размеры зоны внимания, которые меньше, чем все поле зрения, так как почти невозможно было включить в зону внимания ПО центрального круга размером  $50^\circ$ .

Все же, если ограничиться утверждением, что пространственная позиция зоны внимания описывается координатами объекта внимания, то такой вывод следовало бы признать достаточно тривиальным — на явном или, что чаще, неявном признании этого факта основана вся практика содержательной интерпретации движений глаз. Но полученные нами результаты позволяют выявить и более тонкие особенности пространственной настройки зоны внимания, которые зачастую не представлены в самонаблюдении и кажутся весьма неожиданными. Главная из таких особенностей состоит в том, что позиция центра зоны внимания отнюдь не определяется жестко и однозначно структурой той визуальной стимуляции, которая включена в эту зону, т.е. объектом внимания (ср.: Завалишин, Мучник, 1974; Kaufman, Richards, 1969). Так, величина разброса скоростей плавных движений глаз при обращении внимания на один и тот же экстрафовеальный стимульный объект (в среднем  $\pm 2^\circ/\text{с}$ ) показывает, что центр зоны внимания занимал разную позицию в границах фиксируемого круга. Еще более демонстративным фактом является возможность сохранения достаточно устойчивой позиции глаз в случае, когда внимание было направлено на неравновесную стимульную конфигурацию (при И1). Центр зоны внимания явно не совпадал при этом с оптическим «центром тяжести» фиксируемой стимуляции. Далее, при попытках «раскачать» ПО центрального круга испытуемые целенаправленно смещали центр зоны внимания к краю (видимой границе) этого круга, и направление смещения определяло направленность движений глаз и видимого движения ПО. Таким образом, в данном случае отдельный произвольно выбираемый фрагмент (сегмент) круга выступал как центральный объект внимания. При приобретении некоторого опыта по манипулированию собственным вниманием испытуемые получают возможность свободно управлять движением ПО центрального круга, «выписывая» заданные экспериментатором траектории — квадрат, треугольник и более сложные, включающие плавное изменение направления движения (овал, восьмерка и др.).

Как правило, центр зоны внимания находится внутри стимульной конфигурации или на ее краю. Но при небольших объектах рассматривания можно устанавливать зону внимания и таким образом, что ее центр будет смещен в сторону бесструктурного пространства. На этот факт указывают как данные о скорости движений глаз при рассматривании ПО центрального круга, имевшего размеры  $2^\circ$  (см. также Heywood, Churcher, 1971; Kommerell, Täumer, 1972; Mack, Bachant, 1969; Steinbach, Pearce, 1972), так и возможность сохранять устойчивость ГДС и даже менять направление движений глаз при экспозиции экстрафовеального ПО. Удивительно, но движения глаз в последнем случае управляются сигналом, поступающим с темной половины сетчатки. Видимо, достаточно правдоподобным будет допущение, что зона внимания может охватывать не только сами визуальные стимулы, но и примыкающие к ним бесструктурные (бесстимульные) области пространства и все эти участки зоны внимания должны иметь равный эффект в определении результирующего входного сигнала для ГДС. Понятно, что такое определение структуры зоны внимания допускает широкий диапазон асимметричных позиций ее центра относительно стимульных конфигураций.

В подкрепление сказанному о структуре зоны внимания уместно привести наблюдение, сделанное Г. Гельмгольцем еще в прошлом веке и относящееся к ситуации рассматривания сложных стереоскопических изображений, внезапно освещаемых электрической искрой. В своей «Физиологической оптике» он писал: «Имеется курьезный факт, состоящий в том, что наблюдатель мог устойчиво направлять свой взор на фиксационную отметку и в то же время он мог концентрировать свое внимание на любой части темного поля, так что, когда вспыхивала искра, он получал впечатление об объектах только в этом определенном участке пространства. В этом эксперименте внимание целиком независимо от позиции и аккомодации глаз или от каких-либо известных вариаций в органе зрения или на нем. Таким образом, можно просто сознательным и произвольным усилием фокусировать внимание на некоторых выбранных точках в абсолютной темноте и бесструктурном поле. Для развития теории внимания это один из наиболее принципиальных экспериментов, которые могут быть сделаны» (Helmholtz, 1866, S. 455).

Идея о том, что зона внимания не только опирается на зрительную стимуляцию, но и включает в себя бесструктурные области пространства, оказывается достаточно эвристичной и для описания позиционной

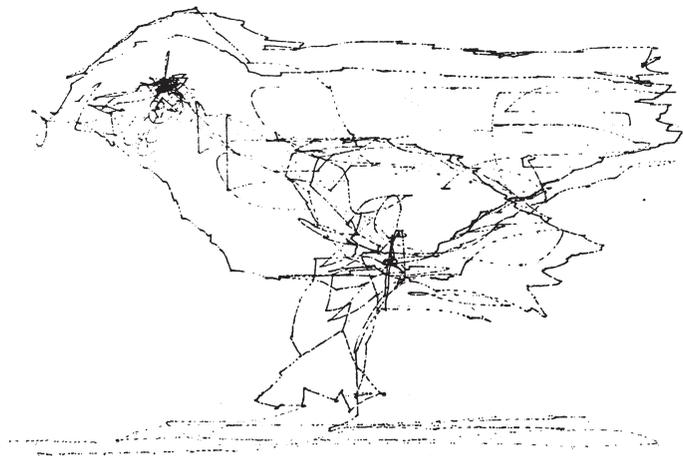
динамики этой зоны. Речь идет об этапах перехода внимания от одного объекта к другому, из одной позиции в другую, расширения и сужения зоны внимания и т. д. В наших экспериментах с попеременным обращением внимания на ПО, входящие в двухэлементную уравновешенную или неуравновешенную конфигурацию, этот этап длился от 0.5 до 2 с в случае И2 и 0.2–0.4 с при И3. В данный отрезок времени происходит торможение движения глаз с последующим его ускорением в противоположном направлении, причем изменение скорости происходит постепенно, без остановок. Следовательно, эквивалентный сигнал на входе ГДС должен претерпевать изменения — сначала уменьшаться, а затем увеличиваться, меняя при этом знак. Учитывая, что все это происходит при неизменном сетчаточном паттерне, соответствующая динамика зоны внимания должна представлять собой более (при И3) или менее (при И2) быстрое и плавное перемещение центра зоны внимания по линии, связывающей эти два ПО. Момент прохождения его через фовеа будет совпадать на записи движений глаз с «точкой перегиба», в которой скорость равна нулю. О размере зоны внимания в данный период можно сказать лишь то, что она была достаточна для охвата всей стимульной конфигурации (испытуемые видели одновременно оба ПО), но относительная позиция стимулов в зоне внимания непрерывно изменялась.

На плавный (аналоговый) способ «движения внимания через визуальное пространство» указывают и данные, содержащиеся в работе (Shulman et al., 1979), хотя авторы не исключают и возможность другого, более быстрого способа пространственной перестройки зоны внимания. Из сравнения характеристик глазодвигательной активности, зарегистрированных при И2 и И3, видно, что линейная скорость смещения зоны внимания может быть различной, хотя частота произвольного перемещения внимания имеет верхний предел около 2–2.5 Гц (ср.: Владимиров, Хомская, 1981). При максимальной частоте смены объектов внимания (И3) амплитуда колебаний глаз резко сокращается по сравнению с И2. Следовательно, эффект «сжатия» траектории движений глаз до 3–5° при рассматривании больших структурированных изображений (25°x 30°), стабилизированных относительно сетчатки (Зинченко, Вергилес, 1969), нужно связать с большой частотой смены объектов внимания, так как испытуемые в цитированном исследовании выполняли когнитивные задания поиска, пересчета и т. п. Что же касается условий, для которых не подчеркивалось требование быстроты переключения внимания (И2 и рассматривание центрального ПО круга), то для них характер-

на определенная, достаточно стабильная ритмика, вообще свойственная процессам внимания (Вудвортс, 1950).

Сделанный нами вывод, что зона внимания не обязательно совпадает с позицией субъективно фиксируемых объектов и обладает собственной пространственной динамикой, позволяет дать довольно простую интерпретацию некоторым феноменам глазодвигательной активности, объяснение которых представляет трудность в терминах сугубо стимульной (сетчаточной) детерминации движений глаз. Изменение скорости прослеживания движущихся стимулов под влиянием соответствующей инструкции (Steinman et al., 1969) можно объяснить асимметричной позицией их в зоне внимания, причем испытуемые могли менять степень этой асимметрии. Манипулирование частотой микросаккад при фиксации небольшого неподвижного объекта (Steinman et al., 1973) зависит, видимо, от величины зоны внимания: при инструкции, требующей «жесткой» фиксации (узкая зона), микросаккад значительно больше, чем при инструкции «держать объект в поле зрения» (широкая зона). Еще старые данные показывают, что удержать неподвижно узкую зону внимания гораздо сложнее, чем широкую (Коффка, 1934). Тем не менее нужно подчеркнуть, что простое расширение—сужение зоны внимания не должно отражаться в макромоторике глаз, если оно происходит вокруг постоянного центра. Поэтому, когда точность регистрации движений глаз невелика, сообщают иногда о длительностях межсаккадических интервалов в несколько секунд (Гератеволь, 1956; Голиков, Костин, 1996). Точная установка зрительной оси глаза относительно небольшого фрагмента структурированного изображения, например, вершины острого угла или точки, расположенной эксцентрично внутри окружности (Steinman, 1976), может быть достигнута за счет сужения зоны внимания вокруг целевого фрагмента. Чтобы совершать микросаккады в заданном направлении, необходимо наличие хотя бы одной светящейся точки (Haddad, Steinman, 1973; Steinman et al., 1973), так как зона внимания должна при этом центрироваться на темновом участке пространства, непосредственно примыкающего к этой точке. Учитывая инструкцию, которую давали испытуемым, продемонстрировавшим плавные движения глаз между двумя неподвижными точками (Westheimer, Conover, 1954), этот феномен нужно, видимо, связать с быстрым и безостановочным движением зоны внимания. Следовательно, так называемая произвольность движений глаз относится, по нашему мнению, к активному управлению процессом внимания, пространственную динамику которого отслеживает ГДС.

Нужно добавить, что достижение такого рода глазодвигательных эффектов требует определенного, иногда длительного опыта. В психологических лабораториях, где занимаются изучением движений глаз, обычно начинают с обучения испытуемых способам фиксации или смотрения, поскольку наивные наблюдатели даже на точку смотрят иначе, чем тренированные, и эти различия отражаются в динамике движений глаз. Поскольку инструкции даются на глазодвигательном жаргоне (проследить глазом, удержать глаз и т. д.), то испытуемые начинают верить, что они управляют движениями глаз, хотя фактически они оперируют своим вниманием. Не случайно поэтому удивление первых исследователей, когда оказалось, что глаза движутся быстрыми скачками — ведь внимание перемещается по изображению достаточно плавным образом (Вудвортс, 1950). Обучение не исключает больших индивидуальных различий в выполнении такого рода заданий (сравни с большой стабильностью амплитудно-скоростных параметров ГДС), а профессиональная деятельность может развить способность к управлению своим вниманием. Профессионал-художник, приглашенный в нашу лабораторию, смог без какой-либо подготовки так точно обвести глазом (вниманием) достаточно сложное изображение, сохранив его пропорции и выделив детали (рисунок 5), что этот «рисунок глазом» поместили на обложку журнала (Химия и жизнь,



**Рис. 5.** Рисунок, выполненный профессиональным художником. Обводка глазом графического изображения птички

1973, №7). Необученные же испытуемые плохо обводят даже контур квадрата (Гиппенрейтер, 1978).

В последние несколько лет были проведены исследования (Mays, Sparks, 1980; Robinson, 1975; Schlag et al., 1994; Steinbach, 1976), которые поставили на повестку дня вопрос, кодируются ли движения глаз в ретинотипических либо в пространственных (экзоцентрических) координатах, и решали его в пользу последней альтернативы. Анализируя наши результаты, мы имели в виду, что сигнал на входе ГДС определяется координатами сетчатки, поскольку в самом внешнем пространстве отсутствует метка (фовеальная проекция), которая позволяла бы отсчитывать угол до цели. Но, говоря о зоне внимания, следует подчеркнуть, что она оперирует в пространстве визуальных стимулов, т.е. в координатах внешнего пространства, хотя, конечно, для нее всегда можно указать и корреспондирующие сетчаточные координаты. Различие между этими двумя метриками совершенно очевидно выступило в наших экспериментах: проследивая экстрафовеальный ПО, испытуемые перемещали зону внимания вместе со стимулом в пространстве, хотя ее позиция на сетчатке оставалась неизменной. Условия стабилизации позволяют получить и еще более разительный пример несовпадения метрики внимания и сигнала на входе ГДС. Если пара идентичных ПО расположена на горизонтальном сетчаточном меридиане, но локализована при этом, предположим, в левой половине сетчатки, то эти условия не будут препятствовать свободному перемещению внимания с левого объекта на правый и с правого на левый, тогда как движения глаз в это время будут направлены в сторону постоянного по знаку (но не по величине) сетчаточного эксцентриситета зоны внимания, т.е., соответственно, в левую сторону. По-видимому, там, где говорят о пространственной кодировке сигнала входа ГДС, рассматривают ее работу вкупе с процессом пространственной селективности внимания.

Нетрудно заметить, что описанные выше функции внимания — инициация движения глаз, пространственная кодировка направления и амплитуды движения — совпадают с функциями гипотетического эфферентного сигнала, наличие которого предполагается большинством современных исследователей для объяснения феноменальной позиционной константности видимого мира (см. обзор у Луук и др., 1977), а также для управления движениями глаз в темноте (Becker, 1973). Различие же между ними состоит в том, что пространственное внимание рассматривается (см. также Posner, 1980) как относительно независимый от низкоуровневой ГДС, работающей в автомати-

ческом режиме, процесс избирательной настройки зрительной системы на тот или иной сигнал, тогда как эфферентный сигнал часто отождествляют с командой к глазным мышцам, т.е. включают в контур регуляции движений глаз как центральное звено ГДС. Поскольку управляемые движения глаз в темноте являются доказанным фактом, хотя они и обладают меньшей точностью, чем движения на свету (Гуревич, 1971; Хомская, 1962; Becker, 1973), то, развивая нашу гипотезу о взаимосвязи пространственной селективности зрительного внимания и регуляции движений глаз, следует допустить, что темновые условия не нарушают этой взаимосвязи. Другими словами, динамика зоны внимания может опираться не только на визуальную информацию о внешнем пространстве, но и на информацию о пространстве, поступающую с рецепторов других модальностей: слуховой, тактильной, проприоцептивной (исключение составляет лишь проприоцепция глазных мышц (Луук и др., 1977)). Так, например, плавные движения глаз в полной темноте, которые доступны лишь некоторым людям при визуализации предъявленной ранее светящейся движущейся цели (Deckert, 1964; Heywood, 1972), значительно облегчаются, когда в качестве целевого объекта используются конечности (пальцы) или движущийся источник звука (Gauthier, Hofferer, 1976 a; b). Обобщающим понятием для обозначения проприоцептивного образа пространства является «схема тела», в которой заданы основные эгоцентрические направления: «право», «лево», «верх», «низ» и «прямо перед собой» (Гурфинкель, Левик, 1979). Возможно то, что наши испытуемые довольно легко сохраняли устойчивую позицию глаз даже при наличии экстрафовеального ПО, объясняется фиксацией внимания в направлении «прямо перед собой».

Если в лабораторных условиях динамика внимания часто диктуется инструкцией и требует волевого усилия, то при обычном рассматривании, ориентировке, решении задач или выполнении практических действий такого усилия не требуется. Но и произвольное, и непроизвольное внимание не существуют в отрыве от восприятия визуальных объектов. Чтобы направить внимание, надо предварительно вычленив информативный объект на изображении или стимул, отличный от других стимулов, а чтобы произвести эту операцию, надо определенным образом организовать свое внимание. А существует ли в таком случае внимание как самостоятельный процесс? Критическим для разделения процессов зрительного внимания и восприятия является допущение, что опознание объекта начинается только после его фовеализации. Однако результаты, полученные нами в опытах с рассматриванием ПО

двусмысленной фигуры, демонстрируют принципиальное совпадение актов внимания и восприятия во времени и пространстве, причем их выполнение не требовало изменения сетчаточного паттерна. К аналогичному выводу пришли мы и в другой работе (Белопольский, 1978а), где экспериментальным путем удалось увеличить время фиксационного поворота глаз. Оказалось, что в этих условиях процесс обнаружения и опознания искомых объектов начинается и, как правило, заканчивается до окончания поворота глаз, т.е. до момента фовеализации этих объектов. В литературе имеются и другие экспериментальные факты, свидетельствующие об усилении эффективности переработки информации в том участке пространства, куда направлено внимание, и ослаблении ее в других участках, пусть даже и проецирующихся в фовеальную область сетчатки (Ambler, Finklea, 1976; Deubel, Schneider, 1996; Bodis-Wollner, 1973; Engel, 1971; Grindley, Townsend, 1970; Ikeda, Takeuchi, 1975; Shulman et al., 1979).

Получены также психофизиологические и нейрофизиологические данные о том, что зона внимания характеризуется локальным снижением порогов, т.е. повышением готовности к восприятию сенсорных стимулов, причем эффекты снижения порогов предшествуют началу движения глаз (Чуприкова, 1973; Singer et al., 1977; Wurtz, Goldberg, 1972; Wurtz, Mohler, 1974).

В понятиях, используемых в нашем обыденном языке, также не разводятся акты «смотрения» и «видения». Мы говорим «взгляд», «взор», «фиксация», вкладывая в эти слова как пространственный, так и содержательный смысл. Для английского языка составлен, например, словарь, включающий семь понятий, ранжированных по степени интенсивности «смотрения» (Kirkland, Lewis, 1976). В качестве интегрального понятия, описывающего зону внимания, ее динамику и процессы съема визуальной информации, протекающие в этой зоне за одну фиксацию, выступает понятие «функциональное поле зрения» (Белопольский, 1978а; Bouma, 1978; Sanders, 1970; Scheerer, 1978).

## **Заключение**

1. Сигнал на входе ГДС, обрабатываемый ею в автоматическом режиме, определяется не самой по себе структурой сетчаточного паттерна, а пространственной позицией зоны актуального внимания.

2. Зона внимания селективно (произвольно или непроизвольно) настраивается на любой (но не слишком большой) объект в поле зрения, на деталь (фрагмент) объекта либо группу объектов независимо от ориентации зрительной оси глаза в данный момент времени.
3. Фиксируемый объект может занимать в зоне внимания как центральное положение, так и асимметричное, причем степень этой асимметрии меняется в широких пределах.
4. Обычно центр зоны внимания, сетчаточные координаты которого служат параметром регулирования для ГДС, находится в пределах рассматриваемой стимульной конфигурации. Однако возможна и такая позиция зоны внимания, когда ее центр ориентирован в направлении бесструктурного (темного) участка поля зрения.
5. Изменение пространственной позиции зоны внимания происходит достаточно плавно, хотя скорость перемещения центра зоны внимания варьирует в широком диапазоне.
6. Подтверждена гипотеза, что динамика зоны внимания совпадает по своим пространственным и временным характеристикам с динамикой зоны съема содержательной визуальной информации.

## **О МЕХАНИЗМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЗОРОМ ЧЕЛОВЕКА**

### **Постулат «фовеального взора»**

Один из распространенных подходов к работе зрительной системы состоит в том, что зрительный вход (сетчатка) рассматривается как пассивный механизм с постоянными рабочими характеристиками: фовеа приписывается роль опознающего, форменного или фокального канала, который перерабатывает основной объем поступающей на сетчатку зрительной информации, а периферии сетчатки — второстепенные функции, связанные главным образом с обнаружением объектов. С фовеа связывают и центральное окулоцентрическое направление (зрительную ось), переживаемое человеком как чувство локализации или взора.

Постулат «фовеального взора» базируется на двух группах фактов. Первую составляют анатомо-физиологические данные о падении плотности рецепторов и увеличении размеров рецептивных полей от фовеа к периферии сетчатки (Глезер, 1966; Wertheim, 1984). Сюда же относятся и данные о разрешающей способности разных зон сетчатки (Кравков, 1950; Розенблюм, 1973). Другой привлекаемый сюда круг данных относится к «рефлексу фовеализации», т.е. к биологически закрепленной реакции глазодвигательной системы, направленной на то, чтобы центрировать фовеа относительно неожиданного, движущегося или любого другого объекта, выделяемого человеком в поле зрения (Robinson, 1975).

Перевод взора при рассмотрении неподвижного изображения традиционно описывают следующим образом. В моменты остановки глаз принимает информацию, проецирующуюся в фовеа; соответственно, место пересечения зрительной оси с рассматриваемым изображением интерпретируют как точку фиксации. Одновременно с приемом зрительной информации (т.е. за интервал между саккадами) разворачивается и другой процесс, связанный с выбором цели

будущей фиксации, или цели поворота глаз. Поскольку такой поворот осуществляется, как правило, с помощью одноактного быстрого движения (саккады), то после его окончания зрительная ось (взор) устанавливается против выбранного объекта рассматривания, и цикл повторяется снова.

Таким образом, ближайшим следствием постулата фовеального взора является то, что последовательные акты съема информации оказывают в прямой зависимости от другого активного процесса, который, как показывают записи движений глаз, выбирает цели поворотов на основе анализа конфигуративных, пространственных, яркостных и других параметров рассматриваемого изображения, а главное — с учетом решаемой человеком задачи (Гиппенрейтер, 1978; Запорожец и др., 1967; Ярбус, 1965; Buswell, 1935; Mackworth, Morandi, 1967).

Предпринимаются попытки связать этот процесс с функциями периферических областей сетчатки, предположив там наличие особого «очага возбуждения», афферентирующего движения глаз и сосуществующего с другим «очагом возбуждения», фиксированном в фовеа (Лурия и др., 1961). Субъективным коррелятом первого считают внимание, а второго — взор. Однако разведение взора и внимания, с одной стороны, и фовеального и периферического очагов возбуждения — с другой, представляется весьма преоблематичным. Во всяком случае, остается открытым вопрос, а что управляет динамикой внимания, почему в данный момент времени очаг возбуждения возник в том, а не другом месте сетчатки?

В связи с этим большинство исследователей указывают на необходимость привлечения экстраретинального (эфферентного) источника пространственной информации для управления движениями глаз, предпочитая не уточнять дальше его природу (Зинченко, Вергилес, 1969; Маскау, 1973; Matin, 1972).

Подобные ретино-моторные, или моторно-ретиновые модели управления взором вряд ли можно признать удовлетворительными. Их теоретическая и экспериментальная критика содержится в работах (Белопольский, 1978b; Гуревич, 1971; Луук и др., 1977). Не случайно Р. Юнг (Jung, 1973) в своем капитальном обзоре выделил в качестве нерешенных такие фундаментальные проблемы, как пространственная и временная непрерывность зрения и стабильность видимого мира, интенсивно обсуждаемые уже в течение более чем ста лет, и призвал к теоретической переоценке сформулированных здесь понятий.

Ниже будет аргументирована альтернативная традиционной точка зрения на природу взгляда и механизмы его управления. Постулату «фовеального взгляда» будет противопоставлено представление о взгляде как активном перцептивном процессе, оперирующем в координатах внешнего пространства и выполняющем функцию настройки зрительной системы на объекты или зоны пространства, имеющие отношение к решаемой человеком задаче. В рамках этого представления движениям глаз отводится роль низкоуровневого вспомогательного механизма, отслеживающего динамику взгляда в координатах сетчатки с целью создания наиболее благоприятных условий восприятия. Другими словами, наша позиция состоит в том, чтобы причиной движений глаз считать изменение позиции взгляда, а фовеализацию рассматриваемого объекта — завершающей, но не обязательной фазой восприятия.

## **Моторная компонента взгляда**

Кинематические характеристики движений глаз тесно связаны с параметрами сетчаточной стимуляции. Фундаментальный факт состоит в том, что только фовеализация визуального стимула, ставшего объектом рассматривания, позволяет сохранить относительно устойчивое состояние глазодвигательной системы (ГДС) в течение длительного времени, независимо от позиции глазного яблока в орбите и необходимой для этого асимметрии тяговых усилий экстраокулярных мышц. «Рефлекс фовеализации», вызывающий специфическую глазодвигательную реакцию в ответ на статическую или динамическую стимуляцию парафовеальной зоны сетчатки, лежит в основе многих моделей, призванных дать количественный расчет параметров движений глаз (Carpenter, 1977; Stark, 1968; Westheimer, 1954a). Общим для них является описание управляющего сигнала в метрике сетчатки, т.е. как рассогласование между проекцией стимула и фовеа, задающее в полярных координатах амплитуду и направление целенаправленного поворота глаз.

Одним из главных преимуществ моделей «ретинотопического уровня» является то, что они не нуждаются в дополнительной информации о позиции глаз в орбитах. Это тем более важно из-за недоразвития у человека позиционного чувства глаза, основанного на проприоцептивной чувствительности (Brindley, Merton, 1960). Ранние варианты этих моделей (Fender, Nye, 1961; Robinson, 1978; Young, Stark, 1961) пытались найти однозначное соответствие между типом входного сигнала и кинематической формой движений глаз. Так, предпо-

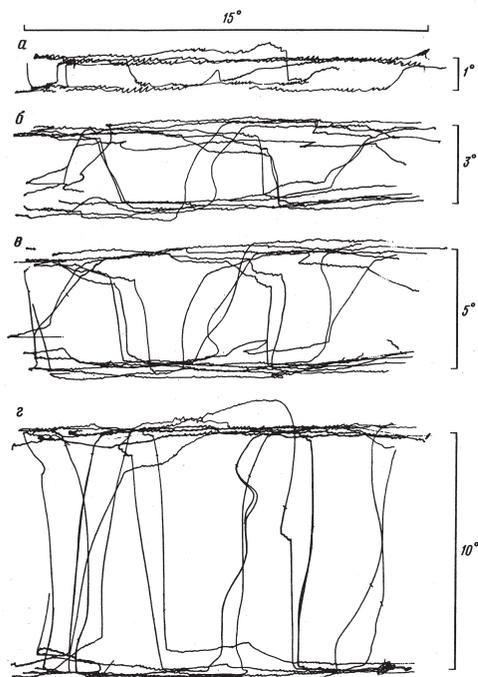
лагалось, что саккады, плавные следящие движения, вергентные, оптокинетические, вестибуло-окулярные и другие виды движений глаз управляются разными системами, функционирующими по разным принципам и сходящимися лишь на общем конечном пути.

Существенный вклад в развитие данного подхода оказал цикл работ (Андреева и др., 1975; Барабанщиков, 1978, 1997; Белопольский, 1978а; Белопольский, Вергилес, 1979; ), где широко использовались методы оптической трансформации зрительной обратной связи ГДС. Полученные здесь результаты позволили отказаться от целого ряда принимаемых ранее допущений и значительно расширили прогностические возможности моделей данного класса.

На основе результатов, полученных в этих экспериментах, была сформулирована концепция, согласно которой ГДС рассматривается как единая самооптимизирующаяся следящая система позиционного контроля с непрерывно работающей отрицательной обратной связью и с последствием. Для расчета параметров такой системы оказались пригодны методы, разработанные для технических систем автоматического регулирования (Анохин, 1960; Milhorn, 1966). Важнейшей характеристикой так понимаемой ГДС является принципиальное совпадение каналов входа (зрительная афферентация) и выхода (зрительная реафферентация), а функции моторного звена сводятся к реализации конкретных форм переходного процесса системы — от неустойчивого состояния к устойчивому.

Накопленные в последующие годы экспериментальные данные подтвердили практически все вышеизложенные результаты, хотя для их получения использовали не только такие экстраординарные процедуры, как изменение зрительной обратной связи (см. Becker, Jurgens, 1979; Deubel et al., 1986; Täumer, 1974; Findlay, 1985; Fischer, 1987; Komoda et al., 1973). В качестве дополнительной иллюстрации сказанному сошлемся на результаты одного нашего эксперимента.

Испытуемых просили следить за световой точкой на экране монитора, которая совершала плавные колебания по горизонтали с амплитудой  $15^\circ$  и постоянной скоростью  $3^\circ/\text{с}$ . В случайно выбираемые моменты времени точка совершала скачок по вертикали на заданный угол, который в разных пробах имел величину  $1^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  или  $10^\circ$ . Проверяли гипотезу, что кинематический тип реакции ГДС — саккада или плавное движение — определяется общей динамикой входного сигнала, а не его компонентами, — соответственно, сигналом позиционного рассогласования и сигналом движения. В последнем случае следовало ожидать, что движения глаз на перескок движущейся



**Рис. 1.** Траекторные записи движений глаз при прослеживании световой точки, совершающей плавное равномерное движение по горизонтали и скачком меняющей свою позицию по вертикали. Пояснения в тексте

световой точки вниз или вверх должны включать вертикальную (если реакции ГДС на эти сигналы не суммируются), либо наклонную (в случае их суммации) саккаду, причем по стабильной, маловариативной траектории.

На рисунке 1 изображены траектории движений глаз, соответствующие только направлению движения точки справа налево (скачки либо сверху вниз, либо снизу вверх). В целом полученные типы движений глаз при отслеживании вертикального скачка световой точки, двигающейся плавно по горизонтали, можно систематизировать следующим образом: первый тип составляют саккады, ориентированные близко к вертикали, второй тип — косые саккады, обеспечивающие точную фиксацию точки в момент окончания движения, и третий — криволинейные саккады, меняющие свое направление по ходу движе-

ния. Для переходного процесса первого типа характерно укорочение амплитуды быстрого движения глаз на 20–30% от общей вертикальной амплитуды перескока цели и дальнейшая доводка глаза до сместившейся цели посредством ускоренного плавного движения. Наиболее часто такое наблюдается при перескоках цели на  $3^\circ$ – $5^\circ$ . При перескоке на  $1^\circ$  отмечены случаи плавного перехода с одного вертикального уровня на другой. Переходные процессы второго типа также включали плавные компоненты на завершающих фазах движения, хотя и не столь сильно выраженные. Нелинейность траектории саккад была особенно выражена при вертикальных скачках на  $5^\circ$  и  $10^\circ$ , т.е. когда общее время переходного процесса составляла более 40 мс.

Таким образом, основным результатом этого эксперимента следует считать отсутствие единообразия при выполнении динамической задачи слежения за горизонтально движущейся целью, совершающей непрогнозируемые по времени вертикальные перескоки. Это касается как дирекциональных, так и кинематических компонент переходного процесса ГДС. Другими словами, стандартный внешний стимул вызывал нестандартный переходный процесс в ГДС, включающий как быстрые, так и медленные компоненты, которые в целом обеспечивали приемлемый уровень выполнения поставленной задачи. Особенно впечатляет большой процент криволинейных саккад, меняющих свое направление без предварительной остановки минимум через 20–30 мс после начала движения, что согласуется с нашими и литературными данными о времени чистой задержки системы.

Мы рассматриваем полученные в этом эксперименте результаты как еще одно подтверждение целостности ГДС, управляемой по единому принципу, использующей один (позиционный) тип входного сигнала. Конкретный амплитудно-кинематический выход системы зависит от динамики этого сигнала и внутренних параметров ее работы, тогда как выбор самого объекта регулирования уже не подчиняется позиционно-энергетическому распределению зрительной стимуляции по сетчатке глаза и опосредуется механизмами более высокого уровня, отвечающими за выбор местоположения будущей зрительной фиксации.

## **Зонная природа взора**

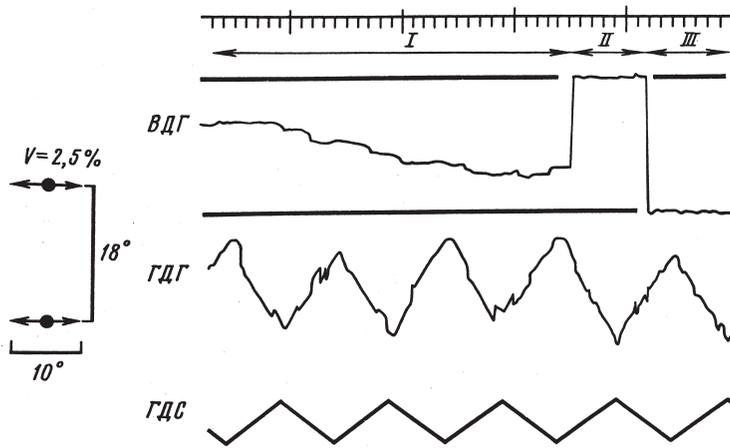
Постулат «фовеального взора» базируется главным образом на данных, полученных в ситуациях, где инструкция требовала от испытуемых удерживать взор на точке или небольшом объекте и одновре-

менно обнаруживать или различать эксцентрично предъявляемые объекты. Полученные характеристики разных локусов сетчатки картировались в виде структуры поля зрения.

Однако пространственные характеристики поля зрения не определяются полностью анатомо-физиологической структурой сетчатки. Даже кривая снижения остроты зрения от фовеа к периферии сетчатки зависит от используемого тест-объекта и всегда лежит выше кривой падения плотности рецепторов сетчатки (Millodot, 1966). Еще в большей степени это относится к задачам, включающим различение, идентификацию или категоризацию периферических стимулов. Чем сложнее задача, тем уже пространственная зона, внутри которой она может быть выполнена, и эта зависимость не может быть полностью скомпенсирована за счет изменения таких параметров стимуляции, как размер тест-объекта, его освещенность и длительность экспозиции (Гиппенрейтер, 1978). Для одиночных тест-объектов, предъявленных на однородном фоне, зона уверенного опознания имеет радиус до  $10-15^\circ$ , а зона обнаружения — до  $60^\circ$  (Edwards, Goolkasian, 1974). Однако простое наложение irrelevantного шумового фона при тех же тест-объектах и для той же решаемой задачи ведет к сужению пространственной зоны, внутри которой выполняется данная задача, причем степень сужения тем больше, чем сильнее сходство тестовых и irrelevantных объектов и чем выше плотность последних (Mackworth, 1976).

Таким образом, традиционно понимаемая структура поля зрения суммирует предельные пространственные возможности зрительной системы для ситуации фиксированного взгляда, но отсюда не следует, что все эти возможности реализуются зрительной системой одновременно. Актуальная зона взгляда, или, как ее часто называют, функциональное поле зрения, даже в одних и тех же стимульных условиях может в широких пределах менять свои размеры в зависимости от выполняемой операции, степени перцептивной обученности и других когнитивных и даже эмоционально-личностных факторов (Белопольский, 1984; Ikeda, Takeuchi, 1975). Значит, соизмеримая с фовеа зона взгляда является лишь частным случаем, относящимся к задаче различения деталей очень маленького объекта, но при задаче обнаружения того же объекта зона взгляда будет значительно шире.

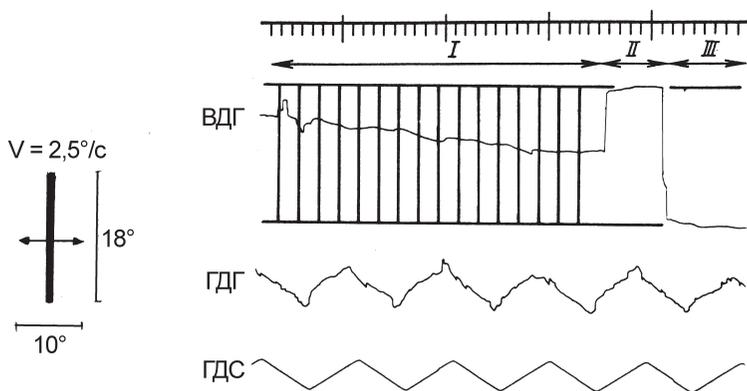
Приведем пример, относящийся к выполнению задачи слежения за движущимся стимулом. Обычно считают, что ГДС стремится при этом к стабилизации стимула на фовеа путем подравнивания скорости глаза к скорости стимула. Как она будет справляться с этой задачей, если фиксируемыми стимулами являются две световые точки,



**Рис. 2.** Записи вертикальных (ВДГ) и горизонтальных (ГДГ) движений глаз при прослеживании стимульной структуры, состоящей из двух разнесенных по вертикали точек. Конфигурация стимула и его динамические характеристики изображены на левой части рисунка: ГДС — горизонтальные движения стимула. I — период выполнения инструкции «смотреть на обе точки одновременно»; II — испытуемый смотрит на верхнюю точку; III — испытуемый смотрит на нижнюю точку. *Жирные линии* — вертикальные позиции точек

разнесенные в пространстве по вертикали и совершающие возвратно-поступательные горизонтальные движения? Рисунок 2 дает ответ на этот вопрос. При инструкции смотреть одновременно на обе точки стимула глаза наблюдателя занимали позицию, при которой проекции обеих точек располагались по обеим сторонам от фовеа; при этом, хотя в фовеа и не попадало никакой визуальной стимуляции, горизонтальные движения глаз плавно отслеживали перемещение целостной стимульной структуры. Аналогичным образом выполняется задача следить за плавными горизонтальными колебаниями вертикальной линии (рисунок 3).

В настоящее время идея о зонной природе взора находит довольно широкое признание. В наиболее общем виде она выражена в модели «направленной антенны», предложенной Дж. Сендерсом (Senders, 1976). Он исходил из предположения, что пропускная способность зрительной системы постоянна в каждый момент времени



**Рис. 3.** Записи вертикальных (ВДГ) и горизонтальных (ГДГ) движений глаз при прослеживании вертикальной линии. Конфигурация стимула и его динамические характеристики изображены на левой части рисунка:

ГДС — горизонтальные движения стимула. I — период выполнения инструкции «смотреть на линию»; II — испытуемый смотрит на верхний край линии; III — испытуемый смотрит на нижний край линии.

и равномерно распределена внутри функционального поля зрения (зоны взора). Чем легче решаемая задача, тем меньшая информационная нагрузка падает на единицу площади функционального поля зрения и тем больше его размер.

### **Позиционная динамика взора — причина, а не следствие движений глаз**

Результаты многочисленных экспериментов, тестирующих функциональное поле зрения в условиях предварительной фиксации взора, совпадают в том, что подвижные границы функционального поля зрения сохраняют симметрию относительно направления зрительной оси, или, в координатах сетчатки, относительно фовеа. Следует ли из этого, что постулат «фовеального взора» нуждается не в пересмотре, а лишь в небольшой коррекции, в соответствии с которой зрительная ось будет определять не просто линию взора, а центр зоны взора с переменным радиусом (см. Гишпенрейтер, 1978)? Другая альтернатива состоит в том,

чтобы считать совпадение центра зоны взора с направлением зрительной оси глаза следствием самого режима восприятия, в котором она тестируется, а именно восприятия в условиях фиксированного взора. А куда направлен взор в моменты межсаккадических пауз в режиме рассматривания, поиска, сканирования? Правомерен ли перенос данных о работе зрительной системы, полученных в статическом режиме восприятия, на динамический режим, характеризующийся ощущением перемещения взора и макродвижениями глаз?

Ответы на эти вопросы связаны с большими методическими трудностями. Однако даже те немногие данные и наблюдения, которые удалось получить на этот счет, свидетельствуют о принципиальной возможности несовпадения зрительной оси и направления взора. В частности, показано, что непосредственно перед саккадой происходит перестройка рабочих характеристик сетчатки и вышележащих отделов зрительной системы. Избирательно повышаются разрешающая способность и способность к опознанию объектов для тех пространственных зон, куда направлено движение глаз, а в остальных (в том числе и в фовеа) отмечено снижение зрительной чувствительности (Crovits, Daves, 1962; Mandes, 1980; Singer et al., 1977; Wurtz., Mohler, 1974). Если исходить из тех же допущений, которые приняты при измерении функционального поля зрения в статичных условиях, то эти факты могут быть интерпретированы как изменение позиции функционального поля зрения относительно зрительной оси.

Один из эффективных методических приемов состоит в частичном перекрытии зрительного входа. С его помощью было установлено, что в режиме чтения функциональное поле зрения смещено вправо от направления зрительной оси, т.е. фактически фовеа оказывалось на границе функционального поля зрения, а левая половина сетчатки бездействовала (Rayner et al., 1984). Такой сдвиг действительно носит функциональный характер и определяется направлением процесса чтения: у одного и того же человека, владевшего двумя языками (английский и иврит), чтение на которых идет в разных направлениях (соответственно, слева направо и справа налево), функциональное поле зрения было сдвинуто — в первом случае вправо, а во втором — влево от зрительной оси ((Potlatsek et al., 1981).

Этот результат подтверждают данные А. Р. Ярбуса и Г. И. Рожковой (1977), которые ставили на глаз испытуемых центральные заслонки, т.е. блокировали фовеальные и парафовеальные области сетчатки. В этих условиях рассматривание, чтение и даже опознание протекали вполне нормально при диаметре заслонок  $10^{\circ}$ – $15^{\circ}$  и даже

30°. Характерны высказывания наблюдателей, которым в этих условиях казалось, что «заслонка сдвинута в сторону и они имеют возможность видеть центром» (с. 68).

В свете этих наблюдений уже не кажется столь парадоксальной мысль, что субъективный центр зрительного поля (взор) не привязан жестко к структуре сетчатки и может ориентироваться вокруг тех окулоцентрических направлений, которые соответствуют периферическим зонам сетчатки.

Этот феномен был бы значительно нагляднее, если бы удалось каким-то образом замедлить саккадическую реакцию глаза. Однако произвольным образом сделать это невозможно. Тем не менее этого удалось добиться с помощью специального методического приема, состоящего в изменении величины зрительной обратной связи глазо-двигательной системы (Барабанщиков и др., 1980). На глаз испытуемого укрепляли увеличивающие или уменьшающие оптические системы, что позволило развернуть фиксационный поворот глаз во времени и пространстве, так что точное совмещение объекта фиксации с фовеа включало не одну, а 8—12 саккад и длилось до 2—3 с. В проведенном нами исследовании (Белопольский, 1978а) было показано, что даже такой фиксационный поворот переживается как обычный единичный перевод взора, т.е. перемещению и остановкам зрительной оси в промежуточных положениях (с недоходом или переходом через целевой объект) соответствовало ощущение устойчивой фиксации взора на целевом объекте.

В том, что именно перемещение взора запускало поворот глаз, а не наоборот, убеждает следующий факт: оказалось, что точный фиксационный поворот глаз, заканчивающийся фовеализацией целевого объекта, не является необходимым условием опознания этого объекта и перехода к восприятию следующего. Если не ставилось специальной задачи удержание взора на целевом объекте, то моторика глаза работала с систематической позиционной ошибкой, т.е. практически каждый фиксационный поворот прерывался после 1, 2 или 3 саккад и начинался новый поворот, направленный на новую цель. Другими словами, зрительная система не ждала, пока будет достигнута фовеализация целевого объекта, а активно оперировала с ним при повороте глаз. Установлена следующая зависимость — чем сложнее была перцептивная задача, тем дольше длился поворот, тем ближе приближалась к целевому объекту зрительная ось. Характерно, что испытуемые не испытывали при этом каких-либо субъективных трудностей в управлении взором при решении таких перцептив-

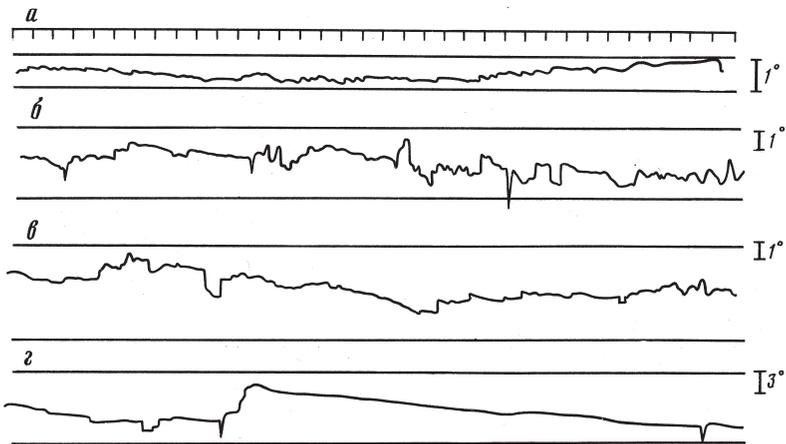
ных задач, как информационный поиск, чтение и др. Все испытуемые расценивали такой режим восприятия как «нормальный» и даже после специальной инструкции не смогли заметить каких-либо аномалий восприятия. Следовательно, длительность перцептивного акта и пространственная позиция зоны взора имеют собственную детерминацию, несводимую к динамическим характеристикам работы глазодвигательной системы.

Критической для обсуждаемого вопроса является ситуация, когда визуальное изображение стабилизировано относительно сетчатки глаза. На самом деле эта ситуация создает уникальные условия для изучения динамики взора в «чистом» виде, вне зависимости от движений глаз и связанных с ними изменений сетчаточного изображения. Исследования Р. Причарда (Pritchard, 1961), В. П. Зинченко и Н. Ю. Вергилеса (1969) продемонстрировали принципиальную возможность перемещения взора по стабилизированному изображению. В нашей работе это наблюдение, к которому сначала отнеслись как к экстраординарному феномену, получило дальнейшую разработку в плане изучения пространственной селективности взора (внимания), а также взаимосвязи динамики взора и движений глаз (Белопольский, 1985). Эти результаты привели нас к следующим выводам. Во-первых, они доказывают пространственную селективность зоны взора и возможность произвольного управления ее динамикой вне зависимости от позиции глаза в данный момент времени. Во-вторых, они подтверждают сформулированное выше положение о том, что именно пространственная динамика взора (внимания, функционального поля зрения) задает целевой стимул для глазодвигательной системы, который та отслеживает в системе координат сетчатки.

Еще один важный вывод касался того, что зона взора не обязательно повторяет конфигурацию рассматриваемого изображения и не центрируется относительно его оптического «центра тяжести». Избирательность зоны взора проявляется не только в «наложении» ее на информативный объект, но и в возможности рассматривать один и тот же объект «узким» или «широким» взором, как центрированным относительно этого объекта, так и эксцентричным. Визуальная система отсчета отнюдь не сводится к конфигурации отдельного объекта или группы объектов, а позволяет организовывать их по перцептивным законам, которым и подчиняется пространственная динамика взора.

## Существование диапазона нечувствительности взора к позиционной динамике глаза

Изложенные выше факты относительно возможностей пространственной динамики взгляда ведут к закономерному вопросу: а в какой степени эта динамика переживается субъективно? Мы провели такой простой опыт: просили испытуемых смотреть одновременно на 2 небольшие ( $8'$ ) светящиеся точки, которые предъявляли в полной темноте и располагали вдоль вертикали на расстоянии от  $1^\circ$  до  $10^\circ$ . Длительность фиксации, во время которой регистрировали движения глаз, составляла 40 с. Полученные записи движений глаз оказались достаточно неожиданными (рисунок 4; ср. также с рисунками 2 и 3). Хотя среднее положение зрительной оси глаза соответствовало середине отрезка между двумя точками, она могла отклоняться от этого положения на значительное расстояние, тем большее, чем дальше были разнесены между собой точки. Максимальный размах отклонений от середины составил: при расстоянии между точками  $1^\circ$  —  $\pm 0.5^\circ$ ;  $3^\circ$  —  $\pm 1.1^\circ$ ;  $5^\circ$  —  $\pm 2.2^\circ$ ;  $10^\circ$  —  $\pm 3.9^\circ$ . Но, несмотря на значительные колебания зрительной оси, испытуемые пережи-



**Рис. 4.** Записи вертикальных движений глаз при выполнении инструкции «смотреть на две точки одновременно»:

*Вверху* — отметка времени (деление = 1 с), сплошные линии — вертикальная позиция точек. *а* — расстояние между точками  $1^\circ$ , *б* —  $3^\circ$ , *в* —  $5^\circ$ , *г* —  $10^\circ$

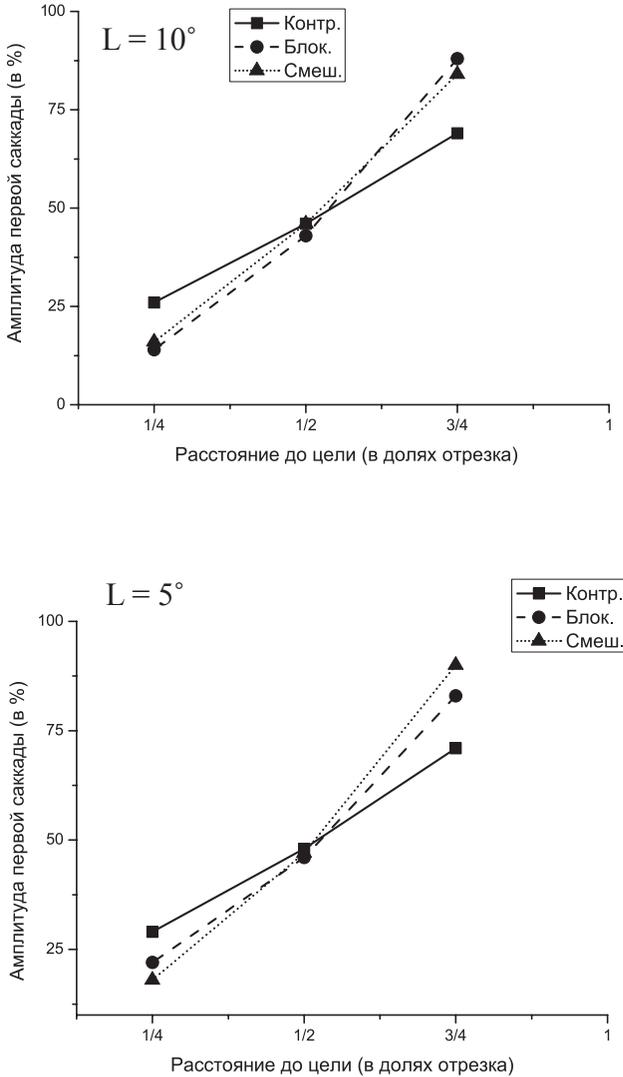
вали статическую фиксацию взора на 2 точках. Единственное, о чем они сообщали,— это о спонтанных флуктуациях яркости точек, что естественно, когда их сетчаточная позиция меняется в интервале нескольких угловых градусов.

Из приведенных записей движений глаз следует, что зона взора, соотносимая по размеру со стимульной конфигурацией, может занимать по отношению к ней асимметричную позицию и абсолютная величина этой субъективно не замечаемой асимметрии возрастает с размером зоны взора. Тем самым мы предполагаем, что существует диапазон нечувствительности к позиционной динамике взора, прямо пропорциональный размеру этой зоны.

Косвенным подтверждением этому можно считать и такой факт: диапазон нечувствительности взора для горизонтальной размерности не выходит за пределы  $0.5^\circ$  даже при максимальных размерах используемой нами стимульной конфигурации, т.е. когда точки были разнесены на расстояние  $10^\circ$ . Значит, горизонтальные и вертикальные оси зоны взора варьируют независимо, и для нашего случая горизонтальная ось зоны взора имела незначительные размеры, но вряд ли менее чем  $1^\circ$ .

Еще один пример относится к задаче фиксации «пустого» пространства между двумя неподвижными точками. В исследовании, где мы изучали роль глобальных и локальных зрительных признаков при произвольном управлении взором, испытуемые выполняли задачу фракционирования отрезка, обозначенного двумя светодиодами (СД), расположенными вдоль горизонтального меридиана. После фиксации на левом СД предъявляли цифровой указатель ( $\frac{1}{4}$ ;  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{3}{4}$ ), определявший точку внутри пустого интервала между СД. Заданные фракции были постоянными внутри блока проб, либо менялись случайным образом. Регистрировали место остановки глаза после первой саккады на «дробную» цель. В контрольной серии испытуемые выполняли фиксационные повороты на световые точки, расположенные на расстоянии  $1.25^\circ$ ,  $2.5^\circ$ ,  $3.75^\circ$ ,  $5.0^\circ$  и  $7.5^\circ$ .

Наивысшая точность первичных саккад была зарегистрирована при визуальном делении пустого интервала на две равные части, т.е. фиксации центра отрезка. При делении отрезка на неравные части, точка приземления глаза после первой саккады имела тенденцию отклоняться от заданной позиции в направлении ближайшей световой точки. Эта тенденция была выражена примерно в два раза сильнее для позиции  $\frac{3}{4}$  по сравнению с  $\frac{1}{4}$ . Величины ошибок по амплитуде, а также дисперсии этих ошибок увеличивались с увеличением величины



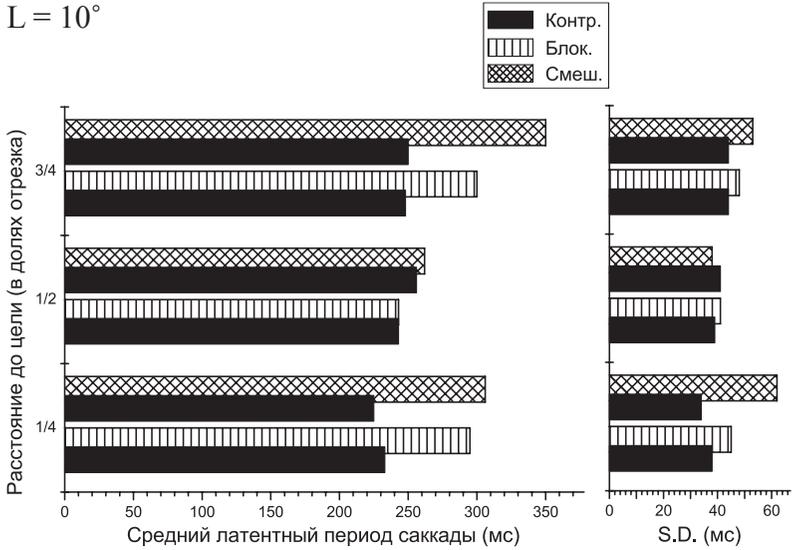
**Рис. 5.** Амплитуды первой саккады на видимую (Контр.) и представляемые цели, местоположение которых задавали в долях отрезка, обозначаемого световыми точками на его краях *вверху* — результаты для отрезка длиной ( $L$ )  $10^\circ$ ; *внизу* — для отрезка  $5^\circ$ . Блок. — блоковое предъявление цели; Смеш. — смешанное предъявление цели

отрезка ( $5^\circ$  или  $10^\circ$ ) и способа организации проб в блоке предъявлений (постоянные или смешанные фракции) (рисунок 5). Кроме того, средние значения латентных периодов саккад, выполняемых при задаче фракционирования отрезка на неравные части ( $\frac{1}{4}$  и  $\frac{3}{4}$ ), значительно превышали аналогичные показатели для саккад на световые точки, тогда как при делении отрезка пополам такие различия отсутствовали (рисунок 6). Результаты подтверждает предположение, что процесс зрительной обработки пространственной информации, участвующий в генерации саккад, интегрирует глобальную и локальную информацию для опережающего определения позиции фокуса внимания на пространственной шкале. При этом оптический «центр тяжести» фигуры имеет определенные преимущества для определения управляющего сигнала для саккады, по сравнению с «асимметричным» взором, неосознаваемая позиционная ошибка которого связана с доминированием локальных визуальных стимулов.

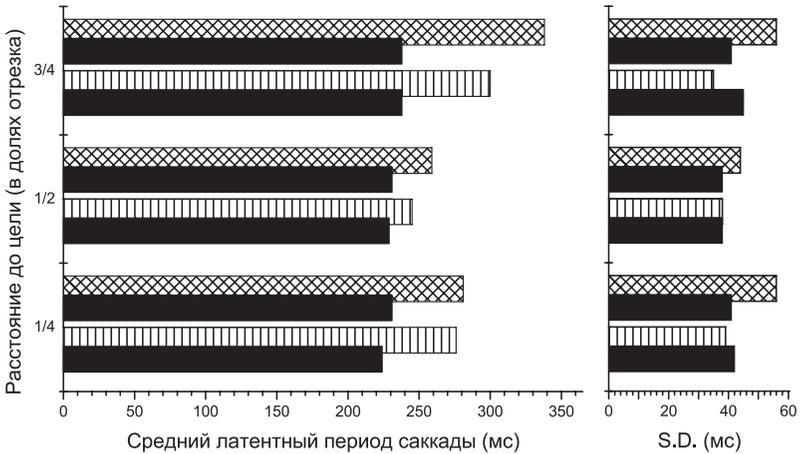
Эвристичность представления о существовании диапазона нечувствительности к позиционной динамике взора можно показать на примере фиксационных микродвижений глаз. Традиционная ретино-моторная модель не дает единого объяснения ни амплитуде отклонения зрительной оси от фиксируемого объекта, ни направлению саккад и дрейфа, ни установленному во многих исследованиях феномену индивидуализации паттерна фиксационных движений глаз (Филин, 1975; Шахнович, 1974; Engbert, Kliegl, 2003; Steinman et al., 1973). Не объясняет она и возможности произвольного влияния на частоту микросаккад (Engbert, 2006; Steinman et al., 1967). Но главное — она не объясняет, почему взор переживается неподвижным в процессе непрерывного движения зрительной оси. Однако эти факты нетрудно связать с зонной природой взора, с возможностью управлять ее размером и позицией относительно фиксируемого объекта, а также с существованием диапазона, внутри которого позиционные изменения взора не переживаются субъективно.

Существованием диапазона нечувствительности к позиционной динамике взора можно объяснить и то, что, несмотря на неоднократные попытки, еще никому не удалось подсчитать количество макросаккад даже за небольшой временной интервал, а также ту неточность в установке зрительной оси, которая имеет место у необученных испытуемых при выполнении ими инструкций типа «проследи по контуру», «фиксируй вершину угла» и т. п. (Гипшенрейтер, 1978; Завалишин, Мучник, 1974; Запорожец и др., 1967; Steinman, 1976). По-видимому, мы гораздо реже, чем это обычно считают при интер-

$L = 10^\circ$



$L = 5^\circ$



**Рис. 6.** Средние латентные периоды саккад (слева) и их стандартное отклонение в задаче на перцептивное фракционирование отрезка. Остальные обозначения, как на рисунке 5.

претации записей движений глаз, смотрим узким взором. Вместе с тем, отличие опытных испытуемых, точно исполняющих команды на управление взором, от неопытных, а также взрослых испытуемых от детей именно в том и состоит, что они приобретают способность сужать зону взора до небольших размеров.

## **Заключение**

Здесь намечены лишь самые общие контуры нового подхода к пониманию человеческого взора, трактующего его как активный механизм, обеспечивающий избирательную настройку зрительной системы на те или иные объекты окружающего пространства. В этом смысле взор нельзя считать только афферентным или только эфферентным механизмом. Задача состоит в том, чтобы описать взор как функциональный орган, связывающий человека с внешним миром (по А.А. Ухтомскому; см. Зинченко, 1995). Эта связь не фиксирована в направлении зрительной оси — любое окулоцентрическое направление или «пучок» этих направлений может сформировать эгоцентр, ориентация которого переживается как чувство взора.

Если обратиться к истории психофизиологии зрения, то близкая идея была высказана уже Э. Герингом (Hering, 1879), хотя она и не была поддержана его современниками, как и последующими поколениями исследователей. Действительно, такой подход требует существенной переориентации исследований в области психологии и психофизиологии зрения. Требуется пересмотреть и тот научный лексикон, который часто используется без должной критичности. Мы уже видели это на примере терминов «зрительная ось», «взор», «внимание», «центральное и периферическое зрение», «поле зрения» и т. д. Еще более запутана терминология, описывающая глазодвигательную активность. О глазе (как о моторном органе) говорят, что он «идет», «сканирует изображение», «выбирает точки фиксации», «проходит по контуру», «измеряет», «считывает» и т. д., хотя фактически глазное яблоко перемещается во внешнем пространстве только при движениях головы или туловища, а с помощью экстраокулярной мускулатуры глазное яблоко лишь вращается вокруг неподвижного центра и его кинематика адекватно описывается в системе координат головы.

Следует признать, что когнитивные функции движений глаз сильно переоцениваются. Причина состоит в том, что позиционное чувство взора часто отождествляют с позиционным чувством глаза, хотя приведенные нами случаи рассогласования динамики взора и глаза, а так-

же специально проведенные эксперименты (Brindley, Merton, 1960; Ludvigh, 1952) доказывают отсутствие у человека специального ощущения, соответствующего поворотам глаза. На наш взгляд, описанные в литературе возможности произвольного управления движениями глаз на самом деле относятся к произвольному управлению позиционной динамикой взгляда, на которую тем или иным образом немедленно откликается моторика глаз. Какую бы задачу ни решал человек — перцептивную, мнемическую или поведенческую, ближайшую причину возникающих при этом движений глаз нужно искать в динамике взгляда, которая, в свою очередь, опосредована содержательной стороной деятельности.

Конечно, такой подход к природе взгляда рождает массу дополнительных вопросов, и далеко не на все сейчас можно дать хотя бы приблизительные ответы. Однако только поняв взгляд как функциональный орган человека, можно будет объяснить, каким образом взгляд оказывается доступен для наблюдения другими людьми и выполняет функции регулятора процесса межличностного взаимодействия (Argyle, Cook, 1976).

# 2

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ**



## МЕХАНИЗМЫ СТАБИЛЬНОСТИ ВИДИМОГО МИРА ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

Движения наблюдателя, в частности движения самой реципирующей поверхности глаза, создают условия, при которых сенсорные данные не могут быть однозначно использованы зрительной системой для объективной оценки пространственно-динамических свойств внешних объектов: движения, неподвижности и локализации.

На этот факт, составляющий содержание проблемы стабильности, или, шире, инвариантности, видимого мира, впервые указал Г. Гельмгольц (Helmholtz, 1866), который также предложил возможное решение этой проблемы, состоящее в «принятии в расчет» окуломоторной информации о положении глаз в орбитах. Основная функция этой дополнительной информации, источником которой он считал «волевое усилие», состоит в дифференциации сетчаточных изменений, вызванных перемещением объекта относительно глаза, и тех, которые обусловлены поворотом глаза относительно неподвижного объекта. Кроме того, окуломоторной информации придавался и статус относительно самостоятельной детерминанты зрительного образа, что доказывалось воспринимаемым при повороте глаз движением последовательного образа, не меняющего, как известно, своего положения на сетчатке, и феноменальным смещением неподвижных объектов при безуспешных попытках двигать парализованным глазом (Heywood, Churcher, 1971; Hochberg, 1968; Kommerell; Täumer 1972). Последнее наблюдение, а также нарушение стабильности восприятия при пассивных (под действием внешних сил) движениях глаз, послужило аргументом против другого возможного источника окуломоторной информации — проприорецепции глазных мышц, что позднее было подтверждено прямыми экспериментальными данными (Андреева и др., 1972; Гиппенрейтер, Уразаева, 1963; Гуревич, 1971; Сеченов, 1952a; Brindley, Merton, 1960; Sherrington, 1918; The control of eye movements, 1971).

Гипотеза Г. Гельмгольца, дополненная конкретным механизмом взаимодействия сетчаточного и окуломоторного сигналов, а именно их

компарацией, или алгебраическим сложением, получила название эфферентной теории компенсации и разделяется большинством современных исследователей (Гордеева и др., 1972; Милсум, 1968; Шахнович, 1974; Gregory, 1958; МакКей, 1973; Holst, 1950; Matin et al., 1969; Sperry, 1950). Она удовлетворительно объясняет основные феномены стабильности восприятия, однако ее экспериментальная проверка, основанная на тестировании параметров гипотетического эфферентного сигнала, сталкивается с определенными трудностями.

Один из возможных подходов состоит в сравнении параметров сетчаточного и эфферентного сигналов, так как, согласно механизму компенсации, только точное их соответствие может обеспечить стабильное восприятие в процессе движений глаз. В частности, было доказано, что в отсутствии полной и даже частичной сетчаточной информации иллюзии восприятия — искажение траектории движения световой точки (Поддъяков и др., 1971; Coren et al., 1960; Festinger, Easton, 1974), недооценка длины пути (Mack, Herman, 1972), скорости (Юнг, 1969; Cohen, 1964; Fleische, 1882; Sirigatti, 1934) и ошибочная локализация (Festinger, Canon, 1965; Rock, Halper, 1969) — возникали только при плавном прослеживании, тогда как при саккадических движениях глаз они были значительно меньше или отсутствовали полностью. Отсюда некоторые исследователи делают вывод, что эфферентный сигнал при плавных движениях, в отличие от саккадических, не является достаточно точным и адекватным реальному повороту глаз и не способен полностью компенсировать вызванное этим поворотом перемещение сетчаточного изображения (Гиппенрейтер, 1978; Гордеева и др., 1972; Зысин, 1970; Карпов, Карпова, 1974; Лаурингсон, Щедровицкий, 1965; Шахнович, 1974; Rashbass, 1961; Skavenski, 1972; Stark, 1968). Действительно, стабильное восприятие видимого мира сохраняется лишь при саккадическом сканировании неподвижного окружения и нарушается при плавном прослеживании объекта, движущегося на фоне неподвижной структуры (иллюзия Филене; см. Filehne, 1922; Gregory, 1958; Mack, Herman, 1972).

Другой путь проверки теории компенсации состоит в изменении параметров сенсорного входа, которое оставляло бы без изменений соотношение движений глаз и их сетчаточных коррелятов. Примеры вариабельности впечатлений при рассматривании изображений с различным статистическим распределением «зрительного шума» приводит Д. М. Маккей (МакКей, 1973). Особенно важными в данном контексте представляются результаты, полученные при значительном (до  $1^\circ$ – $5^\circ$ ) ограничении области сетчатки, на которую могла поступать

визуальная стимуляция (Андреева и др, 1972). Испытуемые решали в этих условиях задачи опознания контурных, силуэтных и точечных изображений и др., точно воспроизводя пространственные характеристики фигуры посредством саккадических или плавных движений глаз, и в обоих случаях были обнаружены иллюзии, аналогичные тем, которые считались атрибутом только плавных движений глаз. Совсем недавно эти результаты были подтверждены Г. Магнуски и Д. Лаем, которые использовали принципиально иной метод ограничения поля зрения (Magnuski, Lai, 1975).

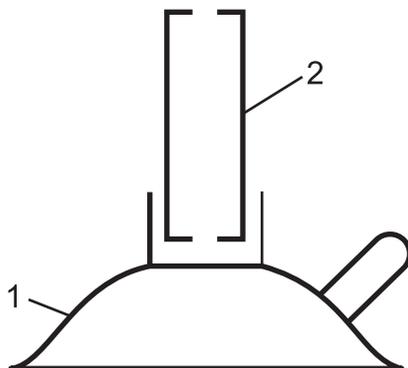
Зарегистрированное в этих экспериментах искажение пространственных пропорций сканируемого изображения не может быть сведено к работе механизма компенсации. Однако предположение о снижении точности эфферентного сигнала при сужении поля зрения основано на косвенных оценках и нуждается в дополнительной проверке. Возможно и другое объяснение данных иллюзий. Оно базируется на том, что иллюзии возникают только при развернутой моторной активности, как феномен интеграции многократно повторяющихся эфферентных посылок. В том же случае, когда пространственные оценки даются на основании единичной реакции, т.е. после саккады, соизмеримой с размерами цели, подобных иллюзий не возникает.

Таким образом, условия искусственного ограничения размеров поля зрения создают ситуацию, которая позволяет проверить некоторые следствия теории компенсации. Критическим для этой теории явился бы факт нарушения стабильности восприятия при саккадах, тогда как сохранение стабильности в данных условиях переносило бы центр проблемы на процесс пространственно-временной интеграции отдельных актов сенсо-моторного взаимодействия. Следовательно, первая *задача* состоит в том, чтобы исследовать, как воспринимаются неподвижные объекты при ограничении поля зрения.

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 1**

### ***Методика и процедура***

Ограничение поля зрения достигалось при помощи центральной глазной присоски, на которой крепился цилиндрический тубус с отверстиями в обеих торцевых заслонках (рисунок 1). Диаметр видимого участка поля зрения не менялся в эксперименте и был равен 5°. Движения глаз регистрировали электромагнитным методом.



**Рис. 1.** Схематическое изображение глазной присоски с тубусом для ограничения размера поля зрения:

1 — корпус металлической присоски с резиновым баллончиком для отсоса воздуха; 2 — цилиндрический тубус с отверстиями на его концах

Второй глаз испытуемого закрывали светонепроницаемой повязкой, а голову фиксировали в подбороднике. Контрастные изображения предъявлялись на ярко освещенном белом экране, расположенном на расстоянии 30 см от глаза.

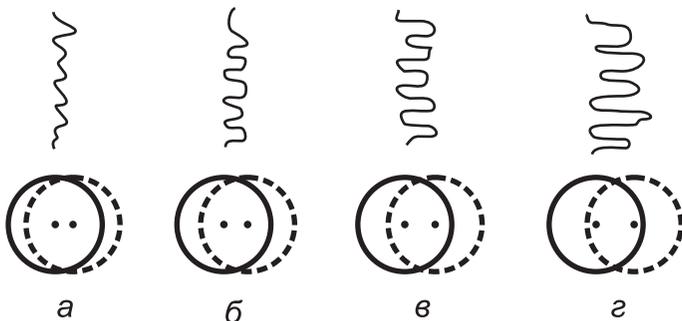
Более подробно использованные приспособления и метод регистрации движений глаз описаны в исследовании Е. А. Андреевой с соавт. (Андреева и др., 1972).

Процедура эксперимента включала прежде всего калибровку движений глаз. Затем испытуемый последовательно фиксировал две неподвижные черные точки, расположенные на экране. Расстояние между точками варьировали от  $1^\circ$  до  $2.5^\circ$  степенями через  $0.5^\circ$ . Одновременно испытуемого просили сообщать о том, воспринимается ли движение элементов в поле зрения или они неподвижны.

В эксперименте участвовали четверо испытуемых (мужчины в возрасте 25–30 лет), имевших навык работы с глазными присосками.

### **Результаты и обсуждение**

Попытки перевести взор с точки на точку вызывали обычную саккадическую оптомоторную реакцию. Амплитуда скачка почти точно соответствовала величине расстояния между точками (рисунк 2).



**Рис. 2.** Записи движений глаз при смене точек фиксации (*вверху*) и соответствующие им схемы изменений стимульных условий (*внизу*):

(*а*) скачки на  $1.0^\circ$ ; (*б*) на  $1.5^\circ$ ; (*в*) на  $2.0^\circ$ ; (*г*) на  $2.5^\circ$ . Сплошной линией обозначены границы поля зрения при фиксации левой точки, штриховой — при фиксации правой точки

При описании своего восприятия испытуемые сталкивались с определенными трудностями, связанными с необычностью самой задачи и возникающих перцептивных эффектов. Требовалась некоторая практика (иногда 10–20 саккад), чтобы сделать какое-нибудь заключение о характере восприятия. Однако в конце опыта испытуемые уже уверенно сообщали о своем впечатлении.

Это впечатление, вопреки ожиданиям, не было всегда одним и тем же и находилось в тесной зависимости от расстояния между точками. При малых расстояниях ( $1.0^\circ$ – $1.5^\circ$ ) испытуемые обычно воспринимали точки как неподвижные, при этом ясно ощущалось перемещение взора с одной точки на другую. Когда же это расстояние было больше ( $2.0^\circ$ – $2.5^\circ$ ), наблюдалось резкое смещение изображения двух точек. Парадоксальность такого впечатления состоит в том, что испытуемые, отдавая себе отчет о направлении, в котором они хотели перевести взор, субъективно не ощущали реального перемещения глаз в пространстве.

Возможность перехода от стабильного восприятия неподвижного объекта к нестабильному при произвольной смене точки фиксации ставит под сомнение основной постулат теории компенсации — необходимость и достаточность оculo моторной информации для построения адекватного пространственного образа. Действительно, уменьшение размеров поля зрения не влияет ни на сетчаточную, ни на эфферентную информацию о движении

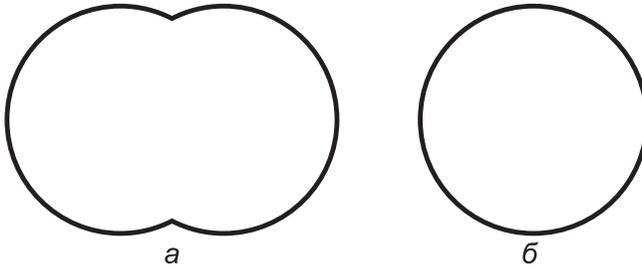
глаза, однако эффективность последней оказывается в зависимости от амплитуды саккады. Необходимо также отметить, что результирующее впечатление строится по дизъюнктивному принципу (или — или), без промежуточных состояний, т.е., если следовать схеме теории компенсации, эфферентный сигнал то учитывается, то игнорируется.

В то же время сама возможность изменять способ восприятия, т.е. переходить от стабильного восприятия к нестабильному, открывает пути для анализа механизма зрительной стабильности, обходящегося без привлечения окуломоторной информации. Прежде всего, необходимо указать характерную особенность стимульной ситуации, имевшей место в эксперименте, — наличие видимых границ поля зрения, которые не меняют своего положения на сетчатке. Поэтому поворот глаза приводил не только к смещению сетчаточной проекции точек, но и к изменению их позиции относительно этих границ. Отчеты испытуемых показывают, что, по всей вероятности, именно отношение стимульных событий к границам поля зрения является тем фактором, от которого зависит способ восприятия.

При незначительных изменениях положения точек внутри поля зрения сообщалось прежде всего об их стабильности, и очень трудно было получить информацию о поведении всего поля зрения. Если эти изменения были несколько больше, то в отдельных случаях стимульная структура могла восприниматься целиком и испытуемые описывали стабильное восприятие как одновременное движение взора и границ поля зрения относительно неподвижных точек. Когда же изменения стимульной структуры, вызванные поворотом глаза, были максимальны, то всегда воспринималось перемещение точек внутри неподвижных границ поля зрения.

Из этих наблюдений можно заключить, что размеры воспринимаемого пространства не всегда были ограничены актуальной визуальной стимуляцией — стабильное восприятие сопровождалось разверткой пространственного образа, выходящего за пределы зоны сетчаточной афферентации (рисунок 3а). Важнейшим условием такого восприятия являлось игнорирование границ поля зрения или идентификации их с движением взора. Для нестабильного восприятия характерна опора на всю зрительную структуру, в которой доминируют границы поля зрения, в силу чего воспринимаемое пространство совпадает по размеру с зоной сетчаточной афферентации (рисунок 3б).

Дополнением к этому выводу служит наблюдение, которое было сделано одним из испытуемых, а затем — при повторении эксперимен-



**Рис. 3.** Относительные размеры воспринимаемого пространства при стабильном (*а*) и нестабильном (*б*) восприятии

та со специальной инструкцией обращать внимание на относительную удаленность светлого поля (экрана) и границ зрения — было подтверждено другими. Оно заключается в том, что при стабильном восприятии экран локализовался дальше от наблюдателя и воспринимался продолжающимся за границы поля зрения, тогда как при нестабильном восприятии казалось, что они расположены в одной плоскости — видимые границы представлялись как бы неподвижной рамой экрана.

Итак, результаты эксперимента показывают, что изменение сетчаточной проекции объекта, вызванное движением глаз, может быть интерпретировано зрительной системой в двух различных системах координат: в координатах сетчатки, если эти изменения соизмеримы с величиной поля зрения, или в координатах внешнего пространства, если эти изменения малы.

Ряд авторов также указывают на возможность при определенных условиях воспринимать объекты внешнего мира так, как они представлены на сетчатке, вне зависимости от движения глаз. Такое восприятие Дж. Гибсон обозначает как восприятие «видимого поля» (Gibson, 1950), а А. Н. Леонтьев с коллегами — как восприятие «чувственной ткани» зрительного сознательного образа (Леонтьев, 1972, 1977; Логвиненко, Столин, 1973), в отличие от существующего в обычных условиях восприятия «видимого мира» или «предметного содержания».

Произвольно перейти от предметного к непредметному видению почти невозможно. Лишь частично, и то после значительной тренировки, этого можно достичь, фиксируя взор в одной точке пространства и сосредоточиваясь на контрастах и цветовых плоскостях (Gibson, 1950). Проще добиться этого искусственным путем, лишив человека притока сенсорной информации или исказив с помощью специальных оптических приборов направление световых лучей от объекта к глазу (Held,

1961). После нескольких часов нахождения человека в таких условиях он теряет ощущение реальности, мир представляется ему неустойчивым, часто воспринимается лишь хаос цветowych пятен, следующих за движением зора, т.е. нарушается стабильность восприятия.

Еще одним критерием предметности восприятия может служить константность размера и формы, их независимость от удаленности объекта от наблюдателя (Логвиненко, Столин, 1973). Неоднократно отмечалось, однако, что редукция поля зрения, которая использовалась и в нашем эксперименте, ведет к падению константности, увеличивает тенденцию к восприятию изменений сетчаточного изображения (Holway, Boring, 1941).

Следовательно, можно провести определенную аналогию между восприятием видимого поля и видимого мира, или чувственной ткани и предметного содержания, и полученным в нашем эксперименте фактом перехода от стабильного к нестабильному способу восприятия.

Отсюда возникла идея, что если «опредметить» изображения, воспринимаемые узким полем, ввести в них дополнительные структурные и смысловые ориентиры, то можно получить стабильное восприятие даже при максимальных скачках глаз.

## ЭКСПЕРИМЕНТ 2

Для проверки этого предположения была проведена серия экспериментов с теми же испытуемыми. В каждом из опытов испытуемые рассматривали в условиях ограничения поля зрения одну из трех фигур, приведенных на рисунке 4. Задача испытуемых состояла в том,



Рис. 4. Тестовые фигуры. Кругками обозначены относительные размеры поля зрения

чтобы попытаться опознать изображенные на рисунках фигуры, обращая особенное внимание на пространственные эффекты, и, прежде всего, на нарушение стабильности восприятия.

### **Результаты и обсуждение**

Когда испытуемым предъявляли оптический паттерн, заполняющий контурное изображение ели (рисунок 4а), фигура как таковая не воспринималась. Ее отдельные части или элементы сменяли друг друга случайным образом, локализуясь в одном и том же месте пространства, а именно — внутри неподвижных границ поля зрения, хотя движения глаз охватывали всю площадь фигуры. Испытуемые не могли с уверенностью сказать, к какому квадранту изображения относится видимая ими деталь, для них было неожиданностью, когда в поле зрения оказывалась граница фигуры. Таким образом, налицо типичная картина нестабильного восприятия.

Для первых 30 с рассматривания были подсчитаны амплитуды отдельных скачков, включенных в траекторию движений глаз. Полученные данные, взятые в процентном отношении скачков определенной амплитуды к общему количеству скачков, приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что для данной фигуры 75% всех скачков имеют амплитуду более  $1.5^\circ$ , т.е. превышают ту величину, которая необходима для возникновения стабильного восприятия.

При рассматривании стилизованного изображения лица (рисунок 4б), восприятие также было нестабильным, а большая часть всех скачков (68%) имела амплитуду, превышающую  $1.5^\circ$ . Однако после 30–60 с рассматривания этой фигуры, двое из четырех испытуемых

**Таблица 1**

Распределение амплитуд скачков при просмотре тестовых фигур, % к общему количеству скачков за первые 30 с

Тестовые фигуры		Амплитуда, %			
		от $0^\circ$ до $1.0^\circ$	от $1.0^\circ$ до $1.5^\circ$	от $1.5^\circ$ до $2.0^\circ$	от $2.0^\circ$ до $2.5^\circ$
Ель		4	21	27	48
Лицо	До опознания	2	30	32	36
	После опознания	8	22	28	42
Дом		12	28	35	25

догадались по некоторым характерным элементам о содержании предъявленной фигуры. Сразу после этого воспринимаемое изображение стабилизировалось, испытуемые стали воспринимать уже не разрозненные, не связанные между собой элементы, а фрагменты лица. Пространственные отношения между этими фрагментами оценивались довольно хорошо — например, испытуемые могли сказать, в какой квадрант фигуры смотрят в данный момент, какая деталь должна находиться в том или ином направлении от точки фиксации, за границами видимого участка. Такой же эффект был получен и у оставшихся испытуемых после того, как им разрешили взглянуть на фигуру свободным глазом.

Важно отметить, что изменение способа восприятия не приводит к изменению амплитудных характеристик движений глаз. И после опознания фигуры в траектории осмотра превалировали скачки, амплитуда которых превышала  $1.5^\circ$  (60%).

Аналогичная картина имела место и при предъявлении фигуры дома (рисунок 4в), которую все испытуемые быстро опознали сами, и их восприятие сразу стало стабильным.

Чтобы оценить степень точности такого восприятия, мы просили испытуемых сразу после рассматривания нарисовать то, что они видели, сохранив по возможности пропорции и размеры фигуры. Рисунки испытуемых показывают, что они довольно хорошо запомнили основные детали и их взаимное расположение, второстепенные же детали (например, такие, как число окон) часто воспроизводились с ошибками. Все без исключения рисунки были меньше оригинала. Последний факт был проверен следующим образом. В дополнительном опыте двум испытуемым предлагалось обвести глазом контурное изображение квадрата. После трехкратного обведения со второго глаза снималась повязка и предлагалось посмотреть на квадрат. Оба испытуемых отметили, что размеры квадрата значительно (в 1.5–2 раза) превышают размеры того образа, который сформировался у них при обведении квадрата узким полем.

Итак, можно считать доказанным, что тенденция к нестабильному восприятию, существующая при максимально возможных (в условиях ограниченного поля зрения) скачках глаз и обедненной визуальной стимуляции (2 точки), может быть преодолена введением дополнительных визуальных ориентиров, пространственные связи между которыми имеют не просто структурный, а содержательно-смысловой характер. При этом возникает ощущение движения взора по неподвижному изображению, в противовес ощущению движения элементов изображения

относительно неподвижной точки взора, существующему при нестабильном восприятии.

Полученные в последнем эксперименте результаты подтверждают гипотезу, что существенным моментом сохранения стабильного восприятия является объективированность, предметная отнесенность той незначительной визуальной стимуляции которая поступает на сетчатку при ограничении поля зрения. Роль знакомости фигуры как раз и состоит в том, чтобы связать дискретные элементы изображения, половина из которых исчезает из поля зрения после каждого скачка, в целостный образ, простирающийся за видимые границы поля зрения. Именно от него, а не просто от наличия движений глаз, зависит ощущение переноса взора в том или ином направлении, на ту или иную деталь неподвижного изображения.

Однако знакомость (или, точнее, возможность целостного представления фигуры) не может полностью заменить зрительной картины, с которой соотносятся воспринимаемые объекты в естественных условиях рассматривания, что и отражается в иллюзиях сжатия пространственных координат.

## **Заключение**

1. Изменения сетчаточного изображения, вызванные движением глаз, ни сами по себе, ни в сочетании с гипотетическим эфферентным сигналом, не определяют способа восприятия — стабильного или нестабильного.
2. Механизм стабильности видимого мира не требует компенсации изменений сетчаточного изображения, так как стабильное восприятие обязательно сопровождается движением взора относительно неподвижного объекта.
3. По-видимому, основное содержание перцептивного по своей природе механизма стабильности сводится к постоянной проверке того, можно ли отнести данное изменение сетчаточной проекции к движению взора относительно объектов внешнего мира, неподвижность и предметность которых является «нулевой гипотезой» (Мас-Кау, 1983) или «экологическим постулатом» (Gibson, 1973) деятельности зрительной системы.

## СТАБИЛЬНОСТЬ ВИДИМОГО МИРА КАК ПРОБЛЕМА ВИЗУАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ

Адекватная репрезентация среды жизнедеятельности индивида предполагает, прежде всего, различие неподвижности и изменчивости окружающих его объектов. Первичность такого рода восприятия, определяющего пространственный контекст поведения, не вызывает сомнений — ведь более детальная информация о видимом мире, как то форма, удаленность, размер, освещенность, цвет отдельных объектов, их взаимное расположение, а также категориальная и эмоциональная оценка, приобретают поведенческий смысл только в сочетании со зрительным направлением на тот или иной объект. Поскольку экологию человеческого существования составляет неподвижная среда, то она должна восприниматься и воспринимается таковой *вне* зависимости от способа поведенческой активности наблюдателя, а обнаруженное *внутри* неподвижной среды движение служит сигналом об изменениях, имеющих приоритетную биологическую значимость для наблюдателя.

Наивный феноменальный опыт принимает *стабильность видимого мира* как «экологический постулат» (Gibson, 1968), или «нулевую гипотезу» (МакКау, 1972), относя отклоняющиеся от этого «постулата» переживания к разряду *атипичных феноменов*, обусловленных скорее его, наблюдателя, состоянием, а не нарушением привычного порядка вещей. Так, кажущееся движение окружающего мира после длительного вестибулярного воздействия (вращения) переживается как «головокружение», т. е. приписывается самому наблюдателю и вызывает поведенческую заторможенность. Аналогичным образом и восприятие реального движения целостного окружения, имеющее низкую экологическую валидность, обладает тенденцией к сохранению стабильной внешней системы отсчета, перенося (индуцируя) движение на включенные в визуальный контекст объективно неподвижные объекты (например, на луну, рассматриваемую на фоне движущихся по небу облаков) или на

самого наблюдателя (как при рассматривании с середины моста течения широкой реки).

Классическая конкретно-научная постановка проблемы стабильности видимого мира (см. Грегори, 1970; Луук и др., 1977; Bridgeman et al., 1994; *Stability and constancy in visual perception*, 1977; Wertheim, 1994) связана с признанием факта недостаточности чисто зрительного, сетчаточного сигнала как единственного источника информации о движении воспринимаемых объектов. Действительно, при восприятии движущихся объектов неподвижным глазом результирующий сетчаточный сигнал напоминает тот, который возникает при движении глаза, головы или тела наблюдателя относительно неподвижного зрительного окружения, но если в первом случае воспринимается перемещение объектов, то во втором — их неподвижность.

Важной характеристикой собственной двигательной активности наблюдателя, при которой сохраняется стабильное восприятие внешнего мира, является ее *произвольность, целенаправленность*, поскольку *пассивные* перемещения глазного яблока, например, путем постукивания пальцем по веку или при поствращательном нистагме, вызывают ощущение нестабильности. К числу феноменов зрительной стабильности относят также восприятие движения в процессе точного прослеживания глазом зрительной цели или при сканировании стабилизированного относительно сетчатки глаза локального последовательного образа, фосфена или скотома. Однако при пассивных движениях глаз последовательный образ, фосфен или скотома субъективно не меняют своей пространственной локализации, остаются неподвижными. Наконец, даже интенция к изменению точки фиксации, не подкрепляемая реальным поворотом глаз из-за паралича глазных мышц или механических ограничений окулярной мобильности и, как следствие, не сопровождающаяся смещением сетчаточного изображения, часто приводит к иллюзорному смещению фиксируемого объекта.

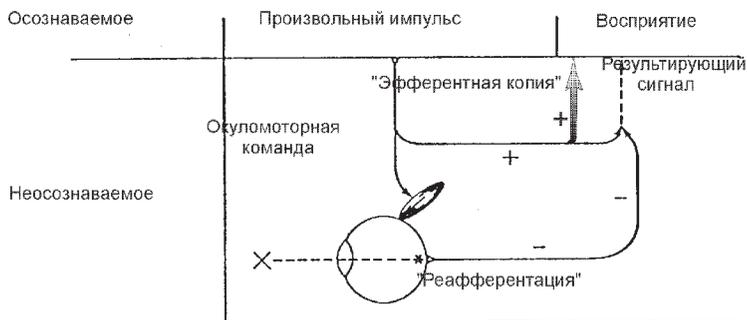
В рамках классического подхода эти факты и феномены ведут к постановке вопроса о дополнительном источнике пространственно-динамической информации, связанной с собственными перемещениями наблюдателя, которые приводят к изменению сетчаточной проекции внешних объектов. Другой вопрос состоит в том, каким образом перцептивная система учитывает оба позиционных сигнала (сетчаточный и «экстраретинальный») для достижения адекватного восприятия внешней среды.

При ответе на второй вопрос наибольшее распространение получили модели, использующие идею «компенсации», или «вычитания»

сетчаточного сигнала о перемещении другим сигналом, связанным с произвольными движениями глаз. Хотя сенсомоторные схемы типа предложенной Э. фон Хольстом и Х. Миттельштадтом (Holst, Mittelstaedt, 1950) неплохо объясняют основные феномены зрительной стабильности, они неоднократно подвергались критике по целому ряду позиций (см рисунок 1).

Во-первых, природа «экстраретинального» сигнала остается до сих пор неясной; варианты ответов включают, с одной стороны, гипотетические «волевое усилие» (Helmholtz, 1866), «чувство иннервации» (Max, 1903), «эфферентную копию» (Holst, Mittelstaedt, 1950), «побочный разряд» (Sperry, 1950), объединяемые часто термином эфферентный (outflow) сигнал, а, с другой, проприоцептивные сигналы от внешних глазных мышц (Сеченов, 1952; Гуревич, 1971; Шеррингтон, 1969; Ludwigh, 1952), или афферентный (inflow) сигнал, существование которого оспаривается в ряде прямых экспериментов (Brindley, Merton, 1960).

Во-вторых, существует временное рассогласование между генерацией гипотетического эфферентного сигнала, предшествующего повороту глаз, и соответствующего реафферентного сетчаточного сигнала, величину которого можно оценить только после завершения этого поворота. Что же касается проприоцептивного позиционного



**Рис. 1.** Схема, иллюстрирующая идею Э. фон Хольста о механизме зрительной стабильности как вычитании «эфферентной копии» из входящих в глаз зрительных сигналов (по Holst, 1957). Добавленная нами жирная стрелка демонстрирует необходимость двойного учета эфферентного сигнала для объяснения феноменального сдвига позиции взора относительно стабильных объектов

сигнала, то его учет возможен только с определенной задержкой относительно конца поворота глаз, тогда как феноменальная стабильность не допускает каких-либо пауз или разрывов. В-третьих, метрика и система отсчета зрительного и незрительного сигналов, подлежащих алгебраическому сложению или другого рода сопоставлению, исходно не совпадают и должны быть перекодированы (как?) в общую для них (какую?) шкалу измерений (см. Belopolsky, 1994). В-четвертых, такого рода компенсационная модель выдвигает очень жесткие требования к точности обоих сигналов, учитывая высокую чувствительность зрительной системы к обнаружению пространственного смещения воспринимаемых объектов.

К принципиальному недостатку любых моделей зрительной стабильности компенсационного типа (а также моделей, привлекающих механизм «подавления» зрительных ощущений во время саккад (см. Митрани, 1973)) следует отнести то, что искомым результатом оптимальной работы такого рода механизмов является *отсутствие каких либо изменений на выходе системы*, т.е. поддержание «стабильной» репрезентации внешнего мира. Зададимся, однако, вопросом: является ли неподвижность зрительной сцены *единственным* перцептивным эффектом целенаправленного поворота глаз или головы? Существуют ли какие-либо отличия между сценами, воспринимаемыми до и после такого поворота? Согласно Дж. Гибсону (1988), следствием изменения ориентации органа зрения в пространстве является смещение видимых лицевых контуров (а также и других частей тела) относительно входящего в глаз оптического потока. Он считает, что специфика регистрируемых при этом трансформаций оптического потока, при которых не происходит изменения внутренней структуры оптического строя, позволяет интерпретировать их как движение самого наблюдателя, в отличие от другого рода трансформаций с изменением структуры оптического потока, воспринимаемых как внешние события. Следовательно, по Дж. Гибсону, классическая проблема стабильности видимого мира поставлена принципиально неверно: вся необходимая для адекватного восприятия информация содержится в оптическом строе, а результатом поворота глаза, головы или тела является не стабильность как таковая, а *видимое* изменение ориентации наблюдателя относительно неподвижного окружения.

Хотя буквальное следование этому ходу мыслей не всегда справляется с объяснением ряда феноменов и экспериментальных фактов, накопленных при исследовании стабильности видимого мира

(см., например, MacKay, 1973; Wertheim, 1994), принципиальная позиция Дж. Гибсона может быть значительно усилена, если привлечь к рассмотрению достаточно тривиальный для наивного наблюдателя факт: *поворот зора всегда связан с изменением переживаемой позиции фокуса внимания относительно неподвижного зрительного пространства*. Человек может назвать рассматриваемый им объект, указать на него рукой и выполнить вербальную или зрительную инструкцию по изменению объекта фиксации. Другими словами, речь идет о том, что зрительный «эгоцентр» определяется не столько по отношению к видимым границам глазных орбит, что характеризует скорее рассеянный, дефокусированный взор и большие скачки глаз, сколько по отношению к объекту или направлению фиксации внимания (зора). Таким образом, любая теория стабильности должна учитывать, что в результате поворота глаз *меняется относительная позиция зрительного эгоцентра в неподвижной внешней системе отсчета*. В терминах теории компенсации это ведет к логическому нонсенсу: экстраретинальный (т.е. незрительный, безотносительно к его природе — Matin, 1972) сигнал о перемещении глаз должен учитываться зрительной системой *дважды*, один раз для компенсации сетчаточной реафферентации, а другой раз — информируя об изменении позиции зора относительно неподвижного окружения (см. пояснение к рисунку 1).

Поэтому, как справедливо отмечал Дж. Маккей (MacKay, 1973), модельные представления теории компенсации описывают процессы, происходящие скорее на уровне сенсо-моторного управления взором, тогда как решение проблемы зрительной стабильности, по его мнению, лежит на перцептивном уровне и не требует привлечения механизмов компенсации или подавления сенсорных эффектов движений глаз. Он предложил гипотезу «оценивания», согласно которой движения глаз лишь ставят перед перцептивной системой вопрос, а ответ дается на основе сопоставления ожидаемых и фактических перцептивных событий. Достаточно близко к этой позиции находится точка зрения Б. Бриджмена, А. ван дер Хейдена и Б.М. Величковского (Bridgeman et al., 1994), которые предложили механизм «калибровки»: точная пространственная топика зрительных направлений пересчитывается заново для каждой фиксации глаза.

Нелишне здесь напомнить и представления Э. Геринга (Hering, 1879), который различал два вида пространственных локализаций: абсолютную и относительную. Описывая пространственные перцептивные эффекты, связанные со скачками глаз, он начинает с процесса инициации этих скачков, состоящего в *опережающей* фокусиров-

ке внимания на интересующем новом объекте. При этом абсолютные пространственные координаты сетчатки меняются в соответствии с изменившимся местоположением фокуса сознания и внимания *еще до того, как начинается быстрое движение глаз*, а направленное на выбранный объект движение глаз ведет к эквивалентному, но противоположному по знаку относительному локализационному сдвигу. Отсутствие кажущихся смещений и изменений в расположении объектов в поле зрения во время скачков глаз Э. Геринг объясняет компенсацией сдвига их относительных локализаций опережающим сдвигом абсолютного значения их локализаций. Последнее, на наш взгляд, не является единственным возможным и необходимым решением; в качестве примера можно указать на теории зрительной стабильности, использующие идею трансаккадической интеграции пространственной информации (Irwin et al., 1994; McConkie, Currie, 1996; Pollatsek, Rayner, 1992).

Идею «дополнительности» переживаний зрительной стабильности и эгоцентрической позиции взора можно проиллюстрировать нашими экспериментами, проведенными с использованием техники ограничения размера эффективного поля зрения (Белопольский, 1978б). В этих условиях при выполнении произвольных саккад относительно физически неподвижных объектов (что традиционно считается основным условием сохранения стабильного восприятия) могут возникнуть два различных перцептивных состояния: *«стабильный взор/движущаяся среда»* или *«движущийся взор/стабильная среда»*. Это доказывает, что в отношении объемлющей визуальной среды наблюдатель решает скорее задачу на относительное (взор-среда) движение, чем задачу на компенсацию или подавление движения. Решение в пользу экзосцентрической пространственной системы отсчета означает стабильность восприятия, а в пользу эгоцентрической пространственной системы — его нестабильность.

Другая иллюстрация, также содержащая критические по отношению к классическим теориям стабильности факты и наблюдения, заимствована из наших экспериментов, проведенных с использованием техники варьирования величины оптической обратной связи в глазодвигательной системе (Белопольский, 1978а). При увеличении или уменьшении коэффициента зрительной обратной связи глазодвигательная система работала с систематической позиционной ошибкой, что, по прогнозу теории компенсации, должно было бы привести к визуальной нестабильности внешних объектов. На самом же деле этот прогноз был полностью опровергнут.

Можно выделить две группы результатов, полученных в этих экспериментах. Первое, были показаны перцептивные различия для гипо- и гиперметрических саккад в условиях с единственной светящейся точкой фиксации в полной темноте. Последовательное, с «недорегулированием», приближение глаза к точке фиксации не вызывало ощущения нестабильности и наблюдатель, вопреки возникающему рассогласованию, переживал стабильную фиксацию внимания на новой позиции цели во время всего цикла глазодвигательного поворота. Напротив, режим «перерегулирования с затуханием», когда саккады «перескакивали» через точку фиксации, приводил к ощущению нестабильности световой точки в форме ее колебаний относительно новой позиции фокуса внимания. Стоит отметить, что замечались только достаточно большие ( $>0.5^\circ$ ) рассогласования между позицией глаза и цели, так что количество саккад в повороте всегда превышало число замеченных колебаний световой точки. Второй важной результат относился к различиям между перцептивными феноменами с единичным источником света в темноте и восприятием структурированного зрительного окружения. Несмотря на идентичные изменения параметров в контуре сенсомоторного регулирования, испытуемые, рассматривающие изображения или внешнюю обстановку, никогда не сообщали об ощущении нестабильности или каких-либо других необычных переживаниях, хотя их саккады оставались столь же неточными, как и в темноте.

Резюмируя эти результаты нужно подчеркнуть, что *а)* даже выраженный дисбаланс в окуломоторной координации не связан жестким образом с появлением ощущения зрительной нестабильности; *б)* предъявление целостной зрительной сцены облегчает восприятие ее стабильности; и *в)* в условиях обедненной визуальной системы отсчета ощущение зрительной нестабильности зависит от направления аномального сетчаточного смещения фиксируемой цели.

Таким образом, использование тонкой экспериментальной техники, модифицирующей некоторые естественные зрительно-моторные связи, но оставляющей наблюдателю возможность целенаправленного функционирования в обычной обстановке, позволило получить ряд дополнительных фактов, свидетельствующих в пользу идеи относительности движения субъективно представленного эгоцентра и окружающей среды, отрицающей необходимость механизма компенсации сетчаточных последствий собственных движений наблюдателя.

Ниже будут изложены результаты новой серии опытов, проведенных с целью дальнейшей разработки данной идеи.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Предметом исследования служил один из центральных феноменов стабильности зрительного восприятия, а именно, переживание движения неподвижного относительно сетчатки глаза изображения, связанное с движениями глаз. Хотя разные исследователи использовали различные техники сетчаточной стабилизации изображений, результаты были очень схожими. В процессе произвольных движений глаз фовеальные и экстрафовеальные, единичные и множественные стабилизированные объекты перемещались в том же, что и глаза, направлении и демонстрировали сходную с ними кинематику движения (например, Белопольский, 1985; Heywood, Churcher, 1972; Kommerell, Täumer, 1972; Mack, Bachant, 1969).

Измерения показали, что при фиксации точечного стабилизированного изображения с сетчаточным эксцентриситетом до  $6^\circ$  возникают плавные движения глаз со скоростями, линейно зависящими от величины эксцентриситета и уровня контраста изображения (Андреева и др., 1972). При больших эксцентриситетах поворот глаз состоит из последовательности плавных и саккадических фрагментов. Было установлено также, что при центральном или билатеральном сетчаточном расположении стабилизированного изображения можно произвольно управлять направлением и скоростью кажущегося движения и сопровождающих его движений глаз путем фокусировки внимания на тех или иных фрагментах изображения (Белопольский, 1985; Kommerell, Täumer, 1972).

Хотя подобные факты широко используются для демонстрации роли эфферентной информации в восприятии движения и стабильности внешних объектов, в рамках этой исследовательской парадигмы имеется несколько наблюдений, которые идут вразрез с данным выводом.

Р. Притчард (1974) использовал для сетчаточной стабилизации контактную линзу и укрепленную на ней проекционную систему с фотонегативом и отметил, что испытуемые были в состоянии переводить фокус внимания по изображению размером до  $5^\circ$  без указания на видимое движение этого изображения. В.П. Зинченко и Н.Ю. Вергилес (1969) развили этот метод, создав с помощью прерывистого разноцветного освещения условия для длительного наблюдения стабилизированного изображения. В их экспериментах размер структурированного изображения достигал  $40^\circ$  и велась регистрация движений глаз. Был также обнаружен эффект перемещения фокуса

внимания по стабилизированному изображению, названный ими «функциональным фовеа». Оказалось однако, что любое изменение позиции фокуса внимания сопровождается характерными движениями глаз, диапазон которых был меньше, чем область сканирования, а кинематика, наряду с саккадами, включала также явно выраженный дрейфовый компонент. Хотя в их работе ничего не сообщается о подвижности или стабильности всего рассматриваемого изображения, из личного сообщения одного из авторов (Вергилес, 1974) следует, что внимание перемещалось по *неподвижному* изображению.

Убедительные данные о различиях между пространственным поведением стабилизированных на сетчатке «локального» и «глобального» изображений содержит работа Г.М. Зенкина и А.П. Петрова (1979). В своих экспериментах они применяли технику послеобраза, т.е. образа, остающегося на сетчатке после кратковременной яркой вспышки. Они были, насколько нам известно, первые, кто создал условия для рассматривания стабилизированного изображения естественной среды, занимающего все поле зрения наблюдателя. В их работе сообщается о перцептивной стабильности среднего, или «богатого» последовательного образа в процессе рассматривания, тогда как общеизвестный феномен движения стабилизированного изображения вместе с движениями глаз типичен, по их данным, только для локального, или структурно «бедного» послеобраза. Более того, они обнаружили, что объективно неподвижные светящиеся точки, рассматриваемые на фоне послеобраза окружающей обстановки, воспринимаются как движущиеся в процессе произвольного изменения объекта фиксации. К сожалению, ничего нельзя сказать о характере глазодвигательной активности в процессе выполнения такого рода заданий, поскольку параллельная регистрации движений глаз не проводилась.

*Целью* наших экспериментов являлось получение дополнительной информации о пространственной динамике среднего последовательного образа (СПО) в процессе движений глаз и головы, в сравнении с динамикой локального последовательного образа (ЛПО). В частности, проводилась регистрация движений глаз испытуемых, чтобы оценить, меняются ли их характеристики в зависимости от экологического статуса ПО (СПО или ЛПО). Кроме того, оценивалось поведение самосветящихся неподвижных точек на фоне СПО и их влияние на динамику СПО и движений глаз. Наложение (суперпозиция) элементов зрительного поля с разными параметрами зрительной обратной связи создает ситуацию, при которой можно изу-

чать феномены стабильности раздельно на сенсо-моторном и перцептивном уровнях (см. Барабанщиков, Зубко, 1980). Наконец, изучались феномены стабильности при рассматривании ПО частей тела наблюдателя, а именно, его ладони. Последняя экспериментальная процедура применялась для проверки гипотезы, что ЛПО внешних объектов и частей собственного тела должны вести себя различным образом в процессе движений глаз, поскольку они принадлежат разным (экзоцентрической или эгоцентрической) системам отсчета.

## **Методика**

### **Оборудование**

Для создания ПО в наших опытах были использованы 2 синхронизированные фотовспышки, каждая мощностью 120 Дж. Вспышки располагались с обеих сторон от головы испытуемого, сидящего в светоизолированном помещении, заполненном аппаратурой, мебелью, плакатами на стене и т.д. Расстояние от глаз испытуемого до стены составляло 60 см, что обеспечивало достаточный для возникновения СПО уровень отраженного от вспышки света. Прямо перед испытуемым на стене находилась магнитная доска со случайно распределенным буквенно-цифровым материалом разного цвета, что создавало достаточно сильную структурированность поля зрения. Наряду с этим в поле зрения находились светодиоды (СД) красного свечения, которые могли включаться в момент возникновения ПО. Для контроля за положением взора использовали центральный СД, который выключали одновременно с включением вспышек. При создании единичного или пары ЛПО использовали большой темный экран и фотовспышки со шторками, обращенные в сторону испытуемого.

В процессе всего периода рассматривания ПО велась регистрация горизонтальной составляющей движений глаз фотоэлектрическим методом (регистратор ASL-200). В отдельных опытах регистрировались движения головы (гониометрический метод).

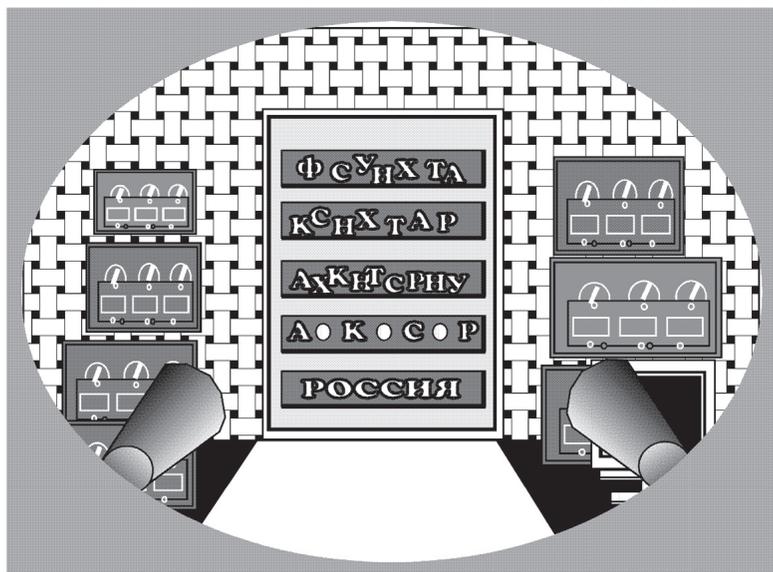
### **Процедура**

Наблюдение ПО велось бинокулярно. Перед включением вспышек испытуемый подвергался темновой адаптации в течение 10 минут, чтобы увеличить четкость и продолжительность рассматриваемого СПО. В оптимальных условиях длительность первой, положительной

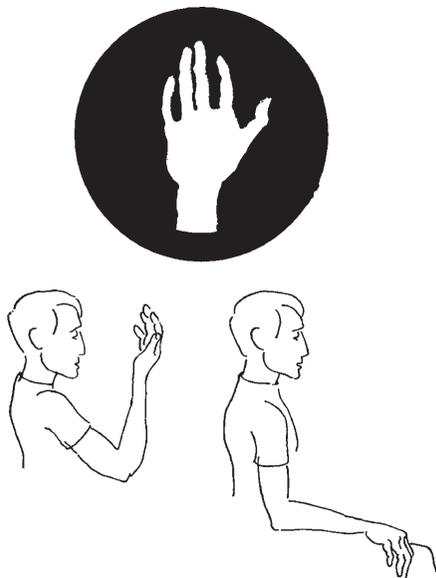
фазы СПО составляла до 10 сек, которых хватало для выполнения одной из инструкций: смена точек фиксации, эксцентричная фиксация, сканирование поля зрения, поворот головы и т.д. СПО воспринимался испытуемыми как естественная обстановка, освещенная слабым и постепенно затухающим серо-голубоватым светом. После получения отчета испытуемого о видимых трансформациях ПО или их отсутствии и дополнительного периода адаптации, подавалась очередная инструкция, за которой следовала новая вспышка. Вся экспериментальная сессия проходила в условиях полной темноты. Схематическое изображение СПО для данной экспериментальной обстановки представлено на рисунке 2.

В задаче, требующей рассматривания испытуемым ПО собственной ладони, сравнивали две ситуации. В первой рука испытуемого оставалась после вспышки в той же позиции, что и в момент засветки, а во второй она убиралась после вспышки на колено (см. рисунок 3).

В опытах участвовало 6 взрослых испытуемых; с двумя из них были проведены записи движений глаз и головы, данные по осталь-



**Рис. 2.** Схематическое изображение видимого наблюдателем после-дательного образа окружающей среды



**Рис. 3.** (Вверху) Схематическое изображение видимого наблюдателем последовательного образа своей собственной ладони. (Внизу) Варианты положения руки после возникновения последовательного образа собственной ладони

ным испытуемым использовались для проверки достоверности отчетов о феноменальных преобразованиях ПО при выполнении разных инструкций.

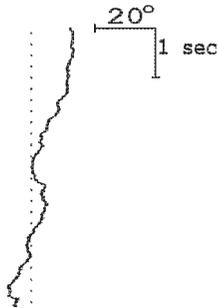
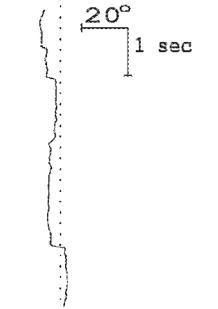
### **Результаты исследования**

Все испытуемые давали достаточно сходные отчеты о перцептивных трансформациях последовательных образов в процессе движений глаз. Ниже приводятся типичные результаты, полученные при выполнении различных заданий (таблицы 1–6).

Наши наблюдения за поведением ПО естественного зрительного окружения подтвердили обнаруженный Г.М. Зенкиным и А.П. Петровым (1976) феномен стабильности такого образа при его свободном рассматривании (таблица 1) и при фиксации его отдельных элементов (таблица 2) с участием движений глаз и неподвижной голове, вне зависимости от наличия или отсутствия в поле зрения объективно

**Таблица 1**

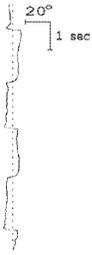
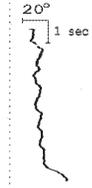
Задание: Свободное рассматривание зрительной сцены

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Отсутствуют	Рассмотреть обстановку, перемещая взор вправо и влево	Свободное перемещение фокуса внимания по стабильному зрительному окружению	
	Центральный или 2 билатеральных СД	Рассмотреть обстановку, игнорируя СД	Стабильное зрительное окружение. Движение СД в противофазе со смещением фокуса внимания	

неподвижных самосветящихся точечных объектов. Локальные же ПО, в соответствии с классическими наблюдениями и многочисленными экспериментальными данными, воспринимаются движущимися при движении глаз (таблица 2). Сопоставление этих фактов имеет принципиальное значение для теории зрительной стабильности, поскольку ясно демонстрирует возможность разных перцептивных интерпретаций при одних и тех же условиях сенсо-моторного контура управления взором. При этом параметры, по которым различаются СПО и ЛПО, такие как размер видимого изображения, его структурированность и «натуральность», не входят в число значимых

Таблица 2

Задание: Смена заданных объектов фиксации

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Биноклярный СПО	2 билатеральных СД на расстоянии $< 10^\circ$ друг от друга	Смотреть попеременно на правый и левый СД	Перемещение фокуса внимания между стабильной парой СД. Отсутствует ясное впечатление о динамике объектов, примыкающих к фиксационным целям	
	2 билатеральных СД на расстоянии $> 10^\circ$ друг от друга		Стабильное зрительное окружение. Движение пары СД относительно неподвижной позиции взгляда	
		Смотреть попеременно на указанные элементы окружения (буквы) разнесенные в пространстве на $10^\circ$	Стабильные объекты фиксации. Стабильное окружение	
Биноклярный ЛПО	Отсутствуют	Смотреть попеременно на два билатеральных ЛПО, разнесенные в пространстве на $10^\circ$	Движение пары ЛПО	
Биноклярный СПО		Фиксировать указанный элемент окружения (букву), имеющую эксцентриситет на $5^\circ$	Стабильный объект фиксации. Стабильное окружение	
Биноклярный ЛПО		Фиксировать латеральный ЛПО с эксцентриситетом $5^\circ$	Движение одиночного ЛПО	

переменных в многочисленных моделях, объясняющих зрительную стабильность в русле теории компенсации.

Более того, объективно неподвижные самосветящиеся объекты, рассматриваемые в суперпозиции с ПО зрительного окружения, воспринимались движущимися на фоне стабильного окружения, что опять-таки не может получить удовлетворительного объяснения в рамках теории компенсации и других теорий, использующих механизмы «оценки» (MacKay, 1973) или «рекалибровки» одномерных сигналов от разных источников пространственной информации (Bridgeman et al., 1994).

Можно предположить, что источником перцептивных различий между этими ситуациями служат движения глаз, параметры которых, возможно, различаются при рассмотрении локального и глобального ПО. В литературе данные на этот счет отсутствуют. Полученные нами результаты содержат ответ на этот вопрос.

Зарегистрированные в эксперименте горизонтальные движения глаз при фиксации периферического ЛПО или элемента СПО (таблица 2) принципиально не различаются между собой по кинематическому типу: и те, и другие характеризуются выраженной плавной компонентой, иногда, особенно при больших эксцентриситетах цели, прерываемой саккадами. Направление и скорость однонаправленного поворота и в тех и в других условиях подчиняется вектору сетчаточной проекции объекта фиксации, а его амплитуда зависит от длительности удержания внимания на этом объекте. Таким образом, для управления глазодвижительной системой определяющее значение имеет связанный с фиксируемым объектом тип зрительной обратной связи (в данном случае — нулевая обратная связь, «open-loop conditions»), тогда как перцептивный эффект выполняемых в данных условиях движений может быть принципиально различным.

Характер движений глаз несколько меняется при помещении в поле зрения нестабилизированных, объективно неподвижных элементов, даже когда они по инструкции не являлись объектами пристального внимания. Это изменение состоит в увеличении удельного веса саккадического компонента глазодвижительной активности и уменьшении диапазона сканирования. Можно предположить, что в процессе рассматривания такие объекты все-таки, вопреки инструкции, попадали в поле внимания, модифицируя на какой-то момент коэффициент зрительной обратной связи. Эти вариации, однако, никак не сказывались на общем переживании стабильности СПО.

Подтверждением сказанному служат и результаты, полученные при попеременной фиксации самосветящихся неподвижных объектов на фоне СПО (таблица 2). И здесь параметры глазодвигательной реакции определялись характеристиками зрительной обратной связи фиксируемой цели (отрицательная обратная связь с коэффициентом усиления  $-1$ , «close-loop conditions»), т.е. при переводе взора на нестабилизированный объект глазодвигательная система генерировала поворот по типу саккады. Однако стабильное восприятие этих объектов возникало только при их незначительной пространственной разнесенности, тогда как при последовательной фиксации более удаленных друг от друга неподвижных целей воспринималось их кажущееся движение на фоне стабильного зрительного окружения, сопровождающееся переживанием неподвижности взора.

Интересно отметить, что при пассивных движениях глаз (таблица 3) не было установлено различий между пространственным поведением локального и глобального ПО: в обоих случаях он оставался стабильным, а присутствующая в поле зрения самосветящаяся неподвижная цель казалась перемещающейся вместе с глазом.

Принципиально новые результаты были получены при рассмотрении ПО собственной ладони (таблица 4). Такой ПО может быть отнесен к разряду локальных, поскольку рассматривался на темном фоне и не превышал по размеру  $15^\circ$  (сравни с данными из: Белополюский,

**Таблица 3**

Задание: Постукивание пальцем по краю глазного яблока

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Монокулярный СПО	Отсутствуют	Отсутствуют	Стабильное окружение	
	Центральный СД	Отсутствуют	Стабильное окружение. Движение СД	
Монокулярный ЛПО	Отсутствуют	Отсутствуют	Стабильный ЛПО	

**Таблица 4**

Задание: Рассматривание ПО ладони, центрированного относительно фона

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный ПО собственной ладони	Отсутствуют	После вспышки рука остается в прежней позиции	Перемещение внимания по стабильной ладони	
	Центральный СД		Стабильная ладонь. Движение СД в противофазе с перемещением внимания	
	Отсутствуют	После вспышки рука кладется на колени	Движение ПО ладони синхронно с перемещением внимания	
	Центральный СД		Движение ПО ладони синхронно с перемещением внимания. Стабильный СД	

1985). Однако, в отличие от ПО локального объекта, ПО ладони мог восприниматься стабильно в процессе его рассматривания, когда рука сохраняла занимаемую до вспышки позицию. Если же рука сразу после вспышки убиралась на колени, создавая конфликт между зрительной и проприоцептивной информацией о фактическом положении руки, то такой ПО воспринимался уже нестабильно. Хотя движения глаз в обоих случаях имели значительное сходство, стабильное восприятие с опорой на проприоцептивную позицию руки увеличивало пропорцию в них саккадического компонента, тогда как при нестабильном восприятии окуломоторика соответствовала условиям сетчаточной стабилизации локального объекта с доминированием плавного компонента.

Предлагаемое объяснение этих результатов состоит в том, что совпадение проприоцептивной и зрительной информации о пространственном положении руки придает ПО ладони статус «реалистичности», а потому и неподвижности, даже вопреки изменению позиции глаз, тогда как конфликт такой информации разрешается в пользу руки на колене, а ПО ладони воспринимается уже как «изображение», которое может перемещаться в пространстве вместе глазом.

При вращениях головы из стороны в сторону с фиксацией взора на объекте в условиях СПО (таблица 5), возникали плавные компенсационные движения глаз, которые обеспечивали стабилизацию взора в пространстве. Точность этой компенсации зависела от того, являлся ли объект фиксации, соответственно, неподвижной самосветящейся целью или фрагментом СПО. Тем не менее в обоих случаях сохранялась кажущаяся стабильность ПО зрительного окружения. В противовес этому, поворот взора в новую позицию, выполняемый при участии головы (таблица 6), нарушает стабильность восприятия СПО.

## **Обсуждение результатов**

Суммируя полученные результаты, следует подчеркнуть следующее. Если для контура управления движениями глаз условия СПО и ЛПО являются идентичными (различия могут быть связаны только с легкостью выделения и удержания объекта фиксации), то они принципиально различны с точки зрения феноменальной стабильности этих образов во время движений глаз. Реалистичный СПО доминирует как стабильная зрительная пространственная система отсчета, а удержание внимания («зрительное схватывание», «visual grasp» в терминологии Enright, 1994) на том или ином его элементе позволяет перцептивной системе, вопреки окуломоторной нестабильности этого состояния, интерпрети-

**Таблица 5**

Задание: Повороты головы при удержании фиксации на объекте

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Центральный СД	Фиксация центрального СД	Стабильное окружение. Стабильный СД	
	Отсутствуют	Фиксация объекта в центре СПО	Стабильное окружение	

**Таблица 6**

Задание: Повороты взгляда при участии головы

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Отсутствуют	Фиксировать указанный периферический элемент окружения, используя поворот головы	Нестабильное окружение, перемещающееся вместе с взором	

ровать его как одноактный перевод взора. В этой системе отсчета воспринимается перемещение объективно неподвижных объектов вместе с движениями глаз, что вполне согласуется с принципом относительности в восприятии движения (Dunker, 1929; Johansson, 1950). Условием стабильного восприятия неподвижных объектов на фоне СПО является пристальная фокусировка внимания на этих объектах в процессе их рефиксации, что удается только при их близком взаимном расположении. Можно предположить, что такая фокусировка позволяет отстроиться от СПО и воспринять сами неподвижные объекты как систему отсчета. Когда же такие объекты разнесены достаточно далеко и их рефиксация невозможна без внимания к СПО (что отражается, в частности, в усилении постсаккадического дрейфа), то саккадические движения глаз сопровождаются парадоксальным ощущением неподвижности взора, стабильности зрительного окружения и кажущегося смещения неподвижных объектов, что очень напоминает феноменологию начального этапа рассматривания структурного изображения в условиях редукции поля зрения (Белопольский, 1978б). Что же касается воспринимаемого движения ЛПО при поворотах глаз, то логично предположить, что фиксируемый объект меняет свою локализацию относительно какой-то неподвижной пространственной системы отсчета. При рассматривании ЛПО в полной темноте ею может быть эгоцентрическая система координат («схема тела»), а при рассматривании ЛПО на свету — координаты внешнего пространства.

Интересно, что при пассивных (механических) перемещениях глаз различия в пространственной динамике СПО и ЛПО отсутствуют и оба они воспринимаются стабильно. В контексте развиваемого нами подхода это означает, что такое экологически невалидное воздействие не изменяет позиции визуального эгоцентра. Соответственно, в этих условиях стабилизированное сетчаточное изображение воспринимается стабильно, а все трансформации сетчаточного изображения, сопровождающие восприятие неподвижных объектов, переживаются как движение.

Следовательно, объяснение феномена стабильности зрительного восприятия действительно не может быть сведено к механизмам сенсо-моторного управления взором, а представляет собой, на наш взгляд, проблему визуальной экологии и может быть переформулировано как *решение задачи на включение воспринимающего субъекта в зрительный образ окружающего мира*.

Определенным аргументом в пользу такой постановки проблемы служат также наши результаты, полученные при рассматривании ПО

части тела (ладони) наблюдателя. Действительно, такой ЛПО воспринимался как неподвижный, когда перцептивная система принимала решение об *идентичности* проприоцептивной и зрительной информации о местоположении руки в пространстве, даже вопреки изменившейся пространственной позиции глаз. Условием такого решения было сохранение позы руки до и после возникновения ПО. Когда же положение руки после вспышки изменялось, то ПО уже не воспринимался как «реальная» ладонь и изменения в ориентации ПО при движениях глаз оценивалось уже в координатах эгоцентрической системы отсчета.

Стабильное восприятие СПО сохраняется и в том случае, когда удержание взора на объекте, будь то неподвижная самосветящаяся цель или элемент СПО, достигается координированным поворотом головы и глаз. При этом не важно, сохраняется или нет объективная неподвижность взора, т.е. является ли полной вестибуло-окулярная компенсация поворотов головы: главное условие стабильного восприятия состоит именно в *отсутствии перемещения взора* относительно визуальной системы отсчета. Но как только голова меняет свое положение в процессе *активного поворота взора* при рассматривании СПО, то проприоцептивная информация о новом положении головы принимает на себя ведущую роль в определении пространственной позиции визуального эгоцентра, что ведет к потере стабильности и приданию качества «иллюзорности» СПО.

## Заключение

1. Рассмотренные феномены восприятия стабильности видимого мира, в том числе и новые результаты, полученные в наших экспериментах с последовательными образами естественного окружения, составляют достаточно весомую фактологическую основу для *отрицания* существования экстраретинального источника пространственной информации, или *позиционного чувства глаза*. Даже активные движения глаз, выполняемые в сходных с точки зрения сенсо-моторики условиях, не всегда приводят к одним и тем же пространственно-динамическим перцептивным эффектам.
2. Вместе с тем, нельзя игнорировать и фундаментальный факт присутствия субъекта в пространственном образе окружающего мира, причем не только в форме видимых частей его тела, но и форме сфокусированного «Эго», *эгоцентра*, обычно обоз-

начаемого как фокус внимания, или взора. В условиях нормального зрительного окружения сенсорной основой такого *чувства взора* может служить сама структура зрительного поля; при обедненной же зрительной пространственной информации или ее отсутствии роль системы отсчета переходит к «схеме тела», а позиция взора определяется в ней как «виртуальная» часть тела наблюдателя. Последнее предположение можно аргументировать тесной пространственной координацией движений глаза и руки (Гиппенрейтер, 1978), а также отنوногенетическими данными о роли руки в овладении активной фиксации и переводом взора (Бауэр, 1979; Сергиенко, 2006).

3. Визуальная стабильность окружающей среды выступает, в свете новых данных, как экологическое условие жизнедеятельности, тогда как нарушение стабильности среды либо компенсируется индукцией движения на самого наблюдателя (эго-движение), либо ведет к переживанию чувства нереальности, искусственности зрительной сцены.
4. При перемещениях наблюдателя, его глаз и головы, изменяется относительное положение взора и объектов окружающей среды. Условием поддержания стабильности видимого мира является эффективное управление пространственной динамикой внимания (взора), включающее способность захватывать зрительную цель, удерживать на ней фокусировку как во время движений глаз, так и между ними, а также отстройку от предыдущей цели в любой момент времени, определяемый ходом выполнения решаемой задачи.
5. В случаях, когда нарушается привычная координированность в динамике пространственного внимания и глазодвигательного контура управления, или между сдвигом внимания и последующими визуальными событиями, то решением воспринимающей системы может быть переключение пространственной системы отсчета с экзoцентрической на эгоцентрическую, т.е. перенос экологического постулата стабильности с внешнего мира на схему тела наблюдателя.

# МЕХАНИЗМЫ КОНСТАНТНОСТИ ОРИЕНТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ОТНОСИТЕЛЬНО ГРАВИТАЦИОННОЙ ВЕРТИКАЛИ

## Введение

Из всех признаков окружающей среды, на которые ориентируется человек, самым постоянным и наиболее значимым является гравитация. В обычных условиях она константна как по силе, так и по направлению. Направление гравитации (вертикаль) определяет главную ось пространственной системы отсчета, являющуюся важнейшей перцептивной нормой. Вестибулярная система человека реагирует на любое отклонение тела от вертикальной позы, корректируя его постуральными рефлексам. Ощущение положения тела относительно гравитационной вертикали (эгоцентрическая ориентация) тесно связано со зрительным восприятием вертикального направления. При прямой голове и направлении взгляда прямо вперед глаза занимают исходную (первичную) позицию относительно головы и с направлением гравитации будут совпадать соответствующие меридианы сетчаток двух глаз. Эти меридианы называют *нормальными вертикальными сетчаточными меридианами* и от них отсчитывается наклон визуальной линии в системе *окулоцентрической ориентации*. Когда голова или все тело наклоняются в сторону, то глаза вращаются в противоположном направлении вокруг зрительной оси и, таким образом, их ориентация относительно головы меняется. Эта противоторзия (остаточная торзия) никогда не бывает полной и поэтому нормальный вертикальный сетчаточный меридиан отклонится от гравитационной вертикали на угол, который меньше угла наклона головы. Торзионные движения глаз возникают и под действием таких факторов как

циклодиспаратность (Kertesz, Sullivan, 1978), изменение вергенции (Allen, Carter, 1967), вращение визуального изображения вокруг зрительной оси (Brandt et al., 1973) и некоторых других (см. ниже). Следовательно, оценка зрительной вертикали не может строиться только на ориентации вертикального сетчаточного меридиана. Человек живет в среде видимых предметов и поверхностей, которые обычно сохраняют постоянную ориентацию относительно гравитации. Контуры природной и искусственной среды насыщены вертикальными и горизонтальными линиями, образуя тем самым *зрительную пространственную систему отсчета*, внутри которой люди могут воспринимать вертикальность визуальной линии независимо от ее эго- и окулоцентрической ориентации.

Не всегда информация о направлении гравитационной вертикали, поступающая от разных источников, бывает непротиворечивой, не во всех случаях она обладает достаточной точностью. Работа механизма *константности ориентации* состоит в том, чтобы обеспечить адекватное восприятие вертикали в самых разных условиях. Данный раздел посвящен обсуждению тех экспериментальных исследований, которые были проведены с целью изучения закономерностей работы механизма константности ориентации человека относительно гравитационной вертикали. *Стимульными переменными* в таких исследованиях обычно являются всевозможные комбинации (в том числе и конфликтные) наклона головы или тела, цикловращения глаз (торзия) и наклона зрительной рамки. Область *ответных реакций* включает любые задания, использующие подравнивание или оценивание ориентации объекта относительно гравитации. «Объектом подравнивания» может быть внешний визуальный объект (чаще линия), или тело испытуемого, или часть его тела.

В первой части речь пойдет о точности, с которой люди оценивают наклон визуальных объектов относительно гравитации, когда тело, глаза и зрительная система отсчета поддерживаются в вертикальной позиции. Во второй части обсуждаются эффекты, вызванные наклоном зрительной системы отсчета (рамки). В третьей части рассмотрены эффекты, вызванные наклоном тела, а в четвертой — процессы зрительной ориентации в условиях изменения направления или величины вектора гравитации.

## 1. Оценка зрительного наклона

### 1.1. Точность оценок зрительного наклона

На свету, даже на фоне гомогенно освещенной стены, люди в состоянии довольно точно установить линию в вертикальную ориентацию. Средние отклонения от истинной вертикали составляют приблизительно  $1^\circ$  (Howard, Templeton 1964; Witkin, Asch, 1948). В работе Дж. Вестхаймера с соавт. (Westheimer et al., 1976) было установлено, что в 75% случаев испытуемые обнаруживали отклонения тестовой линии на  $0.5^\circ$  от вертикали. Учитывая, что длина тестовой линии составляла  $0.5^\circ$ , эти данные находятся в хорошем соответствии с ранее полученными результатами, где использовали линии большей длины (Wade, 1969b). Обзор других факторов, влияющих на точность зрительной оценки вертикали, дан в работе Х. Виткина и С. Аха (Witkin, Asch, 1948).

Точность оценки визуальной вертикали (на свету) наиболее высока, когда тело находится в нормальной прямой позиции, и уменьшается при увеличении наклона тела (Muller et al., 1985). Подобное уменьшение точности связывают с уменьшением чувствительности утрикулуса при увеличении наклона тела; это особенно очевидно, когда соматетические сигналы элиминированы путем погружения человека в воду (Lechner-Steinleitner, Schöne, 1980). Имеются данные, что точность установки линии в вертикальную позицию улучшается с возрастом вплоть до 10 лет (Volkman, Pufall, 1972).

Точность оценки горизонтали почти также высока, как и оценка вертикали, промежуточные позиции ориентации ( $45^\circ$  и  $135^\circ$ ) оцениваются несколько ниже, а наиболее низкие оценки наклона приходятся на позиции  $30^\circ$ ,  $75^\circ$  и  $100^\circ$  (Volkman, Pufall, 1972). На распределение ошибок внутри квадранта влияет категория (шкала) ответа, хотя во всех случаях вертикальные и горизонтальные позиции оцениваются наиболее точно (Keene, 1963). В исследовании (Muller et al., 1985) показано, что идентификация наклона происходит аналогичным образом в любом из тестируемых квадрантов. Сравнение двух методов измерения зрительного наклона — метода оценки и метода воспроизведения, обнаружило сходство паттернов ошибок для различных наклонов, хотя при использовании последнего метода постоянные и переменные ошибки имели меньшую абсолютную величину.

Было указано на то (Schneider, 1966; Wade, 1969a), что кажущаяся вертикаль смещается направо, когда используется один правый глаз, и налево, когда испытуемые смотрят левым глазом. Возможно,

эти различия обусловлены направлением зрительных осей обоих глаз, которые не идентичны при фиксации какого-то определенного стимула, и тогда их следует считать постоянной ошибкой.

## **1.2. Эффекты нормализации наклона и контраста наклона**

Эффект *нормализации наклона* (Gibson, Radner, 1937) состоит в том, что линия вблизи главных зрительных меридианов (вертикаль и горизонталь) кажется повернутой в направлении этого меридиана. Линия под углом  $45^\circ$  не испытывает эффекта нормализации. Таким образом, вертикаль и горизонталь являются естественными нормами, определяющими размерность зрительного наклона. Величина эффекта нормализации редко превышает  $2^\circ$ – $3^\circ$ ; она лишь очень немного увеличивается при удалении от центра к периферии (Muir, Over, 1970); наибольшая дистанция между наблюдаемой и тестовой линиями, при которой еще имеет место этот эффект, составляет  $3^\circ$  (Morant, Mikaelian, 1960), а по данным других авторов — лишь  $1^\circ$  (Muir, Over, 1970); максимум нормализации приходится на наклон  $10^\circ$ – $20^\circ$  от вертикали, а после  $45^\circ$ – $60^\circ$  эффект нормализации меняет знак (отклоняется к горизонтали). На эффект нормализации наклона не влияют когнитивные переменные (реализм наклонной сцены). Первооткрыватели (Gibson, Radner, 1937) объясняли нормализацию в терминах адаптационных процессов, происходящих в оппозиционных сенсорных измерениях. Высказана точка зрения (Howard, 1982), что нормализация наклона обусловлена большей чувствительностью детекторов ориентации для главных зрительных меридианов.

Эффект *контраста наклона* состоит в кажущемся угловом смещении одной линии в сторону от другой линии, с которой она формирует острый угол. Другими словами, это кажущееся расширение острого угла между двумя линиями. Примером контраста наклона является известная иллюзия Цельнера. Для углов меньше  $5^\circ$  и больше  $60^\circ$  (до  $90^\circ$ ) возникает эффект *ассимиляции наклона*, который представляет собой кажущуюся недооценку угла, или смещение одной линии в направлении к другой линии. Я. Ховард (Howard, 1982) считает, что контраст наклона определяется позицией стимулов относительно сетчатки, а не относительно гравитации. Хотя имеются возражения против этой точки зрения (Correia et al., 1968; Wade, Day, 1968), но различий в относительной сетчаточной ориентации достаточно для того, чтобы индуцировать одновременный и после-

довательный контраст наклона. В работе (Rieser, Banks, 1981) испытуемых адаптировали к наклонной линии при разных комбинациях наклона головы и стимула (визуальной линии), после чего они устанавливали кажущуюся вертикаль в условиях прямой головы. Последствие наклона следовало сетчаточной системе отсчета, когда условия адаптации включали экспозицию ясных визуальных признаков вертикальности. И лишь когда такие признаки отсутствовали, последствие следовало гравитационной системе отсчета.

Таким образом, эффект нормализации наклона, как и эффект контраста наклона (измеряемые на свету), обусловлены влиянием зрительных стимулов на детекторы ориентации и возникают на самых ранних стадиях переработки зрительной информации. Другими словами, эти эффекты происходят в окулоцентрической системе координат и ведут к кратковременному (на нескольких секунд) изменению метрики пространства (последствие наклона).

### **1.3. Влияние угла взора на оценку зрительного наклона**

При отклонении глаза от исходной позиции в орбитах изображение вертикальной линии не будет уже проецироваться на нормальный вертикальный меридиан сетчатки. Это обусловлено тем фактом, что глаза вращаются согласно закону Листинга. В системе осей Фика угол между вертикалью и нормальным вертикальным меридианом сетчатки (Robinson, 1963) эквивалентен торзии глаза относительно зрительной оси. Воспринимается ли вертикальная линия в условиях отклоненного взора в своей истинной ориентации (константно) или наклонно, вслед за поворотом осей координат сетчатки? Эту проблему изучали в работе (Nakayama, Balliet, 1977), где испытуемым предъявляли светящуюся линию в полностью затемненной комнате в различных позициях на фронтальной плоскости. Наблюдение велось монокулярно. Испытуемые фиксировали центр линии и устанавливали ее в положение кажущейся вертикали. Было показано, что ориентация кажущейся вертикали в условиях отклоненного взора занимает промежуточное положение между проекцией вертикального меридиана сетчатки и истинным положением гравитационной вертикали. Это свидетельствует о снижении константности ориентации в темноте. Однако после того, как в комнате зажигали свет, испытуемые демонстрировали полную константность ориентации. Значит, в обычных условиях константность ориентации поддерживается за счет соотношения объектов со зрительной системой отсчета.

При бинокулярном наблюдении ситуация более сложная, поскольку углы зрения на данную линию для каждого глаза будут различаться между собой (за исключением горизонтальных линий и линий, лежащих на вертикальном горизонте). Таким образом, ориентация линии относительно соответствующего сетчаточного меридиана одного глаза будет отличаться от ее ориентации относительно соответствующего меридиана другого глаза. Такая диспаратность в ориентациях бинокулярных изображений называется *циклодиспаратностью*. В работе (Kertesz, Sullivan, 1978) установили, что циклодиспаратность может быть ликвидирована за счет *цикловергенции* (разнонаправленных торзионных движений двух глаз). Даже если игнорировать эту возможность, то величина циклодиспаратности линии, расположенной прямо перед головой в медиальной плоскости головы, когда оба глаза фиксируют центр линии, должна влиять на угол наклона линии и вертикальный горизонт. Однако, в среднем, люди точно оценивают вертикальную позицию линии в медиальной плоскости (Cogan, 1979; Ebenholtz, Paap, 1973).

## **2. Влияние наклона зрительной системы отсчета на оценку вертикали**

### **2.1. Отличие эффектов нормализации наклона и контраста наклона от эффекта наклонной рамки**

Эффекты нормализации наклона и контраста наклона редко бывают больше  $2^\circ$ – $3^\circ$  и не зависят от смысла и значимости индуцирующего их паттерна. Однако при определенных условиях кажущаяся вертикаль может быть смещена и на больший угол. Например, находящийся в самолете человек воспринимает интерьер кабины как ориентированный вертикально, хотя сама кабина может быть наклонена на значительный угол. Пилот, летящий в облаках, может даже не сознавать, что его самолет находится в перевернутом положении (брюхом вверх), а обычное переживание моряков состоит в том, что поверхность воды или отвесная линия, наблюдаемая в каюте наклоненного корабля, кажутся наклоненными на значительный угол (Dixon, Dixon, 1966). Люди, живущие в зданиях, наклоненных на  $8^\circ$  вследствие землетрясения, воспринимают стены комнат как вертикальные (Kitahara, Uno, 1967).

Все эти феномены имеют место при наклоне зрительной сцены, которая обычно расположена прямо. Знакомая зрительная сцена, которая обычно занимает вертикальное положение, служит системой отсчета для зрительного восприятия вертикали. Стороны вертикального объекта задают норму для стимульной размерности наклона, но они являются системой отсчета только в том случае, когда в качестве нормальной ориентацией объекта принимается вертикальная ориентация.

Стены и пол комнаты нормально ориентированы вдоль вертикали и горизонтали и относительно них оценивается ориентация других объектов в комнате. В то время как эффект контраста наклона имеет небольшую величину и ограничен зоной локализации индуцирующей фигуры, эффект системы отсчета больше по величине ( $20^\circ$  и более) и распространяется за пределы зрительной рамки. Похоже, что эффект, вызываемый наклонной рамкой, изменяет нулевую точку на измерительной шкале, оставляя неизменными все относительные эффекты, тогда как эффект адаптации к наклону, видимо, ведет к сжатию одной части шкалы относительно другой. Эффект адаптации к наклону продолжается в течение нескольких секунд после фиксации индуцирующей фигуры. Имеются противоречивые сведения относительно продолжения действия эффекта системы отсчета после окончания предъявления рамки. Некоторые исследователи (Morant, Aronoff, 1966) не обнаружили такого явления, а ряд других (Austin et al. 1969; Wallace et al., 1975) сообщили о его существовании. В более позднем эксперименте было показано (Morant, 1983), что последствие наклона, вызванное призматическим поворотом поля зрения в течение 30 мин, выражается в систематической ошибке при установке светящейся линии в направлении вертикали. Однако оптический наклон влиял на оценку вертикали не прямо, а опосредовано, индуцируя наклон головы.

Влияние зрительной системы отсчета на кажущуюся вертикаль возрастает с увеличением размера визуальной рамки и зависит от таких когнитивных переменных как реализм наклонной сцены, инсрукция и внимание испытуемых (см. Howard, 1982).

## **2.2. Тест стержня и рамки**

Эксперименты с моделью наклонной комнаты, внутри которой испытуемый, сам находящийся вне этой комнаты, устанавливал стержень в направлении гравитационной вертикали, положили начало

новому направлению экспериментальных исследований субъективной вертикали (Witkin, Asch, 1948). Г. Виткин разработал стандартизованный тест стержня и рамки (ТСР), где испытуемым предъявляются квадратную рамку со стороной 1 м и стержень 97 см длиной, центры которых совпадают. Светящиеся рамка и стержень предъявляются в полной темноте. Испытуемые устанавливают стержень в вертикальную позицию при наклоне рамки на заданный угол ( $22^\circ$ ) по или против часовой стрелки. Библиографию по использованию ТСР можно найти в работе (Witkin et al., 1973).

На результаты выполнения ТСР влияют такие процедурные аспекты как стабильность головы (Lester, 1968), начальная позиция стержня (Nyborg, 1974), скорость вращения стержня (Corah, 1965) и способ оценки — абсолютное отклонение от вертикали или средняя, стандартная ошибка (Fine, Danforth, 1975; Wenderoth, 1974).

Г. Виткин установил, что некоторые люди сильнее подвержены влиянию зрительного поля, а другие — в меньшей степени. Зависимость—независимость от поля он считал личностной характеристикой и использовал ее как основной параметр для дифференциации личности.

Наклонная рамка больше влияет на детей обоих полов, чем на взрослых. Но с возрастом (около 13–16 лет) начинают проявляться половые различия: мужчины меньше зависят от наклона рамки, чем женщины (Nyborg, 1980).

Размер рамки влияет на величину отклонения подравниваемого стержня от истинной вертикали. В работе (Ebenholtz, 1977) было показано, что величина иллюзии в ТСР определяется сетчаточным, а не кажущимся размером рамки. Когда сторона рамки равнялась  $10^\circ$ , влияние наклона рамки на установку стержня в вертикальную позицию составляло менее  $2^\circ$ , тогда как при увеличении угловых размеров рамки до  $40^\circ$  этот эффект возрастал до  $8^\circ$ . В другом эксперименте (Ebenholtz, Callan, 1980) размеры рамок относились как 1 : 3. Когда обе рамки были расположены на расстоянии 1.5 м от наблюдателя, эффект стержня и рамки возрастал с  $5^\circ$  (меньшая рамка) до  $9^\circ$  (большая рамка). При конфликте ретинального и феноменального размера 2 рамок (меньшая удалена на 0.5 м, большая — на 4.5 м) этот конфликт разрешался в пользу первого фактора ( $5^\circ$  против  $3^\circ$ ). Результаты показывают важность периферической сетчаточной стимуляции для пространственной ориентации. Однако этот вывод должен быть подтвержден прямым экспериментом, где роль периферической стимуляции оценивалась бы независимо от размера рамки.

В другом исследовании (Gogel, Newton, 1975) установили, что рамка, находящаяся на одном и том же удалении от наблюдателя, что и стержень, влияет на кажущийся наклон стержня больше, чем когда они находятся на разных дистанциях. Однако эти авторы использовали рамки небольшого размера (сторона  $10^\circ$ ). Более детально роль фактора воспринимаемой глубины в ТСР изучали в работе С. Эбенхольца и Дж. Глейсера (Ebenholtz, Glaser, 1982). Когда плоскости стержня и рамки взаимно пересекались под углом  $45^\circ$ , то их относительная глубина не влияла на величину эффекта стержня и рамки, даже когда рамка менялась по величине от  $39^\circ$  до  $13^\circ$ . Расположение стержня и рамки на разных расстояниях от наблюдателя (соответственно, 100 и 160 см) изменяло величину эффекта стержня и рамки только при небольших (менее  $7^\circ$ ) размерах рамки и угле поворота рамки на  $15^\circ$ ; увеличение же размера рамки или угла поворота приводило к восстановлению исходной величины эффекта стержня и рамки. Результаты показали ограниченность принципа смежной глубины (см. Gogel, Newton, 1975) областью действия фокальной зрительной системы. Рамки больших размеров обрабатываются, видимо, другой (периферической) зрительной системой, не реагирующей на относительную глубину объектов.

Если рамка находится внутри светящейся окружности, размеры которой чуть больше размера рамки, то эффект влияния наклонной рамки на установку стержня в вертикально позицию существенно снижается (Ebenholtz, Utrie, 1982). Тормозное влияние кругового контура на эффект теста и рамки выражено как для группы зависимых от поля, так и для независимых от поля испытуемых.

### 2.2.1. Варьирование наклона рамки

Квадратная рамка не имеет полярной оси и, следовательно, когда она наклонена на  $45^\circ$ , то может быть оценена как прямой ромб. В этой позиции она не должна влиять на кажущуюся вертикальную позицию включенного в нее стержня и, тем более, рамка не должна оказывать никакого влияния, когда она будет повернута на угол  $90^\circ$ . В работах Х. Беха с соавт. (Beh et al., 1971; Beh, Wenderoth, 1972) измеряли влияние угла поворота рамок, имеющих форму треугольника, квадрата и шестиугольника и установили, что кажущаяся вертикальная позиция стержня, включенного в рамку, смещается в направлении ближайшей оси симметрии рамки. В последующем исследовании (Wendepoth, Beh, 1977) изучали влияние наклонной рамки в ситуации, когда отдельные стороны рамки отсутствовали,

и снова подтвердили принципиальную важность осей симметрии. Максимальное смещение кажущейся вертикали достигало в этих экспериментах только  $1.5^\circ$ , что неудивительно, поскольку угловые размеры рамки составляли всего около  $7^\circ$ .

Если рамкой является комната, то она имеет полярные признаки (пол и потолок) и, следовательно, кажется вертикальной только в одной позиции. Если полярная ось служит системой отсчета для оценки вертикальности, то можно ожидать, что кажущаяся вертикальная позиция стержня будет смещаться в направлении наклона комнаты вплоть до углов наклона  $180^\circ$ , т. е. пока комната не перевернется «вверх ногами». Было подтверждено (Singer et al., 1970), что добавление полярных признаков (мебель) на противоположную сторону пустого короба, наклоненного на  $45^\circ$ , ведет к тому, что стержень отклоняется на  $17^\circ$  в направлении наклона короба. Большая величина эффекта объясняется тем, что угловой размер короба в этом эксперименте составлял  $53^\circ$ . Когда на  $67^\circ$  наклоняли пустую рамку, то стержень, как и следовало ожидать, смещался к ближайшей стороне рамки. Однако даже когда на таком угле наклона добавляли полярные признаки ориентации, то стержень все равно оставался смещенным к ближайшей стороне рамки, а не в направлении полярной оси. Как показали Т. Перселл с соавт. (Purcell et al., 1978), в случае предъявления наклонных изображений реальных уличных сцен кажущаяся вертикаль сохраняет наклон в сторону полярной оси вплоть до наклона изображения на  $75^\circ$ , когда отклонение от вертикали становилось равным нулю. Вероятно, во всех этих экспериментах рамки не вызывали полного ощущения натурального окружения: они представляли собой ящик, либо спроецированную на экран фотографию. В работе (Morant, Deller, 1965) оценивали смещение кажущейся вертикали в зависимости от наклона реальной трехмерной сцены. Было показано, что смещение увеличивалось до угла наклона в  $75^\circ$ , который являлся максимальным из тестируемых углов. Это не удивительно, поскольку участвующие в эксперименте испытуемые могли перемещаться в реальном мире, одновременно наблюдая этот мир через призмы, создающие оптический наклон, тогда как в других исследованиях испытуемые пассивно сидели перед рамкой или экраном. Видимо, при полном включении в наклонную комнату она будет системой отсчета даже при максимальном наклоне. Так пилоты в условиях перевернутого полета могут и не осознавать необычности своего положения, хотя сами они находятся при этом вверх ногами.

### 2.2.2. Факторы, влияющие на величину эффекта стержня и рамки

Среднее смещение кажущейся вертикали в ТСП составляет  $8^\circ$  при угле поворота рамки на  $22^\circ$ ; некоторые испытуемые показывают больший эффект, некоторые — меньший. Ошибки до  $2^\circ$  могут быть отнесены за счет эффекта контраста наклона, возникающего между сторонами рамки и стержнем (см. Goodenough, Oltman et al., 1979). Другими возможными факторами являются: 1) торзионные движения глаз, индуцированные наклонной рамкой; 2) кажущийся наклон тела, индуцированный наклонной рамкой; и 3) когнитивная установка на использование наклонной рамки в качестве истинной системы отсчета.

В работе (Howard, Templeton, 1964) не получили доказательств существования торзионных движений глаз в ситуации, когда испытуемые наблюдали наклонную линию длиной  $10^\circ$ . Однако в другом исследовании (Goodenough, Sigman et al., 1979) обнаружили торзионные движения глаз амплитудой около  $1^\circ$ , когда испытуемые смотрели на наклонную визуальную рамку. Было установлено (Kertesz, Sullivan, 1978), что торзия глаз может быть вызвана при определенной величине циклодиспаратности, но только при больших зрительных изображениях. Было проведено исследование (Balliet, Nakayama, 1978a), в котором экспериментаторы смогли научить своих испытуемых делать произвольные торзионные движения глаз общей амплитудой до  $30^\circ$ . Они сообщили (Balliet, Nakayama, 1978b), что истинно вертикальная освещенная линия кажется смещенной в направлении, противоположном направлению произвольной торзии глаз. Это смещение было аналогично тому, которое возникает при наклоне головы. Они предположили, что сигналы, связанные с торзией глаза, и сигналы от вестибулярных каналов, связанные с наклоном головы, завязаны в общую цепь на уровне вестибулярных ядер мозга. Но обычная оптостатическая торзия может объяснить отклонения кажущейся вертикали только на угол не более чем  $1^\circ$ ; следовательно, без объяснения остается еще  $7^\circ$  кажущегося отклонения вертикали вследствие индукции наклонной рамки.

Существует предположение, что в некоторых случаях наблюдение наклонной рамки индуцирует кажущийся наклон тела в противоположном направлении. Этот кажущийся наклон тела и служит причиной кажущегося смещения стержня. Было показано (Sigman, et al., 1979), что кажущаяся вертикальная позиция стержня смещается в среднем на  $7^\circ$  в направлении наклоненной на  $28^\circ$  рамки, и что кажущаяся вертикальная позиция тела смещена на  $2.5^\circ$  в том же направлении. Между этими двумя измерениями установлена значимая корреляция. Отсюда следует, что часть влияния наклонной рамки на

кажущуюся ориентацию стержня обусловлена изменением кажущейся ориентации тела. В сходном исследовании (Ebenholtz, Benzschawel, 1977) измеряли кажущийся наклон головы при предъявлении наклонной рамки. Здесь также был обнаружен искомый эффект, но его величина не позволяла полностью объяснить наклон визуальной вертикали. Если инструкция требует от испытуемых установить стержень в направлении оси тела, а не в направлении гравитации, то любой эффект, связанный с наклоном тела, должен элиминироваться. Для проверки был проведен эксперимент (Sigman, et al., 1979), где установили, что инструкция, ориентированная на оценку направления продольной оси тела, уменьшила эффект влияния наклоненной на  $28^\circ$  рамки до  $2.4^\circ$ . Эти результаты подтверждают определенный вклад кажущегося наклона тела в оценку субъективной вертикали и показывают, что наклонная рамка не оказывает никакого влияния на ориентацию стержня, если внимание испытуемого направлено на эгоцентрическую ось. Последний вывод подтверждают данные, полученные в работе (Rieser, Banks, 1981). В условиях обедненной визуальной стимуляции, не включающей признаков вертикальности, испытуемые воспринимали наклонную линию в гравитационной (экзоцентрической) системе отсчета, а при наличии визуальных признаков вертикальности — в сетчаточной системе отсчета. Следует, таким образом, признать, что при оценке вертикальности стержня, помещенного в наклонную рамку, еще одной переменной (наряду с адаптацией к наклону, торзии глаз и кажущегося наклона тела), является неспособность человека отделить незрительные впечатления о гравитационной вертикали от ориентации зрительной системы отсчета. Даже на сознательном уровне некоторые люди не имеют ясного понятия о горизонтали и вертикали, что способствует их перцептивной дезориентации (Howard, 1978).

### **2.3. Влияние вращающегося фона на зрительную вертикаль**

Зрительное изображение (сцена), которое вращается во фронтальной плоскости вокруг зрительной оси наблюдателя, индуцирует ощущение собственного вращения тела в противоположном направлении. Эта иллюзия получила название *иллюзорного ощущения самонаклона*. Отолитовые органы и соматетические рецепторы снабжают мозг такой информацией, которая конфликтует с этим ощущением вращения. Эти конфликтующие сигналы вызывают парадоксальные ощущения — тело

кажется непрерывно вращающимся и в то же время воспринимается как наклоненное на определенную величину. Наблюдение такого вращающегося изображения ведет к кажущемуся угловому смещению стационарной вертикальной линии в направлении, противоположном вращению (Bishop, Schierer, 1970; Brecher, 1934). Установлено (Hughes et al., 1972), что смещение кажущейся вертикальной позиции линии в направлении вращения фона увеличивается до максимального значения ( $3^\circ$ ) по мере увеличения угловой скорости фона до  $36^\circ/\text{с}$ . Однако размеры фона в этом эксперименте были незначительными — только  $19^\circ$ . В другом исследовании (Dichgans et al., 1972) в качестве вращающегося фона использовали изображение размером  $130^\circ$  в диаметре, заполненное случайно расположенными точками. Было установлено, что кажущаяся вертикальная позиция центрально расположенной линии смещалась на максимальную величину  $15^\circ$ , когда угловая скорость фона достигала  $30^\circ/\text{с}$ . На больших угловых скоростях эффект оставался более или менее постоянным. На каждой скорости кажущийся наклон линии достигал устойчивого уровня лишь после 18 с наблюдения. Возвращение к адекватному восприятию вертикальной линии требовало почти такого же периода, отсчитываемого от момента остановки вращения фона. Дрейф кажущейся угловой позиции вертикальной линии сопровождался сдвигом кажущейся угловой позиции тела наблюдателя и парадоксальным ощущением вращения тела и зрительной линии. Позднее установили (Held et al., 1975), что стимулирующая зона тем более эффективна, чем больше она смещена к периферии сетчатки. В этом эксперименте испытуемые видели сквозь круглое отверстие в ширме лишь небольшой участок случайно-точечного паттерна, вращающегося вокруг точки фиксации. Варьировали позицию зоны стимуляции константной площади в поле зрения испытуемых. Полученный результат еще раз свидетельствует о важности периферических сетчаточных механизмов для восприятия эгоцентрической ориентации. Для объяснения кажущегося наклона зрительной вертикали в условиях вращающегося фона нужно привлечь механизмы стабилизации позы. Хорошо известно, что амплитуда покачивания тела уменьшается при нахождении в поле зрения неподвижной сцены, имеющей четкие признаки вертикальной ориентации. В этих условиях она не превышает  $2^\circ$  (Dichgans, Brandt, 1978). В экспериментах использовали визуальный фоновый паттерн, который не содержал граней и не имел признаков вертикальности, что облегчает индуцированное раскачивание тела. В другом эксперименте (Mauritz et al., 1977) использовали синусоидально вращающийся фон и установили, что

индуцированный зрительный наклон при таком типе движения является функцией амплитуды колебаний и не зависит от угловой скорости и частоты колебаний. Однако амплитуда колебаний должна была достигать величины  $5^{\circ}$ – $8^{\circ}$ , чтобы вообще возник какой-либо эффект. Исследователи объяснили такие высокие, по сравнению с амплитудой естественного качания тела, пороги тем фактом, что естественное качание тела сопровождается вестибулярной стимуляцией, которая отсутствует при зрительной стимуляции раскачивания. По-видимому, отсутствие вестибулярной стимуляции сказывается и на большой латентности зрительно индуцированного кажущегося наклона. Тем не менее, поскольку сигналы от утрикулуса действуют сдерживающим образом на амплитуду кажущегося смещения зрительной вертикали, можно ожидать, что эффективность этих сдерживающих влияний будет меньше, когда голова человека отклонена в сторону той позиции, где утрикулос является менее чувствительным. Эта гипотеза получила экспериментальное подтверждение (Dichgans et al., 1974).

Изображение, вращающееся вокруг зрительной оси, индуцирует смещение торзионной позиции глаз примерно на  $3^{\circ}$  в том же направлении (Crone, 1975; Howard, Templeton, 1964; Kertesz, Jones, 1969). Торзионные движения могут быть приняты в расчет для небольших смещений зрительной вертикали, наблюдаемых при маленьких вращающихся изображениях, хотя экспериментальные данные на этот счет отсутствуют. Однако торзионные движения глаз лишь частично могут объяснить смещение зрительной вертикали до  $15^{\circ}$ , наблюдаемые при больших вращающихся изображениях. Согласно данным, полученным в работе (Finke, Held, 1978), величина кажущегося зрительного наклона не коррелирует с амплитудой торзии, индуцированной большим вращающимся изображением.

### **3. Влияние наклона тела на зрительную вертикаль**

#### **3.1. Эффекты Ауберта (А) и Мюллера (Е)**

При наклоне головы в условиях полной темноты объективно вертикальная линия кажется отклоненной в противоположную сторону (*феномен Ауберта* (Aubert, 1861), или «А-эффект») или в сторону наклона головы (*феномен Мюллера* (Müller, 1916), или «Е-эффект»). Соответственно, при установке кажущейся вертикали она, согласно А-эффекту, будет наклонена в ту же сторону, что и голова, а согласно Е-эффекту она будет иметь наклон, противоположный наклону головы.

Г. Мюллер установил, что для большинства людей Е-эффект переживается при небольших наклонах головы, а А-эффект — при больших наклонах головы, причем некоторые люди испытывают только А-эффект. В более новых исследованиях получены количественные данные по А- и Е-эффектам. Е-эффект достигает своего максимального значения (от  $3^\circ$  до  $12^\circ$ ) при наклоне всего тела на  $30^\circ$ – $40^\circ$ . При больших углах наклона тела величина Е-эффекта уменьшается и достигает нулевого значения при наклоне около  $60^\circ$ . При дальнейшем наклоне всего тела до  $180^\circ$  наблюдается увеличение величины А-эффекта, которая достигает максимального значения  $15^\circ$  (Bauermeister, 1964; Miller et al., 1965; Wade, 1969b).

А-эффект можно ожидать, если человек недооценивает величину наклона головы, а Е-эффект — если он переоценивает наклон головы. Поэтому можно предположить, что большой угол наклона головы недооценивается, а при малый — переоценивается. Было предложено (Schöne, 1962) напрямую связать позицию кажущейся вертикали с действием вертикально направленной силы тяжести на утрикулярную поверхность, поскольку они оба изменяются по синусоидальному закону в зависимости от угла наклона тела. Видимо, такое прямое влияние сигналов от утрикулюса на кажущуюся вертикаль не всегда имеет место, но, как будет показано ниже, иллюзии такого типа встречаются у людей со снижением вестибулярных функций. Одним из наиболее часто отмечаемых отклонений от синусоидальной зависимости между позицией кажущейся вертикали и углом наклона тела является *ориентационный гистерезис* — существуют различия в величине (а иногда и знаке) отклонения зрительной вертикали от гравитационной вертикали при наклоне по и против часовой стрелки. Максимальное значение гистерезиса приходится на диапазон наклона тела от  $150^\circ$  до  $165^\circ$ , а минимальное значение он имеет при нулевом наклоне тела (Lechner-Steinleitner, Schöne, 1980).

Влияние наклона тела на зрительную вертикаль не связано с ошибками в понимании того, что является гравитационной вертикалью. Н. Вэйд установил (Wade, 1970b), что испытуемые демонстрируют одну и ту же величину эффекта, когда им подробно объясняли значение термина «вертикаль» и когда их просто просили установить линию в позицию, где она выглядела бы вертикальной. В другой его работе (Wade, 1970a) была показана независимость проявления Е-эффекта при повороте головы на  $30^\circ$  от используемого для его измерения психофизического метода, хотя абсолютная величина Е-эффекта варьировала от метода к методу.

Одним из очень важных факторов, который часто игнорируют при исследовании А- и Е-эффектов, является длина линии. Показано (Wade, 1969b), что линия длиной  $40^\circ$  вызывает меньший Е-эффект, чем линия длиной только  $7^\circ$ . Другое подтверждение (хотя и косвенное) дает работа Х. Валлаха и Дж. Бэкона (Wallach, Bacon, 1976). Когда радиальный паттерн был центрирован в поле зрения и занимал угол  $40^\circ$ , то скорость его вращения должна была на 5% превышать скорость вращения головы наблюдателя в ту же сторону, чтобы этот наблюдатель мог заметить изменение в ориентации паттерна. Однако когда размер радиального паттерна сужали до нескольких градусов (при проекции в фовеальную область сетчатки), то заметить его движение можно было только при превышении скорости вращения головы на 18%. В обеих этих ситуациях эффект отсутствия воспринимаемого движения при несовпадении угловых скоростей паттерна и головы эквивалентен по направлению с Е-эффектом.

Если тело человека вращать вокруг зрительной оси в течение некоторого времени и затем внезапно остановить, то это приведет к кажущемуся смещению вертикальной линии в направлении, противоположном предшествующему вращению тела. Этот эффект затухает в течение 1–2 минут и его заменяют обычные А- и Е-эффекты. Величина и длительность этого *послевращательного иллюзорного эффекта* будут наименьшими, если голова остановится в вертикальной позиции, где отолитовые органы могут наиболее эффективно отграничить влияние полукружных каналов, и наибольшими, когда голова после вращения останется под наклоном  $150^\circ$ , где отолиты наименее эффективны (Udo de Haes, Schöne, 1970).

Отклонение головы назад вызывает сходные кажущиеся отклонения вертикальной линии в медиальной плоскости (Ebenholtz, 1972), хотя такой тип оценок усложняется за счет дополнительных факторов (см. Ebenholtz, 1970). По-видимому, влияние наклона головы назад на кажущийся наклон линии в вертикальной плоскости не зависит от эффекта одновременного наклона головы в сторону (Wade, 1972).

Вариативность оценок вертикали также увеличивается с возрастанием наклона всего тела (Miller et al., 1965). Это увеличение вариативности связано преимущественно с понижением чувствительности утрикулуса при возрастании наклона головы (Miller, Graybiel, 1963).

А- и Е-эффекты могут быть связаны с одним или несколькими из следующих сенсомоторных изменений, происходящих при наклоне головы, или со способом интерпретаций этих изменений: 1) торзия глаз; 2) изменения в вестибулярных сенсорных сигналах, особенно

в отолитовых органах; 3) изменения в соматетических сигналах, вызываемых контактом тела с поддерживающими его поверхностями; 4) изменения в кинестетических сигналах от суставов и мускулатуры ног, спины и шеи. Ниже будет более подробно рассмотрен вклад этих систем в процессе зрительного восприятия вертикали.

### **3.1.1. Торзия глаза и А- и Е-эффекты**

Когда голова человека находится в наклонной позиции, то глаза вращаются в противоположную сторону, так что нормально вертикальный меридиан сетчатки не наклоняются на тот же угол, что и голова. Это противовращение глаз составляет около 10% от угла поворота головы (Schöne, 1962), в отличие от животных (например, кролики и рыбы), где амплитуда торзии близка к 100% от угла наклона головы. Если система зрительной ориентации не может учесть это противовращение, то ошибки ориентации должны быть в том же направлении, что и Е-эффект. Однако, Е-эффект не является простой функцией торзии глаза. Так, Е-эффект был обнаружен у людей, чьи глаза не могли вращаться из-за имеющихся у них вестибулярных нарушений (Miller et al., 1968). Попытка найти взаимосвязь между вариабельностью оценок вертикали и интенсивностью и длительностью поствращательного торзионного нистагма оказалась неудачной (Udo de Haes, 1970). В работе Б. Меркера и Р. Хелда (Merker, Held, 1981) использовали линию, имевшую размер  $32^\circ$ , и не получили устойчивой взаимосвязи между статической торзией глаза и величиной, а также вариабельностью кажущегося углового смещения линии при наклонной голове. Следует заключить, что остаточная торзия не оказывает достаточно сильного влияния на кажущуюся вертикаль, хотя и было установлено (Balliet, Nakayama, 1978), что произвольно индуцированная торзия глаза сопровождается соответствующим сдвигом кажущейся вертикали.

### **3.1.2. Зрительная вертикаль при погружении тела в воду**

Если человек свободно взвешен в воде в состоянии нейтральной плавучести и его среда лишена внешних признаков вертикальности (темперальных градиентов, пузырьков воздуха и зрительных признаков), то единственным источником о вертикали могут служить сигналы от отолитовых органов. Данная экспериментальная модель позволяет оценить вклад тактильных признаков в восприятие зрительной вертикали, сравнивая результаты выполнения испытуемым задания на установку визуальной линии в вертикальную позицию при погружении его в воду и в ситуации, когда он сидит в кресле на воздухе. Ранние

эксперименты этого типа были признаны неудовлетворительными (Brown, 1961). Х. Шён (Schöne, 1964) провел тщательные эксперименты по оценке кажущейся вертикали у погруженных в воду испытуемых, наклон тела которых меняли от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . До угла наклона тела в  $90^\circ$  точность и вариативность установки линии в вертикальную позицию под водой и на воздухе почти полностью совпадали, но при углах больше  $90^\circ$  вариативность установки вертикали под водой возрастала быстрее, особенно в положении вверх ногами, где диапазон оценок составлял почти  $30^\circ$ . В этой перевернутой позиции испытуемые иногда сообщали о вертикальной ориентации своего тела. Очень похожие результаты были получены и в других экспериментах (Nyborg, 1980; Wade, 1973). В работе А. Грейбела с соавт. (Graybiel et al., 1968) показано сходство в оценке вертикали при погружении в воду и в «сухих» условиях для углов наклона тела до  $30^\circ$ ; большие углы наклона там не тестировались. Общий вывод из экспериментов с погружением состоит в том, что соматетические ощущения лишь очень незначительно могут повлиять на точность оценки зрительной вертикали для малых углов наклона тела, а при больших углах наклона тела они дают дополнительную информацию отолитовым органам.

### **3.1.3. Зрительная вертикаль и изменение соматетической стимуляции**

Для изучения роли тактильных признаков в восприятии вертикали некоторые исследователи использовали анестезию тех поверхностей кожи, которые контактировали с плоскостью опоры (стопы, ягодицы). Было установлено (Arndts, 1924; Garten, 1920), что такая анестезия не влияет на способность устанавливать тело в вертикальное положение (стоя или сидя). Но эти эксперименты мало что говорят нам о влиянии тактильных ощущений на оценку угла наклона тела, а ведь именно эта операция требуется для восприятия зрительной вертикали при наклоне тела. Этот вопрос исследовали с помощью более прямого метода (Nyborg, 1971). Каждый испытуемый фиксировался в стоячей позиции внутри рамы, где он был закреплен либо с помощью резиновых прокладок, создающих диффузную тактильную стимуляцию, либо с помощью четырех жестких упоров, так что область соприкосновения была локализована. Испытуемые устанавливали стержень в направлении зрительной вертикали в условиях фоновой наклонной рамки. Сами они находились либо в прямой позиции, либо их тело было наклонено на  $28^\circ$  вправо или влево. Различия между двумя условиями тактильной стимуляции четко выявились только в том случае, когда

тело испытуемого находилось в наклонной позиции — разница ошибок составляла 2°. Таким образом, результаты снова подтверждают тот факт, что соматестетические ощущения становятся важным фактором пространственной ориентации человека только при наклоне тела.

### **3 1.4. Влияние наклона головы при прямой позиции тела и в положении на спине**

Одним из способов элиминировать вклад отолитовых органов в выполнение задания на оценку зрительной ориентации линии состоит в том, чтобы положить испытуемого на спину и попросить его установить линию во фронтальной плоскости, параллельно лонгитудинальной оси его тела. Этот способ менее дорог, чем создание условий невесомости. Когда голова находится на одной линии с туловищем, то на ориентацию линии, расположенной по центру головы, мало влияет поза испытуемого — прямая или на спине (Broscole, Cristal, 1967). Это и не удивительно, поскольку когда голова находится на одной линии с туловищем, то в любом случае, независимо от позы испытуемого, сенсомоторная система симметрична, а отолитовые и тактильно-кинестетические сигналы будут irrelevantны выполняемому заданию.

Более трудным является вопрос о том, будет ли наклон головы относительно туловища больше влиять на способность устанавливать линию в направлении средней линии тела при положении испытуемого на спине, чем когда он находится в прямой позиции. Между этими позами имеются два главных различия: а) отсутствие (в 1-м случае) или наличие (во 2-м случае) соматестетически-отолитового комплекса ощущений, куда входят, наряду с реакцией отолитов, ощущения от рецепторов давления (с ног или ягодич), от кинестетических рецепторов голени и спины, а также сигналы от утрикулуса, и б) отсутствие (в 1-м случае) или наличие (во 2-м случае) остаточной торзии глаз. Общее же между ними — это информация о наклоне головы, поступающая от суставных рецепторов шеи.

Независимый вклад торзионных движений глаз может быть оценен, если попросить испытуемого установить визуальную линию в медиальную плоскость головы, когда голова будет наклонена под различными углами к туловищу, находящемуся в прямой позиции и в позиции на спине. Такой эксперимент был проведен Н. Вэйдом (Wade, 1970c). Он показал, что кажущаяся медиальная плоскость головы смещалась на 4° в направлении к туловищу, когда голова была наклонена под углом 40° к прямо расположенному туловищу. Однако в позиции туловища на спине наклон головы не влиял на точность

оценки ее медиальной плоскости. Направление кажущегося отклонения головы в прямой позиции совпадало с направлением Е-эффекта. Хотя торзионные движения глаз и не измерялись в данном эксперименте, отсутствие иллюзии в позиции на спине, где, как известно, не возникает остаточной торзии, заставляет предположить, что в условиях прямой позы величина торзии составляла  $4^\circ$ .

Комбинированный вклад торзии глаз и соматетически-отолитового комплекса можно измерить, если просить испытуемых устанавливать зрительную линию в направлении медиальной плоскости туловища, в то время как голова наклонена под различными углами к туловищу, находящемуся в прямой позиции или на спине (Templeton, 1973). Постоянные ошибки были незначимы при наклоне головы на  $20^\circ$  в условиях прямой позы. В позиции на спине тот же наклон головы привел к появлению постоянной ошибки в несколько градусов в том же направлении. Полученную в эксперименте неточность установки линии в позиции на спине можно связать с эффектом адаптации суставных рецепторов шеи, который компенсируется в прямых условиях за счет достоверной информации, идущей от соматетически-отолитового комплекса. Из этих исследований можно сделать вывод, что торзия глаза недооценивается ориентационной системой человека и что соматетически-отолитовый комплекс позволяет сделать более точные оценки относительной позиции головы и туловища, чем это возможно на базе сигналов от суставных рецепторов шеи.

К проблеме взаимодействия между наклоном головы и позой тела можно подойти и с другой стороны. Например, в одном из экспериментов (Lechner-Steinleitner, 1978) туловище испытуемого было прикреплено к вертикальной доске, которую можно было наклонять в сторону на угол до  $150^\circ$ . В каждой из этих наклонных позиций туловище испытуемого находилось либо на одной линии с головой, либо голова была отклонена назад. В последнем случае доску вращали вперед на тот же угол, чтобы коронарная плоскость головы во всех случаях оставалась вертикальной. В каждой позиции испытуемому показывали освещенную линию во фронтальной (по отношению к голове) плоскости и его задача состояла в установке линии в направлении кажущейся вертикали. Отлитовая стимуляция и торзия глаза должны были изменяться вместе с наклоном туловища и головы в сторону, но на способ этого изменения не должна была влиять позиция туловища относительно головы, о которой сигнализировали только соматетические ощущения, возникающие при контакте тела с доской. Было установлено, что изменение позы туловища относительно позиции на груди увеличивало константную и стандартную

ошибки зрительных оценок, но только для углов наклона тела, превышающих  $90^\circ$ . Сделан вывод, что при небольших углах наклона тела деятельность по зрительной пространственной ориентации опирается главным образом на сигналы, идущие от отолитового аппарата, но надежность этого источника информации падает при увеличении угла наклона, и на больших углах на нее начинают оказывать сильное влияние соматестетические сигналы (см. также Udo de Haes, Schöne, 1970).

### **3.2. Зрительная вертикаль у людей с нарушением вестибулярных функций**

Единственным способом элиминировать влияние лабиринтов (отолитовых органов и каналов) на восприятие зрительной вертикали состоит в использовании испытуемых с билатеральным повреждением вестибулярной функции. Использование таких испытуемых позволяет выявить возможное влияние оставшихся функций. При этом вестибулярное нарушение должно быть не слишком свежим, но и не слишком давним.

Люди с нарушением вестибулярных функций не испытывают трудностей в сохранении равновесия или в ориентировке, когда они могут видеть окружающую их обстановку. Но даже в темноте их константная и переменная ошибки в установке светящейся линии относительно вертикали аналогичны тем, которые имеют здоровые люди, если их тело находится в прямой позиции. Как было показано (Clark, Graybiel, 1966b), здоровые испытуемые и испытуемые с нарушением вестибулярных функций делают одни и те же ошибки, когда они стоя устанавливают светящуюся линию в вертикальную ориентацию, а их туловище и голова наклонены под разным углом. При такой активно поддерживаемой позе ни одна из групп испытуемых не показала значимых постоянных ошибок при наклоне головы или головы и туловища на угол до  $20^\circ$  в любую из сторон. Видимо, кинестетическая и моторная активность, связанная с активно поддерживаемой позой и различным давлением на ноги, позволяла обеим группам испытуемых точно выставлять зрительную вертикаль в отсутствие зрительной системы отсчета. Из того факта, что у здоровых людей остаточная торзия глаза составляет около  $2^\circ$  при наклоне головы на  $20^\circ$ , а у людей без работающих лабиринтов противоторзия отсутствует вовсе, и что эти различия не проявляются в средних константных ошибках, можно предположить, что испытуемые обеих групп в состоянии адекватно оценить торзионную позицию своих глаз.

Когда здоровых испытуемых и испытуемых с вестибулярными нарушениями пассивно наклоняют в кресле и просят установить освещенную линию в вертикальную ориентацию, то обе группы, в среднем, показывают Е-эффект до угла поворота тела на  $60^\circ$ , и А-эффект — на больших углах поворота. Однако испытуемые с вестибулярными нарушениями демонстрируют значительную величину иллюзорных эффектов, и вариативность их оценок увеличивается по мере возрастания наклона тела с большей скоростью, чем у здоровых испытуемых (Miller et al., 1968). Испытуемые с вестибулярными нарушениями, погруженные в воду с закрытыми глазами, дезориентируются легче, чем здоровые люди в тех же условиях (Padden, 1959).

### **3.3. Зрительная вертикаль и постуральные последствия**

После того, как человек поддерживал асимметричную позу в течение некоторого времени, позиционное чувство соответствующих частей тела (кисти, головы и т. п.) не остается неизменным и претерпевает временную динамику. Такие *постуральные последствия* способны нарушить оценки кажущейся ориентации освещенной линии в темноте. Изучены две таких ситуации, связанные с наклоном головы относительно туловища и с наклоном всего тела.

В исследовании (Day, Wade, 1968) испытуемых просили ориентировать светящуюся линию в направлении вертикали при прямо расположенной голове. Измерения точности установки вертикали проводили до и после двухминутного удержания головы в наклонной позиции. Углы адаптирующего наклона варьировали до  $40^\circ$ . После наклона головы испытуемые устанавливали линию с ошибкой до  $6^\circ$  в направлении предшествующего наклона головы. Такое направление последствий подтверждает предположение, что суставные рецепторы шеи адаптировались в период наклона головы и остались в адаптированном состоянии после возвращения головы к вертикальной позиции. Другое возможное объяснение предполагает адаптацию отолитовых органов. Однако в последующем эксперименте было показано, что установка светящейся линии в направлении ориентации оси тела выполняется с одинаковым последствием наклона головы и когда туловище находится в прямой позиции, и когда тело испытуемого находится в позиции на спине. Следовательно, именно суставные рецепторы шеи, а не отолитовый аппарат, определяет эффект постурального последствия. Кроме того, имеются физиологические

данные об отсутствии адаптации отолитовых органов (Fernandez, Goldberg, 1976). Было установлено (Wade, Day, 1968a), что величина зрительного последействия возрастает при увеличении периода наклона головы и затухает по экспоненте после того, как голова возвратится к вертикали. В работе (Wade, Day, 1968b) сравнивали величину и направление двух последействии наклона головы: зрительного (ошибки в установке зрительной вертикали) и постурального (кажущийся наклон головы). Показано, что оба эти последействия имеют сходную величину и направление вплоть до 20° адаптирующего наклона головы. При увеличении этого угла зрительное последействие увеличивается, тогда как постуральное последействие уменьшается. Причины такой диссоциации последействий не ясны — возможно здесь начинают играть роль торзионные движения глаз.

Постуральные и зрительные последействия вызываются также наклоном всего тела, и в этом случае, конечно, суставные рецепторы шеи не оказывают никакого влияния. Было показано (Clark, Graybiel, 1963), что когда испытуемым предлагали возвратиться в прямую позицию после нахождения в течение некоторого времени в наклонной позиции, их конечная поза была отклонена на некоторый угол от вертикали в сторону предшествующей наклонной позиции. Сходный эффект был продемонстрирован позднее (Schöne, Lechner-Steinleitner, 1978) на материале установки светящейся линии в вертикальную ориентацию при латеральном наклоне всего тела, которому предшествовали наклоны большей или меньшей величины. Направление этого эффекта совпадает с направлением последействий, описанных в публикациях (Clark, Graybiel, 1963; Wade, 1968).

Имеется ряд аргументов в пользу того, что постуральные и зрительные последействия наклона всего тела обусловлены адаптацией соматетических рецепторов: 1) испытуемые с лабиринтными нарушениями демонстрируют бóльший эффект, чем здоровые испытуемые; 2) наименьшая величина эффекта соответствует вертикальной позиции тела, где отолитовые органы наиболее чувствительны, а наибольшая его величина соответствует углам наклона 90° и более, где отолитовые органы наименее чувствительны; 3) эффект имеет бóльшую величину, когда голова составляет прямую линию с туловищем и соматетические рецепторы стимулируются более интенсивно, чем когда туловище находится под углом к фронто-параллельной плоскости при сохранении той же позиции головы и соматетические рецепторы стимулируются меньше. Следовательно, на зрительную вертикаль влияет как адаптация суставных рецепторов шеи, так и адаптации соматетичес-

ких рецепторов. Установлено (Wade, 1968), что для определенного угла наклона последствие наклона головы на кажущуюся вертикаль будет больше, чем последствие наклона всего тела. Прямое сравнение этих влияний было проведено путем измерения зрительного последствия от наклона туловища при условии сохранения вертикальной позиции головы. В этой ситуации последствие адаптации суставных рецепторов шеи направлено в сторону, противоположную направлению последствия соматических рецепторов туловища. Результирующее последствие было направлено в сторону, предсказанную из расчета адаптации суставных рецепторов шеи.

Эффекты сенсорной адаптации в процессе сохранения позы могут быть продемонстрированы не только с помощью оценки последствия, но также через сдвиг кажущейся зрительной вертикали при поддержании заданной позы. Среднее значение Е-эффекта для 30 испытуемых, установленное при наклоне головы на  $30^\circ$ , постепенно снижалось с  $6^\circ$  до  $4^\circ$ , пока голова сохраняла наклонную позу в течение нескольких минут (Wade, 1970c).

### **3.4. Новое решение проблемы субъективной вертикали: вклад гипотетического идеотропического вектора**

Х. Миттельштат (Mittelstaedt, 1983) предложил новое решение проблемы субъективной вертикали. Он исходил из тех фактов, что визо-окулярная система в состоянии дать адекватную оценку наклона визуальной линии, отсчитываемого от позиции головы (Кееле, 1963). В связи с этим А- и Е-эффекты традиционно связывают с ошибками (недооценкой или переоценкой) угла наклона тела (головы) в гравитационной системе отсчета. Однако проведенные Х. Миттельштатом эксперименты показали, что испытуемые с достаточно высокой точностью принимают горизонтальное положение, хотя при этом продолжают делать большие ( $21^\circ$ ) ошибки в установке субъективной (зрительной) вертикали. Высказано предположение, что на оценку зрительной вертикали оказывает влияние третий фактор — тенденция локализовать субъективный зенит в направлении лонгитудинальной оси тела наблюдателя. Результирующий вектор зрительной вертикали получается путем алгебраического сложения вектора гравитации с гипотетическим вектором, получившим название «*идеотропического*». Существование последнего продемонстрировано экспериментально в ситуациях, где голова испытуемого находилась под углом  $90^\circ$  к направлению продольной оси туловища, а само туловище было

в положении на спине, на боку или вниз головой. Идиотропический вектор имеет среднюю (аналитически вычисленную) величину 0.4 от значения гравитационного вектора и является личной константой. Наличие идиотропической тенденции распространяется не только на оценку визуального зенита, но и на оценку гаптического зенита. Предполагается, что идиотропический вектор не обусловлен работой какой-либо специфической сенсорной системы, а имеет, скорее, центральную природу. Показаны большие прогностические возможности новой теории субъективной вертикали.

#### **4. Восприятие вертикали при изменении гравитоинерционного вектора**

##### **4.1. Оценка зрительной вертикали человеком, находящимся в центрифуге: окулогравический эффект**

Центрифуга иногда используется с целью изучения влияния эффектов кругового вращения (6 основных типов воздействий на органы чувств (см. Howard, 1982) на оценку зрительной вертикали. Если человек, вращаемый на центрифуге, помещен в закрытую камеру, лишенную зрительных признаков вертикальности, то он принимает новое направление «гравитации» как собственную систему отсчета. Когда человек обращен к центру центрифуги, то он переживает наклон тела назад, эквивалентный косо направленной силе, действующей на поверхность утрикулуса, и соответствующий подъем точки света, находящейся на уровне глаз (Cohen, 1973; Schöne, 1964). Если же человек расположен лицом в направлении движения центрифуги, то он переживает сходный наклон тела вбок и эквивалентный кажущийся наклон освещенной вертикальной линии, расположенной в его фронтальной плоскости. Этот эффект назван *окулогравической иллюзией* (Graybiel, 1952), хотя, строго говоря, он не является иллюзией с точки зрения гравитоинерционной системы отсчета, в которой находится испытуемый.

Поскольку главным результатом вращения человека в центрифуге является изменение направления гравитоинерционной силы, то был сделан вывод (Howard, Templeton, 1966), что более удобным и дешевым методом изучения эффектов изменения направления силы, действующей на тело, является простой наклон человека. Центрифуга же

полезна для изучения влияния сил, превышающих  $1g$ , а также как способ изменения направления сил, действующих на отолитовые органы и на соматетическую систему без одновременной стимуляции вестибулярных каналов, имеющей место при наклоне головы или всего тела.

Когда величина результирующей силы в центрифуге превышает  $1g$ , то увеличение кажущегося наклона тела будет происходить до достижения порогового значения силы, действующей на утрикулярную макулу (Howard, 1982). Если же тело испытуемого будет расположено вдоль линии действия результирующей силы тяжести, а голова сохранит свою нормальную ориентацию к вектору гравитации, то увеличение силы не будет иметь никакого влияния на утрикулус и, таким образом, не будет проявляться в кажущемся наклоне (Miller, Graybiel, 1966). Следовательно, сила  $1g$ , действующая под углом  $90^\circ$  к поверхности утрикулярной макулы, является точкой насыщения для впечатления наклона тела. Другое объяснение факту, что более высокие значения  $g$  не ведут к увеличению кажущегося наклона, был предложен в работе (Correia et al., 1968). Авторы предположили, что эффективный вестибулярный стимул пропорционален тангенсу угла наклона головы (а не синусу, как считали другие авторы). Вклад тактильных и кинестетических сигналов, а также мускульных усилий, требующихся для поддержания позы тела, в оценку кажущегося наклона тела, должен увеличиваться с возрастанием результирующей гравитационной силы и, таким образом, может влиять на оценку зрительной вертикали. Однако экспериментальные данные по этому вопросу отсутствуют.

Другое различие между простым наклоном человека и «наклоном» его в центрифуге состоит в том, что в центрифуге вестибулярные каналы, расположенные в плоскости кажущегося наклона, не будут стимулироваться во время ускорения центрифуги, сопровождающегося изменением направления силы, тогда как при наклоне головы или всего тела человека каналы будут регистрировать наклон головы. Впечатление наклона будет меньше в центрифуге, чем при реальном наклоне. В центрифуге впечатление наклона возникает медленнее и продолжается в течение почти  $80$  с после достижения машиной устойчивой скорости (Howard, 1982). Соответствующая временная динамика характерна и для кажущейся зрительной вертикали — ее позиция постепенно (в течение  $60$ – $80$  с) приближается к направлению гравитационной силы после того, как центрифуга достигла постоянной угловой скорости вращения (Clark, Graybiel, 1966b). Когда человека перемещают взад и вперед вдоль линейного участка пути,

то иллюзорные изменения в наклоне тела и в направлении зрительной вертикали много меньше, чем когда та же отолитовая стимуляция вызывается действительным наклоном тела (Hiven et al., 1966; Schöne, Mortag, 1968). Иллюзия опрокидывания или наклона вперед не возникает при постоянной скорости движения: требуется период устойчивого линейного ускорения, чтобы возникло ощущение измененной позиции тела.

#### **4.2. Зрительная вертикаль в условиях невесомости**

В реальных условиях нулевой гравитации, с которыми мы встречаемся, например, в орбитальном космическом корабле, понятие гравитационной вертикали является бессмысленным и, конечно, отолитовые органы не будут здесь указывать положение головы. Обычно при взгляде из космического корабля наблюдатели принимают поверхность вблизи их ног за «низ» и это впечатление усиливается, если инструменты и другие знакомые объекты ориентированы точно так же, как и сам наблюдатель. Если космонавт прикреплен к креслу ремнями, то признаки тактильного контакта обеспечивают систему отсчета для «вертикали» даже в условиях темноты. Астронавтов-испытуемых, которые находились в состоянии невесомости в течение 8-дневного космического полета на корабле Джемени, просили в ситуации полной фоновой затемненности установить световую линию параллельно запомненным ориентирам панели управления, находящейся прямо перед ними (Graybiel et al., 1967). Это задание выполнялось ими так же точно и четко в условиях невесомости, как и в условиях нормальной гравитации. Был сделан вывод, что лифтовая гравитационная нагрузка отолитовых органов не ведет к какому-либо нарушению воспринимаемого направления пространства. Но в этих экспериментах испытуемые оставались в одной и той же позиции в процессе всего тестирования, так что они могли действовать успешно только за счет того, что устанавливали видимую линию относительно оси тела, которая в данном задании не зависела ни от отолитовых органов, ни от тактильных признаков.

Как было показано в исследовании (Lackner, Graybiel, 1979), испытуемые с закрытыми глазами, которых вращали вокруг лонгитудинальной оси тела со скоростью 30 об/мин, полностью теряют чувство ориентации в условиях невесомости: они ощущали себя неподвижными, не могли сказать, ориентировано ли их тело в горизонтальной плоскости, либо они стоят прямо, либо находятся вверх ногами. Непо-

движный источник звука казался им перемещающимся вокруг тела, а характерные нистагмические движения глаз отсутствовали. Чувство ориентации возвращалось, когда (в условиях невесомости) испытуемые усиливали контакт какой-то части тела с ложем, либо когда испытуемые открывали глаза. Однако и в этом, последнем, случае они переживали свое состояние как стационарное, а внешний мир видели движущимся. Небольшая гравитация (выше 0.2g) вела к возвращению тех же динамических пространственных ощущений (планетарное движение), которые испытуемые переживали на земле или при полете параллельно поверхности земли в условиях вращения тела. Таким образом, пространственная ориентация является результатом сложного взаимодействия сенсорных сигналов разных модальностей.

Закрывая глаза, космонавты, когда они находятся в состоянии невесомости, часто испытывают ощущение перевернутости вниз головой. Это явление часто называют *иллюзией инверсии*, хотя в условиях невесомости положение вверх головой можно в той же степени считать иллюзией. В работе (Graybiel, Kellog, 1967) установили, что испытуемые с дефектами лабиринта не переживают этой иллюзии, когда они находятся в тех же условиях, при которых она возникает у здоровых испытуемых. Вывод состоял в том, что иллюзия обусловлена способом интерпретации отсутствия входных сигналов от отолитовых органов, которыми пользуется здоровый человек в условиях невесомости. Как показывают наблюдения космонавтов, иллюзия инверсии исчезает, если оттолкнуться от поверхности кресла, на котором сидишь.

## **Заключение**

Деятельность человека происходит в пространственно организованной среде. Это предполагает наличие у него определенной формы репрезентации пространства, включая выбор системы координат и метрики ее осей.

Самым постоянным и наиболее значимым из всех признаков окружающей среды, на которые ориентируется человек, является гравитация. В обычных условиях она константна как по силе, так и по направлению, но может меняться под воздействием угловых и линейных ускорений. Вектор силы гравитации — вертикаль, определяет главную ось внешней (экзоцентрической) пространственной системы отсчета. Наблюдатель получает информацию о вертикали по разным сенсорным каналам — через зрение, поскольку контуры и очертания объектов природной среды насыщены линиями, ребрами

и градиентами, совпадающими по направлению с гравитационной вертикалью, от вестибулярной и соматетической систем.

В норме согласованная работа сенсорных механизмов обеспечивает достаточно точное совпадение направлений субъективной и объективной вертикали. В естественной визуальной среде, сохраняя вертикальную позу туловища и головы, человек может с высокой точностью, оценить отклонение предъявленной ему линии от вертикали или установить линию (стержень) относительно гравитационной вертикали. Однако при отсутствии четких внешних пространственных ориентиров и/или при сильных, необычных гравитоинерционных воздействиях точность оценки вертикали снижается систематическим образом.

Одним из механизмов константности воспринимаемой вертикали является активное поддержание нормальной прямой позиции тела, головы и глаз за счет системы постуральных и вестибуло-окулярных рефлексов. Цель такого рода двигательной регуляции состоит в стабилизации эгоцентрической, и, прежде всего, сетчаточной системы координат относительно гравитационной вертикали, что открывает возможность более надежной пространственной ориентации человека в условиях дефицита зрительной информации и при конфликте зрительной и вестибулярной информации.

В ситуации наклона тела стабильная зрительная рамка является наиболее эффективным признаком субъективной вертикали. Предъявление изолированной линии света ведет к появлению А- и Е-эффектов. Хотя эти иллюзии обычно следуют синусоидальной функции, совпадающей с функцией проекции силы, действующей на утрикулос, природа их пока не выяснена. На больших углах наклона тела и при отсутствии зрительной рамки утрикулос становится менее эффективным и на точность оценки зрительной вертикали начинают влиять изменения соматетических и кинестетических стимулов. Предполагается, что оценку субъективной вертикали оказывает влияние тенденция смещать вертикаль в направлении лонгитудинальной оси тела

## ТОРЗИОННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ В СИСТЕМЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Человеческий глаз имеет 3 степени свободы: наряду с горизонтальными и вертикальными движениями возможны также вращения глазного яблока относительно зрительной оси, называемые торзией, ротаторными движениями, или цикловращением глаза (Diamond, 1979; Howard, 1982; Collewijn et al., 1985). Основная функция торзионных движений глаз (ТДГ) связана с компенсацией поворота вертикального меридиана сетчатки, вызванного наклоном головы в сторону от направления прямо вверх. В управлении ТДГ принимают участие как вестибулярные сигналы от полукружных каналов и отолитового аппарата, так и зрительные сигналы, хотя об их взаимодействии и относительном вкладе каждого известно пока не так много. Есть данные (полученные преимущественно в условиях статического изменения позы), что ориентационная компенсация наклонов головы за счет ТДГ не бывает полной и составляет около 10–20%. Примерно так реагируют ТДГ на изменение направления вектора гравитации (Miller, 1962) и пассивные наклоны тела (Collewijn et al., 1985; Schmid-Priscoveanu et al., 2000). В последние годы стали появляться исследования, где делается попытка измерить динамические параметры системы управления ТДГ при активных наклонах головы (Левашов, Дмитриева, 1981; Belopolsky, 1989a; Diamond, 1979; Ferman et al., 1987; Petrov, Zenkin, 1973; Vieville, Masse, 1987). В этих условиях коэффициент усиления системы ТДГ, измеряемый как отношение между углом наклона головы и величиной противовращения глаза, имеет более высокое значение и зависит при этом от целого ряда переменных: частоты и скорости наклона головы, условий наблюдения (на свету или в темноте) и др. Кроме того, ТДГ сопровождают сканирующие движения глаз (Ferman, Collewijn, Van der Berg, 1987a; 1987b), а также реагируют на оптокинетическую

стимуляцию и наклон визуальной системы отсчета (Howard, 1982). Таким образом, ТДГ являются неотъемлемой частью системы управления взором, обеспечивающей константное восприятие окружающего пространства.

Цель настоящего исследования — изучить работу системы ориентации человека относительно гравитационной вертикали в условиях квазипериодических гравитоинерционных воздействий. Особый акцент был сделан на исследовании характеристик торзионных движений глаз (ТДГ) при активных и пассивных наклонах головы и туловища, а также на оценку относительного вклада зрительной обратной связи по ориентации и способов разрешения конфликта между вестибулярной и зрительной информацией. Эксперименты проводились в лабораторных условиях и на плавучем стенде, обеспечивающем условия боковой качки.

В исследовании были поставлены следующие задачи:

- 1) Апробировать новую методику регистрации торзионных движений глаз. В этой цели проводилась оценка величины спонтанных флуктуаций глаз торзионного типа и вклада торзионной составляющей в поисковую глазодвигательную активность при перемещении глаз во вторичные и третичные орбитальные позиции.
- 2) Сравнить параметры ТДГ при активных наклонах головы, сопровождающихся отрицательной зрительной обратной связью (естественная среда) и при стабилизации визуальной системы отсчета относительно головы.
- 3) Получить данные о взаимосвязи ориентационных двигательных механизмов глаз и головы при пассивных квазипериодических наклонах туловища (гравитоинерционное воздействие) и стабилизированной относительно него визуальной системы отсчета.

## **Методика**

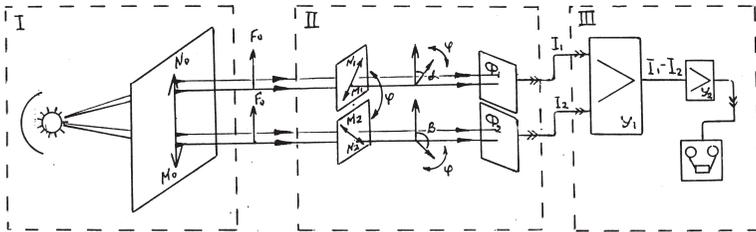
### ***Регистрация ТДГ***

Нами (Белопольский, Вергилес, 1990) была разработана методика регистрации ТДГ, которая позволяет с большой точностью измерять текущее положение вертикального меридиана сетчатки вне зависимости от положения глаза в орбите и положения головы и туловища в пространстве. Она является модификацией ранее описанного метода (Лева-

шов, Дмитриева, 1981), но обладает, по сравнению с ним, рядом преимуществ: высокой помехозащищенностью, широким диапазоном измеряемых углов ТДГ, а главное — возможностью регистрации ТДГ в процессе свободного поведения человека, чего не позволяют другие известные методы.

При разработке метода регистрации ТДГ мы исходили из следующих требований: 1) точность — не менее  $10'$  в диапазоне  $\pm 30^\circ$ ; 2) измерение параметров ТДГ в координатах головы; 3) электрический сигнал на выходе системы регистрации (что принципиально для последующей автоматизированной обработки).

Идея предлагаемого фотоэлектрического метода состоит в использовании поляроида в качестве анализатора линейно поляризованного света. Его принципиальная схема представлена на рисунке 1 и включает 3 основных блока. Блок осветителя (I) предназначен для засветки глаза равномерным потоком линейно поляризованного света. В блоке измерителя (II) происходит преобразование падающего на глаз света в электрический сигнал, пропорциональный углу поворота поляроида-анализатора. Блок регистрации (III) включает устройство усиления и записи сигнала, поступающего от блока II.

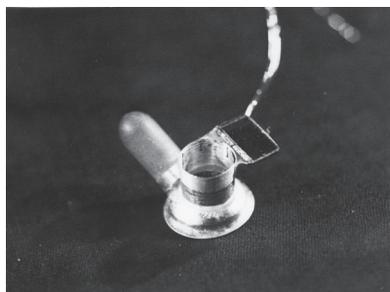
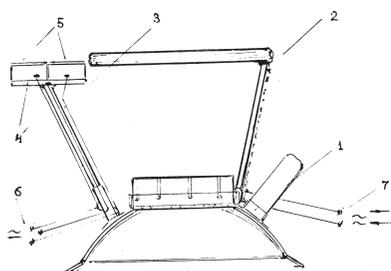


**Рис. 1.** Блок-схема метода фотоэлектрической регистрации торзионных движений глаз. I — осветитель; II — измеритель; III — регистратор:

$M_0N_0$ ,  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$  — оси поляризации, соответственно, поляроида-поляризатора и 2 поляроидов-анализаторов;  $F_0$  — вектор светового потока.  $\alpha$  и  $\beta$  — углы между оптическими осями поляризатора и анализатора в начальной позиции;  $\phi$  — угол торзионного поворота глаза;  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  — фотоэлементы;  $I_1$  и  $I_2$  — электрический сигнал на выходе фотоэлементов;  $y_1$  — предусилитель;  $y_2$  — усилитель постоянного тока

В блоке I в качестве источника света использован светодиод красного свечения, помещенный в закрытый корпус вместе с электромагнитом, на подвижный контакт которого прикреплен пленочный поляроид-поляризатор. Излучаемый светодиодом световой поток проходит через поляризатор и выходит через окошко в корпусе осветителя. Включение электромагнита вызывает вращение поляризатора на фиксированный угол  $10^\circ$  и служит для калибровки записей ТДГ. Вся конструкция крепится к головному шлему с помощью многозвенного сочленения, имеющего достаточно степеней свободы для правильной установки осветителя с учетом индивидуальных особенностей обследуемых. Стандартная позиция осветителя — ниже и темпоральнее зрительной оси при направлении взгляда прямо вперед, расстояние до глаза 3–4 см. Такое расположение оставляет открытым почти все поле зрения и не мешает выполнению зрительных задач.

В блоке II измеритель объединяет в единую конструкцию 2 поляроида-анализатора с кремниевыми фотоэлектрическими датчиками (солнечные батареи) для каждого из них. Он крепится непосредственно на глазное яблоко с помощью центральной глазной присоски сбоку от тубуса, не загораживая и не ограничивая поля зрения измеряемого глаза (см. рисунок 2). В соответствии с законом Малюса



**Рис.2.** Слева — схематическое изображение глазной присоски с фотоэлектрическим датчиком для регистрации торзионных движений глаз и излучающей катушкой для регистрации горизонтальных и вертикальных движений глаз

1 — корпус присоски; 2 — стойка с излучающей катушкой; 3 — стойка фотоэлектрического датчика; 4 — кремниевые элементы; 5 — поляроидные фильтры, ориентированные под углом  $90^\circ$ , покрытые стеклом; 6 — выводы фотоэлектрического датчика; 7 — контакты питания катушки.

Справа — фотография устройства

интенсивность линейно поляризованного света будет ослабляться на величину  $\cos^2 \omega$ , где  $\omega$  — угол между плоскостью поляризации падающего света и главной осью поляроида-анализатора.

В исследованиях использовали 2 варианта измерителей с анализаторами, оси поляризации которых были расположены под углом  $90^\circ$  или  $45^\circ$  друг к другу. При постановке на глаз они располагались симметрично относительно угла  $90^\circ$  от плоскости поляризации осветителя. Следовательно, в исходной позиции (голова прямо вверх) угол  $\omega = \alpha(\beta)$  был равен в первом случае  $45^\circ$  ( $135^\circ$ ), а во втором —  $67.5^\circ$  ( $112.5^\circ$ ). Пара поляроидов-анализаторов и балансная схема соединения фотоэлементов использована для большей помехозащищенности от флуктуаций освещенности, связанных с плоскостными движениями глаз и головы, и для лучшего шумоподавления. В этом состоит главное отличие нашего метода от прототипного (Левашов, Дмитриева, 1981). Каждый фотоэлемент регистрирует световой поток, проходящий через соответствующий поляроид-анализатор. Референтные (нулевые) выходы фотоэлементов соединены между собой и связаны с центральной точкой дифференциального усилителя. Следовательно, ТДГ на определенный угол  $\phi$  приведет к пропорциональному изменению интенсивности пропускаемого анализатором и улавливаемого фотоэлементом светового потока (см. рисунок 1). Следует учитывать, что измеритель устанавливается таким образом, чтобы увеличение сигнала на одном фотоэлементе вело к уменьшению сигнала на другом, т.е. симметрично относительно закрытого состояния поляроидов-анализаторов. Напротив, горизонтальное и вертикальное движение глаза и смещения головы не вызовут изменений в угле  $\phi$  и, соответственно, в реакции фотоэлементов.

Измеритель с взаимно перпендикулярными осями поляризации анализаторов применяли для расширения диапазона регистрации ТДГ, теряя при этом в линейности записи. Однако эти потери меньше, чем были бы при использовании одного поляроида-анализатора, как в методике Левашова–Дмитриевой, за счет компенсационной схемы включения. Когда же исследуемый диапазон ТДГ был заведомо меньше  $\pm 20^\circ$ , использовали измеритель с анализаторами, плоскости поляризации которых расположены под углом  $45^\circ$ . В этом случае линейность записи была выше. В целом же проблема линеаризации выходного сигнала успешно решается с помощью ЭВМ программным путем.

Масса системы измерителя составляет около 0.3 г, габаритные размеры —  $7 \times 5 \times 2$  мм.

Блок регистрации III включает дифференциальный предусилитель с диапазонами усиления входных сигналов от 50 мкВ, усилитель постоянного тока и регистратор данных на магнитную ленту или непосредственно в память ЭВМ. Коммутация усилителя с измерителем осуществляется через разъем, укрепленный на головном шлеме.

### **Регистрация наклонов головы и туловища**

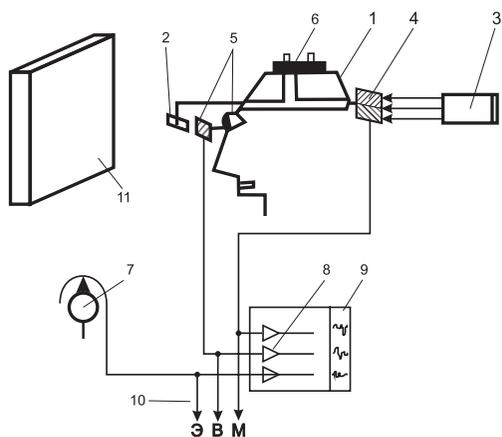
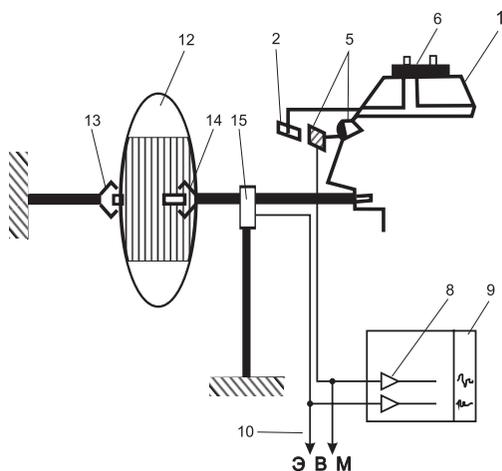
В лабораторных условиях для регистрации поворотов головы в плоскости плеч мы использовали механический гониометр, на ось которого укрепляли линейное переменное сопротивление, включенное в электрическую цепь, для получения на выходе калиброванного сигнала об угле поворота головы. Фиксация оси гониометра относительно головы обеспечивалась путем зубного слепка, а сам потенциометр крепился к укрепленному на полу штативу. На плавучем стенде для тех же целей использовали фотоэлектрическую систему, аналогичную той, которая применялась для регистрации ТДГ. Датчики крепились на шлеме со стороны затылка, осветитель располагался на треноге позади испытуемого. Наклоны туловища, которое оставалось неподвижным в кресле, укрепленном на стенде, измеряли также посредством линейного переменного сопротивления как угол между гравитационной вертикалью (сигнал от гироскопа) и вертикальной осью плавающего экспериментального стенда, базирующегося на яхте. (Блок-схему установки гониометрической регистрации движений головы смотри на рисунке 3, а блок-схему установки, используемой на плавучем стенде — на рисунке 4). На рисунке 5 приведены фотографии этих установок в рабочем положении.

## **Процедура**

### **Серия лабораторных экспериментов**

Испытуемые сидели в кресле самолетного типа; голова вертикально, взгляд прямо вперед. Испытуемого просили выполнить ряд задач.

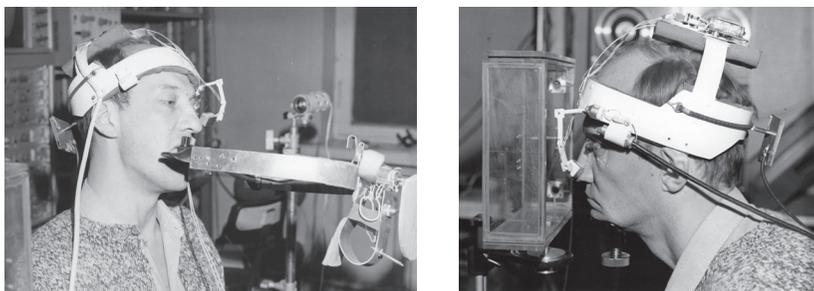
*Задача 1* — фиксировать черную точку на однородном светлом фоне; переводить взор с точки на точку по горизонтали, вертикали и диагонали; следить за круговым вращением черной точки. Расстояние между диагональными точками  $14^\circ$ , между вертикальными и горизонтальными —  $10^\circ$ , радиус вращения точки —  $5^\circ$ . Размер черной точки  $0.5^\circ$ .



**Рис.3.** (Вверху) Блок-схема экспериментальной установки для регистрации торзионных движений глаз и наклонов головы в лабораторных условиях

**Рис.4.** (Внизу) Блок-схема экспериментальной установки для регистрации торзионных движений глаз, наклонов головы и крена туловища в условиях плавучего стенда:

1 — головной шлем; 2 — осветитель глазной; 3 — осветитель головной; 4 — датчик головной; 5 — глазная присоска с датчиком; 6 — пульт управления глазным осветителем и калибровкой ТДГ с батареей питания; 7 — датчик крена плавучего стенда в комплекте с гироскопом; 8 — предусилители постоянно-тока; 9 — самописец; 10 — выход через АЦП на цифровой регистратор данных; 11 — графический дисплей; 12 — светлый диск (50°) с черными вертикальными полосами; 13 — рычаг крепления диска к стене; 14 — рычаг крепления диска к гониометру; 15 — потенциометр гониометра



**Рис.5.** На фотографиях показаны аппаратные средства регистрации ТДГ и наклонов головы (*слева* — гониометр; *справа* — фотоэлектрическая установка) показаны в рабочем положении.

*Задача 2* — выполнять наклоны головы попеременно к правому и левому плечу с постоянной амплитудой порядка  $\pm 10^\circ$ . Инструкция требовала постепенно увеличивать темп наклона головы от очень медленного (0.3 Гц) до максимально быстрого (1.0 – 1.2 Гц). Темп наклона задавался внешним звуковым источником. Испытуемые выполняли по две попытки, которые различались только типом зрительной обратной связи. В первом случае испытуемые фиксировали решетку из неподвижных относительно окружающей обстановки черных вертикальных линий длиной  $20^\circ$  на белом круглом фоне диаметром  $50^\circ$ ; во втором тот же стимул был укрепленного на ось гониометрической системы, удерживаемой испытуемым с помощью зубного слепка и поворачивающейся вместе с головой (см. рисунки 3 и 5). Таким образом, во время наклонов головы на глаз испытуемого либо поступала отрицательная обратная связь по ориентации, либо и такая обратная связь отсутствовала (стабилизация).

### **Серия натуральных экспериментов**

Эксперименты проводились во внутренней (закрытой) части плавающего стенда, т.е. визуальные ориентиры окружающей обстановки совпадали с ориентацией самого стенда. Создавали условия, когда стенд раскачивался из стороны в сторону либо без постоянной составляющей бокового крена (т.е. симметрично относительно гравитационной вертикали), либо в условиях постоянного крена. Испытуемые были зафиксированы ремнем в кресле с хорошей боковой поддержкой и должны были, глядя вперед на дисплей, либо совершать

активные покачивания головой из стороны в сторону, либо удерживать голову в статичном положении путем напряжения шейных мышц (пассивные наклоны головы вместе с туловищем), либо расслабить шейные мышцы, позволяя голове покачиваться под воздействием инерционных сил (непроизвольные наклоны головы).

### **Испытуемые**

В лабораторных экспериментах приняли участие 4 испытуемых, в экспериментах на плавающем стенде — 5 испытуемых (все здоровые мужчины в возрасте от 29 до 40 лет).

### **Регистрация и анализ полученных данных**

Электрические аналоговые сигналы от ТДГ, ротационных движений головы и боковых кренов стенда регистрировались на многоканальном магнитографе для последующего анализа. Каждой записи предшествовала калибровка всех каналов записи за исключением сигнала потенциометра, регистрирующего наклон стенда, который калибровался заранее. Кроме того, для визуального контроля и текущей документации получаемых показателей велась запись на бумажный самописец. Обработку полученных записей вели в офф-лайн-режиме средствами аналоговой и цифровой вычислительной техники. Основным интерес представляли для нас амплитудные, частотные и временные характеристики координированной моторной активности человека в условиях гравитоинерционных воздействий.

## **Результаты**

### **Голова и туловище неподвижны**

На рисунке 6а видно, что спонтанные флуктуации ТДГ в условиях фиксации точки имеют характер нистагма с частотой 0.5–1 Гц и амплитудой 1.5°–2°. Скорость медленной фазы нистагма (дрейф) находится в диапазоне 1°–5°/с, а скорость быстрой фазы (скачки) оценена примерно в 20–40°/с при амплитуде 2°. По сравнению с обычным физиологическим фиксационным нистагмом (горизонтальная и вертикальная составляющие), его торзионная компонента имеет значительно более быстрый дрейф и более медленные скачки, а также превышает его по амплитуде. Кроме того, торзионный нистагм име-

ет тоническую компоненту, т.е. глаз медленно вращается с частотой 0.1–0.2 Гц и амплитудой до 4–5°.

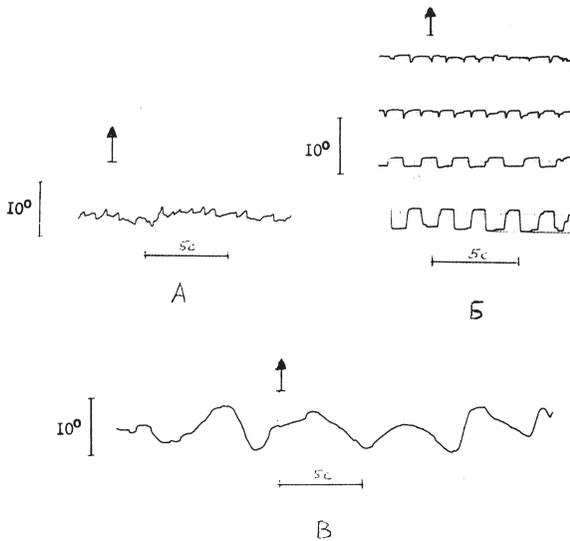
Диагональные скачки глаза между двумя третичными позициями в орбите имели характерную форму (рисунок 6б, две верхние кривые): она напоминала «пичок» с примерно одинаковыми фронтами. Интерпретация ее такова: вместе с плоскостной саккадой происходит торзионный доворот глаза до его ориентации в первичной позиции и последующий обратный разворот, возвращающий глаз к исходной ориентации. Такая динамика ТДГ соответствует предсказаниям закона Листинга (Ferman, Collewijn, Van den Berg, 1987a; 1987b). При перемещении взора по горизонтали зарегистрированы саккадоподобные изменения в торзии глаза амплитудой 1.5°. При таких же вертикальных перемещениях взора амплитуда торзионных саккад была выше и составляла около 4° (соответственно третья и четвертая кривые на рисунке 6б). Это больше, чем предсказывает закон Листинга, и требует дальнейшего исследования.

При слежении за плавно движущейся точкой глаза совершали плавные торзионные колебания с удвоенной частотой вращения цели (рисунок 6в). Амплитуда таких ТДГ составляла 6°–8°, а скорость их не превышала 10°/с. Плавные ТДГ сочетались с микросаккадами (амплитуда до 0.5°), возникавшими с частотой приблизительно 1 саккада в 2 с. Следует указать на довольно значительную внутри- и межиндивидуальную вариативность амплитуд и периодичности плавных следящих ТДГ. Однако сам факт существования плавных ТДГ подтверждает закон Дондерса (Howard, 1982).

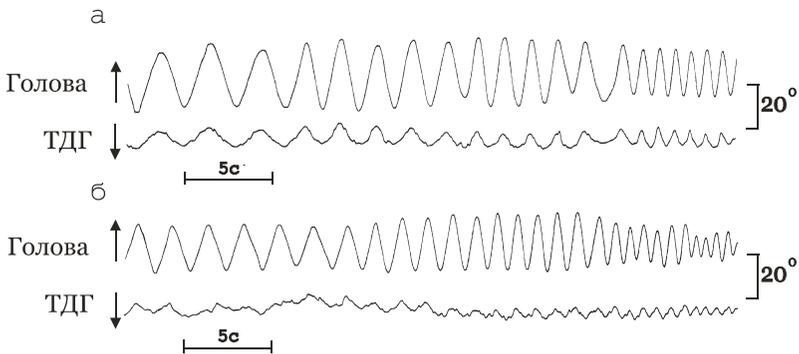
### **Активные наклоны головы, корпус неподвижен**

Записи ТДГ, вызванных активными наклонами головы из стороны в сторону, показывают, что контрвращения глаз никогда не компенсируют полностью наклона головы, т.е. их коэффициент усиления (отношение между углом вращения глаз и углом наклона головы) всегда  $< 1$  (рисунок 7). Другими словами, при наклоне головы и неподвижном туловище происходит рассогласование между гравитационной вертикалью и ориентацией вертикального меридиана сетчатки. Были выявлены следующие закономерности ТДГ при активных наклонах головы:

1. *Противовращательный торзионный нистагм.* В ответ на наклоны головы глаза совершали быстрые плавные контрвращения, нередко прерываемые кратковременными (на 200–300 мс) замедлениями, вплоть до изменения знака скорости на противоположный.



**Рис. 6.** Образцы записей ТДГ при фиксированной голове  
*a* — при фиксации точки; *б* — при переводах взора между двумя точками (*сверху вниз*) — по диагонали вниз и по диагонали вверх, по горизонтали, по вертикали; *в* — при слежении за точкой, движущейся по круговой траектории. Здесь и далее: стрелки указывают направление против часовой стрелки



**Рис. 7.** Записи ТДГ при наклонах головы из стороны в сторону:  
*a* — ситуация со зрительной обратной связью по ориентации; *б* — ситуация без зрительной обратной связи по ориентации.

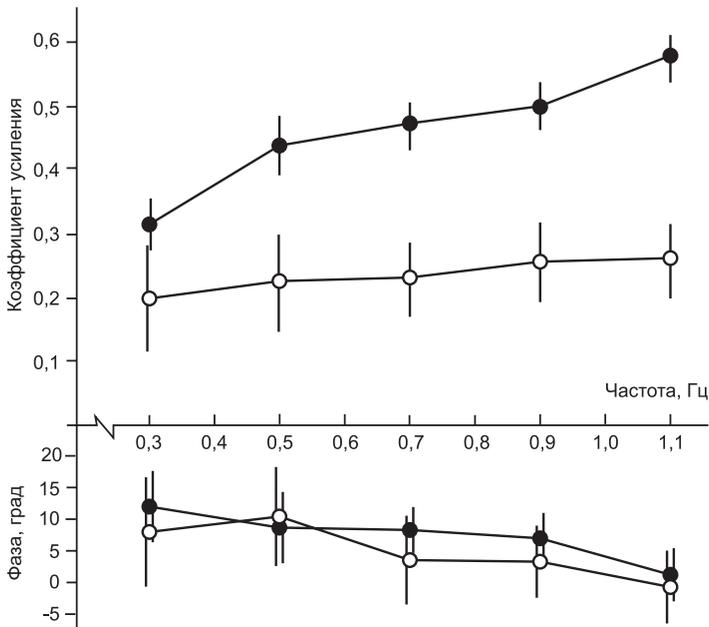
Такой нистагмоидный характер ТДГ был особенно выражен при низких (0.3–0.7 Гц) частотах наклонов головы, тогда как при частоте 1.0 Гц и более ТДГ приобретали гораздо большую плавность. Сказанное относится как к условиям с отрицательной обратной зрительной связью (естественная визуальная среда), так и к условиям с нулевой зрительной обратной связью по ориентации (визуальная система отсчета поворачивается вместе с головой).

2. *Коэффициент усиления ТДГ.* Показано (рисунок 8, вверху), что при наличии зрительной обратной связи коэффициент усиления ТДГ возрастает от 0.19 до 0.38 с увеличением частоты наклонов головы от 0.3 до 1.1 Гц. В отсутствии зрительной обратной связи по ориентации коэффициент усиления ТДГ практически не увеличивался с частотой наклонов головы, оставаясь на уровне 0.15 – 0.2. Следует отметить, что разброс показателей коэффициента усиления для разных испытуемых был довольно велик, достигая 0.2. Внутрииндивидуальная же вариативность коэффициента усиления не превышала 0.1 при фиксированной частоте и амплитуде наклонов головы.

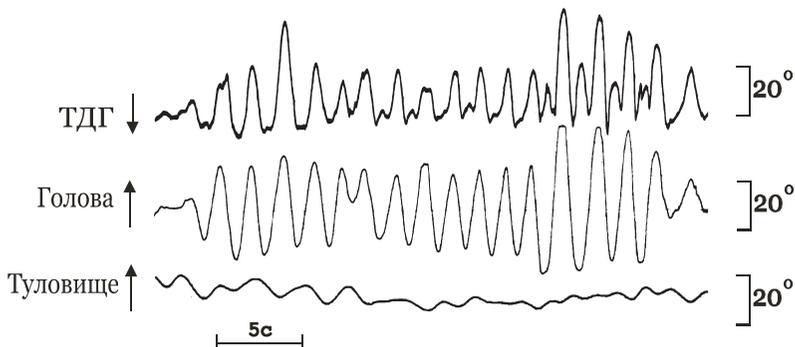
3. *Фазовая задержка ТДГ* (рисунок 8, внизу) показала следующую зависимость: при ритмических наклонах головы из стороны в сторону с амплитудой  $\pm 10^\circ - 15^\circ$  торзионные противовращения следовали практически без запаздывания при медленных частотах наклона, а при максимально быстрых — даже с опережением. Эта тенденция выражена чуть сильнее при стабилизации визуальной системы отсчета, по сравнению с естественными условиями.

### **Пассивные наклоны туловища, активные наклоны головы**

Рисунок 9 демонстрирует общую динамику координированной двигательной активности туловища, головы и ТДГ при боковой качке с периодичностью в диапазоне 0.3–0.5 Гц и активных наклонах головы. Статичная составляющая крена не превышала  $5^\circ$ . Видно, что активные наклоны головы, несмотря на их произвольный характер, по большей части синхронизированы с пассивными наклонами туловища и следуют либо в фазе с ними, либо в противофазе. ТДГ четко синхронизированы с поворотами головы и всегда направлены в противоположную сторону. Хотя покачивания туловища вносят определенную нестабильность в плавность ТДГ, коэффициент их усиления не меняется каким-то систематическим образом и составляет, в среднем,  $0.64 \pm 0.19$ . Амплитуда ТДГ тесно связана с амплитудой наклонов головы, достигая значений  $\pm 15^\circ$ .



**Рис. 8.** Коэффициент усиления (вверху) и фазовая задержка (внизу) ТДГ при активных наклонах головы к плечу при наличии (темные кружки) и отсутствии (светлые кружки) зрительной обратной связи по ориентации. Усредненные данные по 4 испытуемым. Вертикальные линии показывают величину стандартного отклонения



**Рис. 9.** Пример записи ТДГ при активных наклонах головы и пассивных наклонах туловища

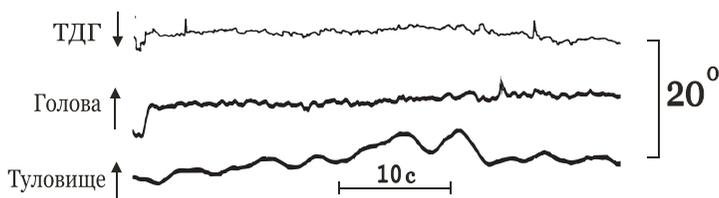
### **Пассивные наклоны туловища, голова фиксирована**

Рисунок 10 показывает, что испытуемые вполне были способны справиться с поставленной задачей — фиксировать голову путем напряжения шейных мышц. Амплитуда боковых флуктуаций головы не превышала  $2^\circ$  при сохранении неизменной общей ориентации головы относительно оси туловища. Пассивные наклоны туловища для данного примера составляют  $4^\circ$ – $7^\circ$ , их частота — 0.2–0.3 Гц, при том что статическая компонента наклона достигала  $10^\circ$ . Противовращательные ТДГ отсутствовали — на записи виден только фиксационный торзионный нистагм амплитудой до  $1^\circ$ . Таким образом, гравитоинерционное воздействие, связанное с пассивным наклоном головы *вместе* с туловищем, не вызывало торзионного вестибуло-окулярного рефлекса.

### **Пассивные наклоны туловища, произвольные наклоны головы**

В том случае, когда на туловище оказывается квазипериодическое гравитоинерционное воздействие, голова, которая с биомеханической точки зрения представляет собой маятник, в отсутствии специальной задачи фиксации совершает произвольные компенсационные движения. Рассмотрим две ситуации: качание туловища относительно гравитационной вертикали и качание туловища в условиях наклонной оси качки (наличие статической компоненты крена).

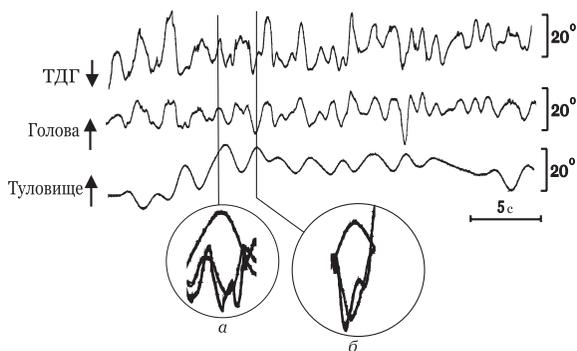
В качестве иллюстрации первого случая рассмотрим записи на рисунке 11, где туловище раскачивалось из стороны в сторону с амплитудой примерно  $\pm 10^\circ$ , а голова реагировала противовращением с той же амплитудой. Ритмика поворотов туловища и головы очень сходна, но не совпадает полностью; имеются случаи, когда на один



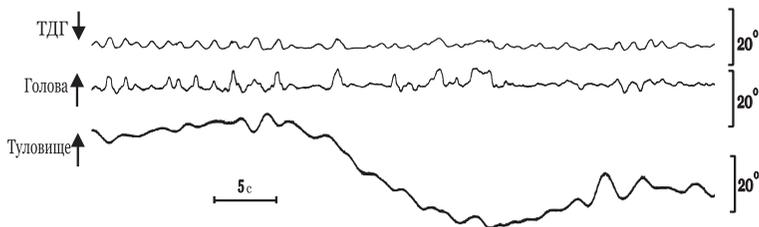
**Рис. 10.** Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и выполнении задачи фиксации объекта. Шея испытуемого напряжена для поддержки головы

цикл колебания туловища приходится два колебания головы. Интерес представляют 2 крайних случая — наклон головы совпадает по направлению с пассивным поворотом туловища (фрагмент *а*), или они движутся в противофазе (фрагмент *б*). Если эти сигналы суммируются, то коэффициент усиления ТДГ должен, при прочих равных условиях, увеличиваться, когда они в фазе, либо уменьшаться, когда они в противофазе. Однако этого не происходит. На увеличенных фрагментах отчетливо видно, что ТДГ согласованы именно с колебаниями головы, но не туловища, а коэффициент усиления ТДГ существенно не меняется.

Другую ситуацию иллюстрирует рисунок 12. Здесь мы находим подтверждение вышеприведенному наблюдению, однако важно и то,



**Рис. 11.** Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и произвольных наклонах головы. Статическая компонента крена минимальна. В *кружках* — увеличенные фрагменты записи (суперпозиция 3 кривых в единой системе координат). Пояснения в тексте

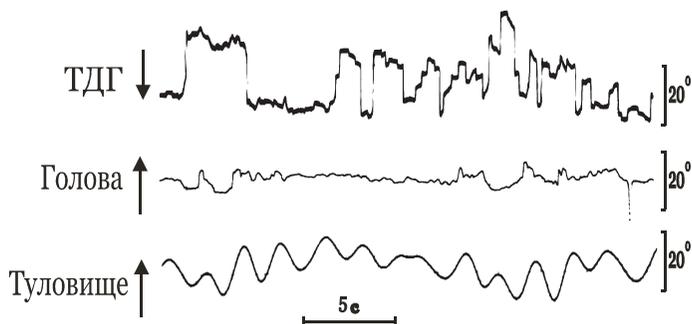


**Рис. 12.** Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и произвольных наклонах головы. Статическая компонента крена достигает  $\pm 20^\circ$

что статические отклонения туловища вправо и влево на величину до  $20^\circ$  не находят отражение в торзии глаза; ТДГ компенсируют наклоны головы относительно центральной оси туловища, а не относительно оси гравитации. Не наблюдалось какой-либо асимметрии ТДГ в зависимости от направления наклона туловища, что указывает на отсутствие вклада статической составляющей торзии. В среднем, коэффициент усиления ТДГ составлял для данных условий  $0.74 \pm 0.14$ .

**Пассивные наклоны туловища, голова свободна, задача рассматривания изображения на дисплее**

Работа с изображением на экране дисплея в условиях качки приводила к непроизвольному напряжению шеи для удержания головы в относительно неподвижном положении относительно туловища и, соответственно, рассматриваемого изображения. Это хорошо видно на рисунке 13. Примечательно, что глаза не реагировали торзионным противовращением на выраженное гравитоинерционное воздействие с частотой около 0.5 Гц, как это было и при фиксации объекта с напряженной шеей (см. рисунок 10). Различия между этими двумя ситуациями в том, что при рассматривании изображения глаза перемещались во вторичные и третичные орбитальные позиции, что отражалось в саккадоподобных торзионных движениях глаз, как и в условиях без качки (см. рисунок 6).



**Рис. 13.** Пример записи ТДГ при выполнении зрительной задачи на дисплее в условиях пассивных наклонов туловища и свободной голове

## Обсуждение результатов и выводы

Прежде всего, следует подчеркнуть, что в целом полученные результаты совпадают с литературными данными и частично расширяют их, доказывая тем самым высокую валидность разработанного нами фотоэлектрического метода регистрации ТДГ. Это касается прежде всего параметров ТДГ при поворотах во вторичные и третичные орбитальные позиции, которые находились в хорошем соответствии с законами Листинга (Ferman et al., 1987a, b). Высокая чувствительность примененного метода позволила впервые зарегистрировать фиксационный торзионный нистагм при неподвижной голове, что, впрочем, вполне прогнозируемо, имея в виду, что глазное яблоко управляется не только двумя парами прямых мышц, но и парой косых мышц, вносящих свой вклад в поддержание фиксированного положения глаза.

Кроме того, были подтверждены и частично уточнены литературные данные о кинематических характеристики противовращательных ТДГ при активных наклонах головы. Коэффициент усиления и фазовое запаздывание ТДГ показали зависимость от частоты наклонов головы. В естественных условиях наблюдения, т.е. при наличии зрительной обратной связи, изменение этой частоты с 0.3 до 1.1 Гц вело к увеличению коэффициента усиления и уменьшению величины фазового запаздывания, вплоть до небольшого ( $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$ ) фазового опереждения на максимальных частотах (ср. Tweed et al., 1994; Vieville, Masse, 1987). Однако в том случае, когда зрительная обратная связь отсутствовала, значимого увеличения коэффициента усиления ТДГ с возрастанием частоты наклонов головы установлено не было. Можно предположить, что определенный вклад в эти различия вносит оптокинетическая стимуляция — Г. Бречер (Brecher, 1934), а, позднее, Я. Ховард и В. Темплтон (Howard, Templeton, 1964) и Р. Крон (Crone, 1975) установили, что вращающийся во фронтальной плоскости сегментированный диск стимулирует торзионные повороты глаз в сторону вращения на величину до  $6^{\circ}$ , а А. Кертез и Р. Джонс (Kertesz, Jones, 1969) продемонстрировали наличие зависимости между величиной торзии и скоростью вращения диска, а также количеством секторов на нем. Интересно также в этой связи сопоставить полученную в наших экспериментах величину коэффициента усиления противовращательных ТДГ на свету в условиях стабилизации структурированного диска (отсутствие зрительной обратной связи) с литературными данными о ТДГ в темноте. Действительно, было показано, что

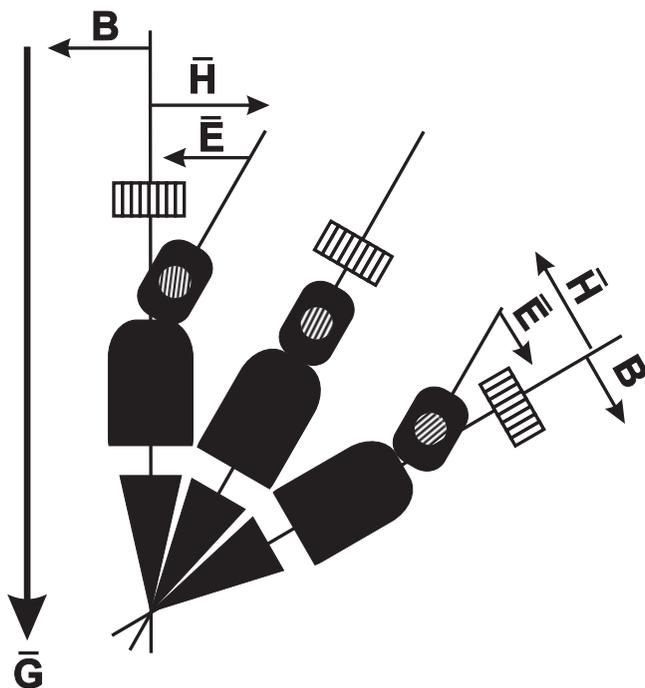
коэффициент усиления противовращательных ТДГ, зарегистрированных в полной темноте (Schmid-Priscoveanu et al., 2000), несколько ниже, чем при выполнении задачи фиксации тусклой световой точки (Vieville, Masse, 1987; Ferman et al., 1987). При этом следует подчеркнуть, что литературные данные о величине коэффициента усиления противовращательных ТДГ сильно различаются в зависимости от особенностей самого тестируемого индивида (межиндивидуальный разброс), амплитуды наклонов головы или тела, а также угловой скорости этих наклонов.

Принципиальные для понимания системы стабилизации взора относительно гравитационной вертикали результаты были получены в условиях, когда испытуемые подвергались квазипериодическим гравитоинерционным воздействиям. Нами установлено, что в условиях боковой качки с частотой 0.5–0.7 Гц и амплитудой до  $10^{\circ}$ – $15^{\circ}$ , торзионные движения глаз компенсируют прежде всего наклоны головы относительно лонгитюдинальной оси туловища, а не суммарный вектор отклонения головы от гравитационной вертикали. Это справедливо как для активных наклонов головы, так и для условий, когда наклоны головы возникали как результат произвольной коррекции крена туловища. Даже когда такая коррекция была почти полной, т.е. голова оставалась относительно неподвижной в координатах внешнего пространства, ТДГ были направлены *против* наклонов головы в эгоцентрических координатах и коэффициент усиления ТДГ достигал значений 0.5–0.8 у разных испытуемых. Напротив, когда голова оставалась неподвижной в эгоцентрических координатах за счет напряжения шейных мышц и пассивно раскачивалась вместе со всем телом, противовращательные ТДГ практически отсутствовали. То же имело место и при задаче рассматривания изображения на экране монитора в условиях качки. Этот факт идет вразрез с данными Х. Крейчова с соавт. (Krejčová et al., 1971), показавшими равную эффективность наклонов всего тела и одной головы для инициации противовращательных ТДГ, однако наши условия имели одно существенное отличие — визуальные ориентиры наклонялись вместе с туловищем. Вспомним, что и в наших лабораторных экспериментах частичная стабилизация визуальных ориентиров при наклонах головы приводила к снижению коэффициента усиления ТДГ.

В этом контексте достойно упоминания еще одно наблюдение — отсутствие влияния статического компонента крена на величину торзии. Взятые в целом, эти факты следует рассматривать как отражение сложного взаимодействия зрительной, вестибулярной, соматосенсорной и моторной систем в процессе получения достоверной информа-

ции о пространственных координатах внешнего мира и положения в нем самого наблюдателя. Суммируя, можно сказать, что испытуемые в условиях качки игнорировали постоянную составляющую крена и оценивали направление субъективной вертикали по усредненной за несколько периодов ориентации лонгитюдной оси туловища.

Другой вывод состоит в том, что ТДГ стремятся ориентировать окулоцентрическую систему отсчета в направлении текущей ориентации туловища или, что для наших условий идентично, в направлении кабинных ориентиров вертикальности. Точность стабилизации зрения уменьшается при добавлении дополнительных степеней свободы из-за подвижности головы и сканирующих движений глаз (см. рисунок 14, где наглядно представлена моторная система стаби-



**Рис. 14.** Схема, иллюстрирующая координированную работу моторной системы стабилизации зрения в условиях качки  
 $\vec{G}$  — вектор гравитации;  $\vec{B}$  — вектор качки;  $\vec{H}$  — вектор наклонов головы;  $\vec{E}$  — вектор ТДГ; решетка — кабинная визуальная вертикаль

лизации зрения в условиях качки). В своей статье, озаглавленной «Новое решение проблемы субъективной вертикали», Хорст Миттельштадт (Mittelstaedt, 1983) предположил, что наряду со зрительной и вестибулярной информацией, в восприятии субъективной вертикали участвует и третья составляющая, а именно, тенденция смещать субъективную вертикаль в направлении лонгитюдной оси самого субъекта. Он обозначил эту тенденцию как «идиотропический вектор» и экспериментально показал, что не только зрительный, но и галтический зенит смещается в направлении продольной оси тела на строго дозированную величину, подчиняясь законам сложения векторов. Нам представляется, что полученные в наших экспериментах результаты также можно рассматривать как подтверждение идеи Х. Миттельштадта.

# РОЛЬ КОНВЕРГЕНЦИИ ПРИ ВОСПРИЯТИИ УДАЛЕННОСТИ

## Введение

Под конвергенцией обычно понимают координированные движения двух глаз, которые возникают при фиксации объекта, перемещающегося в направлении к наблюдателю или вдаль от него. Имеются простые геометрические аргументы в пользу того, чтобы считать, что угол конвергенции (вершина угла, образованного пересечением зрительных осей двух глаз) отражает абсолютную удаленность объекта от наблюдателя. Действительно, угол конвергенции может быть выражен как функция двух переменных, а именно, дистанции до фиксируемого объекта и расстояния между двумя глазами, которое является константой для каждого отдельного наблюдателя (Graham, 1965).

Идею о том, что конвергенция может быть использована наблюдателем для определения абсолютной удаленности наблюдателя от объекта, впервые высказал Дж. Беркли (Berkeley, 1709), но только через 150 лет В. Вундту (Wundt, 1862) удалось проверить ее в знаменитом эксперименте с нитью. Он установил, что точность оценки удаленности увеличивается при бинокулярном восприятии, и на основании этого предположил, что конвергенция оказывает влияние на восприятие удаленности. По прошествии тридцати лет Ф. Хиллебрандт (Hillebrandt, 1894) и Б. Бурдон (Bourdon, 1902) высказали серьезные аргументы против вывода, сделанного В. Вундтом. С тех пор было проведено огромное количество экспериментов, направленных на прояснение роли конвергенции в восприятии удаленности (смотри обзор в работе: Collewijn, Erkelens, 1990). Хотя все они опирались на сходную методологию, пытаясь изолировать конвергенцию как источник информации об удаленности, полученные здесь результаты были на редкость противоречивы. Одни авторы принимали как доказанный факт, что конвергенция улучшает пространст-

венное различие и оценку (Baird, 1903; Foley, 1978; Grant, 1942; Gogel, 1962; Komoda, Ono, 1974; Swenson, 1932; Wundt, 1862), тогда как другие приводили доводы в пользу того, что конвергенция не служит признаком удаленности (Bappert, 1923; Crannel, Peters, 1970; Heinemann et al., 1959). Удивительно, но существовала и третья группа экспериментов, где некоторые наблюдатели были способны использовать конвергенцию для оценки удаленности, тогда как другие не могли сделать это (Gogel, 1961b; Richards, Miller, 1969).

Важно отметить, что большинство исследователей из второй группы использовали в своих экспериментах в качестве тестовых стимулов реальные объекты, тогда как представители первой строили свои выводы на экспериментах со стереоскопическим восприятием объектов или на экспериментах с так называемым «феноменом обоев».

Феномен обоев имеет длительную и занимательную историю. Иллюзия была впервые описана, а, возможно, и открыта, Г. Мейером (Meyer, 1842). С тех пор она несколько раз открывалась заново, и было описано несколько разных вариантов этой иллюзии (Логвиненко, 1981, с. 126-131; Леонтьев, 1974; Brewster, 1844; Gurney, 1938; Hyslope, 1894a, 1894b; Le Conte, 1887; McCready, 1965; Nelson, 1975; Sanford, 1901, p.273; Titchener, 1918, p.262; Woodworth, 1938, p. 676; Woodworth, Schlosberg, 1954, p.477-478; Zajac, 1960).

Все эти работы указывали, что главной чертой этой иллюзии является недооценка (или переоценка) кажущейся удаленности повторяющегося паттерна при смещении фиксационной точки в направлении к наблюдателю (или от наблюдателя). Другими словами, когда наблюдатель глядит, например, на стену, покрытую обоями с повторяющимся рисунком, и фиксационная точка смещается ближе к наблюдателю, то через некоторое время стена начинает восприниматься ближе, чем была до этого.

В эксперименте, где в качестве тест-объекта была использована заключенная в рамку решетка с вертикальными полосами, равно удаленными друг от друга, а точка фиксации находилась по центру и дальше от наблюдателя, чем физическая решетка, испытуемые видели пустую рамку и увеличенные в размере полосы, которые находились за плоскостью рамки, дальше от наблюдателя (Логвиненко, Сокольская, 1975). Иллюзия поражала своей реалистичностью, так что можно было с высокой точностью измерить локализацию иллюзорных полос. Прямые наблюдения показали, что иллюзорные полосы локализируются в определенной фронтопараллельной плоскости, а именно, в плоскости, куда наблюдатель должен был конвер-

гировать, чтобы обеспечить слияние левого и правого диплопических образов от соседних полос.

Хотя отличия экспериментальных данных от расчетных были небольшими, остаются серьезные сомнения, что феномен обоев может быть объяснен только механизмом конвергенции. Эти сомнения основываются, в частности, на некоторых субъективных переживаниях испытуемых при восприятии данной иллюзии (Леонтьев, 1974; Логвиненко, Сокольская, 1975). Испытуемые сообщали, что восприятие телесности и устойчивости кажущихся полос не зависит позиции фиксационной точки. После того, как иллюзия возникла, она не исчезает даже при больших смещениях взора. Например, испытуемый мог без нарушения иллюзии детально обследовать взором кажущиеся полосы, смотря на них попеременно.

Экспериментальные факты, свидетельствующие об отсутствии прямой связи между конвергенцией и восприятием удаленности, были получены в работе А.Д. Логвиненко и Т.М. Сокольской (1975), где в качестве тест-объекта использовали решетку с переменным шагом и получили две иллюзорные группы полос, разнесенные по удаленности, а также в работе С. Белофф (Beloff, 1961), где наблюдали иллюзорный сдвиг полос решетчатого паттерна в противоположных направлениях для верхнего и нижнего полуполей зрения. Таким образом, при одном и том же угле конвергенции можно наблюдать две разные версии иллюзии одновременно.

Тем не менее окончательный вывод о роли конвергенции в изменении кажущейся удаленности в феномене обоев может быть сделан только путем прямой регистрации вергентных движений глаз. Надо отметить, однако, что до сих пор такого рода измерений не было проведено.

Более того, в литературе отсутствует упоминание о каких-либо попытках зарегистрировать вергентные движения глаз в любых других экспериментах, где ставилась задача оценить вклад конвергенции в восприятие удаленности. Это означает, что все выводы за и против вклада конвергенции в восприятие удаленности построены на косвенных фактах.

*Цель* описанного ниже эксперимента как раз и состояла в том, чтобы зарегистрировать бинокулярные движения глаз в условиях наблюдения иллюзии обоев, когда перед испытуемым ставилась задача сместить точку фиксации с плоскости, где локализовались кажущиеся полосы.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

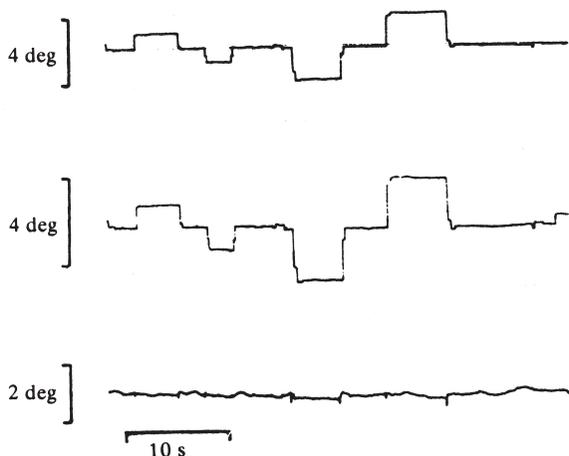
### Метод

**Испытуемые.** В эксперименте принимало участие два наблюдателя. Один был неосведомлен о целях эксперимента (А.И. — 36 лет, женщина, нормальное зрение, межзрачковое расстояние 61 мм), другой знал о цели эксперимента (А.Л.— 46 лет, мужчина, нормальное зрение, межзрачковое расстояние 64 мм). Оба наблюдателя имели большой опыт участия в экспериментах с иллюзией обоев.

**Аппаратура.** Горизонтальные движения обоих глаз записывались посредством установки, разработанной К.С. Кришюнасом и В.П. Лауритисом (1977), принцип которой состоит в укреплении на глаз склерального алюминиевого кольца, перемещаемого в электромагнитном поле. Такое кольцо могло держаться на глазу до одного часа, не внося дискомфорта и не препятствуя нормальному зрению. Эта установка позволяет регистрировать перемещения глаз в диапазоне  $\pm 15^\circ$  с точностью не менее 3% и чувствительностью около 1 угл. мин.

Для каждого глаза электрические сигналы с выходов предусилителей записывались напрямую на магнитограф и на бумажный самописец. Еще один канал записи использовался для сигнала о величине угла конвергенции, поступающего с выхода электронного компаратора, вычисляющего разницу между горизонтальной позицией правого и левого глаза. Регистрировались также мануальные ответы испытуемого, которыми он сигнализировал о начале и окончании переживания иллюзии.

**Калибровка.** Калибровку регистрирующей аппаратуры проводили отдельно для монокулярного и бинокулярного зрения. Усиление каждого монокулярного сигнала подбирали таким образом, чтобы их разница (т.е. конвергенция) не изменялась при смене фиксации между точками, лежащими на гороптере. Для этих целей использовали четыре точки на периметре (радиусом 333 мм), отстоящие от центра на  $\pm 3^\circ$  и  $\pm 5^\circ$ . Сначала по очереди калибровали правый и левый глаз, давая испытуемому инструкцию смотреть поочередно на точки, расположенные симметрично относительно позиции прямо вперед. Регулируя баланс и уровень усиления в соответствующих каналах предусилителя уравнивали амплитуды сигналов на их выходах. После этих регулировок оценивали величину сигнала конвергенции



**Рис. 1.** Калибровочные измерения движений левого глаза (*верхняя кривая*), правого глаза (*средняя кривая*) и угла конвергенции (*нижняя кривая*) для испытуемого А.Л. Видно, что когда глаза двигались между точками фиксации взад-вперед в диапазоне  $2^\circ$  во фронтотпараллельной плоскости, угол конвергенции практически не менялся

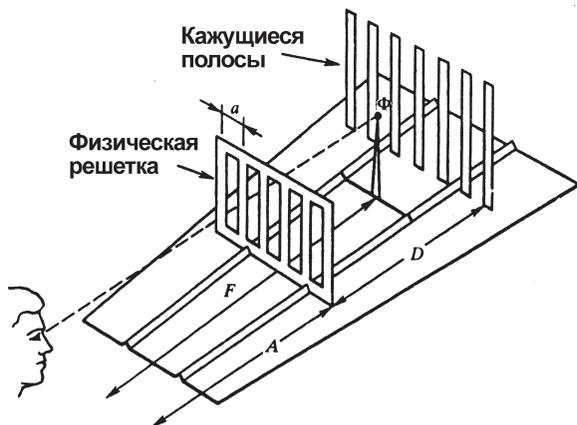
при последовательной бинокулярной фиксации тех же точек. Как и ожидалось, смещение точки бификсации по периметру не влияло на угол конвергенции (рисунок 1). После этого приступали к калибровке угла конвергенции. Испытуемому давали инструкцию бинокулярно фиксировать точки, расположенные на оси, указывающей направление прямо вперед, для которых расчетная величина угла конвергенции была равна  $1.5^\circ$ ,  $2.0^\circ$ ,  $3.0^\circ$ ,  $4.0^\circ$ ,  $5.0^\circ$  и  $6.0^\circ$ . Калибровку проводили до и после основной серии эксперимента.

**Решетчатый тест-объект.** Решетка, использовавшаяся в эксперименте, состояла из восьми идентичных вертикальных полос шириной 10 мм, размещенных в прямоугольной рамке размером 470 x 500 мм. Расстояния между центрами соседних полос составляло 50 мм (рисунок 2). Состояние фузии диплопических образов, являющееся условием возникновения иллюзии обоев, достигается при соблюдении следующих условий (Логвиненко, 1981):

$$D = \frac{aA}{b-a}, \quad (1)$$

где  $D$  — сдвиг точки фиксации, необходимый для наложения диллопических изображений соседних полос в бинокулярном пространстве,  $A$  — абсолютная удаленность физической решетки,  $a$  — расстояние между центрами соседних полос, и  $b$  — межзрачковое расстояние у данного наблюдателя.

**Процедура.** Испытуемый сидел в кресле (голова поддерживалась подбородником) и смотрел на решетку. Тонкий стержень на подставке с утолщением на вершине использовали для указания испытуемому соответствующей точки фиксации. Высоту кресла и позицию решетки устанавливали таким образом, чтобы линия зрения наблюдателя находилась на той же высоте, что и фиксационная точка, и проходила через центр решетки. Для испытуемого А.И. решетка была



**Рис.2.** Иллюстрация феномена обоев. Когда наблюдатель смотрит на фиксационную точку, расположенную позади физической решетки (зрительные оси пересекаются в точке  $\Phi$ , удаленной на расстояние  $F$  от глаз), он видит ряд иллюзорных полос, расположенных позади рамки на расстоянии  $D$ . Иллюзорные полосы увеличены в размере, а две крайние полосы обычно локализованы менее четко, чем остальные. Обозначения на рисунке те же, что и в уравнении (1). (Из работы Логвиненко, Сокольская, 1975)

удалена на 500 мм от его переносицы, а для А.Л. — на 365 мм, что соответствовало углам конвергенции  $7.32^\circ$  и  $9.55^\circ$ .

В начале предварительной серии фиксационный стержень помещали позади решетки на расстоянии, вычисленном из уравнения (1) и составлявшем 2286 мм для А.Л. и 2024 мм для А.И. Испытуемого просили фиксировать кончик фиксационного стержня и распределять свое внимание на решетке. Через несколько секунд испытуемый сообщал о возникновении иллюзорного сдвига решетки. Рамка решетки оставалась на прежнем месте, но ее полосы воспринимались почти в плоскости фиксационного стержня. Угол конвергенции, соответствующий кажущейся удаленности, равнялся  $1.61^\circ$  для А.Л. и  $1.73^\circ$  для А.И.

В главной серии, когда измеряли угол конвергенции, задания для двух испытуемых различались между собой. Испытуемого А.И. просто просили сместить точку фиксации с плоскости кажущейся решетки ближе к физической решетке до максимального значения, при котором еще сохранялось целостное, без двоения, восприятие иллюзорной решетки в неизменной позиции. Для испытуемого А.Л. сначала определяли максимально возможный сдвиг позиции фиксационной точки, при котором еще сохранялась иллюзия. Для этого после наступления иллюзии фиксационный стержень медленно двигали в направлении физической решетки до тех пор, пока иллюзия не разрушалась. Задача испытуемого состояла в тщательном прослеживании фиксационной точки (не допуская ее двоения) и наблюдении за стабильностью иллюзии. Максимальный сдвиг фикса-

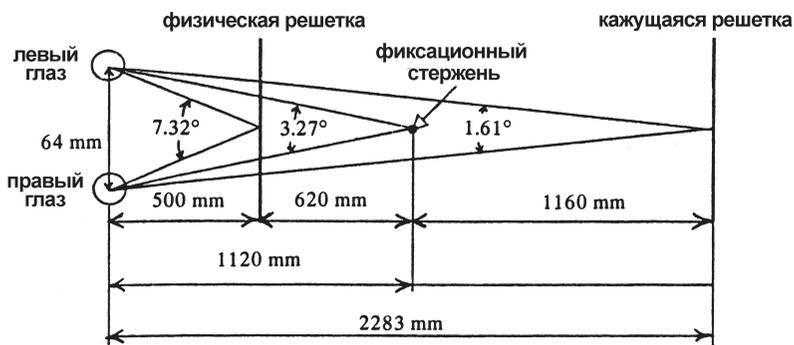


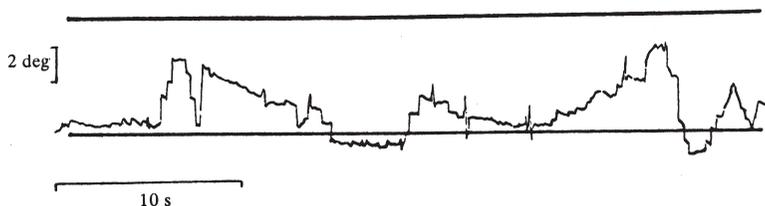
Рис. 3. Вид сверху на схему пространственного расположения стимулов в эксперименте с испытуемым А.Л.

ционной точки от плоскости кажущейся решетки к наблюдателю, при котором иллюзия сохраняла четкость и стабильность, составил 1160 мм (чему соответствует изменение угла конвергенции на  $1.66^\circ$ ). Другими словами, когда испытуемый А.Л. фиксировал стержень на расстоянии 1120 мм, что соответствовало углу конвергенции  $3.27^\circ$ , он уверенно воспринимал стабильный, не двоящийся образ решетки вблизи теоретически предсказанной дистанции 2283 мм (смотри рисунок 3). Во второй части эксперимента испытуемого А.Л. просили вызвать иллюзию без фиксационного стержня. После этого стержень помещали на расстоянии 1120 мм и давали испытуемому задание поочередно фиксировать глазами стержень и фронтопараллельную плоскость, где локализовались кажущиеся полосы, без потери качества иллюзии.

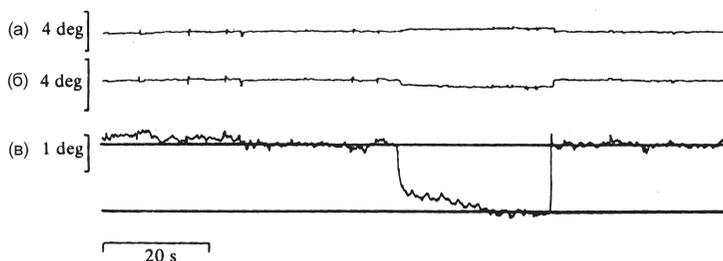
## Результаты

Примеры оригинальных записей вергентных движений глаз испытуемой А.И. приведены на рисунке 4. Эти записи показывают, что она была в состоянии без вреда для качества иллюзии в течение нескольких секунд (до 10 с) удерживать фиксацию вне плоскости кажущейся решетки на дистанции, соответствующей углу конвергенции более чем  $2^\circ$ .

Вергентные движения глаз испытуемого А.Л., отражающие выполнение им задачи, предписывающей произвольное перемещение взора между плоскостью кажущейся решетки и плоскостью фиксационной точки, разделенных по глубине на 1160 мм (угол конвергенции  $1.66^\circ$ ), приведены на рисунке 5. В своем субъективном отчете



**Рис. 4.** Запись горизонтальной составляющей угла конвергенции в процессе наблюдения феномена обоев у испытуемой А.И. Верхняя и нижняя горизонтальные линии отображают, соответственно, плоскости реальной и кажущейся решетки



**Рис. 5.** Запись горизонтальной составляющей угла конвергенции в процессе наблюдения феномена обоев у испытуемого А.Л. Монокулярные записи для (а) левого глаза; (б) левого глаза. Записи для угла конвергенции (в). Нижняя горизонтальная линия соответствует позиции кажущейся решетки. Верхняя горизонтальная линия соответствует промежуточной позиции фиксационного стержня, локализованной между иллюзорной и реальной решетками

испытуемый указывал, что мог без труда удерживать фиксацию на стержне в течение продолжительного периода времени без нарушения иллюзии. Записи угла конвергенции полностью подтверждают это наблюдение. В условиях полной фузии и стабильного восприятия кажущихся полос реальная точка фиксации, определяемая как место пересечения главных зрительных осей двух глаз, могла быть сдвинута более чем на 1 м от плоскости кажущейся решетки на достаточно продолжительный период.

## Обсуждение

Иллюзорный паттерн в феномене обоев имеет тенденцию локализоваться в соответствии с уравнением (1), что обычно принимается как доказательство определяющего вклада конвергенции в иллюзорное восприятие удаленности. Однако даже если смещение воспринимаемой удаленности точно следует уравнению (1), это не позволяет сделать однозначный вывод о роли конвергенции в феномене обоев, поскольку существует и иное объяснение данному факту. Наряду с теорией конвергенции, которая трактует кажущееся смещение удаленности в феномене обоев как иллюзорное смещение *абсолютной* удаленности, альтернативный теоретический подход (Ittelson, 1960, р. 123-127), базирующийся на теории бинокулярной диспаратности, интерпретирует этот феномен как кажущуюся глубину. Иначе гово-

ря, предложенное Иттельсоном объяснение предполагает, что в феномене обоев модификации подвергается не абсолютная, а *относительная* глубина. Согласно этой теории, иллюзорный сдвиг в феномене обоев определяется бинокулярным параллаксом, т.е. различием в зрительных направлениях. Дело в том, что кажущаяся глубина, которая является следствием бинокулярного параллакса, соответствующего двум позициям фиксации, разнесенным по глубине на величину  $D$ , строго равна величине смещения кажущейся удаленности в феномене обоев.

Таким образом, хотя существуют две теории, конвергенции и диспаратности, дающие одни и те же количественные предсказания относительно иллюзии обоев, первая из них должна быть отвергнута, поскольку проведенные нами объективные измерения конвергенции выявили возможность значительного рассогласования между плоскостью актуальной фиксации и плоскостью локализации иллюзорной решетки. Теорию конвергенции нельзя принять даже в том случае, если предположить наличие определенной инерционности для кажущейся решетки, наподобие той, что существует при стереопсисе, поскольку хорошо известно, что следовые процессы при восприятии глубины длятся не более чем несколько сотен миллисекунд (Ross, Hogben, 1974), тогда как фиксация может поддерживаться вне плоскости иллюзии в течение десятков секунд или даже нескольких минут.

С определенными трудностями сталкивается и теория диспаратности, поскольку имеются два типа сетчаточной диспаратности (Ogle, 1950, 1962; Collewijne, Erkelens, 1990), а именно, абсолютная диспаратность, определяемая как разница между зрительными направлениями на какую-то точку, которая зависит от позиции глаз; и относительная диспаратность, которую рассчитывают как разницу между абсолютными диспаратностями двух точек и которая зависит от относительной пространственной позиции этих двух точек и не зависит от движений глаз. Следовательно, имея в виду полученные нами результаты, применительно к иллюзии обоев можно говорить только об относительной диспаратности как возможном источнике кажущегося сдвига удаленности.

Таким образом, феномен обоев можно рассматривать как одну из разновидностей бинокулярного эффекта глубины. Если это так, то возникают по крайней мере два вопроса. Во-первых, субъективные наблюдения показывают, что реалистичность и, что даже более важно, пространственная локализация иллюзорных полос зависят от фузии диплопических образов полос. До того момента, пока фузия

еще не наступила, кажущиеся полосы локализовались где-то между плоскостью физической рамки и точкой фиксации. Как только удавалось достичь состояния фузии, локализация полос по глубине становилась более четкой и ясной. Однако известно, что в стереоскопических экспериментах кажущаяся глубина не имеет прямой связи со слиянием сетчаточных изображений двух глаз, т.е. диплопия не препятствует восприятию качества глубины. Это следует из факта, что фузионная зона Панума — диапазон диспаратности, где может осуществиться бинокулярное слияние — уже по размерам, чем зона, в которой возможен качественный стереопсис (Ogle, 1950). Безотносительно к тому, принимается или нет объяснение феномена обоев, основанное на диспаратности, новая версия этой иллюзии, предложенная А.Д. Логвиненко и Т.М. Сокольской (1975), позволяет оценить диапазон диспаратности, при котором воспринимается целостный единичный бинокулярный образ. Напомним, что в этом эксперименте испытуемым предъявляли решетку с переменным шагом, в результате чего они наблюдали две кажущиеся группы полос, удаленные на разное расстояние. Эти полосы воспринимались как целостный, недвойщийся образ, хотя расстояние между ними по глубине для решетки с шагом 20 и 55 мм, расположенной на удалении 200 мм, достигало 1.4 м, что соответствует более чем  $10^\circ$  относительной диспаратности. Эта величина значительно превышает все ранее полученные экспериментальные данные о размерах фузионной зоны (Mitchell, 1966; Ogle, 1950; Tyler, 1991; Woo, 1974).

Во-вторых, нужно напомнить, что феномен обоев представляет собой нечто большее, чем просто кажущееся изменение глубины. Например, известно, что увеличение (уменьшение) кажущейся удаленности паттерна в иллюзии обоев сопровождается увеличением (уменьшением) его кажущегося размера (Логвиненко, 1981). Поскольку кажущиеся размер и удаленность взаимосвязаны в соответствии с гипотезой инвариантности размера и удаленности (Epstein et al., 1961; Kilpatrick, Ittelson, 1953), а некоторые исследователи считают, что конвергенция определяет кажущийся размер, а не кажущуюся удаленность, можно предположить, что именно изменение кажущегося размера является первичным результатом изменения угла конвергенции в иллюзии обоев. Изменение удаленности будет, в этом случае, следствием изменения кажущегося размера.

Более того, было отмечено, что при наблюдении феномена обоев существенно повышается яркость и четкость иллюзорного паттерна (Леонтьев, 1974; Логвиненко, 1981). Это субъективное наблюдение

было подтверждено объективными измерениями остроты зрения. Было установлено, что увеличение кажущейся удаленности в феномене обоев сопровождается увеличением остроты зрения на 20–25% (Сокольская, 1977). Следовательно, любое аргументированное объяснение феномена обоев должно принимать в расчет не только изменение кажущейся удаленности, но и все другие аспекты восприятия данного феномена.

## **Заключение**

Записи бинокулярных движений глаз показали, что актуальное состояние конвергенции при восприятии иллюзии обоев не соответствует величине кажущего изменения удаленности иллюзорной решетки. Субъективные отчеты испытуемых подтверждают, что после стабилизации данная иллюзия не зависит больше от физической позиции фиксационной точки. Наблюдатели были в состоянии двигать свой взор взад и вперед внутри широкого диапазона без нарушения качества иллюзии. Показано, что зона Панума, характеризующая размерность взора по глубине, может достигать нескольких градусов (до  $10^\circ$ ) относительной диспаратности. Таким образом, принимая во внимание факт, что иллюзию обоев обычно рассматривают как главное доказательство в пользу того, чтобы рассматривать конвергенцию как признак удаленности, приходим к выводу, что конвергенция сама по себе не содержит исчерпывающей информации для кодирования перцептивной удаленности.

# 3

## **ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ**



# ВНЕШНЕЕ И ВНУТРЕННЕЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРОМ ЗОНЫ ФОКАЛЬНОГО ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ

## Введение

Наиболее изученной формой ориентации зрительной системы на источник сенсорной информации является поворот глазного яблока в направлении нового или чем-то выделяющегося стимула (см., например, Гиппенрейтер, 1978; Ярбус, 1965). Значительно меньше известно относительно внутренней, эндогенной способности человека к избирательной концентрации перцептивной активности внутри поля зрения, которую обозначают обычно термином «пространственное внимание». Лишь в последние 20–30 лет были экспериментально подтверждены некоторые наблюдения старых авторов (Вундт, 1912; Helmholtz, 1866; James, 1890), касающиеся возможностей произвольного управления фокусом внимания при неподвижном глазе. Так, установлено, что информация о локализации цели, полученная по крайней мере за 50 мс до ее предъявления, оказывает облегчающее влияние на скорость и точность восприятия (Eriksen, Hoffmann, 1972; Eriksen, Rohrbaugh, 1970; Jonides, 1983; Kahneman, 1973; Posner et al., 1980). Этот облегчающий эффект нарастает при увеличении времени предынформирования до 200–250 мс, сопровождаясь одновременным усилением торможения для целей, экспонируемых за пределами зоны фокусировки внимания. Однако «сфокусированное» внимание, зона которого может быть сужена до долей углового градуса (Eriksen, Yeh, 1985; LaBerge, 1983), не является единственным способом центральной ориентировки уже хотя бы потому, что само обнаружение цели требует параллельной переработки стимуляции со всего эффективного поля зрения (Jonides, 1983; Posner, 1980; Ullman, 1984). Кроме того, результаты целого ряда исследований свидетельствуют о возможности равномерного распределения ресурсов внимания на весь многоэлемент-

ный стимульный паттерн (Lappin, Uttal, 1976; Shiffrin et al., 1976). По-видимому, можно предположить существование целого континуума способов пространственного распределения внимания, посредством которого решается конфликт между ограниченными возможностями параллельной переработки всей зрительной информации, находящейся в поле зрения, и последовательным выполнением более сложных операций в ограниченных участках пространства. Исходя из этого, было указано (Egeth, 1977; Eriksen, James, 1986) на сходство феноменов зрительного внимания с работой трансфокатора, т.е. объектива с переменным коэффициентом увеличения. В частности, установка трансфокатора на широкий угол обзора ведет к снижению различимости попадающих туда объектов. С другой стороны, сужение угла обзора трансфокатора ведет к повышению четкости для тех объектов, которые остались внутри видимого пространства.

В настоящей работе были поставлены две задачи. Первая заключалась в попытке подвергнуть прямой проверке модель трансфокатора. Ранее проведенные в этом контексте эксперименты, где использовали небольшие периферические цели и варьировали размер зоны их пространственной неопределенности, дали противоречивые результаты (Ambler, Finklea, 1976; Egeth, 1977; LaBerge, 1983; Lappin, Uttal, 1976; Van der Heijden, Eerland, 1973). Однако эта процедура адресована скорее к более сложной модели зрительного внимания, сочетающей работу трансфокатора со смещением центральной оси объектива относительно фовеального направления (см. Белопольский, 1985). Учитывая эти методические особенности, мы использовали в качестве целей для идентификации набор графических стимулов двух разных размеров, которые предъявлялись по одному и были центрированы относительно фовеа. С помощью такого набора стимулов мы попытались оценить не только степень снижения скорости и точности идентификации малого стимула при ожидании большого, отражающую падение разрешающей способности зрения при широкой зоне внимания, но и измерять, насколько эффективность идентификации большого стимула зависит от того, что ожидаемым является малый стимул. В последнем случае открывается возможность получить данные о распределении внимания и за пределами его фокальной зоны. Вторая из решаемых в данном эксперименте задач состояла в оценке действенности разных форм детерминации распределения внимания в поле зрения. В литературе описаны две основные формы управления вниманием: внешняя, экзогенная, или автоматическая, опирающаяся на визуальный про-

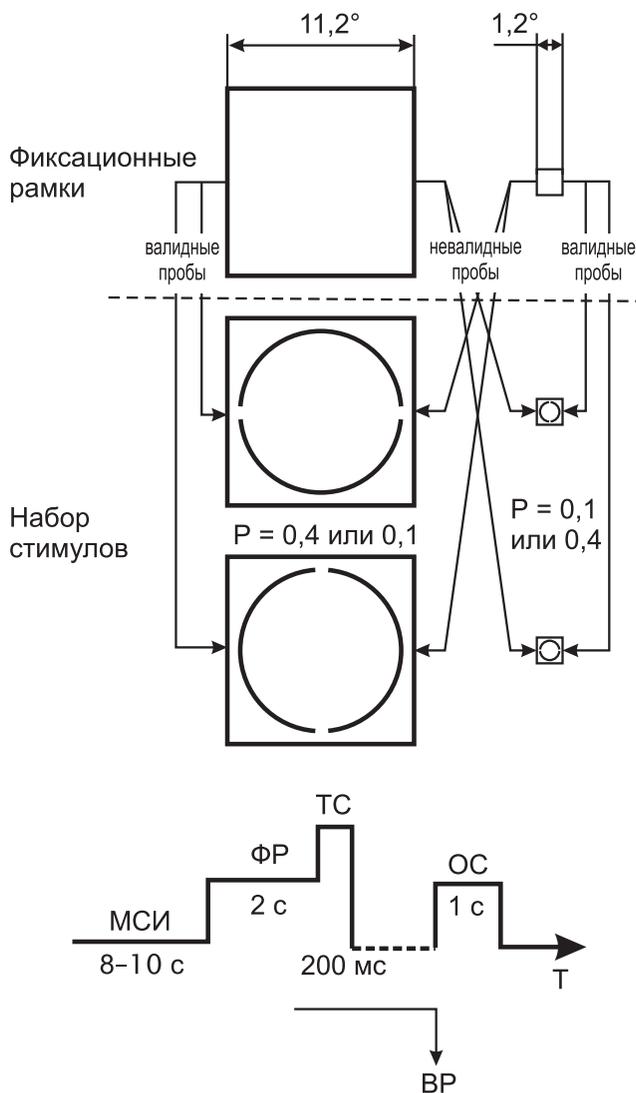
странственный маркер, и внутренняя, эндогенная, или произвольная, использующая знания о вероятностной структуре предъявления (Jonides, 1983; Norman, Bobrow, 1975; Yantis, 1998). Обе эти формы применяются в разных сочетаниях, что также может отражаться на получаемых результатах и выводах. В нашем эксперименте, проведенном по модифицированной методике «выигрыша — проигрыша» (Posner et al., 1980), эффективность пространственного маркера составляла либо 0,8, либо 0,2, т.е. внешнее управление вниманием действовало либо совместно, либо вразрез с внутренним.

## Методика

**Испытуемые.** В эксперименте приняли участие четверо испытуемых (трое мужчин и одна женщина) в возрасте от 18 до 30 лет. Все они были правши и имели нормальную остроту зрения без коррекции.

**Аппаратура.** Предъявление стимульного материала осуществляли с помощью двухканального тахистоскопа (изготовлен в мастерских Психоневрологического института им. В. М. Бехтерева) проекционно-го типа. Негативные диапозитивы со стимулами демонстрировали на просветный экран, расположенный перед испытуемым на расстоянии 660 мм. Управление сменой кадров в диапроекторах осуществлялось в автоматическом режиме по программе с магнитофона. Рядом с испытуемым был расположен пульт с двумя кнопками для регистрации его ответов. Считывание показаний миллисекундомера, измеряющего время реакции выбора, и категорий ответа осуществляли вручную.

**Стимулы.** Использовали два типа стимулов — фиксационный и тестовый. Фиксационные стимулы служили для указания локализации тестового стимула и его наиболее или наименее вероятного размера (см. рисунок 1, сверху). Фиксационные стимулы представляли собой светлые контурные квадраты на темном фоне и имели размеры сторон  $11.2^\circ$  либо  $1.2^\circ$ , когда рассматривались с указанного расстояния. Тестовые стимулы были выполнены в виде светлых контурных кругов на темном фоне диаметром  $8.7^\circ$  либо  $0.65^\circ$ . Все круги, независимо от их размера, имели разрывы по вертикали или горизонтали; величина разрыва для больших кругов —  $0.26^\circ$ , для малых —  $0.17^\circ$ . Толщина линий, которыми были нарисованы все фиксационные и тестовые стимулы, составляла  $0.12^\circ$ . Контраст светлых линий с фоном — 0,95, освещенность стимулов —  $0.025$  кд/м<sup>2</sup>.



**Рис. 1.** Схематическое изображение использованных в эксперименте стимулов (*вверху*) и временной последовательности событий в каждой пробе (*внизу*):

МСИ – интервал между пробами; ФР – фиксационная рамка; ТС – тестовый стимул; BP – время реакции; ОС – обратная связь о BP и ошибках; T – ось времени

**План и процедура эксперимента.** Задача испытуемых состояла в принятии решения об ориентации разрыва в тестовом стимуле безотносительно к тому, предъявлен ли большой или малый стимул. Каждая экспериментальная проба начиналась с подаваемой экспериментатором вербальной команды «внимание», сразу после чего на 2 с экспонировали фиксационный стимул и без межстимульного интервала — тестовый стимул на 200 мс. 100 последовательно предъявляемых проб были объединены в блоки, в каждом из которых фиксационный стимул не менялся по размеру — либо большой, либо малый фиксационный стимул. Независимо от размера фиксационного стимула в каждом блоке проб использовали весь набор тестовых стимулов, т.е. большой тестовый стимул с разрывами по вертикали и горизонтали и малый тестовый стимул с разрывами по вертикали и горизонтали. Однако частота их появления в каждом блоке не была равной: большой и малый тестовые стимулы находились в отношении 80% : 20% или же 20% : 80% при равенстве частот «вертикальных» и «горизонтальных» разрывов в тестовых стимулах каждого размера. Таким образом было сформировано четыре блока экспериментальных проб: 1) большой фиксационный стимул — большой тестовый стимул (80%) : малый тестовый стимул (20%); 2) большой фиксационный стимул — большой тестовый стимул (20%) : малый тестовый стимул (80%); 3) малый фиксационный стимул — большой тестовый стимул (80%) : малый тестовый стимул (20%); 4) малый фиксационный стимул — большой тестовый стимул (20%) : малый тестовый стимул (80%). Нетрудно заметить, что блоках 1 и 4 размер фиксационного стимула соответствовал наиболее вероятному размеру тестового стимула (эффективные, или  $P$ -блоки), а в блоках 2 и 3 размер фиксационного стимула соответствовал менее вероятному размеру тестового стимула (неэффективные, или  $1/P$ -блоки). В валидных пробах размеры фиксационного и тестового стимулов соответствовали друг другу, в невалидных пробах такое соответствие было нарушено — тестовый стимул был либо больше, либо меньше фиксационного. Графически план эксперимента представлен на рисунке 1.

Двое испытуемых реагировали нажатием большого пальца левой руки на «вертикальные» тестовые стимулы, а большим пальцем правой руки нажимали на кнопку после предъявления «горизонтальных» тестовых стимулов; для остальных соответствие «рука — тип тестового стимула» было противоположным. Испытуемые проходили тренировку, занимавшую не менее 4 дней, по два блока предъявлений в каждый день, необходимую для уменьшения и стабилизации време-

ни реакции выбора. Эксперименты проходили в течение 4 следующих друг за другом дней. В каждый экспериментальный день предъявляли только или  $P$ -блоки, или  $1/P$ -блоки. Всего каждый блок проб предъявляли испытуемому по 2 раза; первый раз — в начале дневной серии, а второй — в конце. Порядок предъявления блоков экспериментальных проб был уравновешен между испытуемыми по дневной очередности и последовательности дней с  $P$ - и  $1/P$ -блоками (схема латинского квадрата). Эксперименты проходили в полностью затемненной и звукоизолированной комнате; проекционная аппаратура была вынесена за ее пределы, а общение испытуемого с экспериментатором осуществлялось через переговорное устройство. Голова испытуемого поддерживалась подбородником. 20 мин отводилось на темновую адаптацию. Каждому блоку проб предшествовали дополнительные 20 проб «для разминки», которые полностью сохраняли структуру последующих экспериментальных проб. Результаты разминочных проб не включались в анализ. Инструкция предписывала испытуемому реагировать как можно быстрее при минимуме ошибок. После каждого ответа ему сообщали вслух время реакции в миллисекундах или указывали на сделанную ошибку. Подчеркивалось, что уровень всех ошибочных ответов, вне зависимости от размера тестовых стимулов, не должен превышать 10%. Длительность интервала между отдельными пробами составляла около 10 с. Между блоками делали интервал для отдыха — 5 мин. Дневная серия длилась примерно 1 ч.

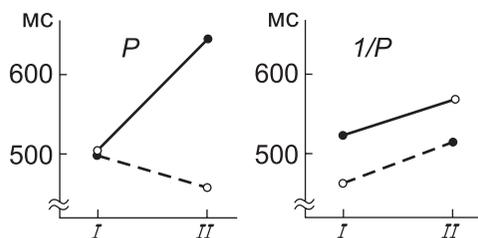
Зависимыми переменными в эксперименте были: время реакции для правильных ответов и частота ошибок, которые анализировались методами дисперсионного анализа (ANOVA). Поскольку средние для всех испытуемых времена реакции на «вертикальные» и «горизонтальные» тестовые стимулы не различались между собой (518 мс протв 521 мс), они были суммированы и рассматривались как единый фактор. Таким образом, анализ включал четыре фактора ( $2 \times 2 \times 2 \times 2$ ): *Фиксационный стимул* (большой или малый)  $\times$  *Тестовый стимул* (большой или малый)  $\times$  *Эффективность фиксационного периода* ( $P$  или  $1/P$ )  $\times$  *Повторение блока* (первое или второе). Все факторы были внутриндивидуальными переменными.

## Результаты

Для времени реакции уровня значимости достигали следующие главные факторы: *Фиксационный стимул* ( $F=20.0$ ;  $p<0.01$ ), *Тестовый стимул* ( $F=49.46$ ;  $p<0.001$ ) и *Повторение* ( $F=13.43$ ;  $p<0.01$ ). При малом фикса-

ционном стимуле скорость реагирования была выше (496 мс), чем при большом фиксационном стимуле (545 мс), а малый тестовый стимул идентифицировался в среднем медленнее (558 мс), чем большой тестовый стимул (483 мс). На первое предъявление блоков экспериментальных проб испытуемые отвечали с меньшей скоростью (539 мс), чем на второе (501 мс), что указывает на наличие эффекта практики. Однако фактор *Повторение* не взаимодействовал ни с одним из других факторов или группой факторов, т.е. эффект практики характеризует скорее совершенствование когнитивных или исполнительных операций, а не механизмов, зависящих от управления вниманием.

Значимых взаимодействий было два: *Фиксационный стимул* × *Тестовый стимул* ( $F=16.57$ ;  $p<0.01$ ) и *Фиксационный стимул* × *Тестовый стимул* × *Эффективность фиксационного стимула* ( $F=19.88$ ;  $p<0.01$ ). Взаимодействие фиксационного и тестового стимулов свидетельствует от том, что размер фиксационного стимула сильно влияет на скорость идентификации малого тестового стимула (604 мс при большом фиксационном стимуле и 512 мс при малом), но индифферентен для большого тестового стимула (соответственно 480 мс и 485 мс). Наибольший интерес представляет для нас взаимодействие факторов *Фиксационный стимул* × *Тестовый стимул* × *Эффективность фиксационного стимула*. Графически оно представлено на рисунке 2. При *P*-блоках, когда чаще предъявляли тестовые стимулы, соответствующие по размеру и позиции фиксационному стимулу, наиболее частые малый и большой тестовый стимулы идентифицировались быстрее, чем менее частые и не соответствующие по размеру фиксационному стимулу. В оптимальных условиях, когда внешнее и внутреннее управление вниманием фокусировало его наилучшим образом на тестовый стимул, среднее время реакции при идентификации малого тестового стимула составляло 502 мс, а для большого — 457 мс. Однако временной проигрыш от предъявления менее вероятного тестового стимула не был одинаковым для малого и большого тестового стимула — при ожидании большого идентификация малого тестового стимула замедлялась в среднем на 143 мс, а идентификация большого при ожидании малого тестового стимула — всего на 42 мс. Другую картину демонстрировали показатели времени реакции в  $1/P$ -блоках, где фиксационный стимул и наиболее вероятный тестовый стимул не совпадали друг с другом. Для малого тестового стимула лучшими условиями идентификации были такие, где им предшествовал пространственно валидный фиксационный стимул (522 мс), а для большого тестового

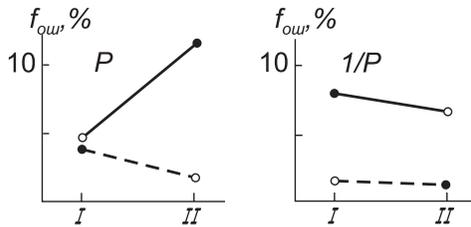


**Рис. 2.** Зависимость среднего времени реакции выбора от размера фиксационного и тестового стимулов и от эффективности фиксационного стимула. По оси абсцисс — размер фиксационного стимула:

I — малый и II — большой; по оси ординат — время реакции, мс. *Левый график* — эффективность 0,8, *правый* — эффективность 0,2. *Сплошная линия* — малый тестовый стимул, *пунктирная* — большой. *Светлые кружки* — валидные пробы, *зачерненные кружки* — невалидные пробы

стимула решающее значение имела высокая частота предъявления, хотя в этом случае все пробы выполнялись в условиях пространственно невалидного фиксационного стимула (460 мс). Обращение этих конфликтных условий приводило к увеличению времени реакции как для малого, так и для большого тестового стимула примерно на одну и ту же величину (41 мс против 53 мс).

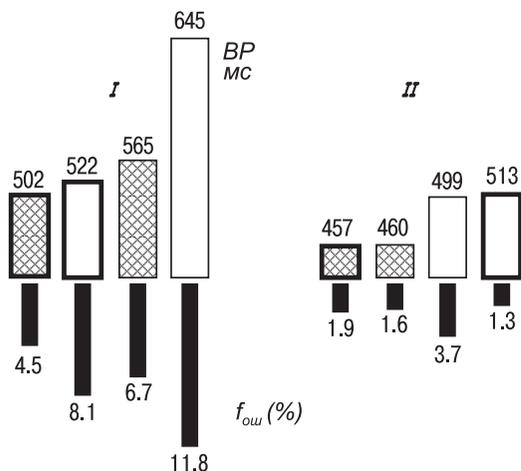
При анализе частоты ошибок уровня значимости достигал только один главный фактор, а именно *Тестовый стимул* ( $F=22.17; p<0.01$ ). При идентификации малого тестового стимула процент ошибок был выше (7.8%), чем при большом (2.1%). Значимым, как и для времени реагирования, было взаимодействие трех факторов: *Фиксационный стимул* × *Тестовый стимул* × *Эффективность фиксационного стимула* ( $F=4.53; p<0.05$ ). Остальные взаимодействия были ниже уровня значимости. Если обратиться к рисунку 3, где дано графическое изображение частот ошибок в зависимости от условий предъявления и типа фиксационного и тестового стимулов, то можно заметить, что для *P*-блоков эти графики имеют значительное сходство с аналогичными графиками для времени реакции. Действительно, наименьшее число ошибок было в оптимальных с точки зрения скорости идентификации условиях, когда фиксационный стимул указывал высоко-частотный тестовый стимул. В этих условиях испытуемые делали в среднем 4.5% ошибочных ответов для малого тестового стимула и 1.9% — для большого. При невалидном фиксационном стимуле



**Рис. 3.** Зависимость частоты ошибок от размера фиксационного и тестового стимулов и от эффективности фиксационного стимула. По оси ординат — частота ошибок, %. Остальное, как на рис. 2

и низкой частоте предъявления частота ошибок возрастала, причем для малого тестового стимула сильнее (на 7.3%), чем для большого (на 1.8%). Для  $1/P$ -блоков зависимость между скоростью и точностью идентификации менялась: чем меньше скорость реакции, тем больше ошибок делали испытуемые. Для малых тестовых стимулов, которым предшествовал малый фиксационный стимул, ошибок было 8.1%, а в условиях большого фиксационного стимула — 6.7%. При идентификации больших тестовых стимулов ошибок было соответственно 1.6 и 1.3%. Следовательно,  $P$ - и  $1/P$ -блоки различались между собой типом соотношения скорости и точности идентификации. В первом случае увеличение скорости ответов сопровождалось пропорциональным увеличением точности, а во втором увеличение скорости шло за счет точности.

Для того, чтобы оценить различия в идентификации между малыми и большими тестовыми стимулами в  $P$ - и  $1/P$ -блоках, мы изобразили полученные результаты в виде гистограмм поблочных средних времен реакции и процента ошибок, упорядочив их по возрастанию времени реакции. Полученные гистограммы представлены на рисунке 4. На них наглядно видны следующие закономерности. Для малых тестовых стимулов наибольшее облегчающее влияние на скорость идентификации оказывала пространственная валидность фиксационного стимула. Вероятностное указание также оказывало облегчающее влияние на время реакции, эффект которого суммировался с эффектом валидного фиксационного стимула, но был слабее последнего при изолированном действии этих факторов. Однако в последнем случае временной выигрыш компенсировался увеличением числа ошибок. Для больших тестовых стимулов скорость идентификации решающим образом зависела от вероятностной инфор-



**Рис. 4.** Гистограммы упорядоченных средних времен реакции (вверху) и соответствующих им частот ошибок (внизу) раздельно для малых (слева, I) и больших (справа, II) тестовых стимулов. Жирный контур — валидные пробы, тонкий контур — невалидные пробы; штриховка — эффективность фиксационного стимула 80%, без штриховки — 20%. Цифрами обозначены абсолютные значения времен реакции (мс) и частот ошибок (%)

мации. Низкий уровень вероятностных ожиданий приводил к замедлению ответов даже при предъявлении пространственно валидного фиксационного стимула. Когда же низкий уровень пространственных ожиданий сочетался с пространственно невалидным фиксационным стимулом, то частота ошибок увеличивалась примерно в 2 раза по сравнению со всеми другими условиями.

## Обсуждение и выводы

В полученных результатах находит подтверждение одно из основных следствий модели трансфокатора, а именно: зрительная способность к идентификации фовеальной цели уменьшается при предварительной расфокусировке зоны внимания. Это выражается в значительных дополнительных временных затратах на переработку, достигавших 143 мс. Параллельное увеличение частоты ошибок можно расценить как повышение трудности задачи идентификации при расфокусированном внимании. Однако данные, относящиеся к идентификации

больших по размеру целей, критические элементы которых были симметрично удалены от фовеа, показывают ограниченность модели трансфокатора. Речь идет о возможности управления размером зоны фокального внимания при условии выполнения принципа «все или ничего» (Broadbent, 1958), согласно которому симультанная переработка не распространяется за пределы четко очерченного участка пространства. Понятно, что, строго говоря, этому принципу должна подчиняться и работа трансфокатора. Однако при оптимальной настройке внимания на фовеальную цель временной проигрыш для идентификации периферической цели составлял всего лишь 42 мс. Поэтому вслед за В. Джемсом (James, 1890) можно, по-видимому, предположить, что фокус внимания не имеет резких границ и за его пределами существует переходная область, которую иногда обозначают как область «предвнимания» (Egeth, 1977; Neisser, 1967). Оптимум фокусировки внимания на зонах разного размера достигается за счет совместного внешнего и внутреннего управления, использующего, соответственно, визуальный фиксационный стимул и вероятностную информацию. При конфликте этих детерминант пространственного внимания они оказывают аддитивное влияние на результирующее состояние системы внимания. Вместе с тем, успешность идентификации фовеальных целей в большей степени зависела от пространственной валидности фиксационного стимула, чем от вероятности предъявления тестового стимула, тогда для периферических целей доминировала ориентировка именно на вероятность предъявления.

Этот вывод имеет отношение к тем теориям зрительного пространственного внимания, которые оперируют понятием распределения когнитивных ресурсов как объяснительным принципом (например Eriksen, Hoffmann, 1972; Jonides, 1983; Kahneman, 1973). Другими словами, эти теории подчеркивают доминирование внутреннего способа управления вниманием. Наш эксперимент показал, что внимание не распределяется в пространстве в точном соотношении с вероятностной структурой предъявляемых целей. Не оставался на постоянном уровне и «объем ресурсов», т.е. общая эффективность деятельности по каждому блоку предъявления проб. Таким образом, наши результаты не подтвердили гипотезы о произвольного распределения ресурсов внимания в поле зрения. Они показывают, что, наряду с внутренним, существенную роль играет и внешнее управление вниманием, задающее пространственную систему отсчета для распределения ресурсов и накладывающее на него определенные ограничения.

## **ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЭФФЕКТА ПРЕДУПРЕЖДАЮЩЕГО СИГНАЛА В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ**

Предупреждающие (warning) сигналы, или сигналы готовности, широко используются для экстренной мобилизации внутренних ресурсов человека и его концентрации на предстоящем событии. Примерами из повседневной жизни являются сигналы светофора, регулирующие дорожное движение, выстрелы и команды стартера при проведении спортивных состязаний, сигналы тревоги при возникновении опасных ситуаций. В экспериментальной психологии еще со времен В. Вундта известно, что предупреждающий сигнал ускоряет время реакции и является необходимым условием опознания стимула при его тахистоскопическом предъявлении. Поэтому предупреждающий сигнал является неотъемлемой частью процедуры, используемой при измерении временных характеристик когнитивных процессов — обнаружения, поиска, опознания, сравнения и т.д. Он призван в какой-то степени оптимизировать и уравнивать для разных экспериментальных проб состояние бдительности и готовности к выполнению задания.

Между тем, анализ процедуры использования предупреждающих сигналов в исследованиях по когнитивной психологии показывает, что условия их применения широко варьируют в разных экспериментах. Предупреждающие сигналы могут отличаться по модальности, например, могут быть зрительными или слуховыми, по интенсивности, по способу подачи (включение или выключение); может варьировать длительность и временная вариативность периода упреждения (*fore-period*) и ряд других параметров.

Выполнено значительное количество работ, в которых было установлено, что все эти особенности использования предупреждающих сигналов оказывают существенное влияние на выполнение, в частности, такой задачи как обнаружение (обзор смотри у Niemi, Näätänen, 1981). Например, было экспериментально подтверждено, что при

звуковых предупреждающих сигналах время реакции обнаружения короче, чем при зрительном предупреждении (Davis, Green, 1969). Также рядом исследователей было доказано, что увеличение интенсивности предупреждающего сигнала ведет к ускорению процесса обнаружения (Kohfeld, 1968, 1969; Niemi, 1979). На эффективность выполнения задания серьезное влияние оказывает и период упреждения (ПУ) — интервал между началом предупреждающего сигнала и моментом подачи стимула (Alegria, 1975; Baumeister, Joubert, 1969; Näätänen, 1970).

Задача осложняется тем, что при постоянной длительности ПУ возникает эффект антиципации, когда испытуемый начинает предвосхищать появление сигнала и время его реакции падает ниже 100 мс, а иногда его ответы даже опережают появление цели. Чтобы избежать влияния эффекта антиципации исследователи вынуждены случайным образом варьировать длительность ПУ в серии экспериментальных проб (Bevanet al., 1965). Однако использование этой процедуры влечет за собой, например, следующие вопросы: 1) сколько именно ПУ нужно использовать и 2) каков оптимальный диапазон вариативности ПУ в единой последовательности (блоке) экспериментальных проб.

Следует признать, что, используя даже экспериментальную парадигму с варьированием длительности ПУ, мы все же не можем полностью избежать влияния субъективных ожиданий относительно вероятностной структуры ПУ. Как было показано Р. Наатаненом (Näätänen, 1970) для акустических сигналов, время реакции на самый короткий из используемых в серии проб ПУ всегда немного больше, чем на наиболее длинный.

В своей работе мы исходили из принципиального положения, что эффект предупреждающего сигнала надо рассматривать в контексте целостного перцептивного события, т.е. с учетом взаимодействия тех процессов и установок, которые оперируют не только актуальной, но и прошлой информацией. Другими словами, наша гипотеза состояла в том, что недостаточно просто указать на факторы, определяющие этот эффект, — надо раскрыть и конкретные механизмы, определяющие его вариативность в зависимости от тех или иных условий измерения.

В рамках разработки этой гипотезы было проведено 2 эксперимента, цель которых состояла в получении более детальной информации о временной динамике эффекта предупреждающего сигнала в задаче обнаружения в зависимости от типа предупреждающего сигнала, а также временной и пространственной неопределенности

целевого стимула. В частности, особый интерес представляет диапазон ПУ от 100 до 1600 мс, относительно которого имеются достаточно противоречивые данные. С одной стороны, при фиксированной длительности ПУ типичный результат заключается в замедлении реакции с возрастанием ПУ, за исключением самых коротких (до 200 мс) интервалов, где зарегистрирован прямо противоположный эффект. С другой стороны, установлено, что при варьируемом ПУ скорость реакции имеет тенденцию увеличиваться при увеличении ПУ до 1.5 с (по другим данным – до 5 с), однако в этом случае весь набор ПУ (числом от 3 до 7) предъявляли в едином блоке проб (например, Niemi, 1979). Задача эксперимента 1 заключалась в том, чтобы на достаточно коротких временных интервалах развести эффекты последовательности, связанные с влиянием предыдущего ПУ на оценку последующего ПУ, от временной динамики состояния «готовности» в чистом виде.

Вторая задача, решаемая в эксперименте 1, состояла в том, чтобы прояснить взаимосвязь между предупреждающим сигналом и сигналом предъинформирования (cueing). О последнем обычно говорят в контексте экспериментальной парадигмы «выигрыша-проигрыша» (Posner, 1980), когда подаваемый после начала пробы вспомогательный сигнал указывает наиболее вероятное местоположение целевого стимула. Высказывается мнение, что предъинформирующий сигнал работает также и как сигнал предупреждения, оказывая, таким образом, дополнительное влияние на скорость обнаружения. Однако Д. Фернандес-Дюк и М. Познер (Fernandez-Duque, Posner, 1997) получили данные, которые поддерживают идею о отдельных механизмах для управления такими компонентами внимания как активация (alerting) и ориентировка (orienting). Активация характеризуется как общая, неспецифическая готовность к совершению действия, тогда как ориентировка повышает чувствительность сенсорной системы на появление стимула в определенной пространственной зоне.

Задачей эксперимента 2 являлось изучение особенностей временной динамики эффекта предупреждающего сигнала в зависимости от того, задается ли предупреждение *включением* или *выключением* соответствующего сигнала. О возможной разнице между этими двумя ситуациями говорит тот факт, что короткий темновой интервал между выключением фиксационной точки и предъявлением стимула ведет к укорочению времени саккадической и мануальной реакции, по сравнению с условиями, когда фиксационная точка экспонируется постоянно (Fisher, Weber, 1993).

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 1**

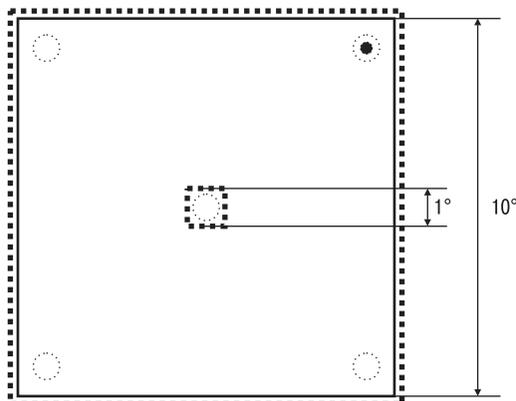
### **Методика**

Временную динамику эффекта предупреждающего сигнала изучали на интервалах ПУ 100–1600 мс, комбинируя процедуру фиксированного и переменного ПУ. Диапазон вариативности ПУ оставался постоянным (3 сигнала,  $\pm 250$  мс), тогда как среднее значение ПУ менялось в разных блоках проб с шагом 250 мс. Использовали предупреждающие сигналы разной модальности — слуховой и зрительный. Зрительные предупреждающие сигналы были 2 типов, предполагающие узкую или более широкую фокусировку пространственного внимания. В серии проб целевой стимул появлялся либо в неизменной пространственной позиции, либо равновероятно в 1 из 5 возможных позиций.

### **Стимулы и процедура**

Эксперимент проводили на базе персонального компьютера с использованием программы «Batterfly» (Pulkin, 1996). Все стимулы предъявлялись на темно сером фоне, который был выбран для того, чтобы усложнить задачу обнаружения и сделать эффект предупреждающего сигнала более выраженным. Тонкая черная квадратная рамка (сторона —  $10^\circ$ ) постоянно экспонировалась в центре экрана и служила в качестве фиксационного стимула. В наших предыдущих исследованиях (Белопольский, 1989) было установлено, что испытуемые могут без труда стабилизировать взор, глядя на большую фиксационную рамку. Отказ от использования так называемой «фиксационной точки» был связан и с тем, что в этом случае задача фиксации требует дополнительных ресурсов внимания.

Испытуемых просили фиксировать центр рамки и нажимать как можно быстрее на кнопку только они обнаруживали цель. Целевым стимулом служила не у специального выносного пульта, как большая черная точка ( $0.2^\circ$ ) на экране компьютера. В первой части каждой экспериментальной серии она появлялась только в центре фиксационной рамки, а во второй части — в 5 возможных позициях внутри фиксационной рамки, включая и центральную позицию (см. рисунок 1). В экспериментах участвовали 4 взрослых испытуемых.



**Рис. 1.** Фиксационный, предупреждающие и целевые стимулы, использовавшиеся в эксперименте 1. Тонкая черная линия — постоянная фиксационная рамка, штриховые фигуры — варианты зрительных предупреждающих стимулов. Тонкими кружками обозначены места появления целевых стимулов (черная точка)

### План эксперимента

Использовали 3 типа предупреждающих сигнала: 1) звуковой сигнал интенсивностью 50 dB и частотой 547 Гц; 2) зрительный периферический сигнал — «вспышка» (утолщение линии) фиксационной рамки; 3) зрительный центральный сигнал — появление маленькой черной рамки (1°) в центре экрана (см. рисунок 1). Кроме того, для контроля использовали пробы *без* предупреждающего сигнала. Таким образом, фактор «*Тип предупреждающего сигнала*» имел 4 уровня. Все предупреждающие сигналы предъявлялись вплоть до получения ответа испытуемого, так что изучался только эффект включения предупреждающего сигнала.

Всего в каждом блоке проб в случайном порядке варьировали 3 ПУ: среднее, на 250 мс меньше и на 250 мс больше среднего. Средняя длительность периода упреждения (ПУ<sup>с</sup>) в отдельных блоках проб составляла 350 мс; 600 мс; 850 мс; 1100 мс; 1350 мс (5 уровней значений). Таким образом, использовали следующие комбинации абсолютных значений ПУ (ПУ<sup>а</sup>): 1) 100-350-600 мс; 2) 350-600-850 мс; 3) 600-850-1100; 4) 850-1100-1350 мс; 5) 1100-1350-1600 мс.

Также использовали 2 типа пространственной локализации целевого стимула: постоянная (центрально) и случайная (5 позиций —

по углам рамки и в центре, см. рисунок 1). Длительность экспозиции стимула определялась временем реакции испытуемого.

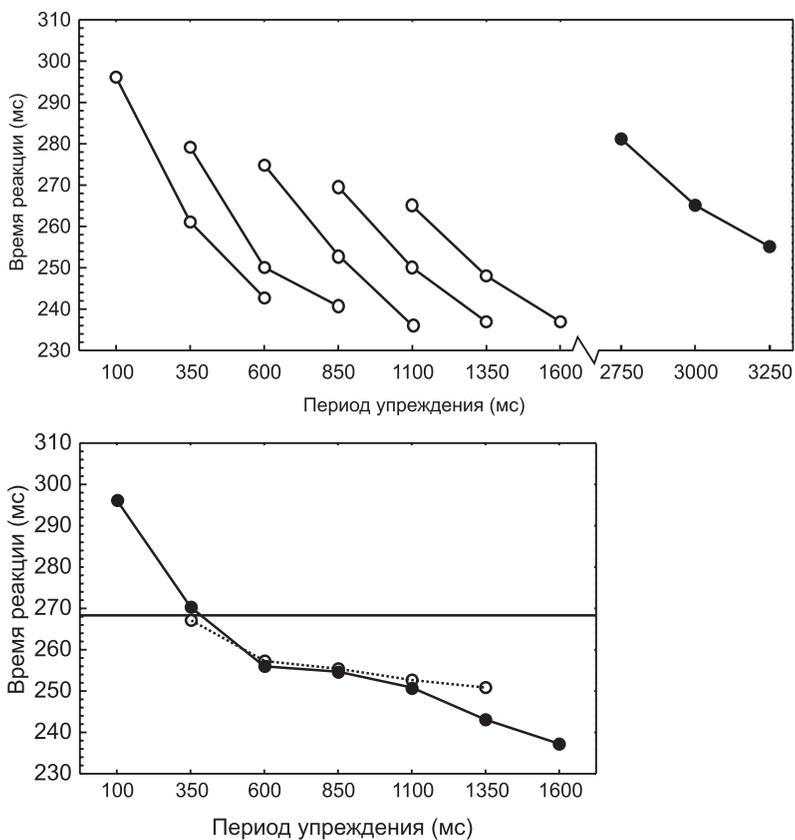
Каждый испытуемый выполнял полную программу эксперимента, которая состояла из 4 рандомизированных серий, отдельно для каждого типа предупреждающего сигнала. В первой половине каждой серии стимул предъявляли в центральной позиции, во второй — случайным образом. Длительность упреждения меняли блоками, по 45 предъявлений в каждом блоке проб (по 15 на каждое абсолютное значение длительности). Интервал между отдельными пробами, включая ПУ, составлял 3000 мс. Исключение составляла серия без предупреждающего сигнала, где интервал между пробами варьировал между значениями 2750, 3000 и 3250 мс.

Время реакции измеряли с точностью до 1 мс. Ответы с временем реакции менее 100 мс исключали из анализа, поскольку они рассматривались как результат антиципации.

## Результаты

Был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) зависимости ВР от факторов: *Тип предупреждающего сигнала* (ТПС — 4 уровня) × *Средний период упреждения* (ПУ<sup>с</sup> — 5 уровней) × *Временная позиция ПУ* (ВППУ — 3 уровня) × *Локализация цели* (ЛЦ — 2 уровня) × *Испытуемые* (4 уровня). Хотя результаты отдельных испытуемых значимо ( $F=29.03$ ;  $p<0.0001$ ) различались по среднему ВР (от 277 до 243 мс), фактор *Испытуемые* не взаимодействовал с другими факторами и потому исключался из дальнейшего анализа.

Все анализируемые факторы показали значимый главный эффект: ПУ<sup>с</sup> ( $F=5.58$ ;  $p<0.001$ ); ТПС ( $F=31.22$ ;  $p<0.0001$ ); ЛЦ ( $F=53.85$ ;  $p<0.0001$ ); ВППУ ( $F=86.62$ ;  $p<0.0001$ ). Общая динамика эффекта предупреждающего сигнала показана на рисунке 2. ВР монотонно уменьшалось с увеличением ПУ<sup>с</sup> (с 267 до 251 мс). Для ТПС наибольший выигрыш во ВР давал акустический предупреждающий сигнал (237 мс против 267 мс для условий без предупреждающего сигнала). Эффекты от периферического и центрального зрительного сигнала (большая и малая визуальная рамка) были незначительными (6 и 7 мс соответственно). ВР на постоянный центральный стимул было значимо ниже, чем при случайном предъявлении целевого стимула (247 против 265 мс). Наконец, ВР зависело от ВППУ. При одном и том же абсолютном значении длительности упреждения, ВР на стимул в 1-й из 3 временных позиций на 25 мс превышало ВР на стимул во 2-й



**Рис. 2.** Графики зависимости эффекта предупреждающего сигнала от абсолютной от средней длительности периода упреждения.

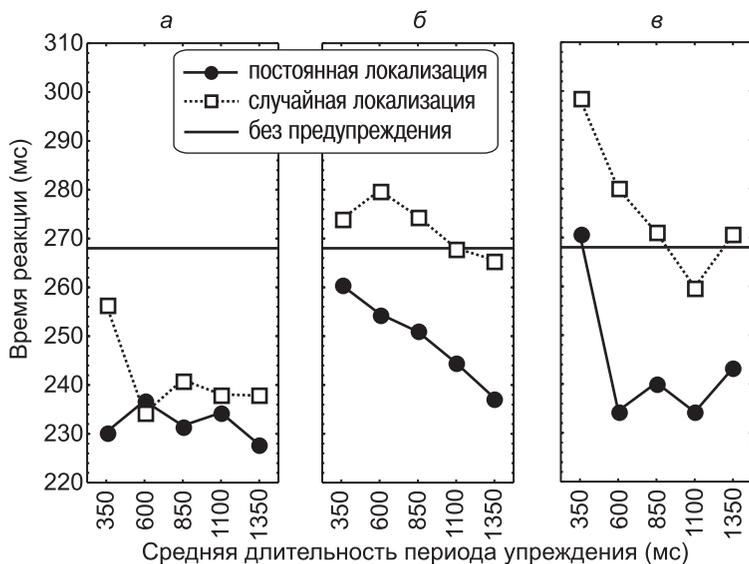
*вверху* — время реакции для каждой временной позиции периода упреждения в каждом блоке проб, суммарно по всем типам предупреждающего сигнала и локализации целевого стимула; черные кружки — результаты для серии без предупреждающего сигнала;

*внизу* — те же результаты, усредненные по блокам проб (светлые кружки) или по абсолютным (темные кружки) длительностям периода упреждения. Горизонтальная линия показывает среднее время реакции для серии без предупреждающего сигнала

позиции, а ВР на стимул в 3-й позиции укорачивалось еще на 14 мс. Анализ парных сравнений (тест Scheffe) подтвердил значимость этих различий.

Нужно отметить, что эффект ВППУ обнаружен и в сериях проб без предупреждающего сигнала. Если в этом случае предупреждающим сигналом считать нажатие на кнопку в предыдущей пробе, то значение ПУС здесь составляло 3000 мс.

Значимые взаимодействия были показаны только для ТПС × ЛЦ ( $F=5.8$ ;  $p < 0.001$ ). Графически это показано на рисунке 3. При постоянной локализации стимула особо выражен эффект акустического и центрального зрительного предупреждающего сигнала, в меньшей степени — периферического зрительного предупреждающего сигнала. Однако при случайной локализации стимула выигрыш во ВР давал только акустический предупреждающий сигнал, зрительные же предупреждающие сигналы не выполняли



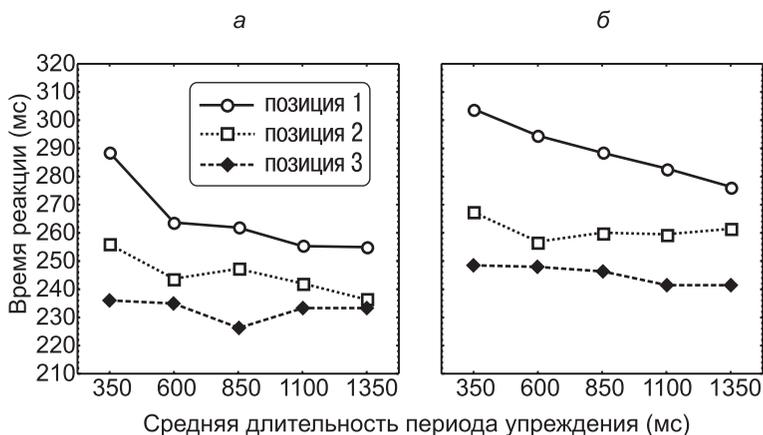
**Рис.3.** Временная динамика эффекта предупреждающего сигнала как функция пространственной локализации целевого стимула (постоянная или случайная) и типа предупреждающего сигнала *а* — звуковой; *б* — зрительный периферический; *в* — зрительный центральный предупреждающий сигнал

своей функции и даже оказывали негативное влияние на ВР, особенно при ПУ до 1100 мс.

Еще одно взаимодействие факторов приближалось к значимому уровню: ВППУ × ЛЦ ( $F=2.29$ ;  $p<0.102$ ). Это взаимодействие означает, что при постоянной локализации стимула разница во ВР между стимулами в 1-й и 3-й временной позиции меньше (33 мс), чем при случайной локализации стимула (46 мс). Другими словами, при прочих равных условиях временная неопределенность в ПУ меньше сказывается на ВР, когда отсутствует неопределенность в пространственной локализации стимула (см. рисунок 4).

### Обсуждение

Одним из главных полученных результатов является то, что в тестируемом нами временном диапазоне при использовании в отдельном блоке проб 3 равновероятных ПУ с общей вариативностью 500 мс ( $\pm 250$  мс) эффект ВППУ не зависит от общей временной динамики эффекта предупреждающего сигнала. Более того, той же величины эффект временной позиции отмечен и в пробах без явного предупреждающего сигнала. Таким образом, можно предпо-



**Рис. 4.** Временная динамика эффекта предупреждающего сигнала как функция временной позиции ПУ в блоке проб и локализации целевого стимула  
 а — постоянная, б — случайная локализация целевого стимула

ложить, что состояние готовности, или подготовки к действию, которое запускает предупреждающий сигнал, модулируется не только ближайшими по времени событиями (ПУ в предшествующей пробе), но и интегральными установками, например, ожиданиями среднего по блоку проб значения ПУ. Согласно литературным данным (Bevan, 1965), более ранний по сравнению с ожидаемым предупреждающий сигнал вызывает задержку реакции, а запаздывающий сигнал ее ускоряет. При этом, как показывают полученные в эксперименте 1 результаты, этот эффект временной неопределенности, или временного диапазона (range effect), не зависит от средней величины ПУ и от типа используемого предупреждающего сигнала.

В то же время, фактор пространственной локализации предъявляемого стимула показал тесную связь как с типом предупреждающего сигнала, так и с временной позицией ПУ. Зрительный сигнал производил значимый предупреждающий эффект (ВР меньше, чем в ситуации без предупреждающего сигнала) только тогда, когда целевой стимул постоянно появлялся в центральной позиции. При этом центральный зрительный предупреждающий сигнал обеспечивал более быстрое обнаружение, чем периферический. Одним из возможных объяснений этого факта может быть то, что в этих условиях центральный предупреждающий стимул обеспечивал точное (в пределах  $1^\circ$ ) предъинформирование о месте появления стимула с достоверностью 100%. Периферический же стимул не обеспечивал столь четкого целеуказания, задавая широкий ( $10^\circ$ ) фокус внимания с неявно обозначенным центром. Оба зрительных предупреждающих сигнала оказались мало эффективны, когда местоположение стимула варьировало случайным образом, т.е. когда они не обладали качеством предъинформирования (валидность центральной и 4 других пространственных позиций равнялась 20%) (см. рисунок 3б, в).

Если сравнить между собой эффективность зрительных и акустического предупреждающего сигнала, то следует отметить, что последний обеспечивал более существенное снижение ВР в задаче обнаружения, и этот выигрыш во времени не зависел от средней величины ПУ и от степени неопределенности пространственной локализации стимула. Это означает, что акустический предупреждающий сигнал связан прежде всего с механизмами общей активации и менее специфичен в отношении механизма пространственной локализации стимула (рисунок 3а). «Вспыхивающий» пери-

ферический или центральный зрительный стимул не только является сигналом готовности, причем энергетически более слабым по сравнению с акустическим сигналом, но и запускает процессы, связанные с избирательной настройкой зрительного пространственного внимания на основе текущей и ранее воспринятой информации.

Говоря о динамике пространственного внимания, часто выделяют следующие фазы, или этапы этого процесса: 1) отстройка от объекта предыдущей фиксации (*disengagement*); 2) движение или изменение размера поля внимания; 3) захват новой цели (*engagement*) (Fisher, Weber, 1993; Posner, 1980). Каждый этап обрабатывается в автоматическом режиме и занимает определенное время, которое, тем не менее, не является строго фиксированным и зависит от целого ряда факторов, как внешних, так и внутренних.

Возвращаясь к результатам эксперимента 1, можно предположить, что в задаче обнаружения, которая не предъявляет сколь угодно высоких требований к разрешающей способности зрительной системы, полученные нами в различия во ВР для стимулов в ожидаемой и случайных пространственных локализациях при зрительных предупреждающих сигналах и отсутствие таких различий при акустических предупреждающих сигналах связаны главным образом с первым этапом пространственной ориентировки внимания, а именно, с этапом отстройки от фиксации. Акустический сигнал автоматически отстраивал внимание от фиксационной рамки, тогда как зрительный, напротив, притягивал его, соответственно, к большой или малой рамке. Положительный эффект такого зрительного предынформирования достигался только в случае, когда оно было релевантно позиции предъявляемого стимула, тогда как неопределенность в локализации стимула заново запускала цикл настройки пространственного внимания, что влекло к проигрышу во ВР даже по сравнению с условиями без предупреждающего сигнала. Интересно, что длительность этапа отстройки от фиксации обычно оценивают в 50 мс, что совпадает с наивысшей величиной эффекта предупреждающего сигнала.

Для проверки предположения о характере связи пространственного внимания с типом предупреждающего сигнала нами был проведен эксперимент 2, где предупреждающим сигналом служило выключение фиксационного стимула.

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 2**

### **Методика**

В эксперименте 2 было проведено сравнение эффектов включения и выключения предупреждающего стимула при выполнении задачи обнаружения. Как и в эксперименте 1, использовали периферические и центральные предупреждающие зрительные стимулы, а также меняли длительность и вариативность ПУ, который в данном случае представлял собой «пустой» (gap) интервал. Задача обнаружения была усложнена и включала также определение стороны предъявления целевого стимула (справа или слева от центра фиксационной рамки), о чем испытуемые сообщали бинарным моторным ответом. Такая процедура призвана была уменьшить вероятность антиципирующих реакций.

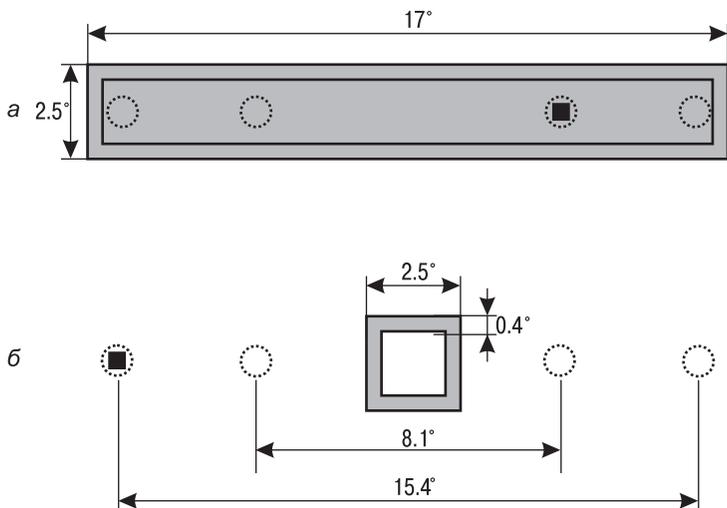
### **Стимулы и процедура**

Фиксационными стимулами служили горизонтальная темно-серая рамка размером  $17^\circ \times 2.5^\circ$  или квадратная рамка со стороной  $2.5^\circ$ , которые предъявлялись на светло-сером экране компьютера. Стимулом для обнаружения был небольшой черный квадрат ( $0.4^\circ$ ), который мог с равной вероятностью появиться в 1 из 4 пространственных позиций, 2 из которых находились в правой, а 2 других — в левой части экрана. Фиксационную рамку зажигали на 1000 мс, после чего гасили и через варьируемый «пустой» интервал предъявляли целевой стимул, который экспонировали в течение 200 мс. Использовали две кнопки, на которые испытуемые нажимали, соответственно, правой и левой рукой: правой — при обнаружении стимула в правой части экрана, левой — при обнаружении стимула в левой части экрана. После правильного ответа на экране высвечивали на 600 мс число — время реакции в миллисекундах, после неправильного ответа — слово ОШИБКА. Интервал между пробами составлял 2000 мс. Используемые в эксперименте 2 стимулы и их пространственное расположение показаны на рисунке 5.

### **План эксперимента**

Основными зависимыми переменными в эксперименте 2 были:

1. фиксационная рамка — центральная или периферическая;
2. длительность ПУ — 0, 100, 200 или 500 мс;



**Рис. 5.** Пространственное расположение стимулов, использованных в эксперименте 2. Обозначенные точечной линией кружки показывают места появления целевого стимула  
*a* — периферическая фиксационная рамка;  
*б* — центральная фиксационная рамка

3. способ варьирования ПУ — по блокам (все пробы в блоке из 120 проб имели фиксированную длительность «пустого» интервала) или смешанный (в блоке проб использовали разные длительности «пустого» интервала).

Зависимая переменная — время реакции (ВР) испытуемого, измеренное с точностью 1 мс.

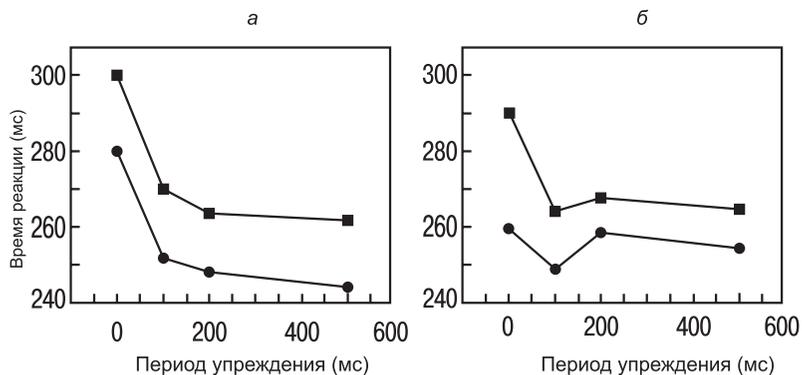
## Результаты

Был проведен 5-факторный дисперсионный анализ (ANOVA) зависимости ВР от факторов: *Размер фиксационной рамки* (ФР — 2 уровня) × *Длительность ПУ* (2 уровня) × *Варьирование ПУ* (2 уровня) × *Сторона предъявления* (2 уровня) × *Испытуемые* (8 уровней). Главные эффекты были установлены только для факторов *Длительность ПУ* ( $F=20.9$ ;  $p,0<001$ ) и *ФР* ( $F=43.4$ ;  $p<0.001$ ). Это означает, что ВР уменьшалось с увеличением ПУ и было выше для перифе-

рической фиксационной рамки по сравнению с центральной (280 мс против 256 мс). Уровня значимости достигало только одно 2-факторное взаимодействие: *Длительность ПУ* × *Варьирование ПУ* ( $F=5.8$ ;  $p<0.001$ ). Графически эти результаты представлены на рисунке 6.

Из рисунка 6. видно, что при обоих способах варьирования ПУ скорость реакции резко возрастает при ПУ=100 мс (по сравнению с ПУ=0 мс), но далее, при смешанном способе варьирования, ПУ продолжает монотонно увеличиваться с возрастанием длительности ПУ, тогда как при блочном остается на постоянном уровне. Более того, даже при ПУ=0 мс, т.е. когда целевой стимул предъявляли одновременно с выключением фиксационной рамки, блочный способ варьирования ПУ давал выигрыш в 20–25 мс, если сравнивать с аналогичными условиями предъявления при смешанном способе варьирования ПУ. Во всех случаях сама динамика эффекта выключения предупреждающего сигнала не зависит от типа фиксационной рамки.

Таким образом, учитывая сказанное ранее при обсуждении результатов эксперимента 1, можно заключить, что в эффект предупре-



**Рис. 6.** Временная динамика эффекта предупреждающего сигнала в задаче обнаружения стороны предъявления целевого стимула. Предупреждением служило выключение фиксационной рамки, период упреждения — темновой интервал до появления стимула

*а* — смешанный, *б* — постоянный способ варьирования периода упреждения; *чёрные квадраты* — периферическая рамка; *чёрные кружки* — центральная рамка

ждающего сигнала вносят вклад как процессы общей активации, так и процессы ориентировки зрительного пространственного внимания. При смешанном способе варьирования ПУ интенсивность состояния активации (готовность) нарастает к последней временной позиции ПУ, тогда как при постоянном ПУ максимум активации достигается к любому ожидаемому ПУ в диапазоне 100–500 мс. Процессы же ориентировки зрительного пространственного внимания относятся к ранним этапам развития состояния активации и составляют его фазическую компоненту.

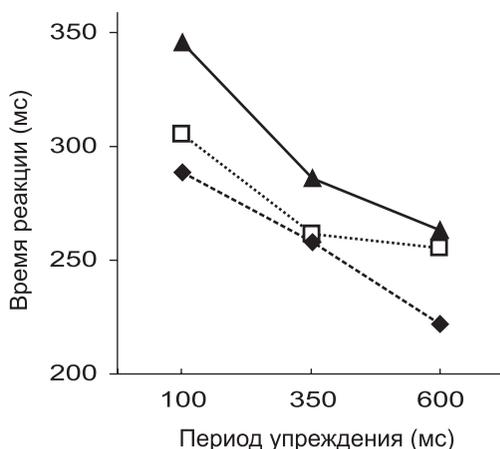
## Общее обсуждение

Результаты эксперимента 1, относящиеся к включению зрительного предупреждающего сигнала при случайной локализации целевого стимула, могут быть напрямую сопоставлены с результатами эксперимента 2, где предупреждающим сигналом служило выключение зрительного предупреждающего сигнала. Из этого сравнения следует одно их принципиальное сходство — значимое уменьшение ВР на относительно коротких диапазонах ПУ. Вместе с тем, между ними имеется и существенное различие, а именно, приоритет периферического предупреждающего сигнала над центральным в первом случае и прямо противоположный эффект — во втором.

Логично связать эти различия с временными затратами на отстройку внимания от фиксационного стимула (рамки). В эксперименте 1 «вспыхивающий» центральный зрительный предупреждающий стимул привлекал и задерживал внимание в обозначенной им зоне, так что при случайной локализации целевого стимула требовалась перенастройка внимания с центральной рамки на постоянно светящуюся периферическую, охватывающую потенциальные позиции всех возможных стимулов. Понятно, что такая перенастройка требует определенных временных затрат по сравнению с периферическим предупреждающим стимулом. В эксперименте 2 отстройка от фиксационных зрительных стимулов — и периферического, и центрального — осуществлялась автоматически, за счет гашения этих стимулов. Результаты показывают, что в этом случае легче было отстроиться от центрального фиксационного стимула, чем от периферического, что выражалось в показателях ВР обнаружения. Можно предположить, что при выключении периферического фиксационного стимула внимание продолжало удерживаться в той же пространственной зоне, поскольку именно

там ожидалось появление целевых стимулов, тогда как выключение центрального фиксационного стимула приводило систему пространственного внимания в состояние полной готовности к захвату нового стимула. Выключение центрального фиксационного стимула производит эффект, подобный эффекту акустического предупредительного сигнала. Подтверждение сказанному можно получить из сравнения результатов эксперимента 2, смешанный способ варьирования ПУ, которые приведены на рисунке 6а, и результатов эксперимента 1 для  $ПУ^C = 350$  мс, серий со случайной локализацией целевого стимула при акустическом, зрительном центральном и зрительном периферическом предупреждающем сигнале (рисунок 7).

Событийно обе сравниваемые ситуации очень близки, за исключением способа подачи предупреждающего сигнала (включение или выключение). Средняя кривая на рисунке 7 и верхняя кривая на рисунке 6а отражают динамику ВР обнаружения при периферическом зрительном предупреждающем сигнале, а нижние кривые, соответственно, ВР на акустический сигнал и ВР на центральный фиксационный стимул.



**Рис. 7.** Результаты эксперимента 1 для блоков проб с  $ПУ^C = 350$  мс и случайной локализацией целевого стимула. Кривые относятся к разным типам предупреждающего сигнала: акустическому (темные ромбы), зрительному периферическому (светлые квадраты) и зрительному центральному (темные треугольники)

## **Заключение**

1. Эффект предупреждающего сигнала связан с повышением готовности к реагированию и в задаче обнаружения выражается в постепенном снижении ВР при увеличении ПУ до 1350 мс.
2. Предупреждающий сигнал запускает как процессы общей активации внимания, так и более быстрые процессы ориентировки зрительного пространственного внимания, которые могут принести как дополнительный выигрыш, так и проигрыш во ВР обнаружения при небольших величинах ПУ.
3. Кроме модальности предупреждающего сигнала, эффективными его характеристиками могут быть его пространственная позиция, размер и способ его подачи — включение или выключение. На результаты обнаружения влияют также временная и пространственная неопределенность целевого стимула.

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ**

### **Селективность восприятия**

Касаясь вопроса о селективной обработке поступающей из среды информации, следует различать два типа процессов: обработку информации в направлении снизу вверх, или управляемую поступающими на вход данными, и обработку в направлении сверху вниз, или управляемую изнутри (Norman, Bobrow, 1975; Yantis, 1998). При обработке поступающих на вход данных активируются коды разных уровней анализа — от простого физического, или сенсорного анализа до сложного семантического, или схематического анализа. Уровень, на котором выполняется обработка сигнала, зависит от интенсивности и ясности стимула и от уровня доступности стимульного кода, определяемого обучением. Глубина обработки поступающих данных зависит от интенсивности стимула, его зашумленности и степени знакомости. Следовательно, факторы управления восходящим потоком данных способны сами по себе привести к избирательной обработке конкурирующих стимулов, если они имеют различные пределы по глубине обработки (Theeuwes et al., 1998). Однако большинство исследований адресовано к центробежному (сверху вниз) управлению избирательной обработкой. В этом случае говорят, что человек ориентируется на определенный стимул посредством селективного внимания. Селективная обработка в направлении сверху вниз обслуживается элементарными перцептивными программами, или операциями (Ullman, 1984). Важным является вопрос о том, реализуются ли эти программы последовательно, или же возможна также и параллельная обработка информации. С. Ульман выделяет 3 типа параллелизма в обработке зрительной информации: пространственный, функциональный и временной. Пространственный параллелизм означает, что одна и та же или

сходные операции выполняются одновременно в разных пространственных зонах. Под функциональным параллелизмом понимается, что разные вычисления выполняются в отношении одной и той же пространственной зоны. Временной параллелизм состоит в одновременном применении разных стадий обработки к разным входам. В принципе, зрительным программам доступны все три типа параллелизма, хотя пространственный параллелизм зрительных программ имеет существенные ограничения, по сравнению с программами, оперирующими с базовыми репрезентациями. В частности, М. Познер с соавт. (Posner et al., 1980) показали, что нельзя произвольно распределить ресурсы внимания между двумя пространственными локусами, не составляющими единой зоны. Неспособность выполнять операции параллельно, которая может быть связана с перегрузкой информацией и ограниченной пропускной способностью перцептивной системы, ведет к их последовательной реализации (Wolf, 1998). Исходно, однако, элементарные операции должны выполняться именно последовательно, в силу самой природы вычислительной процедуры решения задач.

## Проблема функционального поля зрения

Селективность перцептивного процесса начинается с захвата стимула фокусом внимания (Posner et al., 1986), или фокусом обработки (Ullman, 1984). Встает вопрос, каков размер фокуса внимания и как он соотносится со структурой сетчатки. Возможности пространственного зрения не являются равноценными для всего поля зрения. В связи с этим принято говорить о структуре поля зрения, исследование которой основано на процедуре последовательного тестирования отдельных участков поля зрения с целью получения их оптимальных рабочих характеристик. Важным условием такой процедуры является сохранение устойчивого, статического режима восприятия, при котором сетчатка глаза не перемещается относительно тест-объекта (Jones, Higgins, 1947; Mandelbaum, Sloan, 1947). Периферия поля зрения имеет значительные пространственные возможности для обнаружения предъявленного объекта — около  $160^\circ$  по горизонтали и около  $130^\circ$  по вертикали. Хотя измеренные таким образом границы поля зрения зависят от параметров стимуляции — от контраста тест-объекта, от его цвета и формы, статичный он или движущийся, и др., в еще большей степени они зависят от сложности задачи, которую необходимо выполнить с этим объектом.

Так, в задаче различения установлена градуальная немонотонная зависимость остроты зрения от удаленности объекта на периферию поля зрения, которая выражается в целом семействе кривых при использовании тест-объектов разной формы (кольца Ландольта, пары точек, вертикальные линии, буквы) (Розенблюм, 1973). Оказалось, в частности, что, даже полностью компенсируя потерю остроты зрения путем пропорционального увеличения размеров периферически предъявленных букв (*magnification factor*), нельзя увеличить размер поля зрения в задаче опознания более чем до эксцентриситета в  $25^\circ$  (Гиппенрейтер, 1964; Anstis, 1974). Детальное и систематическое исследование структуры поля зрения провели Д. Эдвартс и П. Гулкасян (Edwards, Goolkasian, 1974). Они сравнивали возможности периферических отделов поля зрения при выполнении заданий разной степени сложности, начиная с простейшего, состоящего в обнаружении освещенного линейного сегмента, и далее, в порядке усложнения: опознание 1 из 4 позиций U-образной фигуры, идентификация одной из четырех букв и, наконец, категоризация 3-буквенных слов по четырем семантическим категориям. Кроме расстояния от центра поля зрения до тестового объекта в этих опытах варьировали также уровень освещенности (2 уровня), размер объектов (3 уровня) и длительность экспозиции (от 200 до 1000 мс). Точность фиксации глазом центральной точки контролировалась электроокулографической регистрацией движений глаз. Оказалось, что на ближней периферии ( $10^\circ$  от центра) все типы заданий выполнялись успешно. Точность ответов для трех первых заданий была достаточно высока и при удалении объектов на  $15^\circ$  от центра поля зрения. Уровень случайных ответов для первых трех заданий был превышен и для дальней периферии ( $25^\circ$ ), тогда как максимальное удаление объектов от центра поля зрения ( $58^\circ$ ) даже при наилучших условиях наблюдения могло обеспечить только их обнаружение. Наряду со сложностью задания, точность ответов зависела и от размеров объектов, хотя и в меньшей степени, чем это можно было ожидать, исходя из кривой падения остроты зрения. Изменения освещенности и длительности экспозиции оказывали очень незначительное влияние на успешность выполнения заданий, которое было выражено, в основном, на средней периферии. Основной вывод изложенного эксперимента заключается в отрицании того, что структура поля зрения включает две резко противоположные зоны: центр и периферию. Этот вывод подтверждают и другие исследования (Ганзен, Грановская, 1968; Ломов, 1966; Руба-

хин, 1971; Enoch, 1959). Поэтому термин функциональное поле зрения (Белопольский, Вергилес, 1977; Findley, Gilchrist, 2003; Ikeda, Takeuchi, 1975; Senders, 1970) лучше отражает зависимость пространственных возможностей одномоментного восприятия от природы перцептивного задания, чем физиологическое поле зрения, понимаемое как зона потенциальной светочувствительности сетчатки. Понятие функционального поля зрения приближает нас к возможности анализа более реалистических ситуаций, когда наблюдаемая сцена обычно заполнена множеством релевантных и посторонних (шумовых) объектов, статических и движущихся, когда наблюдатель не скован дополнительной задачей по фиксации точки, когда имеется преемственность в последовательности перцептивных актов, формирующая определенные ожидания и установки, когда, наконец, на наблюдателя действуют внешние средовые факторы, а сами наблюдатели могут различаться по степени обученности для выполнения задачи определенного типа.

Оказалось, что все вышеперечисленные факторы оказывают влияние на размер функционального поля зрения (Белопольский, 1980; 1984). Размер функционального поля зрения, определяемый границей обнаружения вспышки света на однородном темном фоне, сужается при введении таких физических стрессоров как повышенная температура и влажность воздуха (Bursill, 1959; Leibowitz et al., 1972), при работе в барокамере (Weltman et al., 1971), при принятии алкоголя (Moskovitz, Sharma, 1974) и активаторов (Bahrick et al., 1952). Введение дополнительного требования контролировать события, происходящие в зоне точки фиксации — подсчет флуктуаций яркости фиксационной точки или управление ее скоростью, также вело к сужению размеров функционального поля зрения (Abernethy, Leibowitz, 1971; Gasson, Peter, 1965). Н. Макворт (Mackworth, 1965) провел одно из первых исследований, показавших эффект сжатия функционального поля зрения («тоннельного зрения» по терминологии автора) при добавлении к предъявленным для сравнения триграммам буквенного шума. В отсутствии такого шума сравнение было безошибочным даже тогда, когда расстояние между крайними буквами было равно  $10^\circ$ . При предъявлении же буквенного шума точное сравнение целевых букв было возможно только при сближении их до  $2^\circ$ . Сходный результат получил и Х. Боума (Booma, 1970).

В 2 сериях экспериментов В. Энгель (Engel, 1971, 1974) показал, что размер «поля заметности» сильно снижается при увеличении сходства формы целевого и фонового объектов. На фоне случайно

ориентированных плотно расположенных линейных штрихов длиной  $1.2^\circ$  одиночные тестовые штрихи длиной  $0.6^\circ$  опознавались в поле диаметром  $1^\circ-2^\circ$ , для составленного из тестовых штрихов угла этот диаметр возрастал до  $3^\circ-4^\circ$ , для квадрата без одной стороны — до примерно  $10^\circ$ , а для законченного квадрата — до  $20^\circ-30^\circ$ . Во второй серии фон состоял из светлых кругов, расположенных на расстоянии  $8^\circ$  друг от друга, а тестовым объектом был круг, отличавшийся от фоновых или диаметром, или освещенностью. Во всех случаях поле заметности было меньше поля обнаружения тестового объекта в отсутствии фона и находилось в тесной связи со степенью сходства тестового и фоновых кругов. Чем меньше была разница в диаметрах и в освещенности тестового и фоновых кругов, тем меньше был размер поля заметности.

В русле этого исследовательского направления Дж. Чайкиным с соавт. (Chaikin et al., 1962) был проведен следующий эксперимент. Были предъявлены 80 белых кругов и 1 белый треугольник равного размера, составляющие матрицу  $9 \times 9$  ( $5.5^\circ \times 5.5^\circ$ ). Точка фиксации находилась в центре матрицы, а позиция треугольника в ней менялась случайным образом. Целью эксперимента являлось составление бинокулярной карты опознания треугольника, для чего необходимо было указать по крайней мере приблизительную локализацию треугольника в матрице. Полученные карты отличались нерегулярностью формы — горизонталь обычно была длиннее вертикали, а сверху от точки фиксации опознавалось больше треугольников, чем снизу. Существенное влияние на размер «поля кратковременного поиска» (как его обозначили авторы) оказывало время экспозиции. При удлинении экспозиции от 0 мс до 30 мс размеры этого поля увеличивались значительно, а в интервале от 30 до 200 мс это увеличение было выражено слабее. К вопросу о тесной связи временного фактора и размера зоны «одномоментного» восприятия при неподвижном глазе мы еще вернемся ниже. Связь размеров функционального поля зрения с характером перцептивных операций, с информационной загруженностью акта восприятия, которая выступила уже в ранее цитированных работах, была подвергнута специальному анализу в экспериментах М. Икеды и Т. Такеуши (Ikeda, Takeuchi, 1975). Они предъявляли на 200 мс центральную цель, а также периферический стимул (звездочка) на структурированном фоне, составленном из треугольников неправильной формы. Испытуемые сообщали сначала о содержании центральной цели, которой могла быть пустая прямоугольная рамка или объекты различной степени слож-

ности: 2 буквы (уровень сложности 1), 3 буквы, 3 цифры или дорожный знак (уровень 2), 3 цифры плюс 1–2 буквы, 2 иероглифа, бессмысленные рисунки (уровень 3), а затем направление на периферический стимул. Функциональное поле зрения, критерием для построения которого служило точное выполнение обоих заданий, имело овальную форму, вытянутую по горизонтали. Его максимальные размеры были получены при отсутствии информации в центре, а при наличии этой информации размеры функционального поля зрения уменьшались. Степень сужения функционального поля зрения коррелировала со степенью трудности опознания центральной цели. Следовательно, размеры функционального поля зрения регулируются зрительной системой таким образом, чтобы обеспечить наилучшие условия для приема релевантной информации.

Этот вывод подкрепляют данные Н. Макворта (Mackworth, 1976), изучавшего влияние плотности иррелевантных объектов (черных кругов) на поиск целевого объекта (черного квадрата). Он обнаружил, что «информационная перегрузка» зрительной системы является одной из основных причин сужения размеров функционального поля зрения, и предложил оценивать информационную загруженность через отношение максимальных размеров функционального поля зрения для опознания изолированно предъявленного искомого объекта и его реальных размеров.

Итак, функциональное поле зрения является операциональным выражением пространственных возможностей зрительной системы в связи с выполнением конкретной задачи при условии, что движения глаз отсутствуют. Статические условия измерения границ функционального поля зрения по нескольким меридианам предполагают и особые ограничения для экспериментов такого типа. Сюда относятся: наличие фиксационной точки, равновероятное предъявление цели с разных сторон от этой точки, время экспозиции обычно не превышает латентного периода саккады, инструкция призывает не делать постэкспозиционных движений глаз. Несмотря на полезность такого измерения и эвристичность самого понятия функционального поля зрения, следует отметить, что при активном поиске информации, т.е. в динамических условиях работы зрительной системы, все эти ограничения отпадают и функциональное поле зрения может иметь существенно иные характеристики, чем при статическом ожидании сигнала.

## Зрительное пространственное внимание

В ряде работ, посвященных обнаружению или различению периферических сигналов (Bodis-Wollner, 1976; Ikeda, Takeuchi, 1975; Engel, 1971) был обнаружен следующий факт. Когда испытуемым давали инструкцию, что в одной из сторон стимул будет предъявляться чаще, чем в других, то результирующая карта функционального поля зрения имела эксцесс в сторону ожидаемого направления. По данным В. Энгеля (Engel, 1971), такое локальное расширение функционального поля зрения может достигать 60 %. Все авторы цитируемых работ едины и в том, что перераспределение внимания в поле зрения ведет не только к расширению одной из размерностей функционального поля зрения, но и к сокращению его по другим размерностям, либо падению центральной разрешающей способности. Важно подчеркнуть, что испытуемым в такого рода экспериментах дается инструкция на поддержание фиксации глаза на центральной точке. Эти факты заставляют вспомнить о наблюдении, сделанном Г. Гельмгольцем относительно процесса рассматривания сложных стереоскопических изображений, внезапно освещаемых электрической искрой (Helmholtz, 1866, В.3, S. 455). Сходные указания и наблюдения содержатся и в работах других старых авторов (Вундт, 1912; James, 1890) и совпадают с интуитивным допущением о возможности смотреть на заинтересовавший объект «краем глаза». Подобные факты и наблюдения в начале 1970-х годов вдохновили исследователей на развитие экспериментальных исследований зрительного пространственного внимания. Было сформулировано положение о двух типах пространственного внимания: перемещаемом посредством движений глаз (*overt*) и изменяемом без внешневидительных проявлений (*covert*). Существование внутренней способности к смещению фокуса обработки информации («внутреннего глаза» по Jonides, 1981) требуется и для решения элементарных зрительных задач на пространственные отношения типа: находится ли данная точка внутри или за границами фигуры? (Ullman, 1984).

Приведем некоторые фактические данные, прямо указывающие на возможность сдвигать фокус внимания в сторону от фовеальной зрительной оси. Это может быть достигнуто как произвольно (инструкция, центральный указательный маркер-стрелка), либо путем управления периферическим зрительным маркером. Исследователи использовали парадигму измерения времени реакции; разница во времени реакции относительно нейтральных (т.е. без указательных

маркеров) условий трактовалась как время, необходимое для смещения фокуса внимания в пространстве. Например, в исследовании Ч. Эриксона и Д. Шульца (Eriksen, Schultz, 1977) было найдено, что время на идентификацию буквы линейно возрастало на 100 мс при постепенном удалении буквы на  $3^\circ$  от центра фовеа. Более строгие результаты получены в работе М. Познера с соавт. (Posner et al., 1978). В этом исследовании цель предъявляли на расстоянии  $7^\circ$  слева или справа от точки фиксации. Было показано, что когда внимание испытуемых направлялось посредством центральной стрелки в наиболее вероятную сторону появления стимула, их время реакции было ниже как при задаче обнаружения, так и при задаче идентификации цели. Временной выигрыш в задаче обнаружения составлял порядка 30 мс. В работе Й. Цала (Tsal, 1983) использовали не центральный, а периферический маркер. Предъявляемую для идентификации целевую букву экспонировали на разных расстояниях от центра через некоторое время после кратковременной вспышки в том же пространственном локусе. Асинхронность включения периферического маркера и вспышки варьировали. Если для идентификации периферической буквы был необходим сдвиг фокуса внимания к местоположению этой буквы, то маркер должен был уменьшить время между моментом предъявления буквы и ее идентификацией. Предполагали, что в этом случае облегчение должно иметь линейную связь с временной задержкой между маркером и буквой. Именно такую взаимосвязь и показали экспериментальные данные. Согласно проведенным подсчетам, сдвиг фокуса внимания происходит со скоростью  $\sim 125^\circ/\text{с}$ . В эксперименте Дж. Шульмана с соавт. (Shulman et al., 1979) было установлено, что периферический визуальный маркер вызывает движение зоны повышенной чувствительности через поле зрения в условиях неподвижного глаза. Было высказано предположение, что это движение носит аналоговый, а не дискретный характер. Таким образом, экспериментально подтверждено существование пространственно-временной динамики фокуса зрительного внимания, относящейся к числу базовых операций зрительной системы (LaBerge, 1995; Posner et al., 1986; Ullman, 1984).

Из приведенных выше данных становится ясно, что размер функционального поля зрения и размер фокуса внимания могут и не совпадать между собой. Получила широкое распространение модель, рассматривающая внимание по аналогии с лучом прожектора, который освещает для сознательного восприятия тот или иной объект внешнего (или внутреннего) мира и способен перемещаться в про-

странстве и без посредства движений глаз (Юнг, 1978). Рассмотрим эксперимент Д. Лабержа (LaBerge, 1983), где была сделана попытка измерить минимальный размер фокуса внимания. На экран предъявляли пятибуквенное слово, занимающее  $1.77^\circ$ , и испытуемые должны были категоризовать центральную букву слова. В этих условиях внимание направлялось в центральную позицию. Неожиданно в любой из 5 позиций предъявляли пробную букву. Время реакции на пробирующий стимул имело U-образную зависимость; оно было наиболее быстрым для центральной позиции и увеличивалось при удалении к 1-й или 5-й позициям. Д. Лаберж предположил, что «луч внимания» фокусировался на центральной позиции и облегчал обработку любого стимула, который появлялся в этой узкой пространственной зоне. Сходные результаты были получены Дж. Хоффманом с соавт. (Hoffman et al., 1983). В другом эксперименте Д. Лабержа (LaBerge, 1983) испытуемые категоризовали целое слово. Эти условия должны были расширить «луч внимания» до размеров, покрывающих все 5 позиций одновременно. Как и ожидалось, время реакции на пробный стимул в этих условиях уже не зависело от его местоположения. В экспериментах М. Познера с соавт. (Posner et al., 1980; Posner, Cohen, 1984) было установлено, что временной выигрыш в предварительно указанных периферических позициях сопровождается временным проигрышем в позициях, находящихся на удалении от указанной заранее. Испытуемые в этих экспериментах должны были фиксировать центр экрана и обнаруживать либо идентифицировать цели в разных позициях (до  $24^\circ$ ) с обеих сторон от направления фиксации. Им либо указывали заранее наиболее вероятное местоположение цели, либо не давали таких указаний. В том случае, когда такие указания давались, в 20% случаев стимулы появлялись в иных позициях (невалидные пробы). Кроме эффектов выигрыша (в валидных пробах) и проигрыша (в невалидных пробах), был обнаружен эффект генерализации облегчения на соседние с указанной позиции, особенно те, которые находились в контрлатеральном полуполе зрения. Это свидетельствует о том, что в указанную позицию смещается не узкая зона, а достаточно широкое поле внимания.

Много усилий было потрачено на определение минимального размера фокуса внимания. Методология таких исследований состояла в оценке эффекта интерференции релевантного и соседнего иррелевантного стимулов. Отсутствие интерференции свидетельствовало об успешной пространственной селективности, и минимум расстояния между невзаимодействующими целью и шумом прини-

малось на предельную величину фокуса внимания. В разных исследованиях, где использовали эту технику оценки, были получены результаты порядка  $0.5^\circ$ – $1.0^\circ$  (Eriksen, Hoffman, 1972; Eriksen, Eriksen, 1974). Однако негативный эффект иррелевантных стимулов уменьшался даже в интервале от  $0.08^\circ$  до  $0.23^\circ$  (Estes, 1982). Эти данные могут быть интерпретированы как постепенное снижение интенсивности «луча внимания» шириной  $1^\circ$  от центра к периферии.

Нужно сказать и о степени независимости фиксации глаза и пространственного внимания. Хотя внимание может смещаться относительно центра фовеа, оно становится менее эффективным по мере удаления его на периферию. Например, используя описанную выше процедуру, Г. Хамфрис (Humphreys, 1981) установил, что минимальная ширина «луча внимания» возрастает с величины менее  $0.5^\circ$  до более чем  $1.0^\circ$  при смещении внимания только на  $1.0^\circ$  от центра фовеа. Более того, не только минимальная ширина, но и разрешающая способность в фокусе внимания падала со смещением его к периферии. По данным Р. Эгли и Д. Хома (Egly, Homa, 1984), точность как идентификации, так и локализации букв уменьшалась с 80% до 40% при увеличении эксцентриситета букв с  $1^\circ$  до  $3^\circ$ . Вместе с тем, смещение фокуса внимания на периферию, несомненно, способствует более полной реализации тех потенциальных возможностей, которые предоставляют физиологические зрительные механизмы.

## Об управлении размером поля внимания

Остановимся на еще одном важном параметре зрительного пространственного внимания, а именно на том, в каком диапазоне может изменяться размер фокуса внимания, если этого требует решаемая задача, и каковы механизмы этих изменений. Гипотеза, что «луч внимания» всегда имеет небольшие размеры и обслуживает перцептивные требования посредством быстрого движения по полю зрения, встречается с целым рядом затруднений. В частности, остается неясным, как происходит обнаружение сигнала при его неопределенной позиции в поле зрения. Дж. Джонидес (Jonides, 1981) предложил расширить эту гипотезу путем предположения о существовании двух состояний внимания: рассеянного, имеющего максимальные размеры вплоть до размера всей наблюдаемой сцены, и концентрированного, узко направленного «луча внимания». Прямую проверку еще одной гипотезы, а именно, возможности центральной зоны внимания сжиматься и расширяться в соответствии с требованиями задачи, мы нахо-

дим в экспериментах Х. Эгеса (Egeth, 1977). В каждой пробе предъявляли одиночную букву. Перед пробой на 500 мс экспонировали фиксационное поле, содержащее 9 точек, расположенных в центре (1) и по периметру воображаемого круга (8). В конце экспозиции фиксационного поля одиночная точка заменялась на предъявленную для идентификации букву на время 200 мс. Диаметр круга из точек равнялся  $3.8^\circ$  или  $12.0^\circ$ . Использовали задачи разной степени сложности: различение Т от L или Т от Т с наклоном на  $45^\circ$  вправо от вертикали. Наиболее важный результат состоял в том, что среднее время реакции на предъявленные в центральном локусе буквы увеличивалось с предустановкой внимания на все более широкое фиксационное поле. Выводом этой работы стала идея о возможной аналогии между фокусом внимания и трансфокатором — объективом с переменным фокусным расстоянием, позволяющим получать четкие изображения объектов, удаленных на разное расстояние. Следствием работы трансфокатора является возможность захватить широкий угол обзора, теряя при этом в четкости различения, либо сузить угол обзора, приобретая при этом возможность детального рассматривания попавших туда объектов.

Гипотеза трансфокатора получила признание и дополнительные экспериментальные аргументы в работах Ч. Эриксона и Й. Йех (Eriksen, Yeh, 1985), А. Ван дер Хейдена (Van der Heijden, 1992), В.И. Белопольского (Белопольский, 1989; Belopolsky, 1989a). Был подтвержден тот факт, что в условиях фиксированного взгляда время идентификации или опознания целевого объекта, предъявленного в центре поля зрения, является функцией размера зоны внимания на момент предъявления стимула. Другими словами, чем шире поле внимания, тем хуже (дольше, менее точно) воспринимается центральный стимул, проецирующийся в один и тот же локус сетчатки. Однако характер этой монотонной зависимости (линейность или нелинейность) оставался невыясненным.

Другим невыясненным вопросом, критическим для оценки модели трансфокатора, является временная динамика перехода зрительного внимания от состояния предельной сфокусированности (узкая зона) к состоянию рассредоточенности (широкая зона). Этот вопрос тесно связан и с представлениями о границах зоны внимания — насколько эти границы жесткие, и каким образом релевантная стимуляция, находящаяся за пределами зоны внимания, оказывается впоследствии внутри этой зоны. В работе (Белопольский, 1989) был получен интересный факт: сужение зоны внимания с  $10^\circ$  до  $1^\circ$

занимала больше времени (143 мс), чем ее расширение от  $1^\circ$  до  $10^\circ$  (42 мс). Было высказано предположение, что пространственные стратегии фокусировки и дефокусировки внимания отличаются по своим динамическим характеристикам. Ниже мы опишем серию экспериментов, где специально изучались пространственно-временные стратегии расширения–сжатия зоны зрительного внимания в условиях, не предполагающих движений глаз.

## **Экспериментальное исследование динамики зоны зрительного внимания**

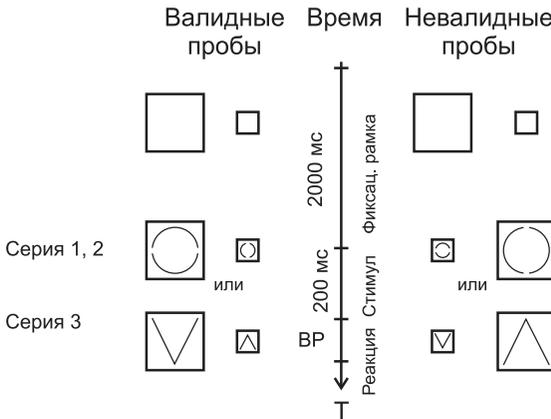
### ***Процедура***

Принципиальная схема экспериментов состояла в следующем. В эксперименте 1 испытуемые смотрели на светлую рамку на полностью затемненном фоне, экспонируемую на 2 с посредством многоканальной тахистоскопической установки. Целевые стимулы (кольца с узким разрывом по горизонтали или вертикали или, в другой серии, углы с вершиной, обращенной вверх или вниз) экспонировались без задержки на время 200 мс. Размеры рамки и стимула совпадали в 80% случаев (валидные пробы); в оставшихся пробах стимул был либо больше, либо меньше фиксационной рамки (невалидные пробы). Фиксационный и целевые стимулы имели общий центр, т.е. эффективное восприятие цели не нуждалось в латеральном смещении взора, пусть даже и постэкспозиционном, что было подтверждено в сериях с выборочной регистрацией движений глаз.

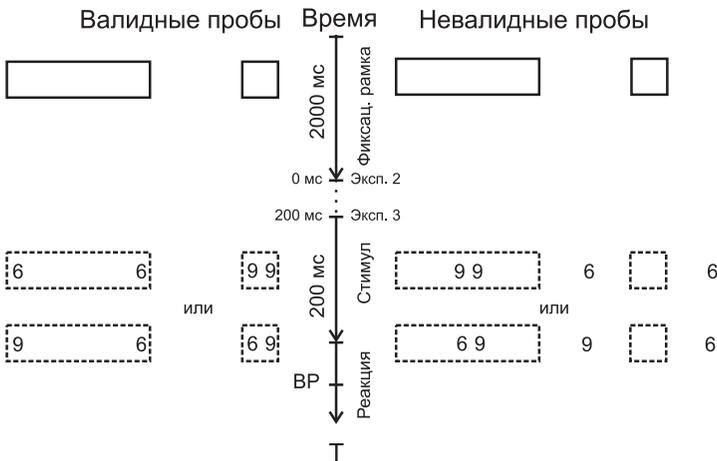
Использовали блоковый порядок предъявления, когда размер фиксационной рамки не менялся в целой серии предъявлений, но блоки проб отличались между собой по размерам фиксационной рамки. В каждом блоке проб использовали стимулы 2 размеров — валидный (вписанный в рамку) и невалидный (больше или меньше фиксационной рамки). В задачу испытуемых входило нажатием на 1 из 2 кнопок как можно быстрее идентифицировать цель безотносительно к ее размеру. Как в валидных, так и в невалидных пробах каждый тип целевого стимула предъявляли равновероятно в случайной последовательности. Эффект внимания оценивали по разнице между средним временем реакции в валидных пробах, когда ожидаемый и фактический размеры стимула совпадали, и в невалидных пробах, при диссоциации размера ожидаемого и предъявленного стимулов. Подробное описание процедуры можно найти в нашей предыдущей работе (Белопольский,

1989, Р-блоки проб). Более детально параметры стимуляции и временная последовательность событий отображены на рисунке 1.

Отличие процедуры эксперимента 2 состояло в следующем. Предъявление осуществлялось на экране компьютера, темно-серая рамка предьявлялась на светло-сером фоне. Рамка представляла собой пря-



**Рис.1.** Схема, иллюстрирующая процедуру и набор стимулов, использованных в эксперименте 1



**Рис.2.** Схема, иллюстрирующая процедуру и набор стимулов, использованных в экспериментах 2 и 3

моугольник, вытянутый по горизонтали. Стимулами являлись пары цифр: 66, 69, 96 или 99, расстояние между которыми варьировали. В валидных пробах цифры экспонировались на концах рамки, в невалидных — внутри нее или за ее пределами, симметрично относительно центра. Задача испытуемых состояла в определении «сходства» или «различия» предъявляемых цифр, т.е. для ее эффективного решения необходимо было опознать обе цифры одновременно. В остальном процедура эксперимента 2 совпадала с процедурой эксперимента 1.

Эксперимент 3 был проведен по той же схеме и с теми же стимулами, что и эксперимент 2, только был добавлен еще один параметр: стимул предъявляли или сразу же после выключения рамки, или с задержкой 200 мс.

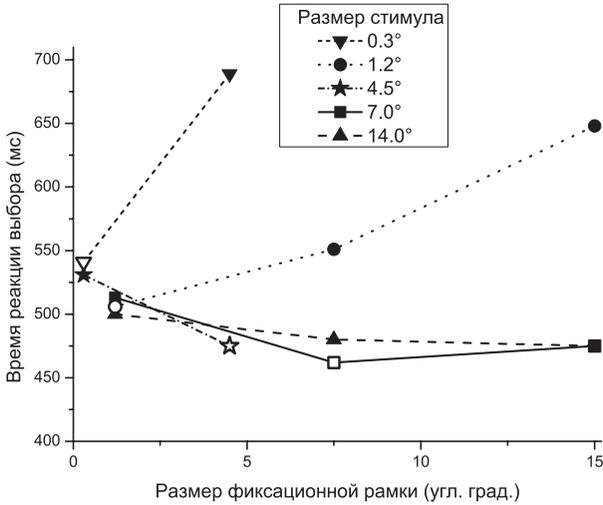
## ЭКСПЕРИМЕНТ 1

В каждой серии эксперимента 1 принимало участие по 8 испытуемых. В первой серии в качестве целевых стимулов использовали контурные круги с разрывом по вертикали и горизонтали. Величина разрывов была подобрана таким образом, чтобы обеспечить высокий уровень сложности для задачи идентификации. Использовали целевые стимулы 3 размеров:  $1.2^\circ$  (валидная рамка —  $1.5^\circ$ ),  $7.0^\circ$  ( $7.5^\circ$ ) и  $14.0^\circ$  ( $15.0^\circ$ ). Во второй серии тестировали диапазон, близкий к пороговому уровню различения — размер стимулов составлял  $0.3^\circ$  ( $0.5^\circ$ ) и  $4.5^\circ$  ( $5.0^\circ$ ). В третьей серии в качестве целевых стимулов использовали углы с ориентацией вверх или вниз, а размеры стимулов были идентичны тем, что предъявлялись в первой серии. В остальном все эти серии были идентичны. Общее число проб в каждом блоке составляло 200.

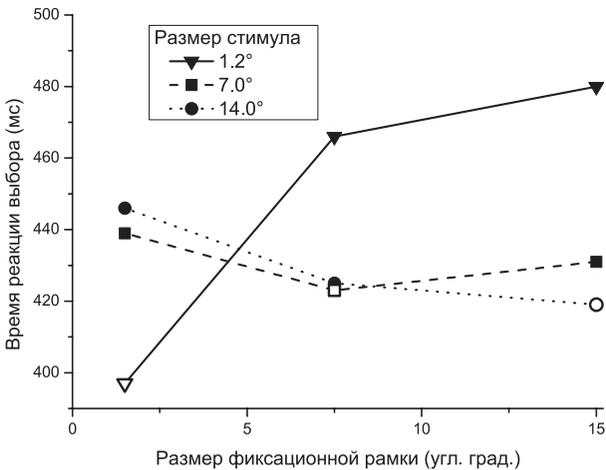
Результаты первой и второй серий показаны на рисунке 3.

Результаты для третьей серии приведены на рисунке 4.

Факторный дисперсионный анализ (ANOVA) для времени реакции как зависимой переменной выявил следующие значимые главные факторы: *Размер целевого стимула* ( $F=14.45$ ,  $p<0.0001$ ), *Тип целевого стимула* — круги или углы ( $F=17.97$ ,  $p<0.001$ ), *Валидность* — валидные-невалидные пробы ( $F=11.34$ ,  $p<0.001$ ), а также *Навык* — результаты по 1-й и 2-й половинам серии ( $F=8.29$ ,  $p<0.01$ ). Было вполне ожидаемо, что время реакции уменьшается с увеличением размера стимула, что трудная задача требует больше времени, чем легкая, что валидные стимулы идентифицируются быстрее, чем невалидные, а продолжительное упражнение в выполнении задания понижает время реакции.



**Рис. 3.** Время идентификации центрированных в поле зрения стимулов разного размера в зависимости от пространственной преднастройки зрительного внимания (круги с разрывами — трудная задача): *светлые символы* — валидные пробы, оптимальная преднастройка; *темные символы* — невалидные пробы, преднастройка на больший или меньший размер стимула



**Рис. 4.** Время идентификации центрированных в поле зрения стимулов разного размера в зависимости от пространственной преднастройки зрительного внимания (углы разной ориентации — легкая задача): *светлые символы* — валидные пробы, оптимальная преднастройка; *темные символы* — невалидные пробы, преднастройка на больший или меньший размер стимула

Более принципиальными результатами являются значимое взаимодействие факторов *Валидность*  $\times$  *Размер целевого стимула* ( $F=6.24$ ,  $p<0.05$ ), показывающее различие в скорости фокусировки и дефокусировки внимания, а так же значимое взаимодействие факторов *Валидность*  $\times$  *Размер целевого стимула*  $\times$  *Тип целевого стимула* ( $F=7.98$ ,  $p<0.02$ ), из которого следует, что облечение задачи идентификации влияет только на скорость фокусировки, но никак не сказывается на скорости дефокусировки внимания. Обращает на себя внимание и то, что фактор *Навык* не взаимодействует с другими факторами, т.е. что общее уменьшение скорости реакции с опытом не влияет на временные затраты на фокусировку и дефокусировку внимания (рисунок 5).

Для уточнения полученных результатов был проведен эксперимент 2, в котором испытуемые решали задачу, требовавшую фокусировки и дефокусировки пространственного внимания вдоль горизонтального меридиана, и где использовали 5 градаций размера зоны внимания.

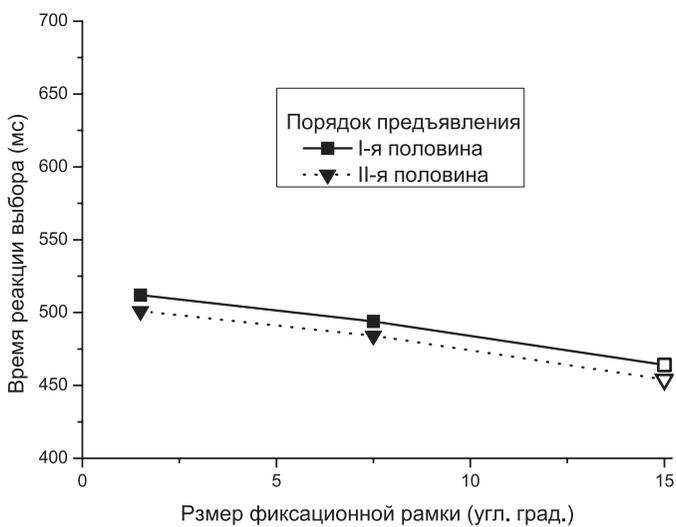
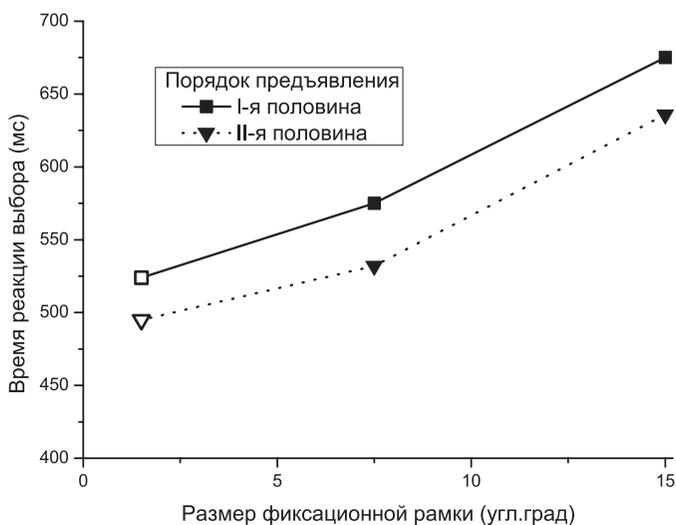
## ЭКСПЕРИМЕНТ 2

В эксперименте 2 приняло участие 12 испытуемых. Все пробы были организованы в 5 блоков по 192 пробы в каждом. Размер целевых стимулов определялся расстоянием между центрами 2 цифр и составлял  $0.9^\circ$  (валидная рамка —  $1.9^\circ$ ),  $4.8^\circ$  ( $5.8^\circ$ ),  $8.1^\circ$  ( $9.1^\circ$ ),  $11.4^\circ$  ( $12.4^\circ$ ) или  $14.7^\circ$  ( $15.7^\circ$ ).

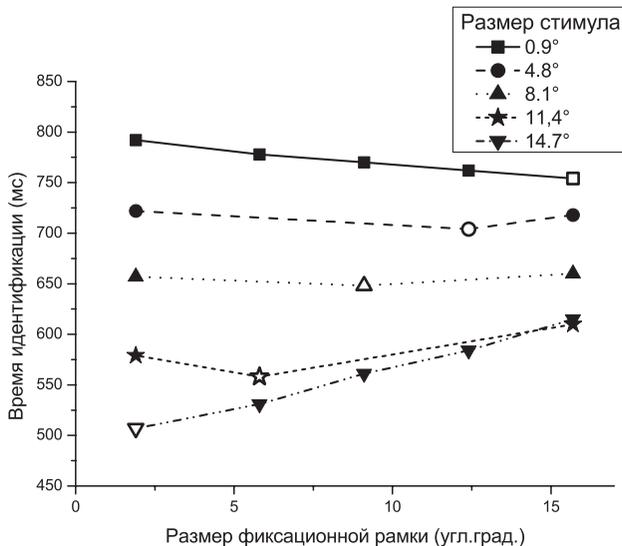
Результаты эксперимента 2 представлены на рисунке 6.

Как и в эксперименте 1, факторный дисперсионный анализ (ANOVA) выявил следующие значимые главные факторы: *Размер целевого стимула* ( $F=15.21$ ,  $p<0.001$ ) и *Валидность* ( $F=10.34$ ,  $p<0.001$ ), а также значимое взаимодействие факторов *Валидность*  $\times$  *Размер целевого стимула* ( $F=9.74$ ,  $p<0.01$ ). Результаты эксперимента 2 полностью подтвердили результаты эксперимента 1 для задания, требующего одномоментного восприятия разнесенных по горизонтали дискретных стимулов.

В эксперименте 3 ставилась задача определить, в какой степени фазическая компонента внимания («ориентировка», или «фокусировка») связана с общим уровнем активации (состояние «готовности» — см. Posner, Cohen, 1984; Fernandez-Duque, Posner, 1997), который меняли, вводя задержку между выключением фиксации рамки и включением стимула.



**Рис.5.** Сравнение времени идентификации малых (слева) и больших стимулов (круги с разрывами) для I и II половины проб в серии.



**Рис. 6.** Время идентификации центрированных в поле зрения пар цифр, разнесенных друг относительно друга на разное расстояние, в зависимости от пространственной преднастройки зрительного внимания:

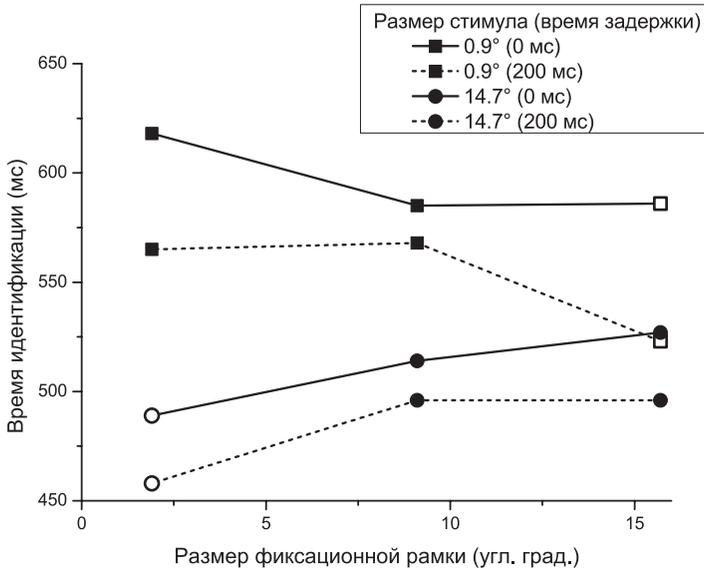
*ветлые символы* — валидные пробы, оптимальная преднастройка; *темные символы* — невалидные пробы, преднастройка на больший или меньший размер стимула

### ЭКСПЕРИМЕНТ 3

В эксперименте 3 приняло участие 12 испытуемых. Все пробы были организованы в 6 блоков по 96 проб в каждом. В 3 блоках проб стимул предъявляли сразу же после выключения фиксации рамки, а в 3 остальных — после пустого интервала 200 мс. Размер целевых стимулов определялся расстоянием между центрами 2 цифр и составил 0.9° (валидная рамка — 1.9°), 8.1° (9.1°), или 14.7° (15.7°).

Результаты эксперимента 3 представлены на рисунке 7.

Дисперсионный анализ (ANOVA) выявил 3 значимых главных фактора: *Размер целевого стимула* ( $F=12.7$ ,  $p<0.0001$ ), *Валидность* ( $F=5.9$ ,  $p<0.02$ ) и *Задержка* ( $F=7.2$ ,  $p<0.01$ ). Из всех взаимодействий факторов к уровню значимости приближалось только *Валидность*  $\times$  *Размер целевого стимула*  $\times$  *Задержка* ( $F=4.2$ ,  $p<0.1$ ). Таким образом, фиксированная задержка между выключением фиксации-



**Рис. 7.** Время идентификации центрированных в поле зрения пар цифр, разнесенных друг относительно друга на разное расстояние, в зависимости от пространственной преднастройке зрительного внимания и длительности задержки:

*светлые символы* — валидные пробы, оптимальная преднастройка; *темные символы* — невалидные пробы, преднастройка на больший или меньший размер стимула

ной рамки и включением цифр уменьшала общее время реакции, не меняя скорость фокусировки и дефокусировки внимания. Различие между скоростью фокусировки и дефокусировки внимания отмечено только при нулевой задержке.

### Общее обсуждение

Прежде всего, следует отметить несколько важных процедурных отличий наших экспериментов от ранее проведенных, где также ставилась задача оценить влияние размера зоны внимания на скорость идентификации стимула (Egeth, 1977; LaBerge, 1983; Van der Heijden, 1992). Во-первых, эти авторы использовали только небольшие стимульные объекты, как правило буквы, появившиеся на разном

удалении от центра поля зрения. В наших же экспериментах контуры стимулов всегда были симметричны относительно центра фиксации и для их правильной идентификации требовалось настроить зону внимания целиком на предъявленный стимульный объект. Во-вторых, мы тестировали больший пространственный диапазон с большим числом промежуточных градаций.

Несмотря на эти отличия, во всех проведенных нами экспериментах при разных конфигурациях и размерах стимулов и разной перцептивной трудности задания был подтвержден тот факт, что неоптимальная пространственная преднастройка внимания увеличивает время, необходимое на перцептивную обработку предъявленного объекта. Результаты показали, что когда ожидался стимул большего или меньшего размера, чем реально предъявленный, время на его идентификацию возрастало по сравнению с условиями, когда зона внимания совпадала с очертаниями стимульного объекта. Более того, в тестированном нами диапазоне (до  $15^\circ$  в диаметре) величина временного проигрыша зависела от степени пространственного несоответствия между размером зоны внимания и размером предъявленного стимула.

Рассмотрим отдельно две смоделированные в наших экспериментах ситуации: 1) небольшой стимульный объект предъявляется в центре объемлющей, более широкой зоны внимания и 2) стимульный объект выходит за пределы узкого центрального поля внимания.

В первой ситуации в момент предъявления цель уже находится внутри зоны внимания и ее локализация запускает процесс фокусировки, т.е. сжатия зоны внимания по размеру контуров целевого объекта. Когда задача идентификации целевого стимула была умеренно сложной (круги с разрывами или цифры размером не менее  $1.0^\circ$ ), имело место монотонное, близкое к линейному снижение времени реакции как функции диаметра предшествующей предъявлению стимула зоны внимания. При размере стимульных кругов  $1.2^\circ$  максимальный временной проигрыш составлял 141 мс, а при цифрах размером  $0.9^\circ$  — соответственно, 108 мс и эта величина линейно уменьшалась при сужении зоны преднастройки внимания с  $15.0^\circ$  до  $3.0^\circ$ – $5.0^\circ$ . Та же зависимость отмечена при увеличении размера целевого стимула и неизменном размере зоны преднастройки внимания  $15.0^\circ$  — так, для задачи идентификации пар цифр величина временного проигрыша составляла: стимул  $4.8^\circ$  — 62 мс;  $8.1^\circ$  — 19 мс;  $11.4^\circ$  — 9 мс.

Интересно сопоставить эти данные с условиями, когда задача различения целевого стимула была либо близка к пороговой, либо не представляла особых перцептивных трудностей. Когда внимание

было настроено на зону  $5.0^\circ$ , временной проигрыш при идентификации кругов размером  $0.3^\circ$  составлял 147 мс. С другой стороны, при идентификации углов вершиной вверх или вниз ( $1.2^\circ$ ) временной проигрыш составлял 57 мс или 61 мс для зоны внимания, преднастроенной, соответственно, на  $5.0^\circ$  или  $15.0^\circ$ .

Сопоставляя все эти данные можно предположить, что в привычном для решения большинства перцептивных задач пространственном диапазоне фокусировка зоны внимания происходит плавно с постоянной радиальной скоростью, составляющей порядка  $50^\circ/\text{с}$ . Однако при приближении к околопороговому диапазону, необходимость максимально узкой фокусировки зоны внимания связана с определенными трудностями и скорость сжатия зоны внимания замедляется до  $10\text{--}15^\circ/\text{с}$ .

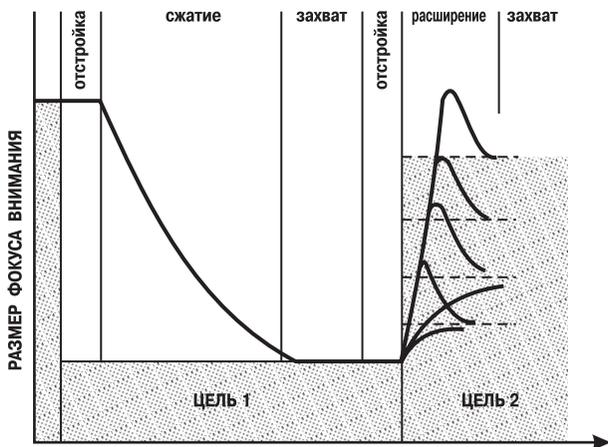
С более легкими для идентификации стимулами были получены меньшие временные проигрыши при тех же пространственных соотношениях зоны преднастройки внимания и стимула, особенно на начальных этапах фокусировки. Это может означать, что для легко различимых стимулов процесс идентификации может начинаться несколько раньше, еще до того момента, когда зона внимания сузится до размеров целевого стимула.

Вторая из рассматриваемых ситуаций связана с необходимостью идентифицировать стимул, критические контуры которого находятся за пределами зоны актуального внимания и симметрично удалены от центра поля зрения. Здесь также установлена зависимость временного проигрыша от неоптимальной пространственной настройки зоны внимания, хотя она имела более сложный характер. Прежде всего, надо отметить, что по абсолютной величине этот проигрыш, как правило, не превышал  $50\text{--}60$  мс, т.е. процесс дефокусировки занимал меньше времени, чем процесс фокусировки. Так, когда целевыми стимулами были круги с разрывами, расширение зоны внимания с  $1.5^\circ$  до  $14.0^\circ$  занимало 49 мс, а с  $8.0^\circ$  до  $14.0^\circ$  — 36 мс. На расширение зоны внимания с  $0.5^\circ$  до  $4.5^\circ$  требовалось 65 мс, а с  $1.5^\circ$  до  $4.5^\circ$  — 42 мс. Аналогичные зависимости были получены и для задачи идентификации двух цифр (смотри рисунок 5). Что же касается задачи идентификации углов, то временной проигрыш от неоптимальной пространственной настройки зоны внимания укладывался здесь в диапазон 20 мс.

Таким образом, мы установили наличие *гистерезиса* в динамике фокусировки и дефокусировки внимания — сжатие зоны внимания в направлении находящегося внутри нее небольшого целевого стимула происходит достаточно плавно и занимает больше времени, чем

процесс расширения зоны внимания на объект, контуры которого находятся за ее пределами. Этот факт противоречит предположениям некоторых авторов, что как сжатие, так и расширение зоны внимания связано со стратегиями аналогового типа. Такого рода стратегия достаточно хорошо описывает фокусировку, т.е. сжатие зоны внимания, но никак не подходит для объяснения данных, полученных в условиях, где моделировали процесс дефокусировки, или расширения зоны внимания. Действительно, плавное приближение границ зоны внимания к контурам стимула возможно только при обнаружении и локализации этих контуров, а это, в свою очередь, осуществимо только в том случае, если зона внимания не имеет резких границ и ее периферия обладает достаточной разрешающей способностью. Такой механизм выглядит вполне правдоподобным только для ближайшей периферии по отношению к фокусу внимания, тогда как в наших экспериментах стимулы были предъявлены, как правило, на средней и дальней периферии. Поэтому более вероятным выглядит гипотеза, что переход от сфокусированного внимания к дефокусированному происходит по типу дискретного переключения, практически одновременно. Образно говоря, после пристальной фиксации мы как бы закрываем глаза и открываем их вновь, охватывая вниманием широкую сцену. Эффективность подобного механизма в том, что широкая зона внимания сразу захватывает целевой стимул, и уже затем плавно фокусируется на нем. Схематически эта гипотеза о двух разных стратегиях пространственного внимания отображена на рисунке 8.

В основе нашей гипотезы лежит идея М. Познера с соавт. (Posner et al., 1987), что процесс ориентировки внимания включает этапы локализации нового объекта, отстройки (*disengagement*) от ранее фиксируемого объекта, движения узкого фокуса внимания к новому объекту и захват (*engagement*) его для последующей обработки. Как мы указывали выше, сложным моментом такого рода механизма является обеспечение локализации нового объекта за пределами фокуса внимания и контролируемого движения фокуса внимания к этому объекту. Мы предположили, что локализация возможна только в том случае, когда интересующий объект находится внутри или близко к границе зоны внимания. Переход же к фиксации нового объекта, находящегося далеко за пределами зоны внимания, происходит через процесс дефокусировки, быстрого расширения размера зоны внимания и последующего поиска в ней искомого объекта. Полученные в наших экспериментах данные указывают на существование двух динамических режимов изменения размера зоны вни-



**Рис.8.** Схема, иллюстрирующая гипотезу о двух стратегиях пространственного внимания. Пояснения в тексте.

мания. Один из них, который можно обозначить как «фокусировка», заключается в градуальном сжатии поля внимания относительно захваченного им целевого объекта меньших размеров. Перцептивная обработка этого объекта начинается одновременно с началом процесса фокусировки и не всегда требует ее полного завершения. Поэтому если использовать достаточно легкие перцептивные задания, то те временные проигрыши, которые мы принимаем за эффект внимания, могут завышать истинную скорость фокусировки. Тем не менее, если не брать в рассмотрение задач пороговой трудности, фокусировка занимает заведомо меньше времени, чем занимает межсаккадическая пауза (~ 250 мс), длительности которой обычно хватает на перцептивную обработку фиксируемого объекта. Второй режим — это «расфокусировка» внимания, т.е. переход от узкого поля внимания к широкому. Фактически, он обеспечивает переход от фиксации объекта к захвату нового объекта. То, что он может начинаться не только произвольно или по завершении очередного перцептивного цикла, но и запускаться внешней стимуляцией (как в наших экспериментах), доказывает, что наиболее важные события среды (движение, резкое изменение яркости) контролируются наблюдателем и за пределами фокуса внимания. Однако реализуется этот режим не аналоговым, а дискретным способом, т.е. простым переключением между двумя состояниями. Субъективно это сопровождается хорошо

известным ощущением снятия напряжения от пристального всматривания, хотя можно утверждать, что только незначительная часть динамики внимания доходит до сознательного уровня.

Следует остановиться еще на двух результатах, полученных в наших экспериментах. Первый состоял в том, что фактор навыка, который оценивал время идентификации в начале и в конце экспериментальной сессии, никак не взаимодействовал с другими факторами, влияющими на скорость идентификации (эксперимент 1; см. также Белопольский, 1989). В целом разница во времени реакции между первой и второй половиной экспериментальных проб составляла 27 мс. Между тем, рисунок 5 показывает, что приобретаемый в ходе выполнения экспериментальных заданий навык не затрагивал общей динамики фокусировки и дефокусировки внимания. Следовательно, стратегии пространственного внимания являются более ригидными, чем механизмы собственно перцептивной обработки набора предъявляемых стимулов, за счет автоматизации которых и происходит ускорение реакции выбора.

Второй результат касается влияния темнового интервала после выключения фиксационной рамки на скорость фокусировки и дефокусировки внимания (эксперимент 3). Оказалось, что введение временной задержки в 200 мс имело ровно тот же эффект, что и длительная тренировка — среднее время реакции снизилось на 38 мс, но пространственная динамика зоны внимания осталась без изменений (рисунок 6). Таким образом, мы можем констатировать, что в течение темнового интервала 200 мс зона внимания не теряет своих очертаний, но при этом возрастает уровень общей активации, готовности к реакции. В целом этот результат подтверждает существование двух компонент внимания — активации (готовности) и ориентировки, связанной с движением и пространственной настройкой зоны внимания.

## Заключение

Говоря о зрительном пространственном внимании, обычно подчеркивают его зонный характер. Д. Лаберж (LaBerge, 1995; p. 27–38) выделяет шесть основных свойств зоны внимания: 1) наличие границ; 2) вариативность размера; 3) вариативность интенсивности; 4) единственность и пространственная неразрывность; 5) движение или сдвиг; 6) ритмика. Хотя в литературе, посвященной зрительному вниманию наибольшее распространение имеет метафора, уподобляющая фокус внимания «лучу прожектора», этот механизм не в состо-

янии объяснить свойства 2 и 3 из вышеприведенного списка. Метафора трансфокатора обладает большей гибкостью, связывая обратной зависимостью размер зоны внимания с его интенсивностью, однако, как и в случае с лучом прожектора, остается открытым вопрос о динамике перехода зоны внимания из одного состояния в другое и из одной пространственной позиции в другую.

В настоящее время накоплено множество экспериментальных подтверждений того факта, что внимание может перераспределяться в пространстве и при неподвижном глазе, хотя взгляды исследователей на связь этой динамики с будущим движением глаз остаются противоречивыми. Одни авторы говорят о тесной связи между смещением зоны внимания на периферический стимул и глазодвигательной реакцией на этот стимул (Белопольский, 1985; Deubel, Schneider, 1996; Henderson, 1992; Rizzolatti et al., 1987), другие же указывают на отсутствие жесткой функциональной связи между вниманием и саккадой (Klein, 1980; Remington, 1980), не давая четких критериев, при которых сдвиг внимания все-таки ведет за собой движение глаз.

В проведенных нами экспериментах была сделана попытка оценить пространственно-временные параметры сжатия–расширения зоны внимания, которые до этого оставались вне сферы интересов исследователей, работающих в данной области. Было показано, что симметричное относительно фиксационного центра сжатие зоны внимания происходит плавно, аналоговым образом и обычно занимает не более 100–150 мс, за исключением случаев, требующих очень тонкого наведения внимания на околопороговую цель, для которых время фокусировки возрастало до 250 мс. В отличие от сжатия, расширение зоны внимания относительно фиксационного центра занимало до 60 мс, что породило гипотезу о дискретном переходе от узкого к широкому фокусу внимания, захватывающего новую перцептивную цель. Полученные результаты не исключают также возможность того, что зона внимания может плавно расширяться для фокусировки на объектах, чьи контуры локализованы вблизи ее границ.

Таким образом, стратегии фокусировки–дефокусировки составляют неотъемлемую часть динамических преобразований зоны внимания, наряду с ее движением или сдвигом. В целом все эти стратегии, оперирующие в микроинтервалы времени, обеспечивают временную и пространственную преемственность перцептивного процесса как в условиях фиксации глаза, так и в условиях свободного рассматривания.



# 4

## **УПРАВЛЕНИЕ ВЗОРОМ В ПРОЦЕССЕ ЧТЕНИЯ**



# ПЕРЦЕПТИВНЫЕ И ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ В СТРУКТУРЕ НАВЫКА ЧТЕНИЯ

## Введение

Чтение представляет собой один из наиболее сложных и, в то же время, совершенных когнитивно-перцептивных навыков из числа тех, которыми приходится овладевать человеку. В самом общем виде его можно определить как извлечение информации из текста — системы знаков письменного языка. Роль чтения в обучении, развитии и воспитании людей общеизвестна и неоспорима. С книгой, с текстами человеку приходится сталкиваться на протяжении всей жизни. Чтение является не только условием профессионального развития, но и важным средством деятельности для целого ряда профессий.

Одной из главных проблем организации деятельности человека с текстовой (или шире - знаковой) информацией является обучение навыку считывания — переводу графем в фонемы, извлечению значений слов и связыванию их в более сложные лингвистические конструкции. Первоначально он складывается в русле обучения грамоте, но отнюдь не сводится к ней. Чтение превращается в вид познавательного действия и даже в разновидность деятельности. Это значит, что его развитие, устойчивость и эффективность существенным образом связаны с целями, условиями и средствами деятельности.

Считывание текстовой информации является компонентом подавляющего большинства видов трудовой деятельности. Для многих же эффективность считывания текстовой информации с заданными параметрами является критическим фактором, учитывая разнообразие способов ее предъявления, а также требований к скорости и точности ее восприятия. В связи с этим важным фактором подготовки к таким профессиям (к ним относятся большинство профессий операторского типа) должна стать специаль-

ная *тренировка* навыка чтения, адаптированная к конкретным условиям деятельности.

Следует подчеркнуть, что эти и многие другие прикладные проблемы невозможно решить без познания фундаментальных принципов организации навыка чтения, тех процессов, на которых этот навык строится. Ниже мы достаточно бегло опишем основные компоненты функциональной структуры навыка чтения. Будет также затронут вопрос об эффективности процесса чтения и методах ее измерения. Далее мы изложим результаты экспериментального исследования устойчивости навыка чтения в условиях динамического предъявления текстовой информации. Такой режим предъявления и дополнительные манипуляции пространственными параметрами текста избирательно влияют на систему перцептивно-окуломоторных механизмов чтения, что позволяет проверить ряд гипотез о факторах, оказывающих решающее влияние на скорость чтения.

### **Модели сформированного процесса чтения**

Прежде всего зададимся вопросом — существует ли одна единственная модель чтения? Для ответа на него нужно рассмотреть критерии эффективности чтения и факторы, от которых она зависит.

Эффективность чтения обычно характеризуется двумя параметрами — скоростью чтения и степенью понимания текста. Средняя скорость для популяции старшеклассников и студентов составляет примерно 180–200 слов/мин. Скорость 100 слов/мин считается медленной, а 500–600 слов/мин — очень быстрой (Лезер, 1980; Gibson, Levin, 1975; Rayner, Pollatsek, 1989). Важно отметить, что скорость чтения не остается постоянной на протяжении всего текста, а варьирует в широких пределах в зависимости от локальных трудностей извлечения информации (конец строки, длинное или незнакомое слово и т.п.). Эти вариации чаще всего и являются предметом изучения в исследованиях, целью которых является раскрытие внутренних механизмов чтения. Однако из текстов, прочитанных с одинаковой скоростью, может быть извлечено разное количество информации или даже просто разная информация. Различия в понимании могут отражаться и в степени обобщения информации, и в форме ее репрезентации. Поэтому, эффективность чтения правильно рассматривать как функцию темповой (скорость) и когнитивной (уровень понимания) компонент. Избираемая читателем скорость чтения зависит:

- от цели чтения (просмотр, поиск главной мысли, углубленное изучение, понимание инструкций и указаний для деятельности и др.) и вытекающей из нее желаемой степени и качества понимания;
- от лингвистических и тематических особенностей текста и плотности содержащейся в нем информации;
- от имеющихся знаний и умений чтеца — его общего культурного, интеллектуального и образовательного уровня, интеллектуальных способностей, сформированности навыков работы с текстовой информацией;
- от мотивационно-эмоционального отношения к тексту и внутреннего состояния чтеца;
- от внешних условий чтения (перцептивно-графических, освещенности, шума и т.п.).

Таким образом, вряд ли можно утверждать, что существует один единственный процесс чтения. Правильнее будет говорить о множестве процессов чтения, которые, конечно, нельзя описать посредством одной модели. Поэтому подход к исследованию чтения может состоять либо в конструировании множества моделей, соответствующих конкретным условиям, либо в поиске общих принципов, в контексте которых могут быть рассмотрены многочисленные переменные процесса чтения. Мы коснемся обеих этих подходов по очереди.

### ***Модели переработки информации при чтении***

В основе анализа переработки информации лежит допущение о фиксированной временной последовательности стадий, начиная с сенсорного входа и вплоть до того или иного выхода или ответа. Контур обратной связи могут быть включены с любого места этой цепочки стадий, или функциональных блоков. Одной из самых популярных среди информационных моделей чтения является та, которая была предложена Дж. Маквортом (Maskworth, 1968).

Если попытаться кратко описать эту модель, то на входе ее находится зрительная информация, получаемая глазом по параллельному входу за время единичной фиксационной паузы, длящейся, в среднем, 250 мс. Сенсорный зрительный след этой информации сопоставляется со следами слов, хранящимися в долговременной памяти, и регистрируется в кратковременной (иконической) памяти, накапливающей информацию за время около 1 с или чуть больше. Между тем, опозна-

ние слова, в силу самого способа его заучивания, включает опосредование артикуляционной системой и, следовательно, соотнесение с артикуляционно-фонологической репрезентацией слова в лексиконе. Это сравнение придает значение написанному слову, хотя у взрослых чтецов артикуляционная и акустическая активность может приобрести чрезвычайно редуцированные формы.

Слова кодируются в кратковременной памяти посредством вербальных моторных программ. Кратковременное запоминание длится несколько секунд, но новые порции входной информации постепенно стирают его. Содержание кратковременной памяти сохраняется в долговременной памяти, если к этому времени оно еще не забыто. Значение запоминается в долговременной памяти на всех вербальных уровнях (слово, предложение, фрагмент и т.д.) и порождает ожидание контекстуально связанной информации, которое посредством звена обратной связи может влиять на движения глаз (новые фиксации) и обработку последующей информации.

Надо сказать, что модель Дж. Макворта страдает излишней общностью, что не позволяет использовать ее для формулировки конкретных гипотез. Приведем пример более частной модели опознания слов, предложенной Г. Рубинштейном (Rubinstein, 1971).

Модель включает четыре процесса:

1. Квантование — деление стимула на сегменты и обозначение этих сегментов через буквы и фонемы.
2. Разметка — процесс на выходе этапа квантования, когда выделяются те слова лексикона, которые содержат обработанный квант. Например, если в слове «друг» опознаны две первые буквы «др», то размеченными окажутся такие слова как «дробь», «дружба», «дрязги» и др.
3. Сравнение — сравнение последующих результатов квантования с отмеченными словами. Процесс продолжается еще на один шаг с последовательным квантованием и разметкой.
4. Отбор — поиск прекращается, когда получаемый в результате сравнения остаток слова содержит достаточно информации для отвержения всех слов, кроме одного. Если на данном шаге опознания такой выбор невозможен, то оставшиеся слова сравниваются с результатами третьего шага квантования.

Центральным допущением этой модели является существование внутреннего лексикона, составленного из слов (или морфем), к которо-

му можно обращаться для опознания слова. В модели учитывается частотность слова (более часто встречающиеся слова размечаются в первую очередь) и существование слов, имеющих одинаковое написание.

Другой класс моделей чтения имеет общее название «анализ через синтез». Его главные черты заимствованы из теории речевого восприятия, а затем распространены на процесс чтения. В простейшей форме, анализ через синтез состоит из выдвижения гипотезы относительно текущего сообщения или фрагмента текста, использования определенных правил для определения, на что должна быть похожа поступающая на вход информация, если справедлива выдвинутая гипотеза, и фактической проверки этой гипотезы (см. Neisser, 1967). Данная теория напоминает психолингвистическую игру-угадайку и вызывает множество принципиальных вопросов. Что является основой для прогнозов: общий контекст, значение, предшествующие грамматические структуры, слова, звуки (буквы)? Как проверяются прогнозы? На каком уровне текстовых единиц это происходит? Как читатель узнает в процессе чтения, где расположена подтверждающая гипотезу единица и как можно быстро до нее добраться? Наконец, что случается, если он обнаруживает, что выдвинутая гипотеза неверна?

На некоторые из этих вопросов пытались ответить К. Гудман (Googman, 1967) и Дж. Хохберг (Hochberg, 1970). Например, К. Гудман утверждал, что если предсказание не подтверждается последующей синтаксической и семантической информацией, то читатель перемещает свой взор влево и вверх по странице. Дж. Хохберг пытался объяснить, почему более опытные чтецы делают более длинные саккадические движения глаз и, соответственно, меньше фиксации, по сравнению с менее опытными. Он подчеркивал, что уровень развития навыка чтения тесно связан с установкой на активное прогнозирование или догадку. Опытный читатель рассматривает каждую воспринятую графическую единицу, слово или фразу как подтверждение или неподтверждение определенных ожиданий и как стимул для генерации нового набора ожиданий. Содержание каждой фиксации формирует у опытного читателя план, куда нужно направить свой взор далее.

Вопрос о возможностях периферического зрения выбирать наиболее важные и информативные для читателя зоны текста является одним наиболее сложных и противоречивых. С одной стороны, данные (Rayner, 1974) свидетельствуют о невозможности оценить семантические характеристики информации, удаленной на расстояние более

6 знакомств от точки фиксации. С другой стороны, средняя длина саккад составляет 7–9 знакомств, а у опытных читателей они имеют и большую величину. К этому вопросу мы вернемся ниже, при обсуждении детерминант функционального поля зрения при чтении.

### **Стратегии активного чтения**

Несмотря на известную ограниченность приведенных выше моделей и невозможность генерализации их на все ситуации чтения, они выполняют свою эвристическую функцию. Не менее важно знать и общие принципы, которым подчиняется процесс чтения на уровне сформированного навыка.

Первое, что нужно подчеркнуть — чтение является адаптивным процессом. Его закономерности можно суммировать следующим образом (по Gibson, Levin, 1975):

1. Зрелые читатели демонстрируют гибкость стратегий внимания при чтении текстов разной информативности.
2. Изменение стратегий зависит от таких характеристик текста как трудность для понимания, стиль изложения или его пространственно-графическое исполнение.
3. Эффективность чтения, т.е. скорость извлечения из текста связанных знаний, по каналу обратной связи регулирует выбор той или иной стратегии. Чтение становится, например, более медленным при одних стратегиях и более быстрым, плавным — при других.
4. Стратегии могут меняться также в зависимости от новизны или, наоборот, степени знакомости информации.
5. Стратегии зависят от читательских интересов, вкусов и целей чтения.

Важность использования адаптивных, гибких стратегий чтения не вызывает сомнений. Закономерности их развития и методы диагностики составляют особые проблемы. Здесь нужно подчеркнуть, что активное чтение подчиняется принципу экономии.

Детализируем этот принцип.

1. Читатель направляет внимание на обрабатываемый текстовый материал самым экономичным способом. Можно выделить по крайней мере четыре таких способа.

- а) Информация, релевантная цели чтения, приобретает высокий приоритет для внимания. Соответствующие стратегии включают перцептивные и когнитивные компоненты.
- б) Игнорируется иррелевантная, нежелательная, бесполезная для читателя информация.
- в) Обрабатываются наибольшие единицы текста, релевантные выполняемому заданию. Этими единицами могут быть фрагменты букв, буквы целиком, слова, фразы и даже предложения.
- г) Обрабатывается наименьший объем информации, достаточный для удовлетворения целей выполняемого задания. При этом редуцируются избыточные операции типа вокализации при чтении про себя и подавляются ненужные ассоциации.

2. Адаптивное чтение характеризуется непрерывным уменьшением информации. Этот подпринцип можно расширить несколькими дополнительными разъяснениями.

- а) Обработка уменьшается пропорционально числу альтернатив, которые возникают по мере чтения текста. Уменьшению числа альтернатив способствует антиципирующая деятельность читателя по формированию гипотез, ожиданий и т.п.
- б) Число альтернатив уменьшается посредством применения правил и ограничений, а также избыточных структурных переменных текста. Прежде всего это связано с усвоением языковых правил, которые функционируют на многих уровнях обработки. Само по себе знание этих правил не ведет к формулировке гипотез, и лишь очень немногие из числа владеющих такими правилами осознают их в вербальной форме.
- в) Число альтернатив уменьшается путем использования старой информации для понимания новой. Речь идет как об общих знаниях, так и о знаниях, полученных в процессе чтения данного текста. Это может быть как ближайшая информация, прочитанная в том же предложении, так и более отдаленная (на предложение, параграф и т.д.).

### ***Движения глаз в процессе чтения***

Среди методов изучения механизмов чтения одно из ведущих мест принадлежит измерениям параметров движений глаз. Все модели чтения в той или иной степени включают контур управления движе-

ниями глаз. И это понятно, так как вся информация в процессе чтения принимается посредством зрения в моменты времени, когда глаза находятся в относительном покое. Эти состояния, называемые фиксациями, перемежаются собственно движениями глаз, кинематические параметры которых характеризуются очень быстрым нарастанием скорости вплоть до пиковой с последующим торможением. Остановка глаз происходит без изменения знака ускорения, т.е. без переходного процесса. Такие движения глаз названы саккадами. Исходя из специфики чтения, наибольший интерес представляют следующие параметры движений глаз — длительности фиксаций и амплитуды саккад в сопоставлении с пространственным положением точки фиксации относительно текстовых единиц и направлением движения.

В моменты остановки глаз зона ясного видения шире точки фиксации, или области, сопоставимой по размеру с фовеальной зоной сетчатки (примерно  $2^\circ$ ). Измерения показали, что она зависит не столько от *различимости* текстовых элементов, сколько от их *читаемости*, а также от содержательных особенностей текстового материала и других факторов. Поэтому эту зону обычно обозначают как объем восприятия при чтении, или функциональное поле зрения. Соответственно и измеряется она не в угловых градусах, а знакоместах. Измерения показали, что отдельная буква стандартного для печатных текстов размера опознается в зоне радиусом примерно 10–12 знакомест. Для успешного опознания слова оно должно начинаться не далее чем за 4–6 знакомест от точки фиксации. Однако в серии экспериментов, проведенных Дж. Макконки и К. Рейнером (McConkie, Rayner, 1975) было показано, что скорость чтения продолжает увеличиваться при увеличении радиуса движущегося вместе с глазом окошка вплоть до 14 знакомест. Они также установили очень важный факт, что в процессе чтения функциональное поле зрения занимает асимметричную относительно точки фиксации позицию с очень сильным эксцентриситетом в сторону направления чтения.

Эти данные находятся в определенном противоречии с уже упоминавшейся выше средней величиной саккад при чтении (7–9 знакомест). Для его объяснения выдвинуто несколько гипотез. Наиболее правдоподобная состоит в том, что не вся доступная зрительной периферии информация обрабатывается на содержательном уровне. Наиболее удаленные слова в пределах функционального поля зрения обрабатываются только в пределах общих очертаний, неся информацию о границах и длине слов, идущих после фиксируемого.

Ясно, что параметры движений глаз могут быть использованы для подтверждения или опровержения предлагаемых теорий и механизмов чтения. Это признается всеми исследователями. Действительно, все модели чтения предусматривают контуры обратной связи от разных уровней обработки информации к движениям глаз. На протяжении почти столетней исследовательской работы накоплен значительный эмпирический материал. Приведем только самые общие и существенные из полученных закономерностей. В наиболее полной форме они суммированы в работе М. Тинкера (Tinker, 1965), а позднее — в трудах международной конференции, посвященной движениям глаз в процессе чтения (*Eye movements in reading*, 1983).

Для разнообразных текстов, предложенных для прочтения, около 6% времени тратится на саккады и 94% — на фиксационные паузы. Некоторые авторы варьировали степень сложности предъявляемых текстов и установили, что она прямо коррелирует только с длительностью фиксаций, но не влияет на амплитуду саккад. Это ведет к предположению, что длительность фиксационной паузы определяется не только перцептивной, но и когнитивной нагрузкой.

Еще одной важной переменной глазодвигательной активности в процессе чтения является пространственная упорядоченность саккад. Наряду с доминирующим направлением саккад вдоль строки встречаются и так называемые регрессивные движения, направленные в противоположную сторону (кроме тех, которые служат перемещению глаза со строчки на строчку). Было установлено, что частота регрессий уменьшается по мере овладения навыком чтения, стабилизируясь к четвертому году обучения. Кроме того, частота регрессий отражает и трудность текста. Чтение на иностранном языке сопровождается большим числом регрессий, чем чтение на родном. Поэтому параметры движений глаз могут быть использованы для диагностики развития навыка чтения и его устойчивости в разных ситуациях.

Важно также подчеркнуть, что различия в структуре движений глаз при чтении не обусловлены особенностями функционирования глазодвигательного аппарата и не переносятся на задания другого типа (поиск, слежение, рассматривание). Попытки связать возрастную задержку в развитии навыка чтения (дизлексию) с нарушениями глазодвигательных механизмов оказались безуспешными (Pavlidis, 1990).

Значительный, в том числе практический, интерес представляют работы по зависимости движений глаз от типографических особенностей текста.

Типографические параметры текста, такие как размер букв, количество букв в строке, расстояние между строками, особенности форматирования, цвет, контраст и другие, создают ту перцептивную основу чтения, которая определяет «читаемость» текста. В работах, посвященных проблеме читаемости, было показано, что имеется некоторое оптимальное соотношение между размером шрифта (т.е. высотой букв) и количеством букв в строке, позволяющее читать с максимальной скоростью, выполняя при этом саккады с наибольшей амплитудой и наименьшей длительностью фиксации. Было обнаружено также, что небольшое увеличение пробела между строками ускоряет чтение и увеличивает длину саккад, по сравнению с плотно напечатанными строками. Кроме того, пробел между строками влияет на оптимальный диапазон ширины строки, что связывают с уменьшением интерферирующего влияния соседних строк и увеличением количества знаков, считываемых за одну фиксацию (функционального поля зрения).

Исследования М. Тинкера (Tinker, 1965), а также А. Гиллеланда (Gilliland, 1923) и К. Джадда (Judd, 1918) установили, что при оптимальной ширине текста и межстрочного интервала скорость чтения инвариантна в диапазоне примерно четырехкратного изменения размера букв. Замедление скорости чтения происходит только при очень маленьких и очень больших буквах, хотя, вероятно, по разным причинам. В вышеприведенных исследованиях не проводился контроль за удаленностью текста от наблюдателя. Этот пробел был восполнен работой Р. Моррисона и К. Рейнера (Morrison, Rayner, 1981). Они меняли размер букв в масштабе 1: 1.5 : 2 за счет соответствующего удаления текста от наблюдателя и получили, что длина саккад, выраженная в угловых величинах, возрастала в линейной прогрессии, но оставалась неизменной при измерении ее в буквенных позициях. Что же касается длительности фиксации, то они не зависели от перцептивных условий чтения.

Довольно широкий диапазон инвариантности скорости чтения относительно условий восприятия доказывает, что она (как и ее производная — перцептивный объем) детерминируется главным образом скоростью семантической обработки информации. Сказанное относится, конечно, к лицам со сформированным навыком чтения. Для изучения деятельности таких чтецов особый интерес представляют события, происходящие на границах диапазона инвариантности или за ее пределами, когда возникает конфликт между темпом перцептивной и семантической обработки.

Кроме перечисленных формальных характеристик текста затруднения возникают и при чтении внутри диапазона инвариантности, что можно было бы обозначить как «динамические микроконфликты». Неоценимую роль для раскрытия их причин и временной динамики играет метод регистрации движений глаз.

В последние годы наиболее острые дискуссии ведутся как раз по вопросам о ведущем уровне регуляции движений глаз и об интеграции информации, получаемой в интервале между саккадами. Так, в целом ряде экспериментов проверяли гипотезы о существовании прямого лингвистического управления параметрами саккад, т.е. допущения, что их амплитуда и длительность зависят от информации, полученной в течение предыдущей фиксации. Этот класс гипотез (известны несколько их разновидностей) противопоставляется гипотезам, которые предполагают буферизацию информации и ее отсроченное влияние на движения глаз. Если менять, как это делали К. Рейнер и А. Поллатчек (Rayner, Pollatsek, 1981), после каждой саккады размер «окна» вокруг точки фиксации, в котором предъявляется текст, то длина саккад будет зависеть от условий предыдущей фиксации. Аналогичным образом и длительность фиксаций будет удлиняться, хотя и не аддитивно, вместе со случайно варьирующим удлинением задержки предъявления текста после окончания саккады. Кроме того, на длину саккад влияет и размер окна при предпоследней фиксации, что указывает на смешанный характер управления саккадами во время чтения, когда информация о том, когда и куда переместить глаза, зависит как от последней порции информации, так и от хранящегося в буфере мнемического контекста.

Известно, что вблизи длинных слов глаза делают более длинные саккады, чем вблизи коротких. Однако при программировании саккад учитывается не только графическая, но и лингвистическая информация, полученная на дальней периферии функционального поля зрения. Подтверждением этому служат и заимствованные из работы К. О'Ригана (O'Regan, 1979) факты удлинения, при прочих равных условиях, амплитуды саккад, если глаз приближается к второстепенным (артикуль) словам. Этот эффект слабее, если слова той же длины (3 буквы) являются часто употребляемыми глаголами, и усиливается для более редких словоформ. Тем самым в определенной степени подтверждается сформулированное М. Джаст и П. Карпентер (Just, Carpenter, 1980) допущение о немедленной обработке каждого фиксируемого слова на максимально необходимую для понимания глубину. Эти авторы предложили собственную теорию чтения, постро-

енную на данных о длительности фиксации взгляда на разных словах текста. Они показали, что более длинные фиксации делаются в местах большей информационной нагрузки — при восприятии редких слов, при интеграции слов из разных предложений и при умозаключениях, которые делаются на конце предложения. Каждое слово фиксируется в зависимости от его функциональной значимости для понимания смысла читаемой фразы и от индивидуальных особенностей личности и деятельности читателей. Особую роль в обеспечении эффективной обработки текста придается оперативной памяти, которая активизирует репрезентации физических признаков графических элементов текста, слов из лексикона, значений, причинных ролей, предложений, более крупных текстовых единиц и предметной области, релевантной читаемому тексту.

### ***Функциональное поле зрения как интегральный показатель восходящего и нисходящего направлений обработки информации при чтении***

Обсуждаемые выше модели процесса чтения широко различаются по выделяемым зависимым переменным, уровням репрезентации информации и интерпретации эффектов стимульной и субъектной детерминации. В том случае, когда подчеркиваются не глобальные характеристики извлечения, синтеза и реконструкции содержания текста (как, например, в теории Д. Румелхарта (Rumelhart, 1977)), а процессы, разворачивающиеся в микроинтервалы реального времени, то лучшим показателем текущей эффективности чтения является объем информации, обрабатываемый за одну фиксацию. Его часто называют перцептивным объемом, или функциональным полем зрения. Определение размера функционального поля зрения является весьма трудной задачей, хотя определенные методические подходы здесь уже наметились. Так, стало ясно, что средняя амплитуда саккад не может быть численной мерой функционального поля зрения, хотя с ней и коррелирует длина некоторых саккад. Не совсем адекватным процессу чтения является и измерение функционального поля зрения как зоны опознания отдельных букв или слов в условиях статической фиксации взгляда.

Наиболее продуктивным оказался разработанный в последние годы методический подход, использующий манипулирование параметрами текста, предъявленного на экране дисплея, в зависимости от местоположения глаза относительно определенных текстовых единиц.

Для этого регистрируется калиброванный позиционный сигнал от глаза и в момент саккады происходит замена содержания экрана, привязанная к местоположению точки следующей фиксации. Часто эту процедуру называют методикой «движущегося окна», подчеркивая тот факт, что она ограничивает размер доступного для восприятия фрагмента текста, окружающего каждую точку фиксации. Результаты, полученные в русле данного подхода, показали зависимость размера функционального поля зрения не только от видности и читаемости графем, но и от других факторов — грамматических, лексических, синтаксических и факторов более высокого порядка, включая актуальные гипотезы, схемы и прошлые знания. Таким образом, размер функционального поля зрения детерминируется в условиях взаимодействия потоков восходящей (от данных к пониманию) и нисходящей (от внутренних представлений к данным) обработки информации.

Подтверждение этого вывода содержится и в работе Т. Марсела (Marcel, 1974), где применялся иной метод измерения функционального поля зрения. Испытуемые читали начало предложения, а затем удерживали взор в определенной позиции и пытались прочитать конец предложения, параметры предъявления которого можно было варьировать. Оказалось, что те чтецы (взрослые и дети 11 лет), которые прошли курс обучения быстрому чтению, лучше используют контекстуальную информацию и воспринимают больше периферической информации, чем те, которые читали относительно медленно. Предполагается, что увеличение функционального поля зрения идет в двух направлениях — понижается порог восприятия слов и облегчается интеграция информации в процессе понимания.

## **Экспериментальная проверка моделей сформированного навыка чтения**

Проведенный выше анализ позволяет сделать вывод, что в процессе чтения осуществляется сложное и гибкое взаимодействие глазодвигательных, перцептивных, мнемических и мыслительных процессов. Влияние перцептивных условий на эффективность чтения широко изучалось на материале плоскопечатных текстов, когда варьировали такие параметры как размер букв и шрифты, расстояние между строками и словами, контраст и освещенность текстовых элементов, удаленность текста относительно чтеца и т.д. Развитие новых технических средств предъявления буквенно-цифровой информации: дисплеев, служащих для общения человека и ЭВМ, телеприемников,

жидко-кристаллических и растровых информационных табло и других, выдвинуло и особые требования к пользователям этих средств. Главная особенность дисплейной техники состоит в том, что текстовая информация может предъявляться в непривычном формате и принудительном временном режиме. Значительное распространение получили различные динамические режимы предъявления текстовой информации, в частности, режим «бегущая строка», позволяющий экспонировать неограниченно большой массив информации на относительно небольшой зоне пространства.

Кроме экономии числа знакомест информационного табло, еще одним преимуществом этого режима предъявления текста является возможность значительно увеличить размер отдельных знаков, что существенно для чтения на большом расстоянии или для слабовидящих. Ясно, однако, что чтение движущегося текста не идентично чтению неподвижного текста. Во-первых, должен измениться паттерн глазодвигательной активности, так как движущийся текст является мощным оптокинети́ческим стимулом. Во-вторых, длительность экспозиции графических и содержательных единиц текста ограничивается скоростью их движения и размером информационного дисплея. В-третьих, возможность регрессий, т.е. возврата к предыдущему участку текста, также ограничена размером дисплея.

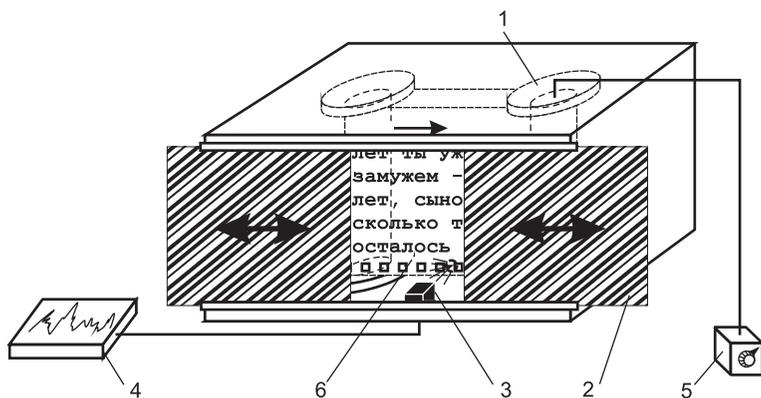
Кроме практической значимости, изучение ситуации чтения движущегося текста представляет интерес и для проверки ряда теоретических положений, относящихся к структуре навыка чтения. Главное из них — существует ли диапазон инвариантности для скорости эффективного чтения при изменении динамических условий предъявления текста? Если да, то как меняется его диапазон в зависимости от уровня развития навыка чтения? Можно назвать и другие вопросы, которые могут получить здесь определенное решение: чем определяются временные и амплитудные параметры движений глаз? каков оптимальный размер функционального поля зрения? как интегрируется перцептивная информация по ходу чтения, считывается ли она дискретными порциями или непрерывно?

### **Методика**

Научно-популярные тексты средней степени сложности и длиной от 400 до 880 знаков, предъявляли с помощью электромеханической лентопротяжной установки с электронной системой стабилизации скорости движения ленты. Скорость протяжки ленты можно было

плавно регулировать в диапазоне 1 : 5 при девиации не более 2%. Ступенчатая регулировка (редуктором) обеспечивала предварительную настройку границ тестируемого скоростного диапазона. Лента — полупрозрачная лавсановая калька длиной 91.4 см и шириной 11.0 см — была свернута в кольцо. Тексты были нанесены графопостроителем на ленте в одну или несколько (максимум — 5) строк в зависимости от размера букв, начертание которых оставалось неизменным. Подвижные шторки на передней части лентопротяжного механизма позволяли менять размер видимого фрагмента текста. Максимальный размер такого «окна» составлял 40 см. По нижнему краю ленты была нанесена перфорация, сквозь которую пучок света от расположенного на том же уровне микроизлучателя попадал на светоприемник (солнечная батарея), генерировавший электрические импульсы. Регистрация этих импульсов позволяла высчитать актуальную скорость движения ленты. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

Независимыми переменными были: размер букв — от  $0.1^\circ$  до  $4.0^\circ$  и размер «окна», варьируемый от 1 до 80 знаков. Зависимыми переменными являлись: угловая скорость движения текста и соответ-



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки  
 1 — лентопротяжный механизм с двумя катушками;  
 2 — сдвижные шторки; 3 — источник света и светоприемный датчик, используемые для регистрации скорости движения ленты с текстом; 4 — самописец; 5 — регулятор скорости движения ленты; 6 — закольцованная лента с текстом.  
 Пояснения в тексте

ствующая ей скорость чтения, а также параметры движений глаз, которые регистрировали посредством взаимоиндуктивной методики (Крицюнас, Лаурутис, 1977).

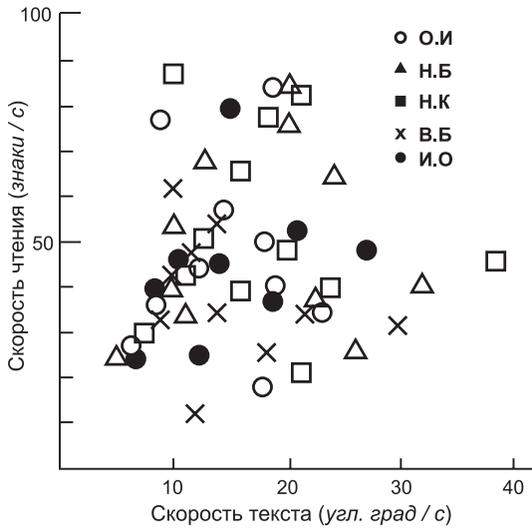
В эксперименте принимали участие 5 испытуемых с высшим образованием в возрасте от 19 до 24 лет. Скорость их чтения (для неподвижных текстов) составляла от 168 до 296 слов/мин (примерно от 30 до 50 знаков/с). Перед испытуемым ставилась задача — управляя регулятором скорости читать текст максимально быстро и с пониманием, чтобы после прочтения они могли коротко пересказать его содержание. Расстояние от глаз испытуемого до текста оставалось постоянным — 38 см.

### **Результаты и обсуждение**

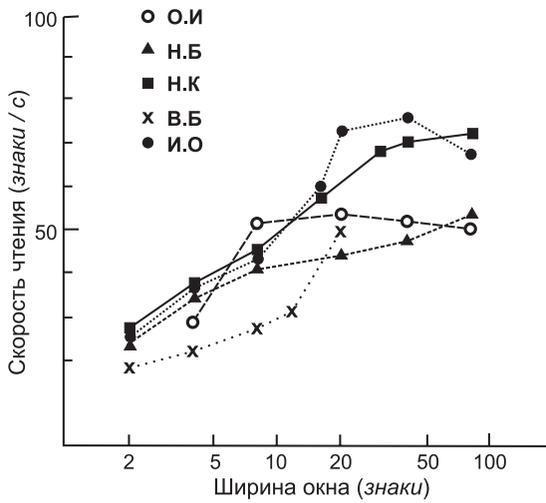
Типичной для испытуемых была стратегия регулировки скорости чтения, состоявшая из двух этапов — этапа вчитывания, когда скорость движения текста постепенно нарастала, и этапа стабилизации, где частота и диапазон регулировочных воздействий были весьма незначительными. За величину скорости чтения было принято среднее количество знаков, пересекающих границу окна за 1 секунду на этапе устойчивого чтения. Для большинства тестируемых условий предъявления зарегистрированная скорость чтения была не ниже той, которая была получена при чтении сравнимых по сложности неподвижных текстов. Отмечено некоторое снижение (~ на 20%) количества правильных ответов на вопросы, заданные по содержанию прочитанного текста, по сравнению с чтением обычного печатного текста. Далее будут рассмотрены количественные зависимости скорости текста от варьируемых параметров.

Не установлено какой-либо систематической зависимости между скоростью чтения и угловой скоростью движения текста (см. рисунок 2). Хотя диапазон установленных испытуемыми значений угловых скоростей движения текста лежал в диапазоне от 5°/с до 35°/с, около 80% всех данных попадали в интервал 10–25°/с. Внутри всего этого диапазона зарегистрирован примерно четырехкратной перепад скоростей чтения для каждого из испытуемых. Хотя известно, что увеличение скорости движения текста должно привести к уменьшению его различимости, этот параметр не являлся критическим для скорости чтения.

Графики на рисунке 3 показывают монотонное, близкое к линейному, увеличение скорости чтения в зависимости от ширины окна,



**Рис. 2.** Диаграмма разброса данных в координатах скорости чтения (и угловой скорости движения текста. Представлены суммарные результаты 5 испытуемых, полученные при чтении каждым из них текстов с разным размером букв, которые были предъявлены в «окнах» разной ширины



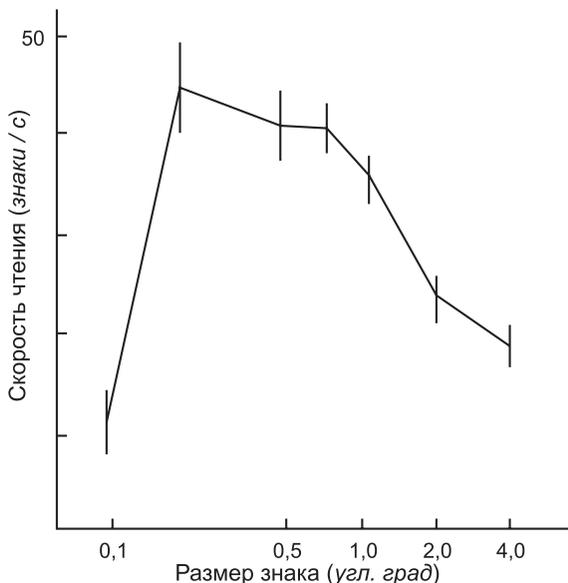
**Рис. 3.** Графики зависимости скорости чтения от ширины текстового «окна» для каждого из 5 испытуемых

т.е. числа видимых знакомест текста, в интервале от 1 до 10 знаков. Последующее увеличение ширины окна до 20 знаков у 3 из 5 испытуемых вело к дальнейшему нарастанию скорости чтения. В окошке шириной от 20 до 80 знаков скорость чтения уже не увеличивалась. Сходные данные были получены и в эксперименте Дж. Легга с соавт. (Legge, et al., 1985), где использовали видеопроецирование движущегося текста. Интересно, что те двое испытуемых, которые читали на пределе своих возможностей уже при ширине окна 10 знаков, обладали и более высокой исходной скоростью чтения. Эти данные могут быть использованы для определения оптимального размера функционального поля зрения при чтении движущегося текста.

Нужно отметить, что чтение возможно даже при размере окна, в котором видна лишь 1 буква. Скорость чтения в этих условиях может достигать 10–12 знаков/с. Если сравнить ее с литературными данными о считывании и поиске информации, предъявляемой на 1 знакоместо в дискретном режиме, то можно убедиться, что эффективность деятельности в 1-м случае выше, чем во 2-м (Juola et al., 1982). Видимо, пространственно-временная связность предъявляемой информации способствует расширению перцептивных возможностей человека.

При константной ширине окна, равной 10 знакам, скорость чтения зависела от углового размера букв следующим образом (рисунок 4). Она оставалась на постоянном уровне при размере букв в интервале от  $0.25^\circ$  до  $1.0^\circ$  и падала при дальнейшем уменьшении или увеличении размера букв. Ясно, что в диапазоне инвариантности пропорционально размеру букв возрастала и угловая скорость движения текста.

Обратимся теперь к зафиксированным в эксперименте параметрам движений глаз. Процесс чтения идет слева направо, тогда как предъявляемый текст движется справа налево. Другими словами, они направлены во взаимно противоположные стороны. Это определяет характер глазодвигательной активности, имеющей форму нистагма, плавная компонента которого совпадает с направлением движения текста (рисунок 5). Цикл нистагма длился, в среднем,  $274 \pm 36$  мс, что совпадает с данными по межсаккадическим паузам («фиксациям») при чтении неподвижного текста. Тот факт, что частота нистагма не зависела от угловой скорости движения текста, доказывает (см. Ter Braak, 1962; Ter Braak, Buis, 1971), что зарегистрированный режим работы глазодвигательной системы не тождественен простому оптокинетическому нистагму, а связан с семантической обработкой текста.



**Рис. 4.** График зависимости скорости чтения от размера букв текста. Суммировано для 5 испытуемых. Здесь и на следующих рисунках: вертикальные линии — стандартное отклонение

Этот вывод подтверждают и следующие факты. Длительность медленной фазы нистагма снижалась при увеличении ширины «окна» от 1 до 20 знакомест, а затем стабилизировалась при дальнейшем увеличении видимого фрагмента текста (рисунок 6). Это совпадает с динамикой скорости чтения в данных условиях. Далее, мы измеряли коэффициент усиления скорости медленной фазы нистагма как отношение средней скорости медленной фазы нистагма за цикл к скорости движения текста. Оказалось, что этот коэффициент уменьшается с 0,8 до 0,55 при увеличении окна с 1 до 10 знакомест и стабилизируется на этой величине (рисунок 7). Как можно проинтерпретировать этот факт? Одно из возможных объяснений состоит во влиянии размера поля оптокинетической стимуляции на коэффициент усиления плавной компоненты нистагма. Однако контрольные эксперименты с фиксацией сплошного ряда движущихся цифр показали, что хотя эти влияния на самом деле существуют, они не могут объяснить весь диапазон изменений. Более того, тщательный анализ позволил установить тонкую зависимость динамики коэффициента

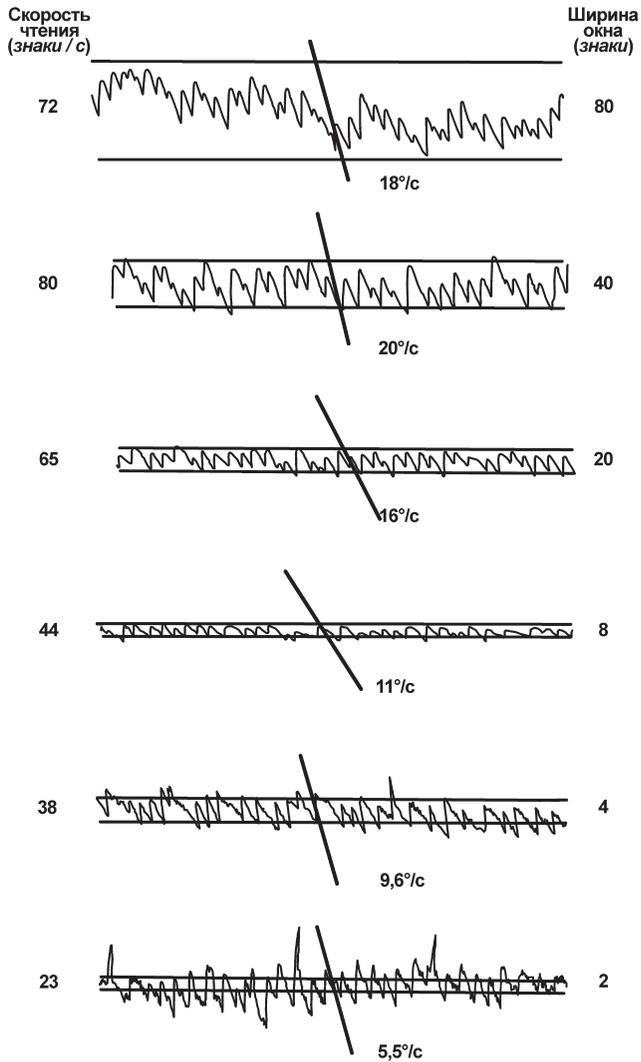
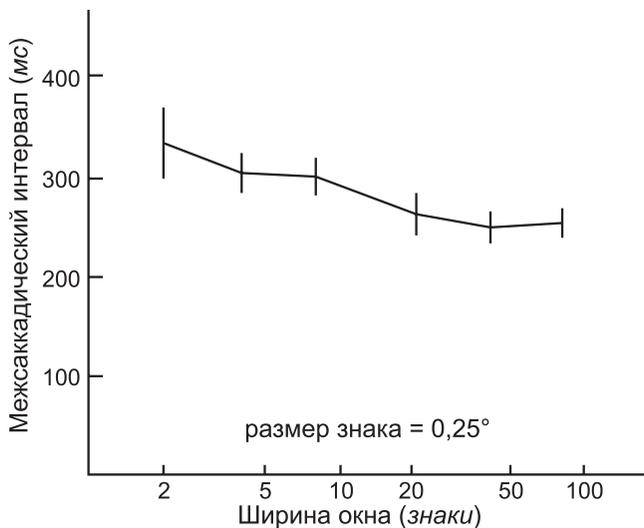
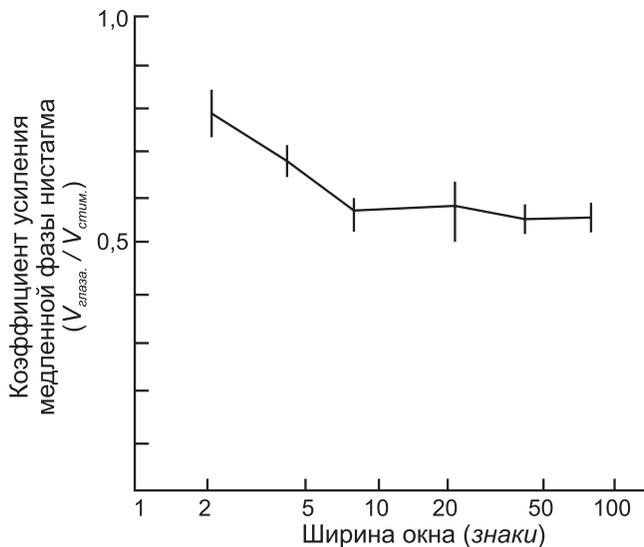


Рис. 5. Примеры записей движений глаз испытуемого И.О. в процессе чтения движущегося текста. Цифры справа показывают скорость чтения, слева — ширину текстового «окна». Размер букв оставался постоянным — 0.25 угл.град. Две горизонтальные линии на графиках показывают границы «окна», наклон косой линии — угловую скорость движущегося текста



**Рис. 6.** График зависимости длительности межсаккадического интервала от ширины текстового «окна». Суммировано для 5 испытуемых



**Рис. 7.** График зависимости коэффициента усиления медленной фазы нистагма от ширины текстового «окна». Суммировано для 5 испытуемых

усиления движений глаз от лексических и грамматических особенностей читаемого текста. В целом коэффициент усиления был тем ниже, чем легче для понимания был данный фрагмент текста. Следует учесть, что данные вариации коэффициента усиления были зафиксированы при размере окна  $>20$  знакомест и при скоростях текста  $<20$  °/с, когда, по литературным данным, коэффициент усиления оптокинетического нистагма должен был быть близок единице. У нас же получилось наоборот — коэффициент усиления плавной фазы нистагма возрастал при скоростях чтения  $>20$  °/с. Наше объяснение состоит в том, что для задачи чтения медленную фазу нистагма следует рассматривать не просто как динамическую фиксацию глаза на одном и том же месте движущегося текста, а как этап активного перемещения взора по тексту, отражаемый в торможении скорости медленной фазы нистагма. Отсюда можно сформулировать гипотезу о временной динамике считывания информации в процессе фиксации. Суть ее состоит в признании принципиальной возможности расширения функционального поля зрения за счет осуществления нескольких циклов считывания информации на протяжении межсаккадической паузы.

## Заключение

1. Подтверждены и расширены данные о существовании диапазона инвариантности скорости чтения относительно перцептивных условий предъявления текста. Скорость чтения движущегося текста почти не менялась при увеличении размеров букв от  $0.25^\circ$  до  $1.0^\circ$ , при увеличении числа одновременно экспонируемых букв начиная с 10–20 знакомест и при увеличении угловой скорости текста в диапазоне до  $30^\circ/\text{с}$ .
2. Получены данные о параметрах движений глаз при чтении движущегося текста. Они свидетельствуют о: а) возможности эффективного чтения в условиях нистагма, когда отсутствуют остановки глаз, типичные для считывания неподвижного текста; б) подчиненности этих параметров не только перцептивным условиям, но и возможностям смысловой обработки текста.
3. Установлен факт уменьшения коэффициента усиления медленной фазы нистагма при чтении движущегося текста в диапазоне инвариантности. Этот показатель может быть предложен как

диагностический для оценки эффективности навыка чтения в данных конкретных условиях. Высказана гипотеза о механизме этого эффекта.

4. При чтении движущегося текста создаются условия, способствующие (из-за отсутствия регрессий и принудительного темпа) некоторому снижению глубины обработки и/или ограничению объема информации, содержащейся в мнемическом буфере. Как следствие, уровень понимания имел тенденцию к уменьшению, особенно на начальных этапах вработывания в данный режим чтения. Это выдвигает задачу специального формирования навыка чтения для таких условий с учетом его особенностей.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЧИТЫВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

## Введение

Считывание знаковой информации с видеотерминалов (ВТ) является одним из главных компонентов взаимодействия человека и компьютера. Для того, чтобы такое взаимодействие протекало с максимальной эффективностью, физические параметры предъявляемого материала, влияющие на различимость отдельных текстовых единиц, должны быть настроены наиболее оптимальным для зрительной системы образом. Доказано, что оптимизация физических параметров, от которых зависит качество ВТ, такие как цвет фосфора, контраст яркости, средняя освещенность, частота кадровой развертки, разрешающая способность и т.п., должна опираться на объективные или субъективные измерения эффективности (Roufs, Boschman, 1991). Менее популярна идея, что те же самые измерения могут быть полезны и для оценки качества используемого интерфейса. Действительно, современные ВТ свободны от большинства физических ограничений, присущих предыдущим поколениям ВТ, и позволяют предъявлять текстовую и изобразительную информацию в самых разнообразных статических и динамических режимах. Современные графические интерфейсы позволяют пользователям персональных компьютеров в широком диапазоне варьировать размер и начертание символьных элементов, но при этом ставят перед ними новые проблемы выбора наиболее легко читаемых символов в контексте выполнения той или иной задачи.

До сих пор большинство исследований, посвященных проблеме чтения с ВТ, занималось оценкой различимости отдельных символов. Имеется не так много попыток оценки влияния динамических, пространственно-временных параметров предъявления символов на эффективность чтения. На самом деле, все больше

и больше компьютерных интерфейсов предоставляют пользователям возможность запускать движение текста по экрану, а также управлять параметрами этого движения с помощью различных устройств — клавиатуры, манипулятора-мыши, джойстика и др. Хорошо известными примерами такого перемещения текста по экрану ВТ являются: горизонтальное движение бесконечной текстовой строки («бегущая строка») и вертикальное движение текстовой колонки («скроллинг»).

*Цель* нашей работы состояла в сравнении эффективности чтения с ВТ при статическом и динамическом режиме предъявления. Можно предположить, что навык чтения претерпевает определенные изменения, когда текст предъявляется в динамическом режиме. Прежде всего это должно затронуть механизм управления взором. В отличие от стационарного текста, при чтении которого глаза совершают скачки (саккады) вдоль строки и сохраняют неподвижность в интервале между ними (фиксации), чтение текста в режиме «бегущая строка» сопровождается нистагмоидными движениями глаз (Belopolsky, 1989; Buettner et al., 1985). Паттерн нистагмоидных движений характеризуется наличием плавного горизонтального смещения взора в интервале между саккадами и отсутствием возвратных саккад (регрессий и переходов на другую строку). Почти ничего не известно о движениях глаз в процессе скроллинга текста, но понятно, что для точного отслеживания содержания строки текста необходима сложная координация плавных вертикальных и саккадических горизонтальных движений глаз. Таким образом, остается неясным, каким образом повлияет на качество чтения столь необычный способ управления взором.

В описанном ниже эксперименте мы попытались собрать первичную информацию об эффективности чтения в условиях динамического предъявления текстовой информации.

## **ЭКСПЕРИМЕНТ**

Выбор адекватных измерительных процедур для оценки перцептивного качества образов, предъявляемых на ВТ, представляет определенные трудности. Жалобы пользователей и допускаемые ими ошибки служат естественной отправной точкой для такого рода оценок ВТ, но строгий подход, опирающийся эти оценки, еще не разработан в достаточной степени. Хотя было предпринято немало попыток найти корреляты зрительного утомления (см. Podmos,

1988), они не дали в руки исследователей какого-то стабильного и несложного измерительного метода. В нашем исследовании мы следовали подходу, предложенному М. Бошманом и Дж. Роуфсом (Boschman, Roufs, 1992) и использовавшему измерения зрительного комфорта и эффективности деятельности. Задача, которую они предлагали своим испытуемым, состояла в поиске буквы в так называемом псевдо-тексте. За показатель эффективности принимали скорость поиска, которая отражает влияние параметров дисплея на процессы первичной зрительной обработки сигнала. Высшие, когнитивные уровни переработки не были включены в деятельность, поскольку в псевдо-тексте отсутствовала какая-либо семантика. Ниже приведен фрагмент используемого ими псевдо-текста.

PX2NR NM57 JZ 3OS388KTL54 TQHK  
UJ0 RD3QTOVTE6 ZV FYS0E GJ WCE  
4X F8OT5F0NMUNHTG9UBWF ECEAPVQ  
PD SO7 NEC4 LGY X8 6U 1TINWO2W  
T7JSW UIWS5 HTOIKYH UTB M66PGK  
YLAC JR8RFY LEBX NGYOG3 6EN81V

В этом задании испытуемому предлагали сканировать предъявленный текст и сосчитать, сколько раз в нем встречается буква «А». Сравнивали скорость поиска, выраженную в числе просмотренных букв за секунду, при различных параметрах ВТ. Было также использовано прямое числовое шкалирование уровня зрительного комфорта по десятибалльной шкале. По результатам исследования был сделан вывод, что оба этих измерения достаточно хорошо коррелируют между собой, если сравниваются показатели, полученные у одного и того же испытуемого (внутрииндивидуальный анализ).

Общая идея нашего эксперимента состояла в том, чтобы сравнить различимость символов определенного экранного шрифта, предъявленных на одном и том же ВТ в стационарном режиме, с режимами бегущей строки и скроллинга. Эффективность деятельности оценивали по скорости поиска, привлекая также измерения частоты ошибок и уровня уверенности ответов. План эксперимента включал манипулирование режимами предъявления, а также способами управления скоростью предъявления (в собственном или навязанном темпе).

## Методика

### Стимульный материал

«Тексты» были сгенерированы на экране монитора (SVGA; 14") обычного персонального IBM PC компьютера в графической моде 640 x 350 пикселей. Объем текста составлял 540 знаков с пробелами. Тексты были сформированных в блок из 18 строк длиной 30 знаков каждая для стационарного и скроллингового режимов предъявления или в одну непрерывную бегущую строку. Все символьные элементы имели равноширинное написание и предъявлялись как заглавные буквы и цифры из шрифтового набора «COURIER». Символ занимал площадь экрана 20 x 15 пикселей (11.4 x 6.1 мм), а расстояние между центрами символов составляло 6.5 мм. Физические параметры фона и символов (цвет, освещенность и контраст) не менялись в процессе всего эксперимента. Каждый текст включал от 10 до 15 целевых стимулов (буква «А»).

Детали метода, использованного для динамического предъявления текстов, изложены в другой работе (Belopolsky, Dubrovsky, 1994).

### Процедура

Пять испытуемых участвовало в двух сериях экспериментов. Первая серия была чисто тренировочной. Обе серии были разделены на две части с разными способами управления скоростью динамического предъявления (в собственном или навязанном темпе). Сначала испытуемые выполняли задачу поиска в 3 стационарных (С), 3 горизонтально движущихся (Г) и 3 вертикально движущихся (В) текстах, меняя скорость динамического предъявления по своему усмотрению. Нажатием на клавиши «+» и «-» можно было, соответственно, увеличивать или уменьшать скорость предъявления. Во второй части экспериментальной серии испытуемые работали с 6 С, 15 Г и 15 В текстами. Скорость динамического предъявления была фиксированной в течении каждой пробы и равнялась 4, 8, 12, 16 и 20 знакам/с. Таким образом, испытуемые имели по 3 попытки на каждой скорости Г и В предъявления. Порядок проб был постоянным для всех испытуемых и сбалансирован отдельно для каждой части серии. Расстояние от лица испытуемого до экрана была примерно 60 см. В соответствии с инструкцией, испытуемые должны были нажимать клавишу

«пробел» сразу после обнаружения ими очередной буквы «А». После каждой пробы испытуемых просили оценить уровень визуального комфорта и степень уверенности в собственных ответах, используя для этого 10-балльную шкалу. Оценки выставлялись с помощью клавиатуры и запоминались в памяти компьютера. Испытуемые не получали обратной связи о точности поиска, за исключением тренировочной серии, где такая информация им предоставлялась.

## Результаты

Все испытуемые расценили задачу зрительного поиска как достаточно трудную — они крайне редко оценивали свою уверенность в 10 баллов даже при работе со стационарными текстами (СТ). Диапазон оценок уверенности составлял 7–10 баллов (медиана 7.7) для СТ, 7–8 (7.9) для горизонтально движущегося текста (ГТ) и 6–9 (7.6) для вертикально движущегося текста (ВТ) при самостоятельно регулируемом темпе предъявления.

Коэффициенты ранговой (Spearman) корреляции для результатов, показанных испытуемыми по всем измерениям зрительного поиска, достигали высокого уровня значимости ( $p < 0.001$ ). Число ошибок коррелировало со скоростью поиска ( $r = 0.427$ ), зрительным комфортом ( $r = -0.428$ ) и уверенностью ответов ( $r = -0.319$ ). Очень высокая позитивная корреляция была отмечена между зрительным комфортом и уверенностью ответов ( $r = 0.620$ ).

Для безошибочно выполненных проб не было обнаружено различий в скорости поиска для ГТ и ВТ (10.3 против 10.5 знаков/с). Вне зависимости от скорости поиска, при самостоятельно регулируемом темпе ГТ и ВТ предъявления и СТ предъявлении не было установлено каких-либо систематических отклонений в средних оценках зрительного комфорта и уверенности ответов (см. таблицу 1).

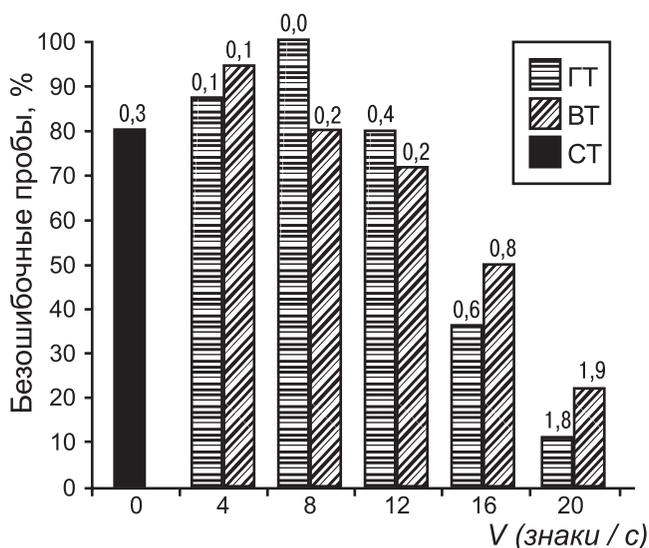
Результаты, полученные в условиях принудительно задаваемой скорости предъявления, показали, что испытуемые способны к эффективному поиску целевой буквы даже на более высоких скоростях, чем они подбирали, когда самостоятельно регулировали скорость движущегося текста. Пропорция безошибочных проб для различных фиксированных скоростей при ГТ и ВТ предъявлении показана на рисунке 1. Цифры над соответствующими столбиками на рисунке 1 отображают среднее число пропущенных целей за одну пробу. Оба этих измерения не различаются значимо при ГТ и ВТ предъявлении. На рисунке 1 видно, что при скоростях предъявления до 12.5 знаков/с

**Таблица 1**

Результаты многомерной оценки зрительного поиска для условий, когда испытуемые самостоятельно регулировали темп предъявления

Испытуемые	Способ предъявления								
	Стационарный			Горизонтальный			Вертикальный		
	V	Кмф	Увн	V	Кмф	Увн	V	Кмф	Увн
Д.А.	15.4	9	8	13.1	8	7.7	12.0	9	7
Г.К.	14.1	10	9	9.6	9.7	8	10.4	9.5	8.5
Е.Л.	13	7	7	11.3	7.5	8.5	12.0	7.3	7.7
В.Д.	8.3	8	8	6.9	7.7	8	9.3	6.5	7
В.Б.	12.6	7.5	7	12.3	7	7	9.3	8	8
Среднее	12.7	8.3	7.8	10.6	8	7.8	10.5	8.1	7.6

Обозначения: V — скорость чтения (знаки/с); Кмф — зрительный комфорт (1–10); Увн — уверенность ответов (1–10)



**Рис. 1.** Эффективность зрительного поиска в условиях принудительно задаваемой скорости предъявления знаковой информации. Гистограмма показывает пропорции безошибочно выполненных проб на различных фиксированных скоростях предъявления ГТ и ВТ. Черный столбик слева показывает результаты для СТ. Цифры над соответствующими столбиками отображают среднее число пропущенных целей за одну пробу

пропорция безошибочно выполненных проб достигала 80% и выше. Этот показатель скорости выше, чем скорость поиска, подбираемая самими испытуемыми при ГТ и ВТ предъявлении и сопоставима со скоростью поиска для СТ (см. таблицу 1). Почти половина проб была успешной при скоростях 16 знаков/с и 10–20% проб — при скоростях 20 знаков/с. Среднее число пропущенных целей за пробу превышала 1 только при скорости предъявления 20 знаков/с. Это означает, что испытуемые не используют всех своих ресурсов, когда они самостоятельно регулируют темп предъявления ГТ и ВТ.

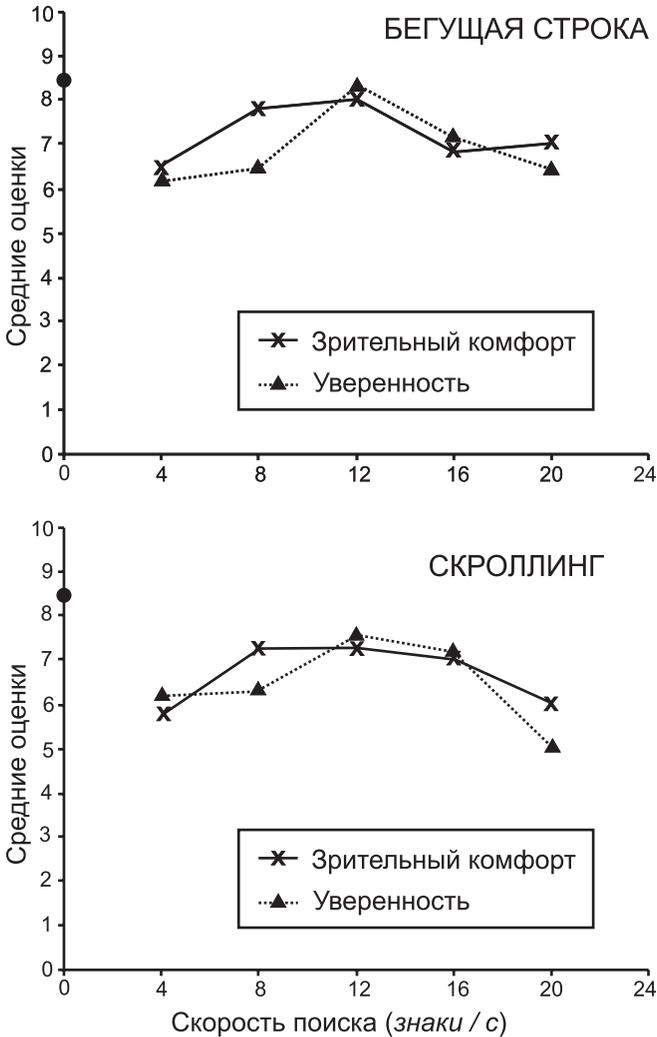
Результаты показывают, что большинство испытуемых испытывают максимальный зрительный комфорт и дают наивысшие оценки уверенности при скоростях предъявления 8 и 12 знаков/с (см. рисунок 2). На более высоких скоростях эти показатели снижаются параллельно для ГТ и ВТ, но на самых медленных скоростях оценки зрительного комфорта уменьшаются, тогда как оценки уверенности приближаются к максимальному значению.

## Обсуждение

Эксперимент показал, что методика, предложенная для оценки удобочитаемости предъявляемых на дисплеях стационарных изображений, пригодна также и для динамических режимов предъявления. Более того, установлено, что два дополнительных параметра — оценка уверенности ответов и частота ошибок — также могут дать полезную информацию об эффективности работы с видеотерминалами.

Достаточно неожиданным для нас результатом явилось то, что все независимые показатели перцептивной деятельности испытуемых — как объективные, так и субъективные — находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. Это дает нам некоторые основания для гипотез относительно количественных показателей их деятельности.

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что динамическая текстовая информация может считываться с видеотерминала почти с той же эффективностью, что и при статическом режиме предъявления. Не было установлено различий между оценками зрительного комфорта для СТ, ГТ и ВТ, когда испытуемые самостоятельно регулировали темп предъявления. То же можно сказать и относительно оценок уверенности и частоты ошибок, однако скорость поиска для СТ была несколько выше, чем для ГТ и ВТ. Возможное объяснение этих различий состоит в том, что ускорение и замедление скорости поиска происходит более естественно и произвольно при



**Рис.2.** Оценки зрительного комфорта и уверенности в ответах в условиях принудительно задаваемой скорости предъявления знаковой информации. (Вверху) Предъявление горизонтально движущегося текста. (Внизу) Предъявление вертикально движущегося текста. Данные, отмеченные по шкале абсцисс (0 знаков/сек), показывают оценки для стационарно предъявленного текста.

СТ, чем при ГТ и ВТ предъявлении. В двух последних случаях испытуемые меняют скорость путем нажатия рукой на соответствующие клавиши, тогда как обычная поисковая стратегия при СТ состоит в управлении скоростью перемещения взгляда, т.е. увеличении или уменьшении амплитуды саккадических движений глаз.

В отличие от условий, когда испытуемые самостоятельно управляли скоростью предъявления, предъявление динамической текстовой информации в навязанном темпе позволило испытуемым показать столь же высокую скорость поиска, что и при предъявлении СТ. Более того, при снижении критерия эффективности (т.е. когда засчитываются пробы с некоторым количеством ошибок), динамический способ предъявления получает преимущество перед стационарным. Это означает, что в некоторых случаях динамическое предъявление знаковой информации может оказаться более предпочтительным и оправданным, особенно если учесть и такие преимущества динамического предъявления как возможность предъявлять на одном и том же дисплее знаки большего размера.

Очень важно знать оптимальный скоростной диапазон для того или иного способа динамического предъявления, поскольку слишком быстрая экспозиция текста может стать источником повышения числа ошибок и ощущения дискомфорта. С другой стороны, слишком медленное предъявление также может привести к снижению оптимального уровня комфорта и, как следствие, к рассеиванию внимания.

Хотя наши результаты не показали значимых различий между ГТ и ВТ условиями ни по одному из измеряемых параметров, испытуемые четко указывали на различия между этими режимами считывания информации. Возможно, это связано с разными стратегиями поиска, которые, в свою очередь, зависят от угловой скорости, пространственного формата и типа знаков, использованных в эксперименте. Вполне вероятно, что изменение этих параметров приведет к тем или иным различиям в эффективности поиска при ГТ и ВТ.

## **Заключение**

1. Адекватная оценка качества динамических дисплеев требует многомерного набора измерительных средств. И объективные (скорость поиска и частота ошибок), и субъективные (зрительный комфорт и уверенность в ответах) оценки оказались чувствительны к различным характеристикам предъявления.

2. Контролируемое самим испытуемым предъявление ГТ и ВТ оценивалось как столь же комфортное, как и обычное СТ предъявление, но не было столь же эффективным по скорости поиска.
3. При предъявлении ГТ и ВТ в навязанном темпе скорость поиска была равна или даже превышала скорость поиска при СТ предъявлении. Такое повышение привычной скорости поиска ведет к уменьшению зрительного комфорта, уменьшению уверенности ответов и увеличению частоты ошибок. Когда скорость ГТ и ВТ была слишком медленной, зрительный комфорт снижался, несмотря на высокий уровень уверенности в ответах.

# ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СКОРОСТИ ЧТЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ТЕКСТОВ

## Введение

Навык чтения включает базовые перцептивно-моторные и фонологические способности, обеспечивающие эффективное декодирование графем в фонемы, а также программы доступа к семантике слов и более углубленные стратегии переработки текстовой информации (Gibson, Levin, 1975; Rayner, Pollatsek, 1989). Традиционно, методики обучения чтению и соответствующие теоретические модели фокусируются главным образом на начальных стадиях формирования навыка чтения. Между тем, в литературе можно найти множество примеров того, что скорость чтения продолжает устойчиво расти даже когда обычные индикаторы базовых навыков чтения (ошибки произношения, узнавание слов) достигают своего уровня насыщения (Goswami, Bryant, 1994). Этот этап совершенствования навыка чтения начинается обычно с возраста перехода из начальной школы в среднюю (9–10 лет) и захватывает период юношества, а иногда и зрелости, выпадая при этом, как правило, из сферы контроля со стороны учителя.

Говоря о резервах такого совершенствования, стоит упомянуть о важной роли пространственно-временных стратегий в структуре навыка чтения. Типографические параметры текста — шрифт, размер букв, длина строки, освещенность, контраст и другие, накладывают определенные ограничения на эффективность процесса чтения. Ряд из них оказывают влияние на различимость графем во время фиксации их глазами, тогда как другие определяют сам характер сканирования текста. Обычный печатный текст располагается на странице в двух измерениях, хотя грамматическая структура языка предполагает последовательный, линейный характер обработки букв, слов и предло-

жений. В связи с этим, формируемый на печатных текстах (2-мерное предъявление) навык чтения включает важный компонент пространственного управления взором, или пространственные стратегии чтения. Сюда входят: последовательность фиксаций на строках, перевод взора со одной строки на другую, микро- и макрорегрессии, т.е. возвратные движения взора в пределах одной или нескольких строк. При этом нужно подчеркнуть, что для эффективного чтения процессы организации движения взора не должны интерферировать с основной целью чтения — пониманием значения слов и смысла читаемого текста.

Ряд трудностей начального этапа обучения чтению связаны как раз с тем, что детям бывает трудно совместить идентификацию букв и слогов, их фонологическое перекодирование, слияние и лексическую обработку, т.е. базовые операции чтения, и процессы удержания взора на определенной графеме, последовательного его перемещения по строке и со строки на строку. Тонкое управление взором у детей в возрасте 5–7 лет требует еще значительного произвольного контроля; фактически, чтение является для них первой познавательной задачей, предъявляющей такого рода требования к соподчинению пространственного управления взором. Эти трудности хорошо известны педагогам и исследователям, разработавшим целый ряд приемов и технических средств, облегчающих начальное обучение чтению. Сюда относятся и фиксация читаемого места пальцем, использование крупного шрифта и коротких, широко расставленных строк в букварях, специальные «движущиеся окошки», передвигаемые вдоль строки, и более сложные электромеханические приспособления. С появлением компьютеров было разработано много программ, позволивших предъявлять последовательные фрагменты текста (слоги, одно или несколько слов) на фиксированном месте экрана, что снимало необходимость перемещать взор (0-мерное предъявление). Хотя такой режим предъявления позволял взрослым людям читать почти без потери скорости, для начинающих он не является оптимальным с точки зрения переноса навыка на чтение обычного текста. Более эффективным представляется подход, использующий плавно движущуюся справа налево бесконечную строку текста (1-мерное предъявление). Показано, что при таком чтении взор автоматически вовлекается в процесс отслеживания, совершая при этом ритмические нистагмоидные движения, частотные и амплитудные параметры которых практически совпадают с параметрами движений глаз при чтении обычного неподвижного текста (Belopolsky, 1989; Buettner et al., 1985). При этом можно использовать буквы большого размера и произвольного начертания и цвета,

что тоже облегчает поиск оптимальных для конкретного человека условий чтения. Она из наиболее совершенных систем такого рода была создана при нашем участии (Belopolsky, Dubrovsky, 1994).

С другой стороны, пространственные стратегии чтения оказывают существенное влияние на характер и скорость чтения и после того, как навык чтения автоматизировался. Если средняя скорость чтения у взрослых составляет порядка 250 слов/мин, что соответствует стратегии фиксации каждого слова, то некоторые люди читают быстрее — до 500 и даже 800 слов/мин. Даже обычные чтецы иногда, если читают текст о знакомом предмете, или повторно, или достаточно поверхностно, могут читать гораздо быстрее своей средней скорости. На самом деле это должно означать ни что иное, как использование более изощренных, гибких пространственных стратегий. Мы проверили эту гипотезу в наших экспериментах и получили данные, убедительно подтверждающие ее (Белопольский и др., 1992; Belopolsky, 1995).

Между этими двумя полюсами — начальное и сверхбыстрое чтение — лежит длительный путь становления этого навыка и включенных в него пространственных стратегий. Для изучения возрастной динамики пространственных стратегий чтения нами были проведены эксперименты, где сравнивали эффективность чтения неподвижного и движущегося текстов детьми от 7 до 16 лет.

Изучение скорости чтения в условиях динамического предъявления представляет значительный интерес в силу ряда причин. Во-первых, при значительном числе исследований эргономических аспектов чтения статического текста, особенности чтения динамически предъявляемого текста исследованы незначительно, в то время как такие режимы все шире используются в самых различных сферах профессиональной деятельности (реклама, информационные табло, субтитры). Изучение чтения динамических текстов детьми может дать новую и интересную информацию как о гибкости навыка чтения, сформировавшегося на 2-мерных текстах, так и о самом процессе формирования навыка чтения. Кроме того, существуют данные об эффективности использования динамически предъявляемых текстов для обучения детей с трудностями овладения навыком чтения (Buettner et al., 1985; Krischer et al., 1995; Pavlidis, 1989). Если такого рода данные получают подтверждение, это укажет путь к разработке методики преодоления дислексии.

Кроме того, важным аспектом совершенствования навыка чтения является переход от громкого чтения к чтению про себя, когда вокализация в значительной степени оттормаживается, существуя лишь на

уровне так называемой «внутренней речи» (Жинкин, 1960; Rayner, Pollatsek, 1989). Не случайно один из приемов повышения скорости чтения как раз и состоит в принудительном подавлении вокализации во время чтения (Лезер, 1980; Кузнецов, Хромов, 1983). Поэтому интересно сопоставить скорости чтения вслух и про себя на разных уровнях сформированности навыка чтения и при разных режимах предъявления.

Таким образом, в исследовании были поставлены следующие *задачи*:

1. Измерение динамики развития скорости чтения на протяжении школьного возраста
2. Сравнение скорости чтения вслух и про себя на разных уровнях сформированности навыка чтения
3. Оценка вклада пространственно-временных стратегий чтения и фонологического кодирования в повышение эффективности чтения

## **Методика**

### ***Испытуемые***

Путем случайной выборки было отобрано по 12 человек, обучающихся во 2-м, 5-м, 7-м, 9-м и 11-м классах одной из московских школ (всего — 60 человек). Среди испытуемых не было детей с дефектами речи (в том числе компенсированными), а также детей-билингвов.

### ***Стимульный материал***

#### **а) Статические тексты**

Использовались тексты длиной 100–115 слов, степень сложности которых не превышала привычную для ребенка данного возраста. Тексты отбирались из рекомендованных программой учебных пособий по чтению, а учащиеся старших классов читали научно-популярные тексты соответствующего уровня сложности. Тексты были напечатаны на листе бумаги, шрифт — Ариал, размер — 12 пунктов.

#### **б) Динамические тексты**

Для определения скорости чтения в режиме «бегущая строка» использовались тексты той же степени сложности, что и для статички. Программа динамического предъявления текста на экране компью-

тера (подробнее о программе см. Belopolsky, Dubrovsky, 1994) позволяла варьировать следующие параметры:

- цвет фона
- цвет символов
- размер символов и ширину знакоме­ста
- скорость предъявления текста.

Выбор цвета фона и символов осуществлялся в предварительных экспериментах следующим образом. Испытуемым демонстрировалась возможность варьировать цвета фона и символов и предлагалось выбрать такое сочетание цветов при котором им будет наиболее комфортно читать некий довольно длинный и важный текст. Выяснилось следующее:

- примерно 90% испытуемых предпочитают обратный контраст прямому;
- 100% испытуемых предпочитают умеренный контраст высокому или слабому;
- при выборе цветов предъявления динамических текстов примерно половина испытуемых руководствовались эстетическими соображениями («красивое сочетание цветов»), а остальные — соображениями эргономическими («меньше утомляются глаза»). Однако поставленные перед выбором: прочитав текст, предъявляемый в выбранной самим испытуемым цветовой гамме или в наиболее «эргономичной» гамме (светло-серые буквы на темном фоне), 90% испытуемых выбирали последнее.

В экспериментах использовался шрифт Ариал с размером знако­места 11 мм, так что на экране одновременно предъявлялось 20 сим­волов.

Были доступны следующие скорости предъявления:

Код скорости	слов/мин	знаков/мин	Код скорости	слов/мин	знаков/мин
2	44	264	7	134	928
3	60	396	8	156	1061
4	78	525	9	170	1182
5	96	629	10	192	1318
6	116	792			

## **План и процедура проведения экспериментов**

Скорость чтения измеряли как функцию 3 зависимых переменных: *Класс*, который посещал испытуемый (2, 5, 7, 9, 11), *Способ предъявления* (статический, динамический) и *Способ чтения* (вслух, по себя). Результаты подвергались многофакторному дисперсионному анализу (MANOVA).

Эксперимент с одним испытуемым проходил в четыре этапа, всегда в одной и той же последовательности в один и тот же день:

- I. определение скорости чтения вслух статического текста (Ст\_Вс);
- II. определение скорости «чтения про себя» статического текста (Ст\_М);
- III. определение скорости чтения вслух динамического текста (Дв\_Вс);
- IV. определение скорости «чтения про себя» динамического текста (Дв\_М);
- V. определение скорости поиска заданного слова в динамически предъявленном тексте, составленном из несвязанных по смыслу слов (Дв\_По).

Последнее измерение выполняло контрольные функции, поскольку в задаче поиска обрабатывается только лексическая информация, причем на уровне узнавания. Таким образом, разница между скоростью поиска и скоростью чтения дает представление о нагрузке на понимание прочитанного текста.

Испытуемым предлагали следующие инструкции:

**Инструкция 1.** Сейчас мы проверим скорость твоего чтения вслух.

По моему сигналу ты должен будешь перевернуть лежащий перед тобой листок бумаги и начать читать текст. Читай быстро, но выразительно и старайся не делать ошибок. Как только дочитаешь до конца, скажи «все».

**Инструкция 2.** Сейчас мы проверим скорость твоего чтения «про себя».

По моему сигналу ты должен будешь перевернуть лежащий перед тобой листок бумаги и как можно быстрее и внимательнее прочитать текст, на этот раз про себя. Как только дочитаешь до конца, скажи «все». После прочтения текста я задам несколько вопросов на понимание прочитанного.

**Инструкция 3.** Сейчас мы проверим, как быстро ты можешь читать вслух текст, «бегущий» по экрану компьютера. Начнем с самой медленной скорости, которую я буду постепенно увеличивать. Старайся читать с выражением и не ошибаться. Как только скорость станет слишком высокой, ты можешь остановить движение текста клавишей «Пробел».

**Инструкция 4.** Сейчас мы проверим, как быстро ты можешь читать про себя текст, «бегущий» по экрану компьютера. Теперь ты сможешь сам регулировать скорость движения текста. Клавиша «+» увеличивает скорость движения текста, а клавиша «-» — уменьшает ее. Постарайся выбрать такую скорость, на которой ты смог бы максимально быстро прочитать инструкцию к интересной компьютерной игре, так чтобы понять и запомнить прочитанное и в то же время как можно быстрее начать играть».

**Инструкция 5.** Сейчас по экрану побегут разные слова. Твоя задача просматривать их, стараясь найти слово «корова», которое написано в тексте несколько раз. Как только увидишь его, нажми клавишу «Пробел». Я буду постепенно увеличивать скорость движения текста, до тех пор, пока ты не начнешь ошибаться. Будь внимателен.

Длительность эксперимента в среднем равнялась 1 часу. В протоколе фиксировались:

- скорость чтения статического текста вслух и про себя (в словах в минуту);
- наличие-отсутствие дефектов речи;
- наличие и тип ошибок чтения статического текста;
- скорость чтения динамического текста вслух (параметр «Код скорости», связанный с количеством предъявляемых знаков в минуту) в навязанном режиме переключения скоростей;
- скорость чтения динамического текста про себя при самостоятельном выборе скорости;
- наличие-отсутствие дефектов речи при чтении динамического текста;
- наличие и тип ошибок чтения динамического текста.

## Результаты

Количественные показатели скорости чтения (поиска) при разных инструкциях и способах предъявления представлены в таблице 1.

По первичным данным был проведен 3-факторный ( $5 \times 2 \times 2$ ) дисперсионный анализ (метод повторных измерений) при помощи статистического пакета SPSS for WINDOWS.

Уровня значимости достигали 2 главных фактора: *Способ чтения* ( $F=45.25$ ;  $P<0.0001$ ) и *Класс* ( $F=84.2$ ;  $P<0.0001$ ). Это означает, что, в целом, испытуемые увеличивали скорость своего чтения с возрастом и вслух читали медленнее, чем про себя.

Кроме того, что более интересно, значимыми оказались следующие взаимодействия факторов: *Способ чтения*  $\times$  *Способ предъявления* ( $F=6.35$ ;  $P<0.05$ ) и *Класс*  $\times$  *Способ чтения* ( $F=4.14$ ;  $P<0.01$ ).

Графически эти взаимодействия выглядят следующим образом (рисунок 1):

Из этих графиков следует, что вслух испытуемые быстрее читали движущийся текст, а про себя — статический текст. Кроме того, второклассники быстрее читали движущийся текст, 11-классники — статический, тогда как учащиеся средних классов читали при двух режимах предъявления примерно с одинаковой скоростью.

Было замечено, что внутри одного возрастного уровня существует весьма значительный разброс в скорости чтения, который особенно был выражен у старших испытуемых. Так, отдельные 11-классники читали статические тексты на 25–30% быстрее, чем в среднем

**Таблица 1**

Скорости чтения испытуемых в зависимости от класса, в котором обучаются испытуемые (слов/мин)

Класс	Режимы предъявления текстов				
	Ст_Вс	Ст_М	Дв_Вс	Дв_М	Дв_По
2	53	62	66	81	100
5	79	117	87	108	135
7	102	137	112	142	154
9	122	164	131	146	168
11	163	240	160	173	188

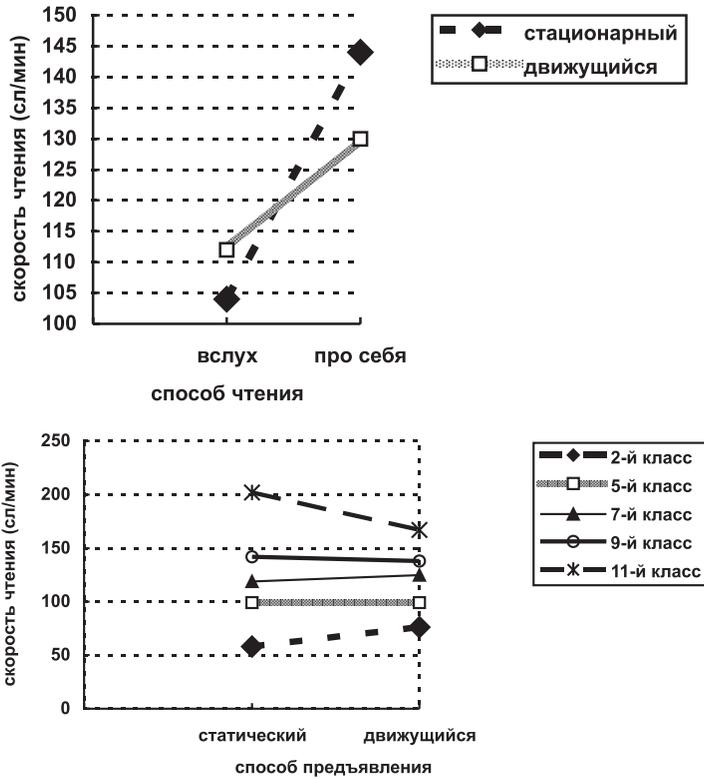


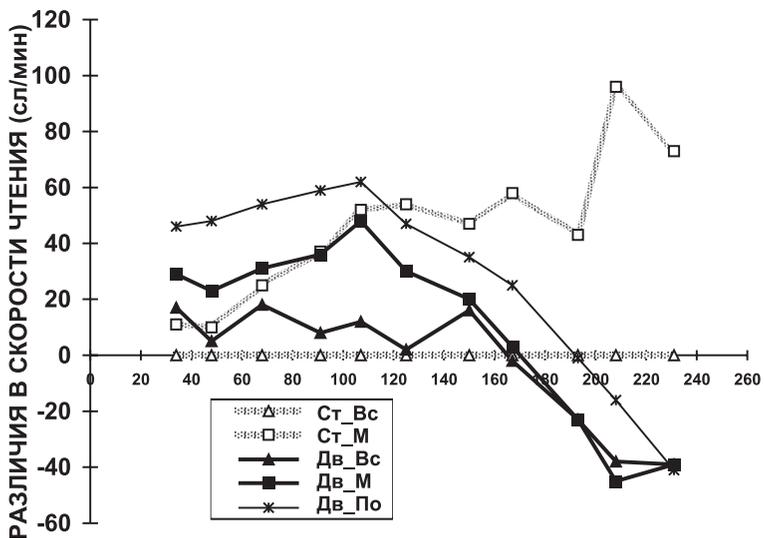
Рис.1. Графическое изображение значимых 2-факторных взаимодействий

по этой возрастной группе. Поэтому провели дополнительный анализ относительных показателей скорости чтения при разных способах чтения и способах предъявления, который использовал упорядочивание испытуемых уже не по возрасту (классу), а по скорости чтения вслух статического текста. Все испытуемые были упорядочены по скорости чтения вслух статического текста, затем разбиты на группы с инкрементом скорости 20 слов/мин (так, первая группа — скорость до 40 слов/мин; вторая — от 40 до 60 слов/мин; и т.д.). Для этих групп и рассчитывались средние значения по скоростям чтения для каждого типа предъявления. Полученные значения представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

Скорости чтения испытуемых в зависимости от их скорости чтения вслух статического текста (слов/мин)

Блоки усреднения (слов/мин)	Режимы предъявления текстов				
	Ст_Вс	Ст_М	Дв_Вс	Дв_М	Дв_По
0–40	34	45	51	63	80
40–60	48	58	53	71	96
60–80	68	93	86	99	122
80–100	91	128	99	127	150
100–120	107	159	119	155	169
120–140	125	179	127	155	172
140–160	150	197	166	170	185
160–180	167	225	165	170	192
180–200	193	234	170	170	192
200–220	208	304	170	163	192
220–240	231	304	192	192	192



**Рис. 2.** Различия в эффективности разных режимов чтения (*ось ординат*) в зависимости от скорости чтения вслух статического текста (*ось абсцисс*)

На рисунке 2 данные таблицы 2 представлены в виде графиков выигрыша и проигрыша при разных режимах чтения относительно скорости чтения вслух статического текста.

На рисунке 2 можно отметить три выраженных эффекта. Один из них повторяет тот, который был показан при использовании номера класса в качестве возрастной шкалы развития навыка чтения, а именно — медленно читающие дети показывали более высокую скорость чтения, когда им предъявляли движущийся текст, по сравнению с чтением статического текста. Другой, новый эффект состоит в том, что быстро читающие испытуемые, чья скорость чтения выше среднего показателя для 11-классников ( $>160$  слов/мин при чтении вслух статического текста), быстрее читали статический, а не движущийся текст. Наконец, сопоставление скорости чтения движущегося текста про себя и скорости поиска, который также не требовал вокализации, показывает, что они различаются примерно на одну и ту же величину (20–25 слов/мин) на всех уровнях развития навыка чтения.

Для полноты картины о возрастной динамике формирования навыка чтения приведем список ошибок произношения, которые были зафиксированы у наших испытуемых при выполнении ими задачи чтения вслух.

Из таблицы 3 видно, что при чтении динамических текстов практически исчезают ошибки 3-го и 5-го типа, значительно снижается количество ошибок 4-го типа и повышается количество ошибок 6-го типа.

## Обсуждение

Оценка развития навыка чтения на протяжении всего школьного возраста показала, что даже несмотря на то, что систематическое обучение и контроль за эффективностью чтения заканчиваются при переходе ребенка из начальной школы в среднюю (5-й класс), скорость чтения продолжает монотонно расти вплоть до возраста 16–17 лет (11-й класс). Таким образом, навык чтения продолжает спонтанно совершенствоваться, поскольку является неотъемлемой частью учебной деятельности, обеспечивая прием и переработку содержащейся в книгах информации. Степень этого совершенства весьма различна: так, у 11-классников разброс показателей скорости чтения составлял 118–231 слов/мин (среднее значение — 163 слов/мин) при чтении статического текста вслух и 177 — 304 слов/мин при чтении статического текста про себя (среднее значение — 240 слов/мин). Логично предположить, что, от-

**Таблица 3**

Наличие фонологических ошибок у испытуемых разных возрастов при чтении вслух

Типы ошибок	Классы	Способ предъявления	
		Стационарный	Движущийся
1. Ошибочное прочтение букв – замены гласных или согласных на легче произносимые или близкие по фонематическим признакам	2, 5	Да	Да
2. Пропуски букв – обычно согласных в сложных для произнесения сочетаниях	2, 5, 7	Да	Да
3. Реверсия слогов в слове	2	Редко	Нет
4. Ошибки предвосхищения – встречая трудно читаемое слово ребенок пытается не столько прочесть его, сколько угадать	2–11	Да	Редко
5. Ошибки, обусловленные неправильным слиянием слов при переносе или трудностями перехода со строки на строку	2, 5	Да	Нет
6. Непонимание смысла прочитанного, обусловленное неправильной интерпретацией грамматической структуры фразы	2, 5	Редко	Да

кликаясь на требования учебной деятельности, на все увеличивающиеся объемы текстов, которые они должны прочитать к определенному времени, учащиеся самостоятельно овладевают разнообразными приемами быстрого чтения, что и обеспечивает им прирост эффективности навыка чтения на протяжении школьных лет. С другой стороны, недостаточная осознанность такого рода задачи и чисто эмпирический подход к ее решению, а также индивидуальные особенности учащихся выражаются в значительной вариативности результата подобного самообучения.

Касаясь отдельных этапов становления навыка чтения и факторов, влияющих на его эффективность, необходимо отметить следующее. Наши результаты подтвердили достаточно общеизвестный факт, что по мере совершенствования навыка скорость чтения вслух постепенно все больше отстает от скорости чтения про себя. Это связано с постепенной редукцией фонологического уровня обработ-

ки и накоплением опыта прямого опознания лексического значения слов (Goswami, Bryant, 1994). Эту тенденцию можно увидеть и в результатах, отраженных в таблице 3, а именно, постепенное снижение числа и диапазона фонологических ошибок с возрастом. Между тем, такого рода ошибки встречаются даже в чтении некоторых старших школьников, что указывает на имеющиеся здесь резервы.

Основной акцент в нашем исследовании был сделан на сравнении эффективности навыка чтения при разных условиях предъявления текстового материала, т.е. чтения статического и движущегося текста. Предполагалось, что 1-мерность движущегося текста (режим «бегущая строка») должна создать более благоприятные условия для чтения на начальном этапе овладения этим навыком. Действительно, мы обнаружили, что хотя главный эффект фактора *Способ предъявления* оказался незначимым (стационарный текст — 124 слов/мин, движущийся текст — 121 слов/мин), этот фактор значимо взаимодействовал как со *Способом чтения*, так и с фактором *Класс*. Это означает, что вслух движущийся текст читался быстрее, чем стационарный (112 слов/мин против 104 слов/мин), а при чтении про себя имела место противоположная тенденция (130 слов/мин против 144 слов/мин). Кроме того, 2-классники быстрее читали движущийся текст (73 слов/мин против 55 слов/мин), а 11-классники — стационарный (202 слов/мин против 166 слов/мин). Эти результаты, рассмотренные вместе с данными об уменьшении некоторых разновидностей фонологических ошибок при чтении движущегося текста, а также установленным нами фактом, что при предъявлении движущегося текста скорость поиска слова превышает скорость чтения на постоянную (около 20 мс) величину на всем возрастном диапазоне, подтверждают нашу рабочую гипотезу, что развитие навыка чтения связано с овладением все более изощренными пространственными стратегиями считывания текстовой информации.

Действительно, начинающие чтецы, которые испытывают трудности со слежением взором по строке и переводе взора на следующую строку, лучше читают текст, предъявленный в виде «бегущей строки», где управление взором происходит на уровне глазодвигательного автоматизма (Belopolsky, 1989; Krischer et al., 1995). Движущийся текст облегчает чтение вслух, поскольку в этом случае управление взором уходит из-под сознательного контроля и на первое место выступает задача правильного перекодирования графем в фонемы. Продвинутое же чтецы, расширившие свое функциональное поле зрения и способные считывать информацию не с одной, а с несколь-

ких строк одновременно, имеют преимущество при чтении статического текста, по сравнению с движущимся (Belopolsky, 1995). Кроме того, при скоростях предъявления свыше 200 слов/мин считывание движущегося текста сталкивается еще и с ограничениями чисто перцептивного характера (Belopolsky, 1989).

## **Заключение**

1. Хотя формальное обучение навыку чтения заканчивается при переходе учащегося в среднюю школу, совершенствование этого навыка продолжается по крайней мере на протяжении всего школьного возраста, что выражается в монотонном повышении скорости чтения и уменьшении числа фонологических ошибок при чтении вслух, а также в увеличении разницы между скоростью чтения про себя и вслух.
2. В навыке чтения существенная роль принадлежит управлению траекторией взгляда относительно пространства текстового поля. Уменьшение нагрузки на этот компонент за счет предъявления текста в виде «бегущей строки» дает начинающим чтецам возможность показать более высокую скорость чтения, по сравнению с чтением обычного 2-мерного текста. Продвинутые же чтецы, наоборот, способны использовать вертикальную размерность текстового поля при чтении про себя статического текста, по сравнению с чтением движущегося текста.

# ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯТЫ ФИКСАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПОДВИЖНОМ ВЗОРЕ

## Введение

Большинство исследований, направленных на изучение мозговых механизмов зрительной переработки с использованием техники регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП), используют одиночное или сериальное тахистоскопическое предъявление в условиях фиксированного взгляда испытуемых (Kutas, Hillard, 1980; McCarthy, Donchin, 1981; Mangun, Hillard, 1991). В данных условиях СПП представляют собой усредненные эпохи ЭЭГ, привязанные по времени к моменту включения целевого стимула. Хотя в такого рода процедурах случайные или произвольные саккады рассматриваются как артефакты (Gratton et al., 1983), для естественного зрительного поведения как раз характерны регулярные, с частотой 3–4 раза в секунду, саккадические движения глаз, сканирующие рассматриваемое изображение или окружающее пространство. Траектория саккад отражает релевантную заданию стратегию зрительной деятельности, а межсаккадические паузы, так называемые фиксации, рассматриваются как временные интервалы, в течении которых происходит сбор информации о новых объектах. Другими словами, саккады можно рассматривать как естественный квантизатор зрительных событий, или фиксаций.

До сих пор главным инструментом исследователей, пытающихся раскрыть механизмы переработки информации, поступающей в процессе последовательных фиксаций, как, например, при чтении или рассматривании картин, являлась регистрация глазодвигательного поведения испытуемых (см., например, Eye movements and visual

cognition..., 1992). Возникает вопрос, а можно ли применить технику ССП к фиксациям, которые располагаются между макродвижениями глаз, т.е. в условиях, не ограничивающих подвижность взора? В этом случае усредняемые эпохи ЭЭГ должны быть привязаны к критическому моменту саккады — ее началу или окончанию, а компоненты соответствующей мозговой активности будут отражать временную динамику переработки информации в процессе последующей фиксации. Редкие предыдущие попытки изучения связанного с саккадами мозгового потенциала (СкСП) ограничивались тестированием эффектов отдельных произвольных саккад или последних в ряду нескольких последовательных саккад (Marton, Szirtes, 1988). Цель настоящей работы состоит в проверке метода СкСП как возможного инструмента для исследования временной динамики переработки зрительной лингвистической информации, опосредованной саккадическими движениями глаз.

Идея метода основана на совместном анализе ЭЭГ и движений глаз (ДГ), зарегистрированных в процессе выполнения испытуемым пространственно организованной текстовой информации. Ниже приводятся результаты пилотного эксперимента, призванного ответить на один фундаментальный вопрос: способны ли СкСП отразить эффект варьируемой в ходе эксперимента процессуальной нагруженности фиксаций?

## Методика

Интегральную для задания фиксационную нагрузку варьировали двумя способами: давали испытуемому разные инструкции (чтение с пониманием, поиск целевого слова или просто удержание взгляда в центре экрана) и меняли скорость предъявления стимуляции в каждом из заданий. Физические параметры стимульного материала сохранялись максимально постоянными при всех заданиях: те же слова из предъявленного для чтения текстового отрывка предъявлялись и в задаче поиска, но уже в случайном порядке, а для задачи удержания взора слова были трансформированы в бессмысленные буквенные последовательности (неслова) путем алгоритма микширования. Предъявление связного текста, отдельных слов и неслов осуществлялось в режиме «бегущей строки», когда бесконечная строка, состоящая из увеличенных по размеру букв, перемещается справа налево через экран компьютера (Belopolsky, Dubrovsky, 1994). Ранее было показано (Belopolsky, 1989; Buettner et al., 1985), что при чтении

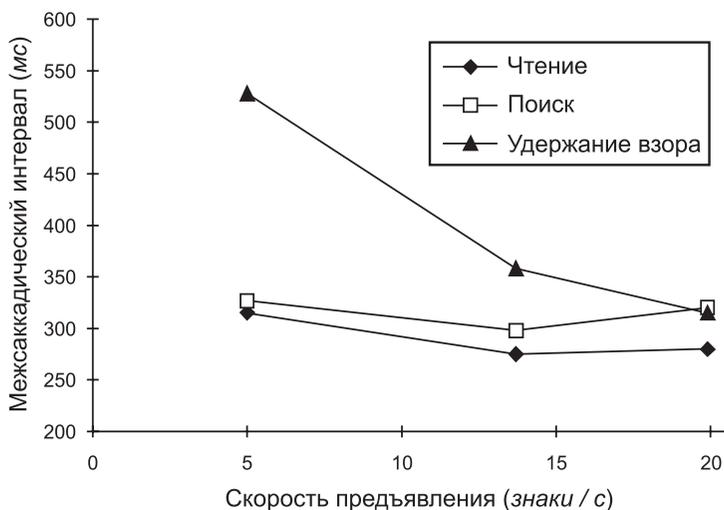
такой бегущей строки глазодвигательная активность представляет собой подобие нистагма, длительность медленной фазы которого (динамическая фиксация) очень близка к типичному времени фиксации при чтении стационарного текста. Предполагалось, что как параметры этого нистагма, так и компоненты СкСП будут меняться в зависимости от степени фиксационной нагрузки. Испытуемый видел на экране одновременно два или три слова (13 буквенных позиций), размер которых составлял  $10.5^\circ$ . В процессе экспериментальных проб регистрировали ЭЭГ с четырех зон поверхности головы ( $F_3, F_4, O_3, O_4$ ), а также использовали метод ЭОГ для записи горизонтальных движений глаз. План эксперимента состоял из 9 (3 задания  $\times$  3 скорости) проб, каждая из которых длилась по 3 минуты. Линейные скорости перемещения бегущей строки составляли 5.0, 13.7 и 19.9 знаков/с, что соответствовало угловым скоростям 4.2, 11.4 и  $16.6^\circ/\text{с}$ .

## Результаты

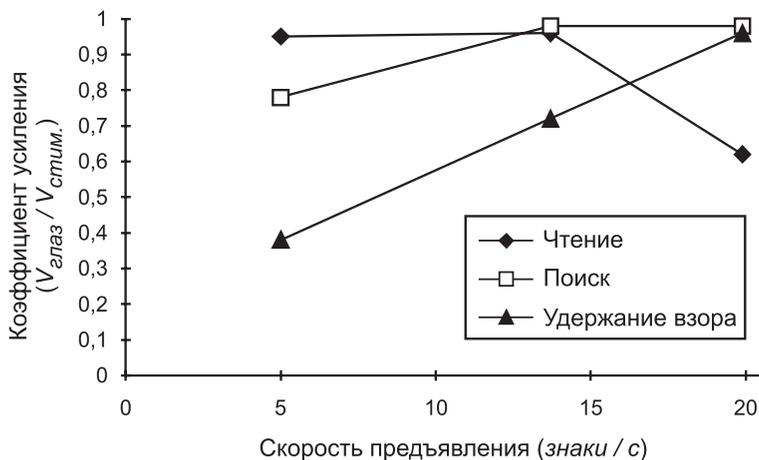
Саккады для усреднения ЭЭГ и ЭОГ не проходили какой-либо предварительной селекции. Анализ данных, полученных на одном испытуемом (О.Л.), основывался на 360 последовательно выделенных саккадах в каждой из 9 экспериментальных проб.

### *Параметры движений глаз*

Предъявление букв в режиме «бегущей строки» вызывало нистагмоидную глазодвигательную реакцию, представляющую собой чередование быстрых (саккады) и медленных (плавное движение в противоположном направлении) фаз. Медленная фаза такого оптокинетического нистагма (ОКН) обычно интерпретируется как динамическая фиксация, тогда как саккада связывается с переводом взора на новую порцию текстовой информации. Средняя длительность саккад составляла 33 мс. В разных пробах амплитуды саккад варьировали от  $0.8^\circ$  до  $4.9^\circ$  и зависели главным образом от скорости предъявления. Рисунок 1 показывает, что на величину межсаккадических интервалов влияют как тип выполняемого испытуемым задания, так и скорость предъявления. Нами использовался также такой показатель, как коэффициент усиления глазодвигательной системы (отношение средней скорости медленной фазы нистагма к скорости предъявления), который продемонстрировал свою чувствительность к уровню



**Рис. 1.** Средние значения межсаккадических интервалов в зависимости от задания и скорости предъявления. Испытуемый О.Л. Данные базируются на 360 последовательных саккадах в каждой пробе



**Рис. 2.** Средние значения коэффициента усиления глазодвигательной системы в зависимости от задания и скорости предъявления. Остальное, как на рисунке 1

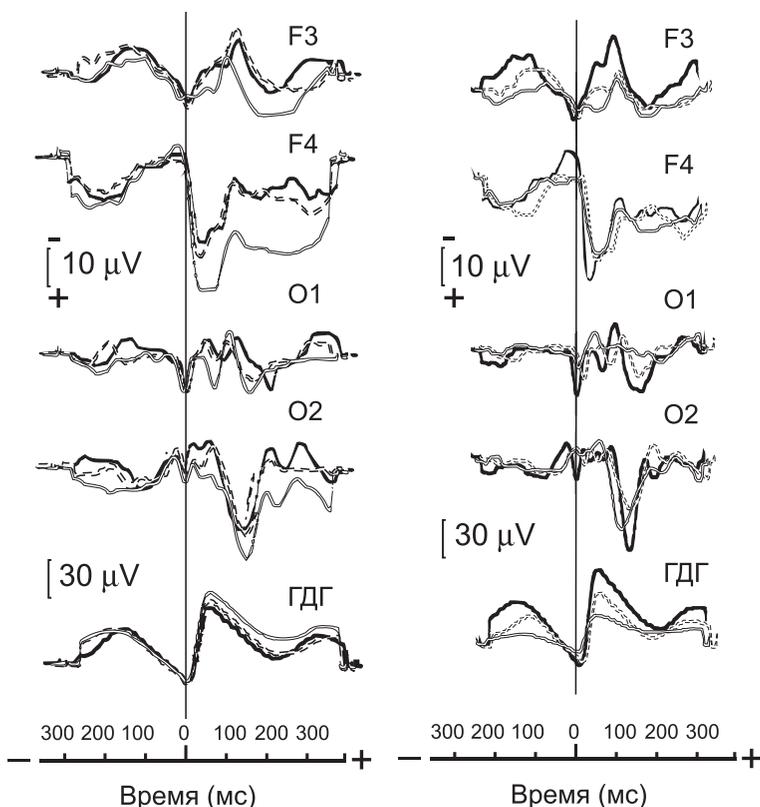
нагруженности внимания в исследованиях по ОКН (Kowler, 1990). Значения коэффициента усиления глазодвигательной системы в разных пробах показано на рисунке 2. На этом рисунке видно, что только в 4 из 9 проб коэффициент усиления был близок к единице — условие, когда изображение стабилизируется на сетчатке глаза. В целом выявлена следующая закономерность: чем больше усилий требовала фиксация, тем выше коэффициент усиления глазодвигательной системы, с одним исключением для чтения на самой высокой скорости, когда этот коэффициент падал до 0.62.

### **Основные характеристики наблюдаемых СкСП**

Принимая во внимание, что минимальная величина среднего межсаккадического интервала, показанная в условиях чтения с максимальной скоростью, составляла  $280 \pm 64$  мс, мы анализировали только низколатентные (до 250 мс) компоненты СкСП. Во всех СкСП выраженный спайковый потенциал был зарегистрирован в окципитальных и фронтальных регистрируемых областях. Спайковый потенциал, зарегистрированный на правой фронтальной области, отличался от других отсутствием типичной двухфазной формы колебаний, большей амплитудой позитивного компонента и латентностью, которая не опережала начало саккады на 20–30 мс, а совпадала с моментом ее начала. Следы премоторной позитивности наблюдались только у левосторонних СкСП. Оба фронтальных СкСП имели главные компоненты N130 и P200, тогда как окципитальные демонстрировали явную асимметрию компонентов. Для отведения  $O_1$  были получены компоненты P100–N130–P180, а для отведения  $O_2$  — компоненты N80–P150–N210–P240.

### **Влияние фиксационной нагрузки на СкСП**

СкСП для разных заданий, усредненные для 3 скоростей предъявления, и те же данные для разных скоростей предъявления, усредненные для 3 заданий, представлены на рисунках 3 и 4. Основные значимые различия между заданиями проявлялись в СкСП (рисунок 3) в форме амплитудных различий между P2 компонентами в задании удержания взгляда в центре экрана и двумя лингвистическими заданиями, которые не требовали произвольного управления взглядом. Этот эффект был показан во всех регистрируемых отведениях. Аналогичные различия между заданиями были отмечены также в усредненных значениях



**Рис. 3.** (Слева) СкСП (четыре верхних записи) и соответствующие усредненные горизонтальные движения глаз (ГДГ), зарегистрированные у испытуемой О.Л. в процессе выполнения ею трех разных заданий. Кривые, относящиеся к задаче чтения с пониманием, обозначены сплошными темными линиями, к задаче поиска целевого слова — пунктирными линиями, а к задаче удержания взора в центре экрана — светлыми линиями. Каждая кривая представляет собой усреднение 450 эпох ЭЭГ и ЭОГ, по 150 для каждой из 3 скоростей предъявления. Калибровка ГДГ: 12 мV = 1 угл. град.

**Рис. 4.** (Справа) Те же данные, что на рисунке 3, но усредненные по заданиям для 3 разных скоростей предъявления: сплошные темные линии — 19.9 знаков/с; пунктирные линии — 13.7 знаков/с; и светлые линии — 5.0 знаков/с

коэффициента усиления и в величине межсаккадических интервалов. Был отмечен сдвиг в латентности компонентов всех левосторонних С<sub>к</sub>СП в процессе чтения, по сравнению с заданиями поиска и удержания взора. При усреднении данных по скоростям предъявления (рисунок 4), выявлено значимое увеличение амплитуды компонентов Р2 в окципитальных зонах и N1 во фронтальных зонах при максимальной скорости предъявления, по сравнению со средней и медленной скоростями. Не установлено различий между компонентами С<sub>к</sub>СП в двух более медленных скоростных режимах, хотя в параметрах усредненной глазодвигательной активности различия между этими режимами было весьма заметными (см. рисунки 1 и 2).

## **Заключение**

Результаты проведенного эксперимента позволяют весьма оптимистично взглянуть на возможности метода С<sub>к</sub>СП для выявления динамики переработки информации в процессе естественного перемещения взора. Показано, что компонент Р2 и коэффициент усиления глазодвигательной системы одинаково чувствительны к когнитивным и сенсорным нагрузкам, из чего можно предположить важную роль пространственного внимания в контроле над фиксациями.

# ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ВЗОРА ПРИ НОРМАЛЬНОЙ И ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ЧТЕНИЯ

## Введение

Различные исследователи (см. обзор в работе: Levy-Schoen, O'Regan, 1981) сходятся в том, что, начиная с возраста около 11 лет, средняя скорость чтения стабилизируется на уровне примерно 250 слов в минуту (слов/мин) и что с этого времени параметры движений глаз в процессе чтения уже не меняются сколько-нибудь кардинально. Поэтому современные модели навыка чтения базируются на параметрах «зрелого» чтения, при котором глаза читаца фиксируют почти каждое значимое слово (средняя длительность фиксации — 230–250 мс) и следуют по тексту строчка за строчкой слева направо. Между тем существует множество экспериментальных данных и повседневных наблюдений, которые свидетельствуют о большой индивидуальной вариативности в скорости чтения у взрослых людей. Некоторые авторы (например, Hochberg, 1976) сообщали о достижении скорости чтения в 500 слов/мин, тогда как другие поднимали потолок скорости чтения до 800 слов/мин и даже более (Кузнецов, Хромов, 1983; Gibson, Levin, 1975). Многие курсы и тренинги по увеличению скорости чтения обещали и продолжают обещать увеличение привычной для человека скорости чтения в несколько раз, хотя объективные подтверждения таких результатов весьма противоречивы. Тем не менее можно считать доказанным, что некоторые люди действительно обладают способностью читать со скоростью 400–500 слов/мин, и этот факт ставит много вопросов для современных моделей чтения.

Прием непрерывной вербальной информации представляет собой процесс, находящийся под контролем правил функционирования языка. Это предполагает, что языковые единицы — звуки или буквы в словах, слова в предложении и предложения в каком-то высказыва-

нии или текстовом параграфе — должны декодироваться одна за другой в фиксированной последовательности. Другими словами, процесс лингвистической обработки имеет линейный характер. Для письменного текста это означает, в частности, что процесс чтения должен обеспечиваться достаточно консервативной пространственно-временной последовательностью движения взгляда относительно графических текстовых элементов. Это интуитивно простое предположение было подкреплено результатами, полученными уже при самых первых попытках зарегистрировать движения глаз в процессе чтения, однако были обнаружены и некоторые неожиданные особенности поведения глаз, например, регулярные регрессивные саккады, направленные к пропущенному или неправильно воспринятому слову.

Основная *цель* настоящего исследования состояла в изучении взаимосвязи между пространственными стратегиями чтения и особенностями размещения текста на странице. Пространственная организация печатного текста накладывает определенные ограничения на эффективность процесса чтения (см. Tinker, 1965). В первую очередь это касается механизмов управления взглядом и/или изменений в объеме одномоментно воспринимаемой информации. Вторичное влияние формата текстового поля проявляется в пространственных стратегиях осмысленной переработки текстовой информации.

Интерпретация последовательности остановок взгляда на текстовом пространстве тесно связана с объемом информации, обрабатываемым за одну фиксацию, который обычно обозначают как «объем восприятия», или «функциональное поле зрения» (ФПЗ). Среди других типографических переменных, пространственная формация текста оказывает, пожалуй, наиболее существенное влияние на динамику ФПЗ в процессе чтения — на его размер, асимметрию вокруг так называемой «точки фиксации» и на переход с одной строки на другую (Tinker, 1965; McConkie, 1983; Rayner, Pollatsek, 1989). Многие исследователи едины в том, что скорость чтения позитивно коррелирует с размером ФПЗ; гораздо меньше известно о том, как ФПЗ обеспечивает преемственность процесса чтения на обоих концах текстовой строки. В данной работе нас, в частности, интересовал вопрос, какова связь ширины строки текста (выраженной в количестве знакомест) с динамикой ФПЗ и эффективностью чтения. Еще одна задача состояла в том, чтобы определить, может ли тренировка навыка чтения, приводящая к увеличению его скорости, видоизменить устойчивые пространственные стратегии чтения, характерные для людей, читающих со средней скоростью.

Чтобы ответить на эти вопросы мы провели эксперимент, в котором пять групп взрослых испытуемых читала тексты с разной шириной строки до и после прохождения 8-недельного коммерческого курса обучения быстрому чтению. Второй эксперимент был посвящен более детальному анализу стратегий чтения посредством регистрации движений глаз у быстро читающих людей при разных пространственных форматах текстового поля.

## **ЭКСПЕРИМЕНТ 1**

М. Тинкер (Tinker, 1965), а позднее Р. Моррисон (Morrison, 1982, 1983) и Дж. Гоулд и Н. Гричковский (Gould, Grischkowsky, 1986) отмечали, что на скорость чтения влияет не просто физический размер шрифта или ширина строки, измеренные, соответственно, в пунктах и цитеро, но прежде всего такой параметр, как число букв (точнее — знакомест: букв с пробелами) в строке. Результаты Д. Патерсона и М. Тинкера (Paterson, Tinker, 1940, 1942; цит. по Tinker, 1965) показали, что тексты, набранные шрифтом размером 6–12 пунктов с межстрочным интервалом 2 пункта, читались с равной эффективностью, когда ширина строки варьировала от 25–32 до 85–110 знаков на строку. При более коротких и более длинных строках скорость чтения замедлялась. Они пришли к следующему заключению: «При чтении текстов с очень короткими строками испытуемые были неспособны извлечь максимальную пользу из своего периферического чтения... При чтении же очень длинных строк, главная трудность состояла в точной локализации начала следующей строки после обратного перемещения взора с конца уже прочитанной строки» (Tinker, 1965, p.142–143). Увеличение же межстрочного интервала выше 2 пунктов не влияло на скорость чтения.

Отталкиваясь от этого результата, мы поставили задачу установить взаимосвязь между скоростью чтения и шириной строки у одних и тех же взрослых испытуемых при двух уровнях развития навыка чтения: когда они читали в своем обычном (среднем) или ускоренном (за счет специального обучения) темпе. Если эффект обучения выражается только в увеличении размера ФПЗ, без изменения линейной, слово-за-словом и строчка-за-строчкой, стратегии считывания, то можно ожидать весьма существенных изменений в скорости чтения на ранее оптимальном диапазоне ширины строки. Более конкретно, можно ожидать, что увеличение ФПЗ приведет к общему сжатию этого оптимального диапазона за счет повышения его нижних границ. Кроме того, существует предположение, что в процессе обучения быстро-

му чтению формируется новая пространственная стратегия чтения, в большей степени, чем просто перевод взора со строчки на строчку, использующая вертикальную размерность текстового поля. Для проверки этого предположения мы использовали тексты с разными межстрочными интервалами, превышающими пороговые 2 пункта.

## **Методика**

### ***Испытуемые***

В экспериментах приняло участие 220 человек в возрасте от 17 до 42 лет, прошедших обучение в Школе рационального чтения (г. Москва, руководитель — М.А. Зиганов). Все они имели среднее или высшее образование. Было отобрано 5 учебных групп, каждая из которых тестировалась на 1-м и последнем (8-м) занятии, отделенных интервалом примерно 2 месяца. В силу ряда причин, часть испытуемых тестировалась только 1 раз.

### ***Материал***

Для оценки скорости чтения были отобраны 2 текста научно-популярного содержания. Каждый из них представлял собой законченный очерк о поведении аквариумных рыб. Объем первого текста — 1193 слова, второго — 990 слов. Тексты имели одинаковую среднюю длину слова в буквах и среднее число слогов в слове (соответственно, 6.00 и 2.43 для 1-го и 6.02 и 2.32 для 2-го текста). Эти параметры позволяют отнести их к категории повышенной сложности. Размер шрифта сохраняли постоянным — 10 пунктов (1 пункт = 1/72 дюйма) по высоте и 3/5 пики (1 пика = 1/6 дюйма) по ширине. Каждый из текстов был распечатан в 5 разных форматах — 4 имели длину строки 20, 40, 80 и 120 знакомест и межстрочный интервал 2 пункта, а 5-й формат имел длину строки 80 знакомест и межстрочный интервал 3 пункта.

### ***План и процедура эксперимента***

Формат текста (длина строки / межстрочный интервал) являлся межгрупповой переменной, т.е. каждая из групп получала при повторном тестировании тексты того же формата, что и в первый раз (соответственно, 20, 40, 80 или 120 знакомест в строке с межстрочным интервалом 2 пункта и 80 знакомест в строке с межстрочным интервалом 3 пункта).

**Таблица 1**  
Распределение испытуемых по группам

№ группы	Кол-во при 1-м тестировании	Кол-во при 2-м тестировании	Кол-во при 1-м и 2-м тестировании	Формат текста (знаки в строке/интервал)
1	44	22	16	20/2
2	34	22	18	40/2
3	42	18	11	80/2
4	47	19	16	120/2
5	24	17	8	80/3

Распределение испытуемых по группам приведено в таблице 1. Эффект обучения рассматривался как внутригрупповая и как внутрииндивидуальная переменная. В последнем случае в расчет принимались результаты только тех испытуемых, которые участвовали в обоих тестированиях. При этом данные трех испытуемых, не показавших улучшения скорости чтения после обучения, были исключены из анализа.

Эксперимент проводили в каждой группе отдельно. Испытуемым раздавали буклеты с текстом, которые нужно было начать читать по общей команде. Перед испытуемыми висело большое табло с таймером. По окончании чтения требовалось записать показания табло. Инструкция подчеркивала необходимость чтения с максимальной скоростью, при которой сохраняется средний уровень понимания. Указывалось, что после чтения им будут заданы вопросы по содержанию прочитанного.

Для обоих текстов тест на понимание состоял из 11 вопросов. По каждому вопросу нужно было выбрать один из 3–4 альтернативных ответов. Вопросы касались общей тематики текста, концептуальных и фактических данных, а также конкретных терминов и слов. При оценке коэффициента понимания все ответы учитывались с равными весами.

### **Обработка результатов**

Для каждого текста вычисляли следующие индивидуальные показатели качества чтения: линейная скорость чтения ( $V_{лин}$ , в словах/мин), коэффициент понимания ( $K$ , в процентах правильных ответов) и ин-

тегральный показатель эффективности чтения ( $V_{ин} = V_{лин} \times K/100$ ). Они служили исходным материалом для 2-факторного дисперсионного анализа: *Длина строки* (4)  $\times$  *Обученность* (2) и внутрииндивидуального корреляционного анализа.

## Результаты

В таблице 2 приведены средние групповые значения линейной скорости и коэффициента усвоения для обоих тестов. Если сравнивать всех участников эксперимента, то перед началом обучения их средняя скорость чтения составляла 195 слов/мин, а в конце обучения — 309 слов/мин. Эти величины значимо различаются ( $p < 0.01$ ), тогда как соответствующие им коэффициенты усвоения остались без изменений (68% против 65%). Для участников обоих тестов установлен идентичный паттерн результатов ( $V_{лин}$ : 196 против 325 слов/мин,  $p < 0.01$ ; K: 66% против 66%). Ни одно из сравнений средних величин  $V_{лин}$ ,  $V_{ин}$  и K между группой в целом и участниками обоих тестов не опровергло гипотезы о равенстве средних.

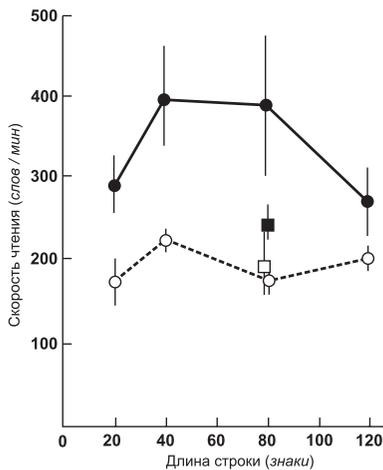
**Таблица 2**

Средние по группам результаты: скорость чтения и коэффициент усвоения прочитанного

№ группы	№ теста	Скорость чтения слов/мин		Коэффициент усвоения %	
		в целом	для участников обоих тестов	в целом	для участников обоих тестов
1	1	181	174	69	72
	2	277	292	64	63
2	1	222	225	64	63
	2	373	398	66	64
3	1	194	175	73	69
	2	357	391	66	68
4	1	203	200	60	59
	2	299	272	64	65
5	1	172	194	66	69
	2	230	246	67	70

Дисперсионному анализу (ANOVA) были подвергнуты показатели качества чтения четырех групп, которые читали тексты в форматах, отличающихся только длиной строки. Факторами были длина строки (20, 40, 80 или 120 знакомест) и сформированность навыка чтения (до и после обучения).

Для  $V_{лин}$  установлены главные эффекты *Размера строки* ( $F=6.195$ ;  $p<0.001$ ) и *Обученности* ( $F=74,75$ ;  $p<0.0001$ ). Взаимодействие факторов *Размер строки*  $\times$  *Обученность* тоже было значимым ( $F=3.515$ ;  $p<0.05$ ). Парные сравнения выявили отсутствие различий между всеми группами при первом тестировании, тогда как после обучения  $V_{лин}$  при длине строки 40 и 80 знакомест (соответственно, 398 и 391 слов/мин) значительно превосходила  $V_{лин}$  при длине строки 20 и 120 знакомест (соответственно, 292 и 272 слов/мин).



**Рис. 1.** График зависимости между линейной скоростью чтения и длиной строки текста. Отображены средние результаты для 5 групп испытуемых, читавших тексты одинакового формата до и после конце обучения быстрому чтению: *открытые символы* — результаты теста 1; *заполненные символы* — результаты теста 2; *точечной и сплошной линиями* связаны, соответственно, результаты 1-го и 2-го тестов при фиксированном (2 пункта) интервале между строками; *квадратами* показаны результаты испытуемых группы 5, читавших тексты с длиной строки 80 знакомест и межстрочным интервалом 3 пункта. *Вертикальные линии* — величина стандартного отклонения

Для коэффициента понимания текста ( $K$ ) дисперсионный анализ не выявил влияния на него отдельно факторов размера строки и обучения, а также их взаимодействия. В то же время интегральный показатель эффективности чтения ( $V_{ин}$ ) испытывал влияния, идентичные тем, которые были показаны для  $V_{лин}$ . Рисунок 1 показывает групповую динамику скорости чтения ( $V_{лин}$ ) до и после обучения.

При сравнении результатов двух групп, читавших тексты шириной 80 знакомест и межстрочным интервалом 2 и 3 пункта, не было выявлено значимых различий между всеми параметрами качества чтения при тестировании их до начала обучения. После же обучения испытуемые, читавшие тексты с более плотным расположением строк, показали более высокую линейную скорость чтения, чем те, которые читали тексты с широко расставленными строками (391 против 246 слов/мин;  $t=2.20$ ,  $p<0.05$ ). Коэффициенты понимания текста оставались в этих группах на стабильном уровне до и после обучения и не отличались друг от друга (см. таблицу 2). Различия для интег-

**Таблица 3**

Матрица индивидуальных корреляций (по Пирсону) для параметров чтения текста до и после обучения (группы 1–4: 61 чел.)

	$V_{лин1}$	$V_{ин1}$	$K_1$	$V_{лин2}$	$V_{ин2}$	$K_2$
$V_{лин1}$	1.0000	.5606	.0478	0.2832	0.2283	- 0.0275
	0.000	0.000	0.715	0.027	0.077	0.834
$V_{ин1}$		1.0000	0.7895	0.4218	0.3697	0.0757
		0.000	0.000	0.001	0.003	0.562
$K_1$			1.0000	0.2759	0.2583	0.1246
			0.000	0.031	0.044	0.339
$V_{лин2}$				1.0000	.8716	.0421
				0.000	0.000	0.747
$V_{ин2}$					1.0000	0.4865
					0.000	0.000
$K_2$						1.0000
						0.000

Примечание. Верхнее число – коэффициент корреляции ( $r_{xy}$ ), нижнее – уровень значимости ( $p$ ).

рального показателя скорости чтения находились на граничном уровне значимости ( $t=1.90$ ;  $p=0.07$ ).

Интраиндивидуальные линейные корреляции (по Пирсону) между показателями чтения вне зависимости от уровня обученности испытуемых оказались значимыми для  $V_{лин}$  и  $V_{ин}$  ( $r = 0.86$ ;  $p<0,0001$ ) и для  $K$  и  $V_{ин}$  ( $r=0.41$ ;  $p<0.0001$ ). Между  $V_{лин}$  и  $K$  корреляция отсутствовала.

Интраиндивидуальные корреляции были подсчитаны также для всех показателей качества чтения при первом и втором тестировании. Корреляционная матрица представлена в таблице 3. Слабая, но значимая корреляция установлена между  $V_{лин}$  до и после обучения ( $V_{лин1}$  и  $V_{лин2}$ ). Высокая корреляция существует между линейной и интегральной скоростью при чтении каждого текста ( $V_{лин1}$  и  $V_{ин1}$ ;  $V_{лин2}$  и  $V_{ин2}$ ). После обучения  $V_{ин}$  положительно коррелирует и с соответствующим коэффициентом усвоения ( $V_{ин1}$  и  $K_1$ ,  $V_{ин2}$  и  $K_2$ ). Уровень усвоения, показанный до начала обучения ( $K_1$ ), положительно связан с линейной и интегральной скоростью чтения после обучения.

## Обсуждение

Итак, нами были получены данные о скорости чтения и уровне понимания прочитанного у одних и тех же людей, которые относятся к моменту начала обучения быстрому рациональному чтению и через 2 месяца, когда они заканчивали курс обучения. Средняя скорость чтения за время обучения возросла у них примерно в 1.6 раза. Эта цифра не должна вводить в заблуждение и не дает повода для выводов о недостаточной эффективности курса. Во-первых, она получена для чтения довольно сложных текстов по малознакомой тематике и в условиях тестирования уровня понимания. Во-вторых, контингент испытуемых не был однородным по возрасту и образовательному уровню. Хотя все они (за исключением 3 человек) улучшили индивидуальную скорость чтения, разброс индивидуальных результатов был достаточно широк — от нескольких процентов до 4-кратного увеличения скорости. Однако главная особенность полученных количественных данных связана с использованием разных форматов текста, не все из которых являются оптимальными с точки зрения читаемости. Так, если обратиться к средним по группе данным, то наибольший прогресс достигнут при чтении текста шириной 80 знаков и межстрочным интервалом 2 пункта (в среднем в 2.2 раза), а наименьший — при чтении текста той же ширины с межстрочным интервалом 3 пункта (в среднем в 1.3 раза).

Главный из полученных нами результатов состоит в том, что совершенствование навыка чтения, заключающееся в ускорении чтения без потери в уровне усвоения прочитанного, сужает диапазон инвариантных изменений текста, не влияющих на его читаемость. Если до обучения мы не обнаружили различий между группами испытуемых, читающих один и тот же текст в разных форматах, то после обучения текст с длиной строки 40 или 80 знакомест читался быстрее, чем тот же текст с длиной строки 20 и 120 знакомест.

Другой важный факт служит дополнительным подтверждением этого вывода. При чтении текста с оптимальной шириной строки (80 знакомест) увеличение межстрочного интервала с 2 до 3 пунктов вызвало значительно меньший (статистически незначимый) прирост скорости чтения после прохождения курса обучения. Взятые вместе, эти результаты свидетельствуют о том, что существенными условиями убыстрения процесса чтения являются более высокие требования к пространственному расположению текста.

Полученные результаты не вполне соответствуют тому механизму чтения строк разной ширины, который предложил М. Тинкер. Только быстро читающие испытуемые продемонстрировали чувствительность к длине строки, сходную той, о которой писал М. Тинкер. До начала обучения скорость чтения не зависела от ширины строки, хотя отмечена статистически незначимая тенденция читать быстрее тексты шириной 40 знакомест (см. рисунок 1). Напомним, что М. Тинкер объяснял полученную им функциональную зависимость скорости чтения от ширины строки действием двух факторов сложности — фактора начала и фактора конца строки. Обозначим их как  $W_1$  и  $W_2$ .

Первая фиксация на строке обычно имеет увеличенную длительность, после чего следует саккада с укороченной амплитудой (Just, Carpenter, 1980; O'Regan, Levy-Schoen, 1978). С точки зрения современных представлений о динамике ФПЗ при чтении сложность обработки начала строки можно связать с переходом от движения взгляда справа налево к режиму сканирования слева направо и установлением соответствующей асимметрии функционального поля зрения относительно точки фиксации (Rayner et al., 1980). Разумно предположить, что вес этого фактора не зависит от длины строки, т.е.  $W_1 = const$ .

Второй фактор описывает временные затраты на перевод взгляда со строки на строку. Известны следующие закономерности этого процесса. В конце строки часто возникает дополнительная фиксация, которая требуется для подготовки возвратной саккады.

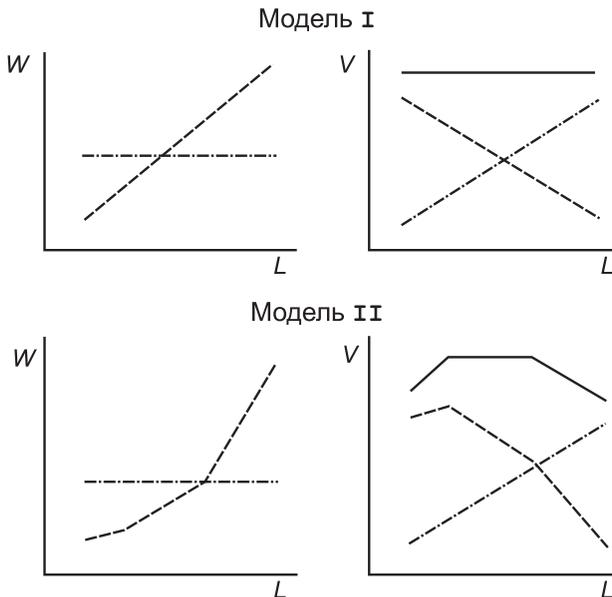
Сама возвратная саккада не всегда оканчивается на начале следующей строки; часты «недолеты», после которых следует коррекционная саккада. Следовательно, можно предположить положительную зависимость между временными затратами на перевод взора со строки на строку и длиной строки, хотя строгие данные о характере этой зависимости отсутствуют. Таким образом,  $W_2 = f(L)$ .

Очевидно, что скорость чтения будет возрастать пропорционально увеличению ширины строки и обратно пропорционально весу каждого фактора. Эта зависимость имеет вид:

$$V = k_1 (L/W_1) + k_2 (L/W_2),$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты пропорциональности.

На рисунке 2 изображены две модели, показывающие гипотетический вклад каждого из этих факторов в скорость чтения.



**Рис.2.** Графическое изображение 2 моделей читаемости текста *слева* — зависимость весового значения (W) каждого фактора от длины строки (L); *справа* — влияние каждого фактора и их суммарный эффект на скорость чтения: *точечная линия* — фактор начала строки W1; *штриховая линия* — фактор конца строки W2; *сплошная линия* — суммарный эффект факторов W1 и W2. Дополнительные объяснения смотри в тексте

Обе они построены на допущении, что фактор начала строки не зависит от ее длины, а фактор конца строки связан с длиной строки положительной зависимостью (левая часть рисунка). Для модели I (вверху)  $W_2$  линейно возрастает с величиной  $L$ ; она предсказывает отсутствие изменений скорости чтения при увеличении длины строки (полученные нами результаты для испытуемых в начале обучения); Модель II показывает, как должен меняться вклад фактора конца строки чтобы скорость чтения была связана с длиной строки обратной U-образной зависимостью (данные М. Тинкера и наши результаты в конце обучения).

Однако тот факт, что увеличение межстрочного интервала в 1.5 раза почти нивелирует эффект обучения даже при оптимальной длине строки (80 знакомест), указывает на возможный вклад и других пространственных факторов, определяющих скорость чтения. Действительно, расширяя интервал между строками, мы облегчаем процесс перевода взора со строки на строку, т.е. уменьшаем вес фактора конца строки.

Почему же это служит помехой быстрому чтению? Ответ на этот вопрос не прост даже в гипотетическом плане. На наш взгляд, он требует дополнительного изучения динамики ФПЗ и движений глаз в процессе чтения текстов, варьирующих по своему пространственному расположению. Решению этой задачи был посвящен эксперимент 2.

## ЭКСПЕРИМЕНТ 2

Если говорить об обычной пространственной стратегии чтения, то имеются два параметра глазодвигательной активности, которые отвечают за скорость чтения. Первый параметр — это среднее время фиксации, а второй — плотность фиксаций на строке. Маловероятно, что какой-то выигрыш в скорости чтения может быть получен за счет уменьшения среднего времени фиксаций. Имеющиеся данные по разным возрастам показывают, что длительность фиксаций при чтении укорачивается только до возраста 11 лет (для обзора см. Levy-Schoen, O'Regan, 1979), после чего их модальное значение достигает величины 230–250 мс, которая сопоставима с латентностью самых быстрых произвольных саккад. Действительно, те немногие сообщения, в которых содержится информация о параметрах глазодвигательной активности быстро читающих людей, в какой-то степени поддерживают данное предположение: в них упоминаются величины фиксаций от 240 до 320 мс, но никогда — меньшие значения (McLaugh-

lin, 1969; Stoll, 1974; Thomas, 1962). Более согласованные данные приводятся относительно распределения фиксаций на строке; число фиксаций и, соответственно, амплитуда саккад тесно коррелируют со скоростью чтения (Levy-Schoen, O'Regan, 1979).

Большинство тренировочных программ по увеличению скорости чтения используют методы, направленные на добавление вертикального компонента к обычной стратегии считывания текстовой информации. Могут ли на самом деле быстрочитающие люди сканировать текст каким-то необычным способом в процессе чтения? Если да, то насколько полным будет их понимание прочитанного и насколько чувствительны они будут к типографическим, грамматическим и другим текстовым переменным? В литературе мы смогли найти лишь несколько упоминаний о необычных паттернах движений глаз при ускоренном чтении (McLaughlin, 1969; Thomas, 1962). Хотя эти наблюдения были сделаны с использованием весьма несовершенной аппаратуры для регистрации движений глаз и в отсутствие контроля для понимания содержания прочитанного текста, в целом они подтверждают возможность ломки стереотипной пространственной стратегии чтения. В эксперименте Столла (Stoll, 1974) не велась запись вертикальных движений глаз, но был получен важный результат, что уровень понимания оставался стабильным после обучения быстрому чтению. Эксперимент 2 был проведен для того, чтобы получить больше достоверных данных о параметрах движений глаз и пространственных стратегиях взора при быстром чтении.

## **Метод**

### ***Испытуемые***

Среди участников эксперимента 1 было отобрано два испытуемых (А.У. и М.Р.), которые выиграли соревнование по быстрому чтению, проводившееся Школой рационального чтения среди своих выпускников. При чтении достаточно длинных, но не очень трудных текстов в комфортных для них условиях лучшие результаты А.У. были порядка 1000 слов/мин, а у М.Р. — 800 слов/мин. Еще одного испытуемого (С.И.), не проходившего обучение быстрому чтению и имевшего скорость чтения порядка 250 слов/мин, использовали в качестве контрольного, среднего читателя.

## **Аппаратура и текстовый материал**

Горизонтальные и вертикальные движения глаз испытуемых регистрировали методом склерального алюминиевого кольца в электромагнитном поле (Кришюнас, Лауритис, 1977). Используемый в эксперименте аппарат обеспечивал двумерную регистрацию движений глаз в диапазоне  $\pm 15^\circ$  по горизонтали и  $\pm 10^\circ$  по вертикали с точностью 2–3%.

Горизонтальные и вертикальные компоненты движений глаз в процессе чтения записывались на многоканальный аналоговый регистратор данных. Последующий анализ движений глаз включал визуализацию их траектории на ленточном самописце и графопостроителе, а также их оцифровку для компьютерной обработки.

Используемые в качестве стимульного материала тексты (всего — 16) имели длину от 150 до 456 слов и были напечатаны на одном листе бумаги в одну или две колонки. Ширина строки варьировала от 20 до 120 знакомест на строку; число строк на странице — от 15 до 100; размер шрифта — от 8 до 12 пунктов. Как и ранее, основной независимой переменной была ширина строки; остальные типографические переменные привлекались для оценки гибкости стратегий, используемых быстрыми чтецами.

## **Процедура**

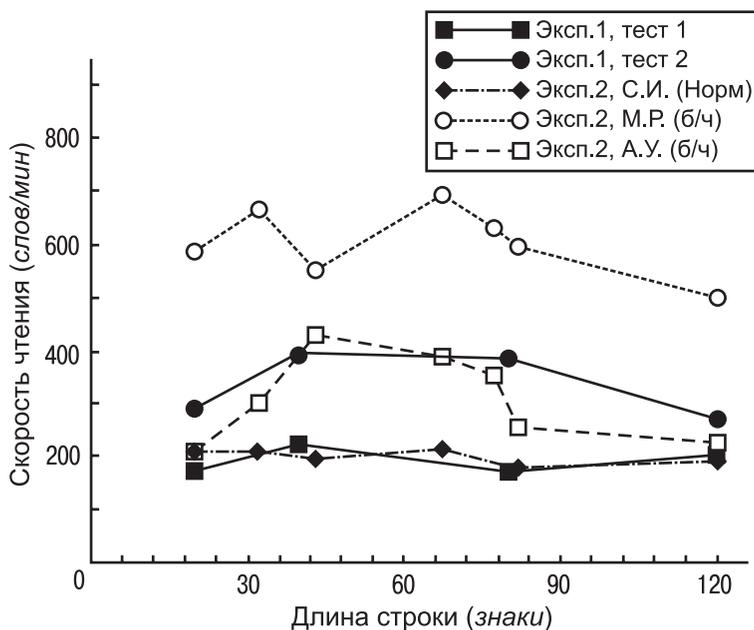
Лист бумаги с текстом крепился на специальный держатель и был удален от глаз испытуемого на 42 см. Голова испытуемого крепилась в подбороднике и фиксировалась боковыми зажимами, что обеспечивало ее неподвижность в процессе чтения. Перед и после каждого предъявления текста проводили калибровку регистрирующей аппаратуры. Следует признать, что тестовые условия не были достаточно комфортными и привычными для участвующих в эксперименте чтецов; именно поэтому мы ожидали некоторого уменьшения их привычной скорости чтения.

Испытуемых тестировали индивидуально в течении трех сеансов, первый из которых носил ознакомительный характер. В процессе оставшихся сеансов порядок предъявления текстов сохранялся постоянным и был сбалансирован относительно типографических переменных. Испытуемые получали инструкцию читать тексты «как можно быстрее и с полным пониманием», чтобы быть готовым ответить на вопросы по поводу их содержания.

## Результаты и обсуждение

После каждого сеанса была проведена выборочная оценка уровня понимания прочитанных текстов, которая показала, что все наши испытуемые читали на своем привычном уровне 60–70%. Таким образом, мы можем принять, что в эксперименте 2, где велась регистрация движений глаз, они читали без снижения своего обычного уровня понимания (см. результаты эксперимента 1).

Теперь коснемся общих параметров эффективности их чтения. Два наших быстрочитающих испытуемых показали разную среднюю скорость чтения, усредненную по всему набору текстов: А.У. —  $308 \pm 88$  слов/мин; М.Р. —  $613 \pm 162$  слов/мин; контрольный испытуемый читал со средней скоростью  $204 \pm 23$  слов/мин. Когда мы построили график зависимости полученной скорости чтения как функции ширины строки (см. рисунок 3), то увидели определенное



**Рис. 3.** График зависимости между линейной скоростью чтения и длиной строки текста. Сравнение данных эксперимента 1 (группы 1–4, участники обоих тестов) и эксперимента 2 (один средне читающий и два быстро читающих испытуемых)

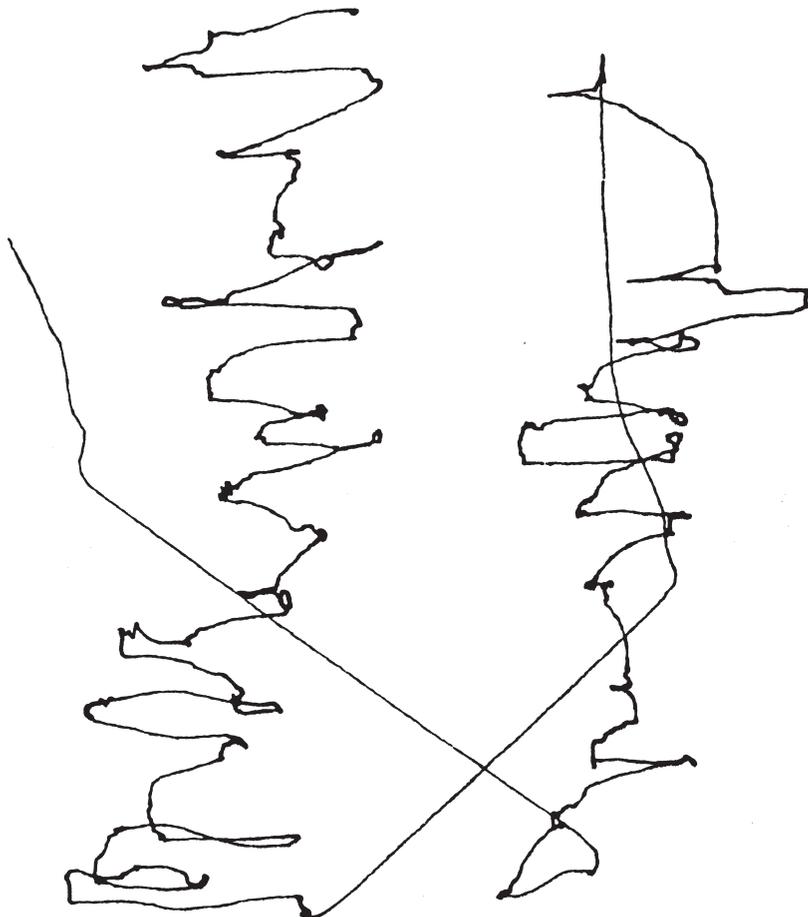
сходство с результатами, полученными в эксперименте 1: формат текста не влиял на скорость чтения контрольного испытуемого, но сказывался на скорости чтения умеренно быстрого чтеца (А.У.). Не отмечено какого-либо однозначного влияния ширины строки на скорость чтения наиболее быстрого чтеца (М.Р.).

Дальнейший анализ был направлен на выявление возможных глазодвигательных показателей, коррелирующих с высокой скоростью чтения. Во-первых, интерес представляют сами оригинальные двумерные записи движений глаз в процессе быстрого чтения коротких рассказов. Рисунок 4 (а–г) показывает примеры траекторий движений глаз испытуемых М.Р. и А.У. при чтении текстов, имеющих разное пространственное расположение на странице.

Один из вопросов, которые обычно задаются в связи с быстрым чтением, касается «нормальности» такого вида чтения. Действительно ли люди, которые читают со скоростью значительно выше средней, просматривают все текстовое поле в режиме слово-за-словом и строчка-за-строчкой, или же они используют менее упорядоченную стратегию с пропуском отдельных текстовых фрагментов? Полученные нами записи движений глаз содержат указания на то, что при быстром чтении просматривается все текстовое поле, хотя и в более гибкой манере, чем при обычной скорости чтения. Во-первых, как уже говорилось выше, быстрые чтецы довольно хорошо «схватывают» содержание прочтенных текстов. Во-вторых, они проявляют повышенную чувствительность к особым образом выделенным или специфически оформленным текстовым фрагментам. Например, и А.У., и М.Р. читали начальные фрагменты текста более внимательно, чем остальные, что означает, что им нужно было получить первое впечатление о содержании текста прежде, чем перейти к использованию более изощренных стратегий. Далее, когда они сталкивались с лексическими, грамматическими или понятийными трудностями, они фокусировались на этих местах чаще, чем на более прогнозируемых и очевидных фрагментах. Ключевые слова, такие как имена, заголовки, даты и т.п., привлекали больше внимания, чем менее информативные слова. В-третьих, что наиболее удивительно, быстрые чтецы совершали даже больше регрессивных движений глаз, чем испытуемый с «нормальной» скоростью чтения.

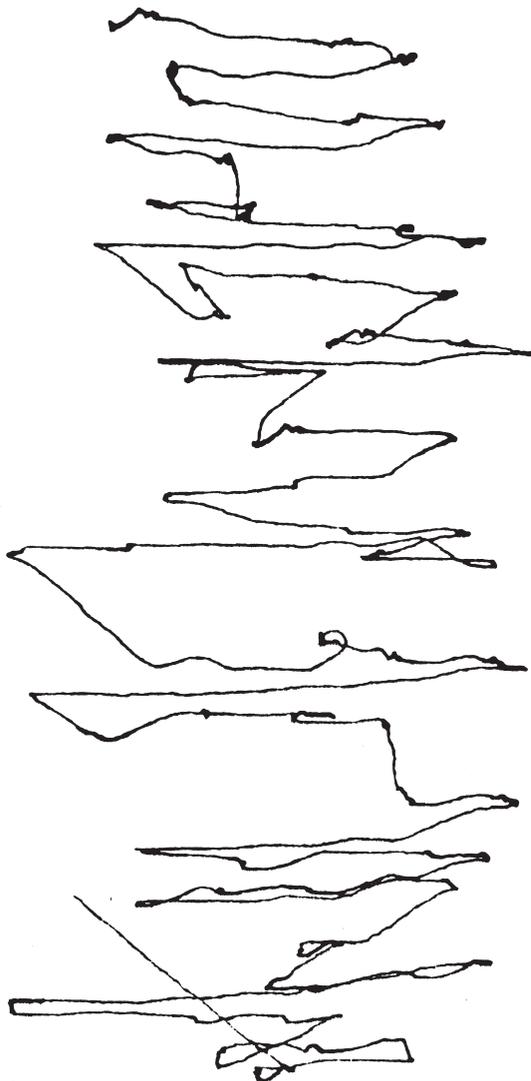
Последний момент заслуживает дополнительных комментариев. Мы столкнулись с определенной трудностью в применении общепринятого разделения движений глаз, зарегистрированных в процессе чтения на прогрессивные (вперед по строке), регрессивные (назад

*а* Исп. М.Р. *Ширина строки* – 20 знаков; *Строк* – 74 (37 x 2);  
*Предложений* – 8; *Слов* – 174; *Скорость чтения* – 587 слов/мин;  
*Длительность фиксации* –  $291 \pm 91$  мс.

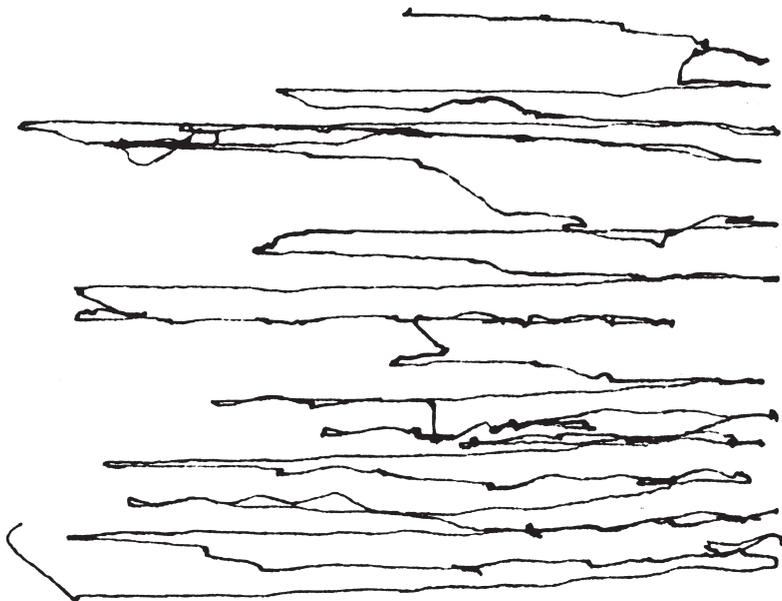


**Рис. 4 а–г.** Примеры двумерных траектории движений глаз при чтении страницы теста быстрыми чтецами. Более жирные фрагменты линий показывают моменты межсаккадических пауз («фиксации»). Можно заметить, что между саккадами глаза быстрых чтецов часто медленно дрейфуют. Амплитуды такого дрейфа достигают нескольких угловых градусов, а направление может меняться вплоть до противоположного

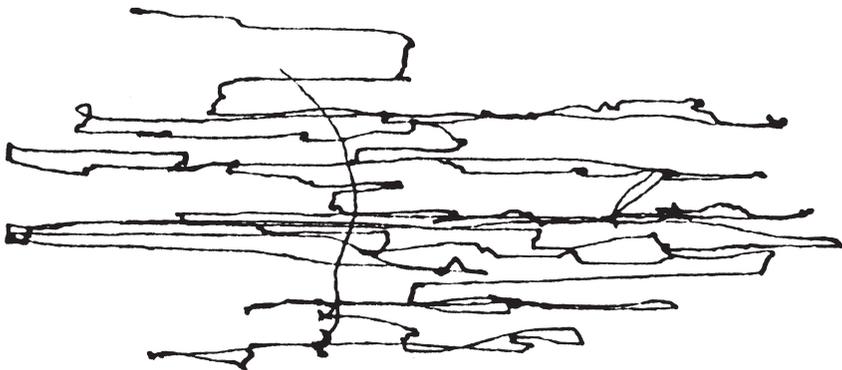
б Исп. А.У. *Ширина строки* — 43 знака; *Строк* — 39;  
*Предложений* — 10; *Слов* — 208; *Скорость чтения* — 430 слов/мин;  
*Длительность фиксации* —  $415 \pm 107$  мс.



- в Исп. А.У. *Ширина строки* – 80 знаков; *Строк* – 29;  
*Предложений* – 20; *Слов* – 268; *Скорость чтения* – 587 слов/мин;  
*Длительность фиксации* –  $345 \pm 103$  мс.



- г Исп. М.Р. *Ширина строки* – 120 знаков; *Строк* – 10;  
*Предложений* – 10; *Слов* – 200; *Скорость чтения* – 471 слов/мин;  
*Длительность фиксации* –  $339 \pm 108$  мс.

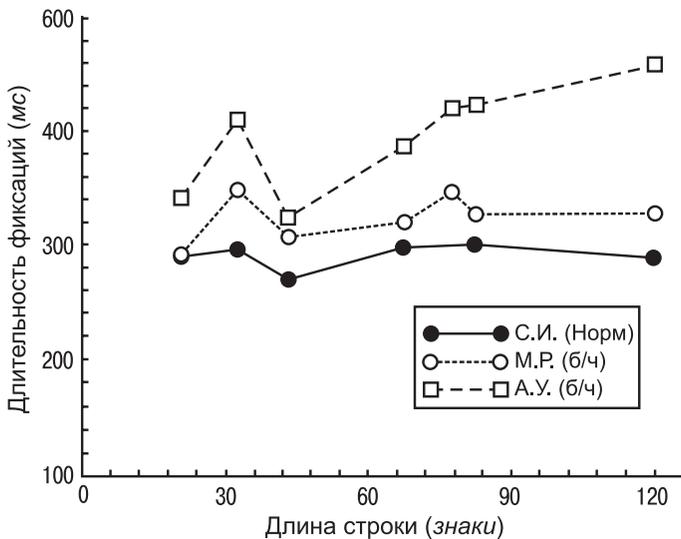


по строке) и возвратные (на следующую строку). Эта классификация не покрывает всего разнообразия саккад, зарегистрированных у быстрых чтецов; в нее следует добавить как минимум еще два типа саккад — вправо-вниз, когда прогрессивная саккада оканчивается на следующей строке или даже ниже, и влево-вниз, когда то же самое происходит с регрессивной саккадой. Расширенная классификация может также включать достаточно редкие саккады, направленные вправо-вверх, влево-вверх и строго по вертикали (примеры см. на рисунке 4). Таким образом, тот подход, которого мы будем придерживаться далее для описания результатов, полученных при регистрации движений глаз, основывается на весьма нетрадиционном способе группировки данных:

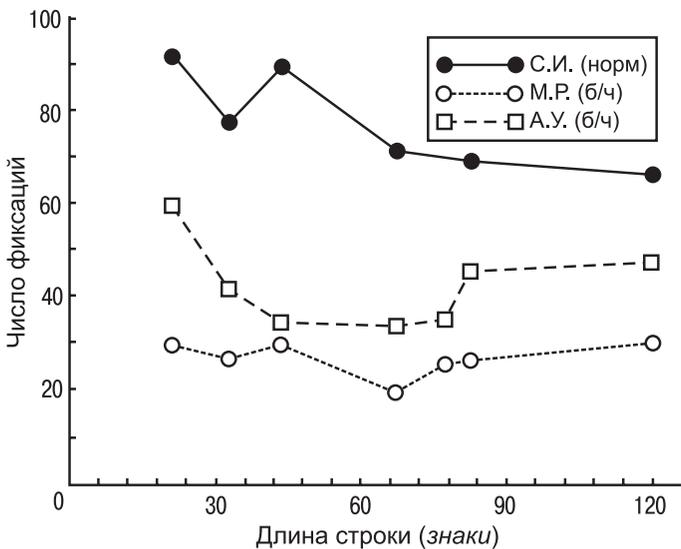
1. Анализуются все без исключения саккады и фиксации, зарегистрированные при чтении какого-то определенного текста, если другое специально не оговорено;
2. В некоторых случаях, особенно при анализе амплитуд саккад, вычисления проводились отдельно для двух подгрупп саккад, определенных как «правосторонние» и «левосторонние».

Как и ожидалось, наши результаты не подтверждают уменьшение длительности фиксации при быстром чтении. Однако полученные данные оказались гораздо более неожиданными: длительность фиксации *увеличивалась* вместе со скоростью чтения! Испытуемый А.У. имел среднюю длительность фиксаций  $399 \pm 152$  мс; М.Р. —  $342 \pm 98$  мс; эти значения значительно выше тех, которые обычно регистрируются у нормальных взрослых чтецов, и показателей нашего контрольного испытуемого С.И., чья длительность фиксаций составляла  $309 \pm 92$  мс. Рисунок 5 показывает зависимость длительности фиксаций от ширины строки. 2-факторный дисперсионный анализ (*Испытуемые*  $\times$  *Размер строки*) показал только один главный эффект для фактора *Испытуемые* ( $F = 4.2$ ;  $P < 0.01$ ).

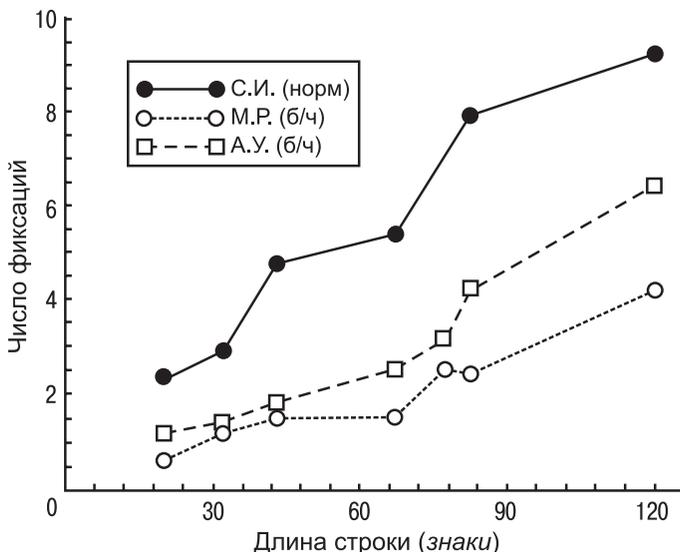
С другой стороны, как и предполагалось, число фиксаций на 100 слов текста резко уменьшалось при увеличении скорости чтения. Так, М.Р. имел в среднем  $27.1 \pm 6.3$ ; А.У. —  $39.5 \pm 10.0$ ; и С.И. —  $76.1 \pm 11.0$  фиксаций на 100 слов. Зависимость этого параметра от ширины строки показана на рисунке 6. Только один фактор *Испытуемые* был значим при аналогичном 2-факторном дисперсионном анализе ( $F = 7.4$ ;  $P < 0.01$ ). Хотя в обоих случаях фактор *Ширина строки* не достигал уровня значимости, сравнение рисунков 5 и 6 позволяет



**Рис. 5.** Зависимость среднего времени фиксации от ширины строки. Результаты одного среднего и двух быстрых чтцов



**Рис. 6.** Зависимость числа фиксации на 100 слов текста от ширины строки. Результаты одного среднего и двух быстрых чтцов



**Рис. 7.** Зависимость числа фиксаций на строку текста от ширины строки. Результаты одного среднего и двух быстрых чтцов

нам заключить, что, независимо от уровня владения навыком, оптимальное для чтения значение ширины строки находится в диапазоне между 40 и 60 знаков/строку. Именно в этом диапазоне все наши испытуемые показали свои самые низкие значения средней длительности и плотности фиксаций.

Показатель числа фиксаций на строку увеличивался вместе с увеличением ширины строки для всех испытуемых; средние значения составляли  $2.0 \pm 1.1$ ,  $2.8 \pm 1.7$  и  $5.0 \pm 2.6$ , соответственно, для М.Р., А.У. и С.И. Эти результаты представлены на рисунке 7.

Рисунок 8 содержит более детальную информацию о распределении времени фиксаций в процессе чтения. Гистограммы, расположенные в верхнем ряду рисунка, представляют суммарные данные для всех текстов с разной шириной строки для М.Р., А.У. и С.И.; остальные строки содержат примеры гистограмм распределения длительности фиксаций для текстов с определенной шириной строки (в порядке уменьшения). Наиболее заметной характеристикой этих гистограмм является их унимодальность для среднего чтца и мультимодальность для более быстрых чтцов. Одна мода распределения, вне зависимости от уровня навыка чтения, приходилась примерно на величину

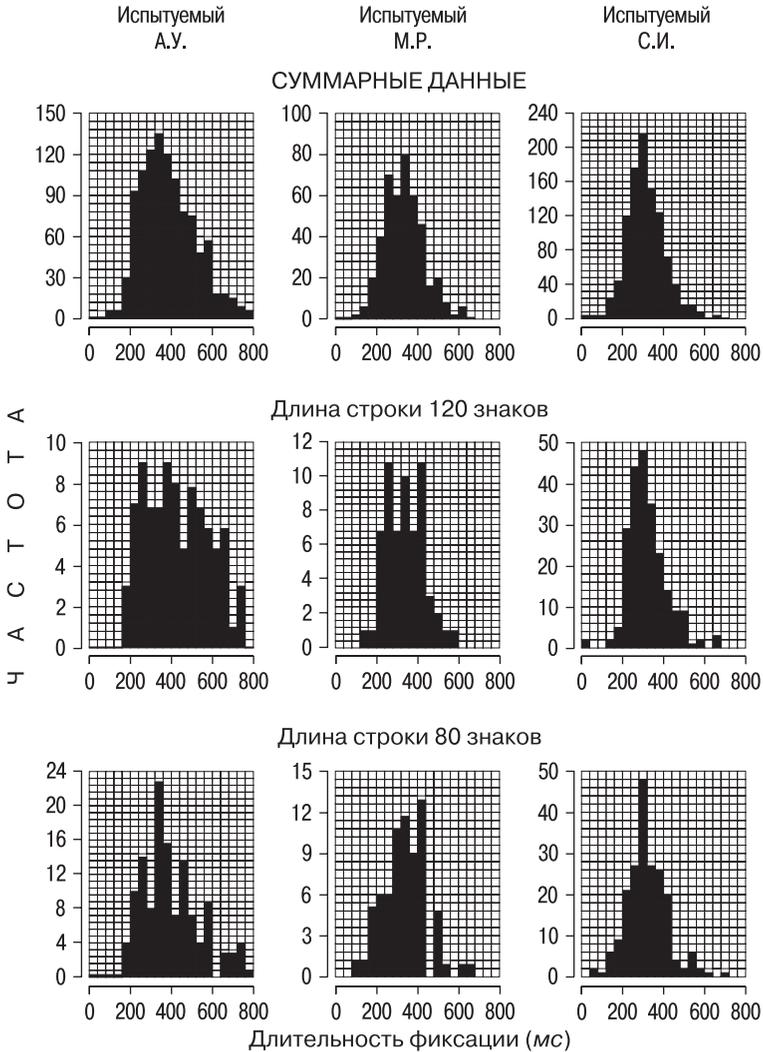
около 250 мс, а другая или две других (у быстрочитающих) были сдвинуты к более высоким значениям временной шкалы.

Кумулятивное распределение амплитуд саккад для двух быстрочитающих и одного среднего чтеца приведены на Рисунке 9. Обращает на себя внимание более высокая пропорция левосторонних саккад, более высокое среднее значение величины правосторонних саккад и кажущаяся мультимодальность их распределения у быстрых чтецов, по сравнению со средним чтецом. Важно отметить, однако, что средняя амплитуда прогрессивных саккад не оставалась постоянной при увеличении ширины строки у всех наших испытуемых, вне зависимости от скорости их чтения (см. рисунок 10). На основании этих результатов можно предположить, что все чтецы могут регулировать размер своего ФПЗ в соответствии с шириной строки, но более эффективные чтецы способны делать это более гибко.

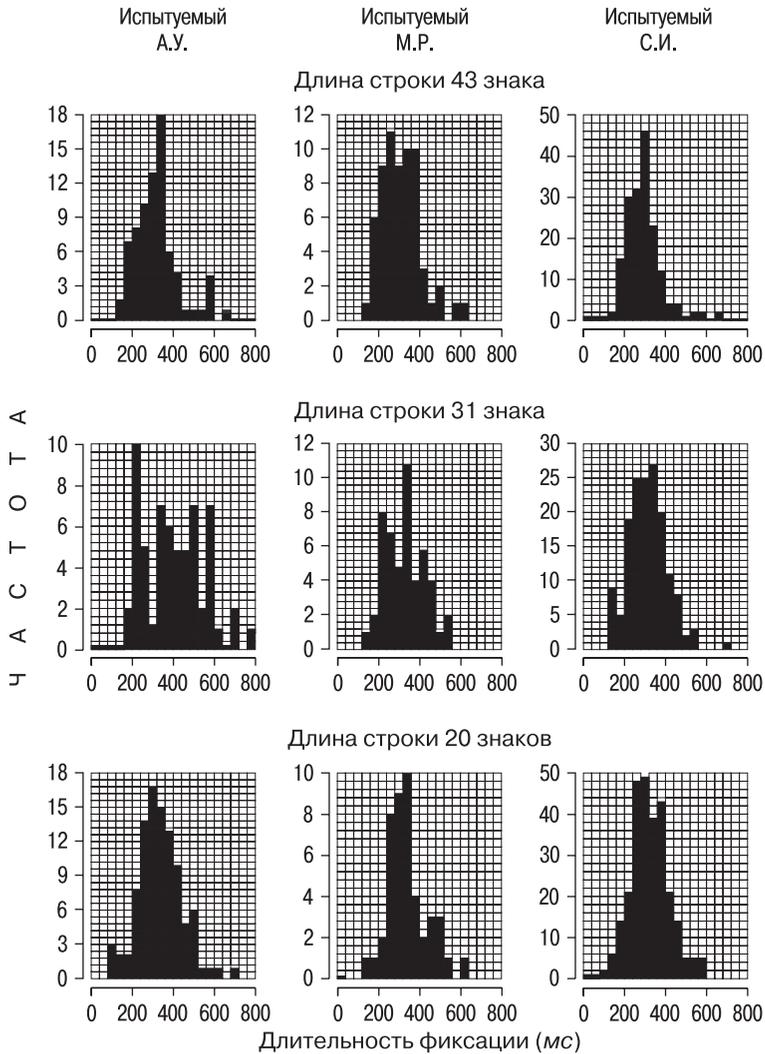
Наконец, следует коснуться некоторых более общих наблюдений. Пространственные стратегии, которыми пользовался каждый из наших быстрых чтецов, сохраняли определенную стабильность на фоне вариативных типографических параметров предъявляемых текстов и несли черты некоего индивидуального стиля чтения. Например, для М.Р. были характерны более нерегулярные амплитуды саккад и траекторий зора; он часто перескакивал через строки и его зор «рисовал» петли разных размеров. В целом это выглядело как стратегия с далеким предсказанием при сохранении постоянного контроля за содержанием прочитанного. А.У., который читал с несколько меньшей скоростью, использовал более регулярную, двунаправленную стратегию чтения с очень длинными фиксациями, во время которых был отмечен выраженный дрейф глаз.

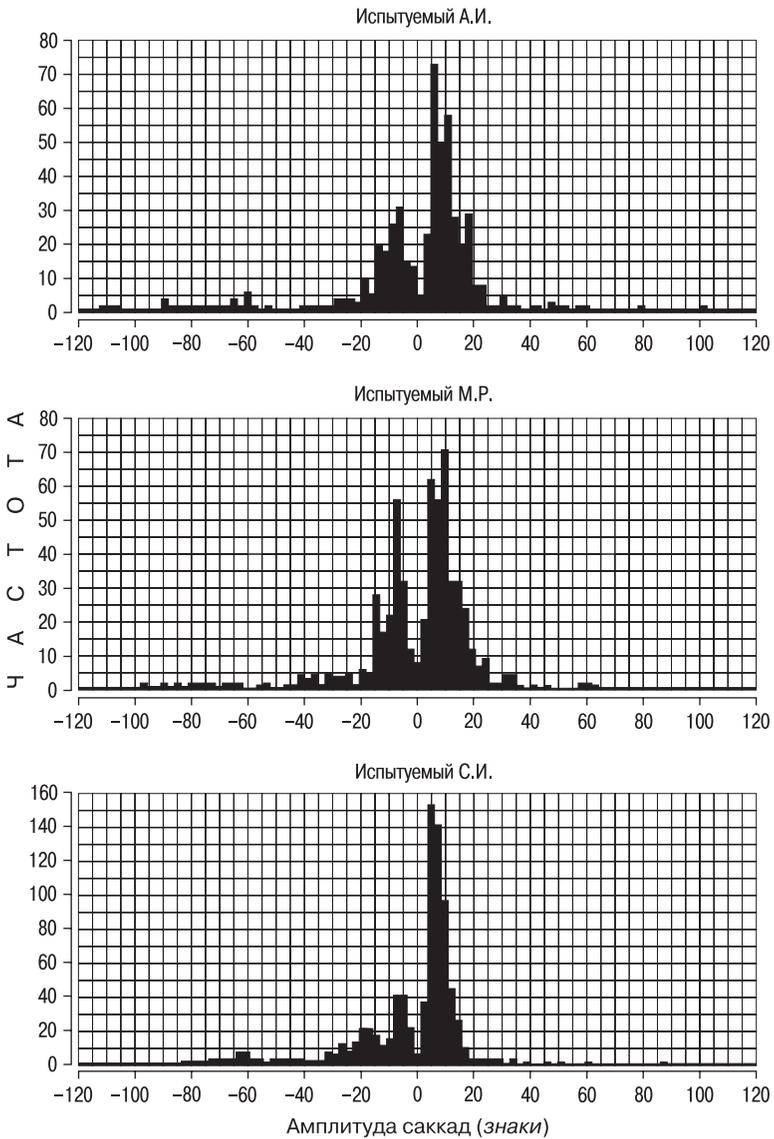
Подводя итоги, можно, на основе полученных результатов, выделить следующие особенности пространственных стратегий быстрого чтения по сравнению с обычным чтением:

- 1) тенденция к отклонениям от привычной траектории движения зора в процессе чтения за счет широкого использования вертикальных и левосторонних направлений движения зора;
- 2) вариативность стандартных параметров движений глаз — длительности фиксаций и амплитуд саккад, которые оба увеличивались в процессе быстрого чтения;
- 3) большая зависимость параметров саккадических движений глаз от ширины строки;



**Рис. 8.** Частотные гистограммы длительности фиксации. Результаты одного среднего и двух быстрых чтецов, суммированные по всему набору текстов (верхний ряд) и для отдельных текстов (остальные ряды).





**Рис. 9.** Частотные гистограммы амплитуд саккад. Результаты одного среднего и двух быстрых чтенцов, суммированные по всему набору текстов

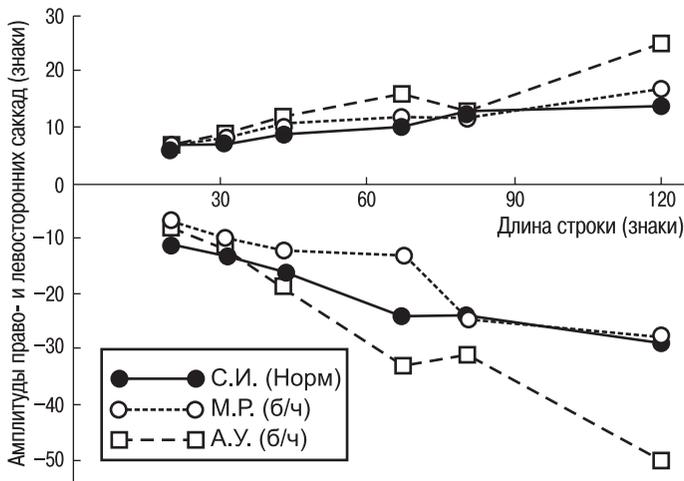


Рис. 10. Зависимость средней амплитуд саккад от ширины строки и направления (вправо/влево) саккад. Результаты одного среднего и двух быстрых чтцов

- интра- и интериндивидуальная гибкость пространственных стратегий чтения в зависимости от типографических особенностей текста, его содержания и, вероятно, индивидуального когнитивного стиля.

## Общее обсуждение

Вполне очевидно, что некоторые из приведенных здесь результатов не согласуются с традиционными моделями чтения. В некоторой степени эти различия, вероятно, обусловлены общим подходом, реализованном в данном исследовании. Следовательно, важно еще раз подчеркнуть основные особенности этого подхода.

- Цель исследования состояла в обнаружении источников увеличения скорости чтения до уровня, значительно превышающего скорость чтения обычного чтеца. Для этого в качестве испытуемых были привлечены взрослые люди, прошедшие специальное обучение и хорошо мотивированные на эффективное чтение.

2. Наши испытуемые читали про себя (молча) достаточно длинный и семантически связанный фрагмент текста с задачей усвоить его содержание. Эти условия существенно отличаются от процедуры большинства исследований, применяющих регистрацию движений глаз в процессе чтения.
3. Главной независимой переменной была ширина строки в диапазоне от 20 до 120 знаменосов на строку. Ранее проведенные исследования почти никогда не использовали тексты с максимально короткой и максимально длинной шириной строки.

Эксперимент 1 показал, что испытуемые увеличивали свою скорость чтения и становились более чувствительными к ширине строки после того, как они прошли обучение быстрому чтению по специальной методике. Обученные читатели достигали своей оптимальной скорости чтения при средних значениях ширины строки из тестированного диапазона (40–80 знаков/строку), тогда как до обучения подобного преимущества не было обнаружено. Эффект обучения мог бы быть приписан просто увеличению ФПЗ; как следствие, можно было бы ожидать неоптимальное использование периферического зрения на обоих концах строки. Более вероятно, однако, что увеличение ФПЗ сопровождалось модификацией пространственной стратегии чтения и/или величины среднего времени фиксации.

Эти вопросы стали целью эксперимента 2, в котором анализировались общие характеристики и траектории движений глаз у быстрочитающих людей. Полученные в эксперименте 2 результаты выявили увеличение средних значений амплитуды саккад и длительности фиксаций, а также повышение вариативности траекторий движений глаз.

Типичное заблуждение относительно процесса быстрого чтения состоит в предположении, что быстрые читатели обычно переходят от последовательной, слово-за-словом и строчка-за-строчкой, стратегии к более идиосинкратическому стилю считывания текстовой информации. А. Пуф (Pugh, 1979) выделил пять стилей чтения про себя: сканирующее, поисковое, ознакомительное, внимательное и артикулирующее, которые зависят от цели чтения и различаются, по всей видимости, пространственным поведением взгляда относительно текстового поля. Согласно этой классификации, наши испытуемые — как до, так и после курса обучения — получали инструкцию на внимательное чтение, и этот настрой поддерживался за счет последующих проверок степени понимания прочитанного. Результаты проведенных

тестов на понимание подтверждают, что испытуемые действительно следовали данной им инструкции.

Некоторые дополнительные данные были получены на основе анализа траекторий движения глаз в процессе чтения. Во-первых, давайте рассмотрим линейную пространственную стратегию, которую многие считают основной при быстром чтении. Существуют хорошо известные отклонения от этой стратегии: регрессии, повторные фиксации одного и того же слова и пропуски коротких, второстепенных и/или высоко-частотных слов (McConkie, 1979; Rayner, Pollatsek, 1989; O'Regan, 1990). Т. Хогабом (Hogaboam, 1983) предложил более детальную классификацию глазодвигательных паттернов при чтении, которая учитывает относительные направления двух последовательных саккад и locus окончания саккад (на разных словах или в пределах одного слова). Он установил, что хотя паттерн, состоящий из двух прогрессивных фиксаций на двух соседних словах, встречается чаще всего, он охватывает только 22.7% от всего разнообразия вариантов! Второй по частоте паттерн (11.4%) состоит из прогрессивного движения, после которого следовало другое прогрессивное движение, перескакивающее через одно слово. Таким образом, только четвертая часть типичных окуломоторных данных демонстрирует четкую стратегию слово-за-словом. Это в еще большей степени справедливо для наших быстрых чтецов. Тогда как С.И. (испытуемый со средней скоростью чтения) делал, в среднем,  $76 \pm 11$  фиксаций на 100 слов, А.У. и М.Р. (быстрые чтецы) делали, соответственно,  $40 \pm 10$  и  $28 \pm 7$  фиксаций на 100 слов. Из этих результатов и приведенных выше примеров становится ясно, что пространственная стратегия «перескакивание через слова» доминирует в процессе быстрого чтения. Та же тенденция была подмечена и Ф. Стол (Stoll, 1974), чьи испытуемые уменьшали свою среднюю частоту фиксаций на 100 слов примерно на 25% после обучения на курсах быстрого чтения. Возможное объяснение этому состоит в том, что наиболее быстрые чтецы способны охватить своим ФПЗ одновременно 2 и более слов за счет эффективного использования контекстуальной информации и зрительно-лингвистического предвосхищения (Marcel, 1974). Косвенное подтверждение этому дают графики зависимости между числом фиксаций на 100 слов и шириной строки (рисунок 6). Хотя С.И. и уменьшил свои показатели, что предполагает использование большего ФПЗ при чтении более широких строк, оба быстрочитающих испытуемых не показали такой тенденции.

В последнее время некоторые авторы выразили сомнение, что понятия ФПЗ или объем восприятия отражают границы зоны пере-

работки информации в процессе движений глаз (O'Regan, 1990). Они аргументируют это тем, что данные понятия являются скорее интегральными индексами переработки, и предлагают понятие «зрительное пространственное внимание» как более адекватное для зрительно-моторных механизмов чтения. Согласно современным представлениям, зрительное внимание имеет пространственные размерности, как ФПЗ, но обладает также и динамическими свойствами, которые обеспечивают плавное изменение размера и позиции фокуса внимания. По отношению к чтению это означает, что фокус внимания того или иного размера может смещаться вдоль строки текста *непосредственно во время фиксации глаза* (см. McConkie, 1983). Хотя пока еще не создана адекватная экспериментальная методика для прямой регистрации динамики внимания в процессе чтения, я думаю, что этот тип объяснения предоставляет больше степеней свободы для обсуждения полученных нами результатов.

Второй компонент пространственной стратегии чтения включает операцию перевода взора со строки на строку и обычно привлекает меньше внимания исследователей. Многие современные экспериментальные процедуры включают предъявление одной строки текста на экране компьютера и/или регистрацию одной только горизонтальной составляющей движений глаз. Поэтому стратегия перехода с одной строки на другую была представлена исключительно возвратными движениями глаз, соразмерными с длиной строки. Однако, имеются наблюдения, что определенная пропорция строк прочитывается повторно при медленной и средней скорости чтения. С достаточно высокой степенью вероятности можно предположить, что при чтении достаточно длинного текста, особенно когда он предъявлен в формате узкой строки, некоторые строки будут пропускаться в том смысле, что глаз не будет делать на них остановку. Чем более совершенен навык чтения, тем чаще можно ожидать такого рода пропусков. В этой связи стоит напомнить один из результатов эксперимента 1: увеличение межстрочного интервала с 2 до 3 пунктов ведет к исчезновению эффекта обучения даже внутри диапазона оптимальной ширины строки. Таким образом, мы установили парадоксальное, негативное влияние разряженных строк на обученных читателей.

Все это наводит на мысль, что вертикальный компонент траектории движения взора при чтении может играть важную роль в быстром чтении. Чтобы глубже понять этот аспект пространственной стратегии чтения, необходимо анализировать как горизонтальные, так и вертикальные компоненты движений глаз. Такой анализ был про-

веден в нашем исследовании, что позволило нам обнаружить *двумерные пространственные стратегии чтения*.

Как показано на рисунке 7, среднее число фиксаций на строку нарастает с увеличением ширины строки у всех испытуемых. С другой стороны, у среднего чтеца (С.И.) самое низкое значение этого показателя составляло 2.5, тогда как у быстрых чтецов оно было 1.2 (А.У.) и 0.7 (М.Р.). Эти цифры указывают, что наши быстрые чтецы иногда делали только одну фиксацию на строку и нередко оставляли некоторые строки текста вообще без фиксаций. Дополнительные вычисления показали, что процент пропущенных строк увеличивается с увеличением скорости чтения. Например, наши быстрые чтецы пропускали до 10–20 % строк, когда читали тексты, сформатированные на ширину 20–35 знакомест на строку (показатели М.Р. были в целом выше, чем у А.У.), тогда как средний чтец (С.И.) пропускал в тех же самых условиях не более 5 % строк. Конечно, этот процент уменьшался при увеличении ширины строки, так что самые широкие тексты испытуемые читали почти без пропусков, за исключением коротких строк в конце параграфов. Рисунок 4 дает некоторое впечатление об этих стратегиях.

Повторное чтение одной и той же строки было отмечено у всех испытуемых, участвовавших в эксперименте 2. Иногда такое случалось и у быстрых чтецов, особенно в начале текста или в местах наибольшей сложности и неопределенности контекстуальной информации. В ситуации, когда определенная часть строк пропускалась или воспринималась только за одну фиксацию, это доказывает, что быстрые чтецы действительно следовали инструкции на сплошное чтение текста.

Ранее уже упоминалось, что окуломоторные паттерны включали также обратное направление чтения и вертикальные регрессии и прогрессии. В свете этих данных можно сделать вывод, что, в дополнении к классификации Т. Хогабома (Hogaboam, 1983), окуломоторный паттерн в процессе быстрого чтения достаточно длинных текстов должен включать вертикальную (вверх и вниз) размерность саккадических движений глаз. Следовательно, представление о разнообразии окуломоторных паттернов в процессе чтения должно быть расширено.

Зависимость средней амплитуды саккад от ширины строки не дает полной картины распределения амплитуд. Два интересных момента, которые отличают результаты среднего и быстрых чтецов, можно отметить при рассмотрении гистограмм кумулятивных

саккадических амплитуд (см. рисунок 9, верхний ряд). Во-первых, один амплитудный пик у правосторонних саккад был общим для среднего и быстрых чтецов (8–9 знаков), но быстрые чтецы имели два дополнительных пика в районе 14 и 20 знаков. С другой стороны, в кумулятивном распределении быстрые чтецы имели более высокий относительный вес левосторонних саккад, по сравнению со средним чтецом. Рассмотренные в совокупности, эти результаты дают дополнительные аргументы в пользу идеи о большей гибкости в управлении амплитудой и направлением саккад при быстром чтении.

Наиболее неожиданный результат состоял в том, что в процессе быстрого чтения общее увеличение амплитуды саккад сопровождалось увеличением длительности фиксаций. Эта тенденция противоположна возрастной динамике, проявляющейся в укорочении длительности фиксаций вплоть до достижения средней скорости чтения, характерной для сформированного навыка. Это также идет вразрез с результатами, показанными в редких попытках зарегистрировать движения глаз в процессе быстрого чтения (см. обзоры у: Gibson, Levin, 1975, и Levy-Schoen, O'Regan, 1979). За единственным исключением (Thomas, 1962), когда у одного очень быстро читающего мужчины была зарегистрирована средняя длительность фиксаций 320 мс, во всех других исследованиях, где участвовали испытуемые с исходно быстрым или натренированным чтением, была зарегистрирована обычная или чуть меньше обычной длительность фиксаций.

Хотя известно множество попыток связать длительность фиксаций с трудностью актуальной когнитивной переработки (Rayner, Pollatsek, 1989), они не увенчались каким-то заметным успехом. Аргументы против так называемой «гипотезы непосредственного лингвистического управления саккадой», лежащей в основе предполагаемой взаимосвязи длительности фиксаций и когнитивной сложности читаемого слова, подчеркивают системную противоречивость такого рода предположения (McConkie, 1983). Более того, известно, что на длительность актуальной фиксации и позицию глаза на строке оказывают влияние как предыдущая, так и последующая фиксации. Стоит также упомянуть здесь мнение Т. Хогобома (Hogobom, 1983), что в задаче чтения оценка длительностей фиксаций без учета последовательного паттерна движений глаз может привести к ошибочным результатам.

В этой связи интересно сослаться на измерения длительности фиксаций, которые следовали сразу же после саккад увеличенной амплитуды. С. Абрамс и В. Зубер (Abrams, Zuber, 1972) использова-

ли тексты со случайно распределенными удлиненными пустыми интервалами между словами и обнаружили, что длительность фиксации, предшествующей скачку через пустое пространство, уменьшалась примерно на 50 мс. Сходная тенденция (20–40 мс) была установлена Т. Хогобомом (Hogoboom, 1983) при анализе паттернов движений глаз во время чтения, когда фиксация находилась между регрессивной и перескакивающей через несколько слов прогрессивной саккадой. С другой стороны, фиксации, которым предшествуют и за которыми следуют прогрессивные саккады, увеличивают свою длительность на величину до 40 мс по отношению к предыдущей фиксации. Эти результаты не поддерживают предложенную Р. Волкером (Walker, 1933) идею об универсальной взаимосвязи между длительностью и частотой фиксаций (или амплитудой саккад) и создают основу для подхода, призывающего принимать во внимание суммарное время удержания взора на слове, независимо от числа отдельных фиксаций на нем (Just, Carpenter, 1980).

Возвращаясь к нашим результатам, можно предположить, что стратегия чтения «через слово» ведет к увеличению длительности фиксаций. На основании глобального анализа глазодвигательной активности, этот эффект может быть приписан мысленной перегрузке в процессе подобных «широкоугольных» фиксаций, или расширения ФПЗ (объема восприятия). Такие вопросы как «Происходит ли считывание нескольких слов в одном ФПЗ одновременно или последовательно?» или «Может ли фокус внимания смещаться между словами в процессе одной фиксации?» в настоящее время не имеют однозначного ответа. Однако, здесь уместно упомянуть наблюдение, которое мы сделали в процессе рассматривания сильно увеличенных двумерных записей движений глаз наших быстро читающих испытуемых. Эти записи показали очень необычную глазодвигательную особенность, которая может пролить дополнительный свет на зрительно-пространственную динамику во время фиксаций. Мы обнаружили следы выраженного дрейфа глаз на интервале между соседними саккадами, скорость и амплитуда которого превышали показатели обычного для чтения фиксационного дрейфа. Такие «усиленные» дрейфы можно увидеть на рисунке 4. Обычно это был целенаправленный дрейф, в процессе которого изменялась горизонтальная и/или вертикальная позиция глаза, а иногда он менял направление, задавая траекторию следующей саккады. Чем выше было время фиксации, тем четче были выражены дрейфовые движения глаз.

В литературе этот тип взаимосвязи известен как «медленное управление» (slow control) и связан с выполнением заданий, требующих диффузного внимания или слежения с антиципацией (Kowler, 1990). Кроме того, модель параллельного управления (Белопольский, 1990; Morrison, 1984), связывающая параметры движений глаз с динамикой зрительного пространственного внимания, дает лучшее описание многих противоречивых результатов, полученных в данной области. Таким образом вполне вероятной выглядит гипотеза, что в процессе быстрого чтения испытуемые широко используют возможности пространственной динамики фокуса внимания.

## **Заключение**

Эксперименты были проведены с целью изучить разнообразие пространственных стратегий, которыми пользуются средние и быстрые чтецы. Предъявляемые для прочтения тексты варьировали по 1) ширине строки (20, 40, 60, 80 или 120 знаков/строку) и 2) межстрочному интервалу (2 или 3 пункта). В эксперименте 1 220 взрослых испытуемых проходили тестирование перед и после обучения на двухмесячных курсах по обучению быстрому чтению. Мы использовали групповой план эксперимента и оценивали прогресс в скорости чтения и уровень понимания прочитанного. В эксперименте 2 регистрировали горизонтальные и вертикальные движения глаз у двух быстрых и одного среднего чтеца. Результаты показали, что оптимальные форматы текста различаются для быстрых и медленных чтецов. Быстрые чтецы использовали более гибкие пространственные стратегии чтения, что позволяло им делать меньше фиксаций на тексте.

Показано, что длительность фиксаций не является фактором, ответственным за увеличение скорости чтения. Напротив, наши результаты выявили прямо противоположную тенденцию в длительности фиксаций. Главными особенностями стратегий быстрого чтения являются: высокая пропорция левосторонних и направленных вниз саккад; мультимодальное распределение длительности фиксаций; увеличение амплитуды саккад при увеличении ширины строки; прямой контроль динамики поля внимания и гибкость пространственного поведения взгляда.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

### **О ФУНКЦИЯХ ВЗОРА ЧЕЛОВЕКА**

#### **Взор как функциональный орган восприятия**

Традиционно изучение функций глаз или, шире, зрительной системы человека было сконцентрировано на гносеологических и конкретно-научных вопросах порождения и функционирования образа окружающего мира, его адекватности свойствам реальной среды. Действительно, первичная функция зрения (наряду с другими сенсорными системами) состоит в обеспечении ориентировки человека в среде, контроле его двигательной активности и локомоций. Все другие воспринимаемые качества – форма объектов, их цвет, семантическое или социальное значение, практическая ценность – являются вторичными по сравнению с воспринимаемой пространственной системой отсчета, включающей предметы внешнего мира в их средовом контексте. Эта функции обеспечиваются собственно сенсорными механизмами бикулярного зрения в тесной координации с глазодвигательными и познодвигательными механизмами и другими психическими процессами, обеспечивающими поиск и отбор релевантной информации.

На сегодняшний день стало очевидно, что ни закономерности восприятия пассивной (неподвижной) сетчаткой, ни приписывание гностических функций самим движениям глаз, ни механическое сведение сенсорных и двигательных механизмов в единый перцептивный акт не способно объяснить весь огромный феноменологический и экспериментальный материал, накопленный современной наукой. Установлено, что структура сетчатки не тождественна функциональному полю зрения человека, что движения глаз не имеют развитой проприоцептивной чувствительности, а сама глазодвигательная активность может определяться самыми разными причинами, начиная от мышечной патологии, сенсорных стимулов, перцеп-

тивных событий, когнитивных установок, и заканчивая индивидуальным стилем поведения и произвольными интенциями. Задача построения системы активного зрительного восприятия постепенно осознается как наиболее важная. Ее решение требует критического пересмотра целого ряда устоявшихся терминов, понятий, объяснительных принципов (Белопольский, 1989; Findley, Gilchrist, 2003).

Частично такая работа была проделана в цикле исследований, изложенных в этой книге. Центральным понятием, которое позволило нам связать воедино сенсорные, двигательные и когнитивные компоненты зрительной деятельности, явилось *понятие взора*, которое получило здесь новую трактовку. Постулату «фовеального взора», в соответствии с которым направление сфокусированной зрительной активности однозначно связывается с направлением зрительной оси, восстановленной из морфологического центра сетчатки, а динамика взора отождествляется с параметрами двигательной активности, перемещающими эту ось в пространстве, было противопоставлено представление о *взоре как функциональном органе восприятия* (по А.А. Ухтомскому, ср. Бернштейн, 1947; Зинченко, 1995; Леонтьев, 1965). Взор как перцептивно-моторный функциональный орган обладает, в отличие от глаза, позиционным чувством, источником которого является проприоцепция «в широком смысле». Другими словами, взор включен в схему тела в качестве *зрительного эгоцентра*.

Результаты проведенного нами цикла работ подтвердили идею о том, что открывающаяся наблюдателю зрительная картина мира всегда включает в себя в качестве неотъемлемого компонента и самого наблюдателя, причем не только его рук, ног и туловища, не только краев глазных орбит и бровей, ограничивающих поле зрения (Гибсон, 1988), но и *местоположение взора внутри воспринимаемого пространства*. При таком подходе проблема сохранения стабильности видимого мира, или константности восприятия в условиях мобильного наблюдателя, переформулируется в проблему управления взором в условиях априори неподвижного внешнего окружения, и при ее решении используются экологические критерии.

Субъективно взор находится там, куда мы смотрим, он может смещаться по сторонам и по глубине и имеет определенную ориентацию по вертикали, т.е. верх и низ. Между тем, полученные нами результаты показывают, что субъективная динамика смещения взора не всегда совпадает с динамикой саккадических и плавных движений глаз и даже с самим фактом таких движений, что глубина взора не связана напрямую вергентными движениями глаз, что

ориентация зрения относительно субъективной вертикали не обеспечивается полностью компенсационными движениями глаз, головы и туловища.

В понятии зрения зафиксирована такая важная характеристика работы зрительной системы как пространственная селективность, избирательность в приеме и переработке визуальной информации, которая имеет несколько параметров — кроме локуса пространственной настройки (куда человек смотрит) это и ширина настройки (размер зоны перцептивной обработки), и напряженность фиксации (глубина переработки). Эти параметры зрения часто описывают в терминах пространственного внимания. (LaBerge, 1995; Pashler, 1998).

Селективность зрения как функционального органа подразумевает гибкую возможность изменения его пространственной настройки, причем очень быстро, даже в интервалы между саккадами, которые традиционно интерпретируются как моменты фиксации зрения. Поэтому будет справедливо говорить и о таком параметре зрения как временная ритмика, которую, однако, нельзя объяснить механизмами низкоуровневой автоматии саккад (ср. Филин, 2001). Как раз выделение категории так называемых фиксационных движений глаз убедительно демонстрирует рассогласование между динамикой зрения (его субъективная стабильность) и моторикой глаза (чередование дрейфовых движений и микросаккад).

Поскольку зрение включено в схему тела, то им можно управлять и в полной темноте, ориентируясь на эгоцентрические пространственные координаты или следуя за частями собственного тела, причем двигательная система глаза обладает способностью достаточно точно отслеживать эти перемещения. Амодальность пространственной картины мира обеспечивает и слежение зрением за пространственными сигналами, поступающими по незрительным сенсорным каналам, например, слуховым или тактильным. Тем самым обеспечивается тонкое координированное взаимодействие зрительных и общедвигательных механизмов.

## **Функции зрения в познавательной деятельности человека**

Так называемые «моторные теории восприятия» приписывают движениям глаз самые разнообразные гностические функции — сравнение, измерение, формирование образа, опознание и т.д. С нашей

точки зрения, ни движения глаз, ни сами по себе движения зора не способны выполнить эти функции. Основной функцией зора человека является настройка зрительного канала на тот или иной объект или зону пространства с целью сохранения ориентировки в пространстве, а также получения более детальной информации о качестве рассматриваемого объекта или сцены.

В проведенных нами и другими исследователями экспериментах было показано, что именно пространственная динамика локуса зрительной активности, оперирующей внутри визуального пространства, опосредует структурно-энергетические характеристики стимуляции, проецирующейся на сетчатку глаза, и запускает двигательные автоматизмы, отслеживающие задаваемую взором цель, описываемую в единой с ними системе координат. Динамику зора могут задавать как биологически значимые стимулы (вспышка, движение, структура, перепад освещенности), так и цели, определяемые ситуацией и решаемой человеком задачей. В последнем случае взор локализует в пространстве явно или неявно заданные цели и обеспечивает содержательную и пространственно-временную преемственность в рассматривании объектов и пространственных зон, тогда как собственно перцептивные и когнитивные процессы обеспечивают выбор стратегии движения зора и интеграцию получаемой перцептивной информации. При этом управляющие воздействия со стороны познавательных процессов, а также произвольные команды, адресуются не непосредственно моторной системе глаз, а к взору, который способен не только найти цель, но и обеспечить ей оптимальные условия рассматривания. Приведенные в книге исследования пространственных стратегий зора при чтении неподвижного и движущегося текста показали, что именно таким образом обеспечивается тесная связь динамики зора с ходом переработки лингвистической информации. В свою очередь, динамика зора наиболее адекватно отражается не в отдельных глазодвигательных реакциях, а в целостных паттернах движений глаз.

Хотя некоторые мыслительные операции, особенно те, которые включены в автоматизированные навыки, такие как чтение, реализуются достаточно быстро и способны управлять взором напрямую или с минимальной временной задержкой, подобная ситуация не является общим правилом. Иногда для выполнения счетных, мнемических или абстрактных операций необходимо отстроиться от актуальной ситуации, переключившись на воображаемую. В этом смысле говорят о переключении с внешнего зора на «внутренний», когда зрительный

канал временно обособляется от содержательной деятельности человека либо функционально («невидящий», или «пустой» взор, «латеральный» взор), либо физически (моргания, закрывание глаз, взгляд в пол или потолок). Интересно отметить, что и динамика «внутреннего» взора сопровождается движениями глаз, что указывает на существование пространственных размерностей мысленных образов.

## **Взор как объект наблюдения и оценки со стороны других людей**

Значительная часть психологических исследований, касающихся динамики взора и зрительных процессов, выполнена на материале решения познавательных и исполнительских задач, условия которых включали неодушевленные предметы (лампочки, приборные панели, картины, тексты и т. п.). Однако в реальной жизни мы сталкиваемся прежде всего с такими ситуациями, где в поле нашего зрения находятся другие люди, которые чаще всего и являются смысловыми центрами и наиболее информативными объектами окружающей сцены.

Принципиальный факт состоит в том, что взор является объектом наблюдения со стороны других людей и содержит важную информацию о человеке, используемую в межличностном общении.

Так, онтогенетические исследования убедительно демонстрируют, что человеческое лицо предпочитается младенцами и вызывает у них длительное зрительное сосредоточение уже в первые две недели после рождения, а на четвертой неделе младенцы начинают активно фокусироваться на глазах наблюдающей за ними матери. Первая социальная реакция ребенка (улыбка) возникает на втором месяце жизни и связана с восприятием лица, прежде всего, глаз (Сергиенко, 2006; Бауэр, 1979; Argyle, Cook, 1976).

Как правило, именно человек становится активным действующим лицом ситуации. Поэтому для ее оценки нужно опознать социальные роли незнакомых людей, чтобы предугадать их последующие действия или самому воздействовать на них (узнать знакомых, чтобы поздороваться, и т.д.). Ориентировка в ситуации занимает очень немного времени — так, для эффективного узнавания и запоминания лиц или фрагментов картин достаточна экспозиция в 0.5–1.0 с (Cook, 1978). Отсюда, однако, не следует, что находящиеся в поле зрения люди фиксируются лишь однажды и кратковременно. Наоборот, для социальных ситуаций характерна совершенно иная картина — взор постоянно возвращается к лицу или лицам людей, вступивших во

взаимодействие с наблюдателем или связанных с ним общей экологической зоной (помещение, транспортное средство, участок территории и т. п.). Так, при разговоре расположенных на расстоянии одного-двух метров друг от друга людей взор направляется на собеседника в течение 50–70% всего времени общения, а каждый отдельный взгляд в лицо длится от двух до восьми секунд (Argyle et al., 1981; Duncan, Fiske, 1977; Exline et al., 1965). При общении нескольких людей суммарное время направленных в лицо взоров уменьшается, хотя все же остается достаточно большим (Exline, 1963).

Прямые психофизические эксперименты показали (Anstis et al., 1969; Gibson, Pick, 1963; Kruger, Hückstedt, 1969), что люди действительно могут с большой точностью определять направление взора другого человека, особенно когда точка фиксации находится в пределах их собственного лица, а дистанция между ними не очень велика (до 1–2 м). При увеличении дистанции и/или повороте головы в сторону точность определения взора, направленного в область лица, падает. Взоры, направленные в сторону от партнера по общению, оцениваются им с меньшей точностью, чем те, которые направлены прямо на него. При увеличении дистанции наблюдения и латерального угла взора его направление оценивают преимущественно по ориентации головы. Источниками ошибок при определении направлении взора являются также факторы, влияющие на различимость глаз (их цвет, разрез век, ношение очков, уровень освещенности и т.д.). Направление взора на неподвижном изображении (фото, картина, телекартинка) оценивается лучше, чем в реальном взаимодействии людей, когда глаза движутся с большой частотой.

Кроме направления взора, его формальными оценочными параметрами являются: общая длительность фиксации взора на собеседнике (на его лице), частота фиксаций и зависимость от этих параметров средняя длительность отдельных взглядов.

Несмотря на то, что для описания взора имеется не так много параметров, в обыденном сознании и языке взор (взгляд) рассматривается как источник самой разнообразной информации о человеке.

## Словарные определения взора

В «Словаре сочетаемости слов русского языка» (1983) мы находим следующие устойчивые сочетания для слов ВЗОР, ВЗГЛЯД и ГЛАЗ:

- *указывает направление*: устремлен, направлен, прикован, потуплен, опущен; *смотреть можно* прямо, в сторону, скрыто, косо, краем глаза, исподлобья;
- *обладает временной и пространственной динамикой*: быстрый, беглый, мимолетный, остановившийся, долгий, широкий, рассеянный, узкий, прицельный; *взгляд можно* бросить, кинуть, задержать, отвести, остановить, задержать;
- *демонстрирует степень напряжения*: острый, цепкий, пристальный, сверлящий, внимательный, открытый, потухший, невидящий, испытующий, невидящий;
- *выполняет определенную задачу*: фиксирует, замечает, осматривает, локализует, опознает, вглядывается, рассматривает, замечает, оглядывает, надзирает, следит, указывает, контролирует;
- *варьирует по степени осмысленности*: умный, понимающий, хитрый, ясный, тупой, бессмысленный, пустой, расслабленный;
- *выдает внутреннее состояние и отношение*: кроткий, хладнокровный, тревожный, сонный, хитрый, дерзкий, надменный, доминирующий, покорный, сердитый, подозрительный любящий, ненавидящий, (не)дружелюбный, веселый, робкий, насмешливый, таинственный;
- *регулирует межличностное общение*; *его можно* чувствовать на себе, встретить, поймать, перехватить, выдержать, приковать к себе, бояться, избегать; *от него можно* уйти, ускользнуть, укрыться.

## **Феномен взаимного зора (визуальный контакт)**

Обращая внимание на другого человека, мы прежде всего отмечаем, глядит ли он на нас, и если да, то когда, как часто и каким образом. Посредством встречи взглядов люди впервые вступают в социальное взаимодействие друг с другом, которое иногда на этом и заканчивается, а иногда развивается дальше. Г. Зиммель описал взаимный зор как «целиком новое и уникальное объединение двух людей ...которое представляет собой наиболее совершенную реципрокность во всем поле человеческих взаимосвязей» (Simmel 1922, с. 12). Взаимный зор — особое социальное событие. Он вызывает в партнерах физиологическую активацию, тестируемую по реакциям ЭЭГ и КГР (Edwards, Gale, 1980; Luborsky et al., 1965). Между ними устанавли-

вается отношения, поддержание которых требует дальнейших визуальных, а также вербальных и поведенческих контактов, а их прерывание связано с избеганием взаимного взгляда. Удержание и повторение взаимного взгляда порождает интимность отношений, люди включают друг друга в свое личное пространство, причем отношения при этом могут иметь как положительный знак — симпатия, влечение, так и отрицательный — неприязнь, угроза. С другой стороны, активное прерывание взаимного взгляда — отклонения взгляда в сторону или закрывание глаз — в каком-то смысле равносильно уходу из ситуации, вытеснению окружающих людей из личного пространства.

Взаимный взгляд, его поиск и избегание, его частоту и длительность, нельзя отрывать от содержательного контекста общения, от вербального и невербального поведения в целом. Направленный на человека взгляд демонстрирует ему, что он является объектом внимания и что его поведение и внешность открыты для постороннего наблюдения.

Общая длительность взаимных взглядов во время беседы положительно коррелирует с длительностью индивидуальных взглядов на партнера и отрицательно — с их частотой. При беседе на нейтральную тему двух ранее незнакомых взрослых людей, находящихся на дистанции около 1.5 м друг от друга, длительность взаимного взгляда занимает приблизительно от 20 до 40 % всего времени разговора (Argyle, Ingham, 1982; Duncan, Fiske, 1977).

Следует отметить, что продолжительность взаимного взгляда является функцией многих ситуационных переменных: возраста и пола партнеров, степени их знакомства, симпатии или антипатии, их статусных отношений и дистанции, позы, вида совместной деятельности, окружающей обстановки и др.

Допустимые нормы взаимного взгляда в процессе общения являются культурной переменной, на основе которой все народы можно условно разделить на «контактные» и «неконтактные». К первой категории, по данным О. Уотсона (Watson, 1970), относятся арабы, латиноамериканцы и южноевропейцы, а ко второй — азиаты, индо-пакистанцы и североевропейцы. Различия эти связаны с воспитанием, образом жизни, одеждой и традициями.

## **Функции взгляда в межличностном общении**

Ниже мы кратко перечислим те функции взгляда, которые были подтверждены в экспериментальных исследованиях (см. обзоры у Argyle, Cook, 1976; Kleinke, 1986).

***Взор несет информацию о таких качествах и состояниях людей как:***

- 1) симпатии или антипатии;
- 2) степени интереса к человеку;
- 3) уровне компетентности;
- 4) умении эффективно общаться;
- 5) наличии психической патологии;
- 6) степени доверия (говорит человек правду или лжет);
- 7) доминировании;
- 8) интенсивности переживаний в процессе общения.

***Взор участвует в регуляции взаимодействия людей:***

- 1) прямое указание на какой-объект или зону пространства;
- 2) взаимная синхронизация взглядов друг на друга при общении лицом к лицу;
- 3) регуляция действий партнера по общению, передача ему очереди высказаться или сделать что-то.

***Взор выражает степень интимности отношений:***

- 1) отражает аффилиативные установки человека по отношению к партнеру по общению;
- 2) входит в систему поддержания определенного уровня интимности ситуации и может быть использован для усиления интимности.

***Взор участвует в регуляции социальных отношений:***

- 1) придает убедительности высказываниям и действиям человека;
- 2) сигнализирует о поиске дружеских или доверительных отношений;
- 3) демонстрирует угрозу, власть или агрессию;
- 4) указывает на согласие, желание угодить.

Подводя итоги, отметим, что взор человека выполняет не только гностические, но и важные коммуникативные функции, являясь средством познания других людей и участвуя в регуляции межлич-

ностных взаимодействий. Интерес к данной проблеме резко возрос: во-первых, структуру коммуникативного акта и социальных взаимодействий в целом трудно понять, если игнорировать социальные функции взора. Так, психологический анализ диалога будет неизмеримо богаче, если наряду с построением речевых высказываний принять в расчет динамику обмена взорами между партнерами, а также другие невербальные компоненты поведения. Во-вторых, знание о функциях взора и переживаниях, вызванных теми или иными паттернами взора, чрезвычайно важны в связи с широко развернувшимся в последнее время обучением социальным навыкам, т.е. навыкам поведения в общественных местах и навыкам взаимодействия с другими людьми. Кроме того, эти данные необходимы для специалистов многих профессий: архитекторов, проектировщиков новых коммуникационных систем, психиатров (поскольку особенности взора входят в описание ряда синдромов), артистов, учителей, художников и др.

На наш взгляд, дальнейшее развитие исследований по данной проблеме должно идти за счет более тесного сближения направлений, изучающих, соответственно, когнитивные и социальные функции взора. Проиллюстрируем это одним примером. Взаимный взор чаще всего операционально определяют как совпадение моментов, когда партнеры по общению смотрят в лицо друг другу. Техника кинорегистрации и видеозаписи не позволяет более точно дифференцировать направление взоров. Однако аппаратные записи движений глаз при рассматривании изображений лица позволили различить взоры, направленные в глаза, и взоры, обращенные на отдельные части лица или на лицо в целом. Следовательно, только часть тех взаимных взоров, которые описаны в научной литературе, были связаны с истинными переживаниями визуального контакта, остальные же еще требуют своего осмысления. Ближайшая же и вполне конкретная цель должна, по-видимому, состоять в том, чтобы основными языковыми характеристикам взора поставить в соответствие определенные невербальные микропаттерны поведения.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф.* К вопросу о функциях движений глаз в процессе зрительного восприятия // Вопросы психологии. 1972. № 1. С. 3–18.
- Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф.* Механизм элементарных движений глаз как следящая система // Моторные компоненты зрения. М., 1975. С. 7–55.
- Анохин П.К.* Предисловие к русскому изданию // Процессы регулирования в биологии. М.: ИЛ, 1960. С. 5–11.
- Арбиб М.* Метафорический мозг. М.: Мир, 1976.
- Барабаничиков В.А.* Исследование глазодвигательной системы в условиях положительной обратной связи // Движения глаз и зрительное восприятие. М., 1978. С. 117–165.
- Барабаничиков В.А.* Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИП РАН, 1997.
- Барабаничиков В.А.* Психология восприятия: организация и развитие перцептивного процесса. М.: Изд-во Когито-Центр, 2006.
- Барабаничиков В.А., Белопольский В.И.* Функциональная гибкость глазодвигательной системы // Мозг и психические процессы. М.: Наука, 1984. С. 230-235.
- Барабаничиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* Оптические методы трансформации зрительной обратной связи // Психологический журнал. 1980. Т. 1. С. 85–94.
- Барабаничиков В.А., Зубко А.П.* Амбивалентная зрительная обратная связь и регуляция движений глаз // Физиология человека. 1980. Т. 4. № 2. С. 220–223.
- Бауэр Т.* Психическое развитие младенца. М.: Прогресс, 1979.
- Бахман Т.К.* Психофизиология зрительной маскировки. Тарту: Изд-во ТГУ, 1989.
- Белопольский В.И.* Исследование глазодвигательной системы в условиях варьирования величины зрительной обратной связи // Движение глаз и зрительное восприятие. М., 1978а. С. 86–116.
- Белопольский В.И.* О механизмах стабильности видимого мира при ограничении поля зрения // Движение глаз и зрительное восприятие. М., 1978b. С. 171–186.

- Белопольский В.И.* Динамика функционального поля зрения в процессе чтения // Труды VIII конференции закавказских психологов. Ереван, 1980. С. 18–19.
- Белопольский В.И.* Факторы, влияющие на динамику функционального поля зрения человека // Проблемы управления состоянием человека-оператора. М., 1984. С. 16–17.
- Белопольский В.И.* Селективное внимание и регуляция движений глаз // Психологический журнал. 1985. Т. 6. № 3. С. 56–74.
- Белопольский В.И.* Механизмы пространственной ориентации человека относительно гравитационной вертикали // Системный анализ сенсорно-перцептивных процессов. М., 1988. С. 26–73.
- Белопольский В.И.* Внешнее и внутреннее управление размером зоны фокального зрительного внимания // Сенсорные системы. 1989. Т. 3. № 1. С. 48–55.
- Белопольский В.И.* О механизмах управления взором человека // Психология восприятия. М.: Наука, 1989. С. 46–58.
- Белопольский В.И.* О сигнале управления движениями глаз // Управление движениями. М.: Наука, 1990.
- Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* Исследование динамики функционального поля зрения в процессе решения перцептивных задач // Деятельность и психические процессы. М., 1977. С. 120.
- Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* Адаптивная реакция глазодвигательной системы на изменение величины зрительной обратной связи // Физиология человека, 1979. Т. 5. № 3. С. 543–551.
- Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* Фотоэлектрический метод регистрации ротаторных движений глаз человека // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1990. Т. 24. № 5. С. 51–53.
- Белопольский В.И., Гусев В.В., Курочкин А.Л.* Взаимосвязь между читаемостью текста и уровнем развития навыка чтения // Психологический журнал. 1992. Т. 13. № 5. С. 48–56.
- Белопольский В.И., Усманов М.М.* Об активности чувственного отражения (На материале зрительного восприятия) // Общественные науки в Узбекистане. Ташкент, 1982. № 1. С. 38–47.
- Бернштейн Н.А.* О построении движений. М.: Медицина. 1947.
- Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966.
- Величковский Б.М.* Современная когнитивная психология. М.: Изд-во МГУ, 1982.
- Венгер Л.А.* Восприятие и обучение. М.: Просвещение, 1969.
- Вергилес Н.Ю.* Личное сообщение. 1974.
- Владимиров А.Д., Хомская Е.Д.* Процессы экстраполяции в глазодвигательной системе. М., 1981.
- Вудвортс Р.* Экспериментальная психология. М., 1950.

- Вундт В.* Введение в психологию. М.: Космос, 1912.
- Вундт В.* Очерк психологии. М.: Изд-во И.Н.Кушнеров и К<sup>о</sup>, 1897.
- Ганзен В.А., Грановская Р.М.* К вопросу о восприятии контурных объектов периферическим зрением // Психологические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 46–49
- Гератеволь З.* Психология человека в самолете. М.: ИЛ, 1956.
- Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988.
- Гиппенрейтер Ю.Б.* Опыт экспериментального исследования работы зрительной системы наблюдателя // Инженерная психология. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 192–230.
- Гиппенрейтер Ю.Б.* Движения глаз в деятельности человека и в ее исследовании // Исследование зрительной деятельности человека. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 3–25.
- Гиппенрейтер Ю.Б.* Движения человеческого глаза. М.: Изд-во МГУ, 1978.
- Гиппенрейтер Ю.Б., Смирнов С.Д.* Уровни следящих движений глаз и зрительное внимание // Вопросы психологии. 1971. № 3. С. 31–45.
- Гиппенрейтер Ю.Б., Уразаева В.А.* Исследование движений глаз при выполнении метрических задач // Вопросы психологии. 1963. № 6. С. 76–84.
- Грегори Р.Л.* Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. М.: Прогресс, 1970.
- Глезер В.Д.* К характеристике глаза как следящей системы // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. 1959. Т. 45. № 3. С. 271–279.
- Глезер В.Д.* Механизмы опознания зрительных образов. М., 1966.
- Голиков Ю.Я., Костин А.Н.* Психология автоматизации управления техникой. М.: Изд-во ИП РАН. 1966.
- Гордеева Н. Л., Назаров А. И., Романюта В. Г., Яровинский А. Н.* Движения глаз и управление следами сенсорной памяти // Труды ВНИИТЭ. 1972. Вып. 4. С. 38–63.
- Гуревич Б.Х.* Движения глаз как основа пространственного зрения и как модель поведения. Л.: Наука, 1971.
- Гурфинкель В.С., Левик Ю.С.* Сенсорные комплексы и сенсомоторная интеграция // Физиология человека. 1979. Т. 5. № 3. С. 399–414.
- Движения глаз и зрительное восприятие / Под ред. Б.Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1978. С. 71–171.
- Жинкин Н.Н.* Исследование внутренней речи по методике центральных речевых помех // Известия АПН РСФСР. 1960. № 113. С. 114–148.
- Завалишин Н.В., Мучник И.Б.* Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. М.: Наука, 1974.
- Зинченко В.П.* Теоретические проблемы психологии восприятия // Инженерная психология. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 231–263.

- Зинченко В.П.* Вклад А.А.Ухтомского в физиологическую психологию // Вопросы психологии. 1995. № 5. С. 79–81.
- Зинченко В.П., Вергилес Н.Ю.* Формирование зрительного образа. М.: Изд-во МГУ, 1969.
- Зинченко В.П., Ломов Б.Ф.* О функциях движений руки и глаза в процессе восприятия // Вопросы психологии. 1960. № 1. С. 29–41.
- Зысин С.Л.* Оценка положения точки на линии // Исследование принципов переработки информации в зрительной системе. Л.: Наука, 1970.
- Карпов Б.А., Карпова А.Н.* Об организации движений прослеживания в зрительной системе человека // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. 1974. Т. 10. С. 1150–1158.
- Колерс П.* Некоторые психологические аспекты распознавания образов // Распознавание образов. Исследование живых и автоматических распознающих систем. М.: Мир, 1970. С. 16–87.
- Коффка К.* Основы психического развития. М.–Л. 1934.
- Кравков С.В.* Глаз и его работа. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
- Кришюнас К.С., Лаурютис В.П.* Взаимно-индуктивный измеритель микро- и макродвижений глаз // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 1977. № 4. С. 82–86.
- Кузнецов О.А., Хромов Л.Н.* Техника быстрого чтения. 2-е изд. М.: Книга, 1983.
- Ланге Н.Н.* Психологические исследования // Одесса: Новорос. ун-т, 1893.
- Лаурингсон А.И., Шедровицкий Л.П.* Некоторые сведения о системе слежения глаза // Биофизика. 1965. Т. 10. Вып. 1. С. 137–140.
- Левашов М.М., Дмитриева А.В.* Космическая биология. 1981. Т. 15. № 6. С. 80–82.
- Лезер Ф.* Рациональное чтение. М.: Педагогика, 1980.
- Леонтьев А.Н.* Проблемы развития психики. М.: Мысль, 1965.
- Леонтьев А.Н.* Об одном феномене пространственного восприятия (эффект «слупы») // Вопросы психологии. 1974. № 5. С. 13–18.
- Леонтьев А.Н.* Деятельность. Сознание. Личность. М.: Политиздат, 1977.
- Леонтьев А.Н.* Ощущения и восприятия как образы предметного мира // Познавательные процессы: Ощущения, восприятие. М.: Педагогика, 1982. С. 32–50.
- Леонтьев А.Н., Гиппенрейтер Ю. Б.* О деятельности зрительной системы человека // Психологические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 3–23.
- Линдсей П., Норман Д.* Переработка информации у человека. М.: Мир, 1974.
- Леушина Л. И.* Глазодвигательная система и ее функции // Физиология сенсорных систем. Ч. 1. Физиология зрения. М.–Л.: Наука, 1971. С. 60–77.
- Леушина Л.И.* Зрительное пространственное восприятие. Л., 1978.
- Линдсей П., Норман Д.* Переработка информации у человека. М., 1974.
- Логвиненко А.Д.* Зрительное восприятие пространства. М.: Изд-во МГУ, 1981.

- Логвиненко А.Д., Сокольская Т.М.* Феномен Леонтьева: влияние дистанции и амплитуды // Вопросы психологии. 1975. № 5. С. 13–25.
- Логвиненко А.Д., Столин В.В.* Некоторые аспекты проблемы константности восприятия в условиях инверсии поля зрения // Труды ВНИИТЭ. 1973. Вып. 6.
- Ломов Б.Ф.* Человек и техника. Л., 1966.
- Лурия А.Р., Правдина-Винарская Е.Н., Ярбус А.Л.* К вопросу о механизмах движений глаз в процессе восприятия и их патологии // Вопросы психологии. 1961. № 5. С. 159–172.
- Луук А., Барабаничиков В., Белопольский В.* Движения глаз и проблема стабильности воспринимаемого мира // Ученые записки Тартуского ун-та. 1977. № 429. С. 122–167.
- Луук А.Г., Романюта В.Г.* Саккадическое подавление: факты, теории и гипотезы // Труды ВНИИТЭ. 1972. Вып. 4. С. 143–194.
- Март Д.* Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. М.: Радио и связь, 1987.
- Матеев С.М.* Локализация стимулов, предъявляемых движущемуся глазу: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР, 1973.
- Матюшкин Д.П.* Глазодвигательный аппарат млекопитающих. Л.: Медицина, 1972.
- Мах Э.* Анализ ощущений. СПб.: Изд-во Скирмунта, 1907.
- Милсум Дж.* Анализ биологических систем управления. М.: Мир, 1968.
- Митрани Л.* Саккадические движения глаз и зрение. София: Изд-во БАН, 1973.
- Митькин А.А.* Системная организация зрительных функций. М.: Наука, 1988.
- Назаров А.И.* Манипулирование обратной связью как метод исследования зрительной системы // Труды ВНИИТЭ. 1970. Вып. 1.
- Найссер У.* Познание и реальность. М.: Прогресс, 1981.
- Натадзе Р.Г.* Экспериментальные основы теории установки Д.Н. Узнадзе // Психологическая наука в СССР. Т. II. М., 1960. С. 114–167.
- Носуленко В.Н.* Психология слухового восприятия. М.: Наука, 1988.
- Ноттон Д., Старк Л.* Движения глаз и зрительное восприятие // Восприятие. Механизмы и модели. М., 1974. С. 226–240.
- Павлова М.А.* Метод движущихся точек в исследовании зрительного восприятия событий // Психологический журнал. 1989. Т. 10. № 6. С. 91–99.
- Петров А.П., Зенкин Г.М.* Преобразования последовательного образа при движении наблюдателя, константность видимого поля и непредметные механизмы инвариантности // Физиология человека. 1976. Т. 2. С. 925–931.
- Пижаже Ж.* Генезис восприятия // Экспериментальная психология. М.: Прогресс, 1978. Вып. VI. С. 13–87.

- Пик Г.Л., Розенгрэн К.* Зрительное управление моторной деятельностью // Управление движениями. М.: Наука, 1990. С. 86–97.
- Подвигин Н.Ф.* Динамические свойства нейронных структур зрительной системы Л.: Наука, 1979.
- Поддьяков Н. Н., Наканов М. Г., Дремина М. И.* Исследование зрительного восприятия движения в условиях безориентированного пространства // Труды ВНИИТЭ. 1971. Вып. 2.
- Подольский А.И.* Формирование симультанного опознания. М.: Изд-во МГУ, 1978.
- Познавательные процессы: Ощущения, восприятие / Под ред. А.В. Запорожца, Б.Ф. Ломова, В.П. Зинченко. М.: Педагогика, 1982.
- Прибрам К.* Языки мозга. М.: Прогресс, 1975.
- Притчард Р.* Стабилизированные изображения на сетчатке // Восприятие. Механизмы и модели. М., 1974. С. 194–203.
- Психология восприятия / Под ред. Б.Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1989.
- Розенблюм Ю.Э.* Основные тенденции в исследовании остроты зрения // Новые методы функциональной диагностики в офтальмологии. Труды Моск. НИИ им. Гельмгольца. 1973. Вып. 17. С. 178–200.
- Рок И.* Введение в зрительное восприятие. М.: Педагогика, 1980. Кн. I, II.
- Рубахин В.Ф.* Психологические основы обработки первичной информации. Л., 1971.
- Сергиенко Е.А.* Антиципация в раннем онтогенезе. М.: Наука, 1992.
- Сергиенко Е.А.* Раннее когнитивное развитие. Новый взгляд. М., Изд-во ИП РАН, 2006.
- Сеченов И.М.* Избранные произведения. М., 1952а. Т. I.
- Сеченов И.М.* Физиология нервных центров // Физиология нервной системы. Вып. III. Кн. I. М., 1952b. С. 13–24.
- Скорородова О.И.* Как я воспринимаю, представляю и понимаю окружающий мир. М., 1972.
- Словарь сочетаемости слов русского языка / Под ред. П.Н. Денисова, В.В. Морковкина. М.: Русский язык, 1983.
- Смирнов С.Д.* Психология образа: проблема активности психического отражения. М.: Изд-во МГУ, 1985.
- Сокольская Т.М.* Зависимость остроты зрения от видимого расстояния до объекта // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 1977. № 3. С. 65–68.
- Солсо Р.* Когнитивная психология. М.: Тривола, 1996.
- Столин В.В.* Исследование порождения зрительного пространственного образа // Восприятие и деятельность. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 101–208.
- Теплов Б.М.* Основные идеи в психологических трудах Ланге // Вопросы психологии. 1958. № 6. С. 55.

- Титченер Э.Б.* Учебник психологии. М.: Мир, 1914. Ч. I, II.
- Тихомиров О.К.* Структура мыслительной деятельности человека. М.: Изд-во МГУ, 1969.
- Тиченер Э.* Очерки психологии. СПб., Изд-во Ф. Павленкова, 1898.
- Узнадзе Д.Н.* Экспериментальные основы психологии установки. Тбилиси: Мецниерба, 1961.
- Ульман Ш.* Принципы восприятия подвижных объектов. М.: Радио и связь, 1983.
- Физиология сенсорных систем. Ч. I. Физиология зрения. Л.: Наука, 1972.
- Филин В. А.* О механизме произвольных скачков глаз и их роли в зрительном восприятии // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 69–101.
- Филин В.А.* Автоматия саккад. М.: Изд-во МГУ, 2001.
- Хомская Е. Д.* К проблеме афферентации движения глаз // Вопросы психологии. 1962. № 3. С. 73–84.
- Хрестоматия по ощущению и восприятию / Под ред. Ю.Б. Гиппенрейтер и М.Б. Михалевской. М.: Изд-во МГУ, 1975.
- Чуприкова Н.И.* К вопросу о центральной регуляции возбудимости зрительного анализатора и механизмах, управляющих саккадическими движениями глаз // Вопросы психологии. 1973. № 5. С. 41–48.
- Шахнович А.Р.* О роли афферентации в регуляции движений глаз // Бионика. М.: Наука, 1965. С. 110–116.
- Шахнович А.Р.* Мозг и регуляция движений глаз. М.: Медицина, 1974.
- Шевелев И.А.* Пластичность специализированных детекторных свойств нейронов зрительной коры // Сенсорные системы. Л.: Наука, 1977. С. 20–36.
- Шеррингтон Ч.* Интегративная деятельность нервной системы. Л.: Наука, 1969.
- Шехтер М.С.* Зрительное опознание: закономерности и механизмы. М.: Педагогика, 1981.
- Эделмен Дж., Маунткасл В.* Разумный мозг. М.: Мир, 1981.
- Юнг Р.* Оптическая регуляция движений глаз, внимание и восприятие движения // Системная организация физиологических функций. М.: Медицина, 1969.
- Ярбус А.Л.* К вопросу о роли движений глаз в процессе зрения // Биофизика. 1959. Т. 4. Вып. 6. С. 757–758.
- Ярбус А.Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.
- Ярбус А.Л., Рожкова Г.И.* Особенности восприятия объектов на периферии поля зрения // Сенсорные системы. Л., 1977. С. 64–72. *Aaronson D., Ferres S.* Lexical categories and reading tasks // J. Exp. Psychol.: HPP. 1983. V. 9(5). P. 675–699.
- Abernethy C.N., Leibowitz H.W.* The effect of feedback on luminance thresholds for peripherally presented stimuli // Percept. Psychophys. 1971. V. 10. P. 172–174.

- Abrams S.G., Zuber B.L.* Some characteristics of information processing during reading // *Reading Res. Quart.* 1972. V. 8. P. 40–51.
- Alegria J.* Sequential effects of foreperiod duration: Some strategical factors in tasks involving task uncertainty // *Attention and performance. V / Ed. by P. Rabbit, S. Dornic. L.: Academic Press, 1975.*
- Allen M.J., Carter J.H.* The torsional component of the near reflex // *Amer. J. Ophthalmol.* 1967. V. 44. P. 343–319.
- Allport F.H.* Theories of perception and the concept of structure. N.Y.: John Wiley & Sons, 1955.
- Alpern M.* Movements of the eyes // *The eye. New York: Acad. Press, 1962. V. 3. P. 181–187.*
- Alpern M.* Eye movements // *Handbook of sensory physiology / Ed. by D. Jameson, L. Hurvich. Berlin – Heidelberg – NY: Springer-Verlag, 1972. V. VII/4: Visual Psychophysics. P. 102–145, 303–330.*
- Ambler B.A., Finklea D.L.* The influence of selective attention in periferal and foveal vision // *Percept. Psychophys.* 1976. V. 19. P. 518–524.
- Anstis S.M.* A chart demonstrating variations in acuity with retinal position // *Vision Res.* 1974. V. 14. P. 589–592.
- Anstis S.M., Mayhew J.H., Morley T.* The perception of where a face or television «portrait» is looking // *Am. J. Psychol.* 1969. V. 82. P.474–489.
- Argyle M., Cook M.* Gaze and mutual gaze. Cambridge, 1976.
- Argyle M., Ingham R.* Gaze, mutual gaze and proximity // *Semiotica.* 1972. V. 6.
- Argyle M., Ingham R., Alkema F., Mcallin M.* Different functions of gaze // *Nonverbal behavior, interaction and gesture / Ed. by A. Kendon. The Hague etc.: Mouton cop., 1981.*
- Argyle M., Dean J.* Eye-contact, distance and affiliation // *Sociometry.* 1965. V. 28. P. 289–304.
- Arndts F.* Zur Frage nach der Lagewahrnehmung dieneuden Sinnesfunktionen // *Pflügers Arch. Ges. Physiol.* 1924. B. 204. S. 539–540.
- Aubert H.* Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links // *Virchows Arch.* 1861. B. 20. S. 301–393.
- Austin M., Singer G., Day R.H.* Visual orientation illusion following judgements with a tilted visual field // *Nature.* 1969. V. 221. P. 503–584.
- Bachmann T., Allik J.* Integration and interruption in the masking of form by form // *Perception.* 1976. V. 5. P. 79–97.
- Bahrack H.P., Fitts P.M., Rankin R.E.* Effect of incentives upon reaction to peripheral stimuli // *J. Exp. Psychol.* 1952. V. 44. P. 400–406.
- Baird S.W.* The influence of accommodation and convergence upon the perception of depth // *Amer. J. Psychol.* 1903. V. 14. P. 150–200.
- Balliet R., Nakayama K.* Training of voluntary torsion // *Invest. Ophthalm.* 1978a. V. 17. P. 303–314.

- Balliet R., Nakayama K.* Egocentric orientation is influenced by trained voluntary cyclorotary movements // *Nature*. 1978b. V. 275. P. 214–216.
- Bappert S.* Neue untersuchungen sum Problem del Verhältnisses von Akkomodation und konvergenz zur Wahrnehmung der Tiefe // *Z. Psychol.* 1923. B. 90. S. 167–203.
- Barlow H.B., Hill R. M.* Selective sensitivity to direction of movement in ganglion cells of the rabbit retina // *Science*. 1963. V. 139. P. 412–414.
- Bassili J.* Facial motion in the perception of faces and emotional expressions // *J. Exp. Psychol.: HPP*. 1978. V. 4. P. 373–379.
- Bauermeister M.* Effect of body tilt on apparent verticality, apparent body position and their relation // *J. Exp. Psychol.* 1964. V. 67. P. 742–747.
- Baumeister A., Joubert C.* Interactive effects on reaction time of preparatory interval length and preparatory interval frequency // *J. Exp. Psychol.: HPP*. 1969. V. 82. P. 393–395.
- Baumgartner G.* Neuronale Mechanismen des Kontrast und Bewegungssehen // *Zusammenkunft Deutsch ophthalmol. Ges.* / Ed. by W. Jaeger. Heidelberg. München, 1964. B. 66 S. 111–127.
- Beck J.* Surface color perception. Cornell University Press: Ithaca, New York, 1972.
- Becker C., Killion T.H.* Interaction of visual and cognitive effects in word recognition // *J. Exp. Psychol.: HPP*. 1977. V. 3. P. 389–401.
- Becker W.* Accuracy of saccadic eye movements and maintenance of eccentric eye positions in the dark // *Vision Res.* 1973. V. 13. P. 1021–1034.
- Becker W.* Do correction saccades depend exclusively on retinal feedback? A note on the possible role of non-retinal feedback // *Vision Res.* 1976. V. 16. P. 425–427.
- Becker W., Fuchs A. F.* Further properties of the human saccadic system: Eye movements and correction saccades with and without visual fixation points // *Vision Res.* 1969. V. 9. P. 1247–1258.
- Becker W., Jürgens R.* An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli // *Vision Res.* 1979, V. 19. P. 967–983.
- Becker W., Jurgens R.* Saccadic reactions to double-step stimuli: Evidence for model feedback and continuous information uptake // *Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications*. Proc. Intern. Symp. Stockholm, 1974. Oxford etc., 1975. P. 519–524.
- Beh H.C., Wenderoth P. M.* The effect of variation of frame shape on the angular function of the rod-and-frame illusion // *Percept. Psychophys.* 1972. V. 11. P. 35–38.
- Beh H.C., Wenderoth P. M., Purcell A. T.* The angular function of a rod-and-frame illusion // *Percept. Psychophys.* 1971. V. 9. P. 353–355.
- Beloff S.* The stripe paradox // *Brit. J. Psychol.* 1961. V. 52. P. 323–331.
- Belopolsky V.I.* Eye movement parameters during reading of moving text // *Perception (Gr. Brit.)*. 1989a. V. 18. № 4, P. 525.

- Belopolsky V.I.* Attentional spatio-temporal dynamics as a basis for search and acquisition of information // Extended abstracts of international workshop «Neurocomputers and Attention». Pushchino, 1989b. P. 16–17.
- Belopolsky V.I.* The spatial dimension in visual attention and saccades // *Behav. and Brain Science*. 1993, V.16 P. 570–571.
- Belopolsky V.I.* Frame and metrics for the reference signal // *Behav. and Brain Science*. 1994. V. 17. P. 313–314.
- Belopolsky V.I.* Spatial reading strategies, used by average and fast readers // *J. Russian and East Europ. Psychol. (USA)*. 1995. P. 21–51.
- Belopolsky V.I., Dubrovsky V.E.* Dynamic presentation of magnified graphical characters on the IBM-compatible computers // *Behav. Res. Meth., Instr. and Computers*. 1994. V. 26 (2). P. 125–127.
- Belopolsky V.I., Bezdenezhnykh B.N., Lovy O.V.* Brain potential and eye movement correlates of fixational load under gaze-free conditions // *Supercomputing in brain research: from tomography to neural networks. Proceedings of the Workshop HLRZ, KFA Julich, Germany, 21–23 November. 1994 / Ed. by H.J. Herrmann, D.E. Wolf and E. Poppel. World Scientific, 1995. P. 111–116.*
- Bennett B.M., Hoffman D.D., Prakash C.* Observer mechanics: A formal theory of perception. N. Y.: Acad. Press, 1989.
- Berkeley G.* Essay towards a new theory of vision. Dublin: Jeremy Pepyat, 1709.
- Bevan W., Hardesty D., Avant L.* Response latency with constant and variable interval schedules // *Percept. and Mot. Skills*. 1965. V. 20. P. 969–972.
- Biederman I.* Higher level vision // An invitation to cognitive science: Visual cognition and action / Ed. by D.N. Osherson, S. Kosslyn, J. Hollerbach. Cambridge, MA: MIT, 1990. V. 2. P. 41–72.
- Biederman I.* Recognition-by-components: a theory of human image interpretation // *Psychol. Rev.* 1987. V. 94. P.115–147.
- Biederman I.* Higher level vision // An invitation to cognitive science: Visual cognition and action / Ed. by D.N. Osherson, S. Kosslyn, J. Hollerbach. Cambridge, MA: MIT, 1990. V. 2. P. 41–72.
- Bischof N., Kramer E.* Untersuchungen und Überlegungen zur Richtungswahrnehmung bei willkürlichen sakkadischen Augenbewegungen // *Psychol. Forsch.* 1968. Bd. 32. S. 185–218.
- Bishop N., Schierer E.* Systemanalyse der optisch-vestibulären Interaktion bei der Wahrnehmung der Vertikalen // *Psychol. Forsch.* 1970. B. 34. S. 99–181.
- Bizzi E., Kalil R. E., Morasso P., Tagliasco V.* Central programming and peripheral feedback during eye-head coordination in monkeys // *Bibl. Ophtalmol.* 1972. V. 82. P. 220–232.
- Bizzi E., Kalil R. E., Tagliasco V.* Eye-head coordination in monkeys: Evidence for centrally patterned organization // *Science*. 1971. V. 173. P. 452–454.

- Bodis-Wollner I.* A distractive effect of peripheral attention on foveal trigram recognition // *Perception*. 1973. V. 2. P. 407–413.
- Boschman M.C., Roufs, J.A.J.* Perceptual image quality measures of VDUs tested in comparative multi-display experiments // *IPO annual progress report*. 1992. V. 27. P. 72–82.
- Botwinick J., Brindley J.* An analysis of set in relation to reaction time // *J. Exp. Psychol.*: HPP. 1962. V. 63. P. 568–574.
- Bouma H.* Interaction effects in parafoveal letter recognition // *Nature*. 1970. V. 226. P. 177–178.
- Bouma H.* Visual search and reading: eye movements and functional visual field: a tutorial review // *Attention and performance*. VI. N. J., 1978. P. 115–148.
- Bourdon B.* La perception visuelle de l'Espace. Paris: Libraire C. Reinwald, 1902.
- Brandt H.F.* Ocular patterns and their psychological implication // *Amer. J. Psychol.* 1940. V. 53. P. 260–268.
- Brandt T., Dichgans J., Held R.* Optokinesis affects body posture and the subjective visual vertical // *Pflügers Archiv*. 1973. V. 339 (Sup.). P. R97.
- Braunstein M. L.* Depth perception through motion. N.Y.: Academic Press, 1976.
- Brecher G.A.* Die optokinetische Auslösung von Augenrollung und rotatorischem Nystagmus // *Pflügers Arshiv. ges. Physiol.* 1934. B. 234. S. 13–28.
- Breitmeyer B.G.* Visual masking: An integrative approach. N. Y.: Oxford Univ. Press, 1984.
- Brewster D.* On the law of visible position in single and binocular vision, and on the representation of solid figures by union of dissimilar plane pictures of the retina // *Edin. R. Soc. Trans.* 1844. V. 15. P. 349–368.
- Bridgeman B., Van der Heijden A.H.C., Velichkovsky B.M.* A theory of visual stability across saccadic eye movements // *Behav. and Brain Science*. 1994. V. 17. P. 247–292.
- Brindley G.S., Merton P.A.* The absence of positional sense in the human eye // *J. Physiol.* (London). 1960. V. 153. P. 127–130.
- Broadbent D.E.* Perception and communication. L.: Pergamon Press, 1958.
- Broadbent D.E.* Word frequency effect and response bias // *Psychol. Rev.* 1967. V. 74. P. 1–15.
- Brosigole L., Cristal R. M.* Vertically induced autokinesis // *Psychonom. Sci.* 1967. V. 7. P. 337–338.
- Brown J.L.* Orientation to the vertical during water immersion // *Aerosp. Med.* 1961. V. 32. P. 209–217.
- Brown K.T.* Rate of apparent change in a dynamic ambiguous figure as a function of observation time // *Amer. J. Psychol.* 1955. V. 68. P. 358–371.
- Bruner J. S.* On perceptual readiness // *Psychol. Rev.* 1957. V. 64. P. 123–152.
- Brunswik E.* Perception and the representative design of psychological experiments. Berkeley: Univ. California Press, 1956.

- Buettner M., Krischer C.C., Meissen R.* Characterization of gliding text as a reading stimulus // *Bull. Psychonom. Soc.* 1985. 23. 479–482.
- Bursill A.E.* The restriction of peripheral vision during exposure to hot and humid condition // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1958. V. 10. P. 113–129.
- Buswell G.T.* How people look at pictures. Chicago, 1935.
- Carpenter H.S.* Movements of the eyes. London: Cambridge Press, 1977.
- Cerebral control of eye movements and motion perception / Ed. by G. Dichgans, E. Bizzi // *Bibl. Ophthalmol.* 1972. V. 82.
- Chaikin J.D., Corbin H.H., Volkman J.* Mapping a field of short time visual search // *Science.* 1962. V. 138. P. 1327–1328.
- Clark B.B., Graybiel A.* Perception of the postural vertical in normals and subjects with labyrinthine defects // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1963. V. 65. P. 490–494.
- Clark B., Graybiel A.* Factors contributing to the delay in the perception of the oculogravic illusion // *Amer. J. Psychol.* 1966a. V. 79. P. 377–388.
- Clark B., Graybiel A.* Perception of the visual horizontal in normal and labyrinthine defective observer during prolonged rotation // *Amer. J. Psychol.* 1966b. V. 79. P. 508–612.
- Clark B., Graybiel A.* Egocentric localization of the visual horizontal in normal and labyrinthine defective observer as a function of head and body tilt // *Percept. Psychophys.* 1967. V. 2. P. 609–611.
- Cogan A. I.* The relationship between the apparent vertical and vertical horopter // *Vision Res.* 1979. V. 19. P. 655–665.
- Cohen R.L.* Problems in motion perception. Uppsala, 1964.
- Cohen M.M.* Elevator illusion: influences of otolith organ activity and neck proprioception // *Percept. Psychophys.* 1973. V. 14. P. 401–406.
- Cohen R.L.* Problems in motion perception. Uppsala, 1964.
- Collewyn H., Erkelens C.J.* Binocular eye movements and the perception of depth // *Eye movements and their role in visual and cognitive processes / Ed. by E. Kowler.* Amsterdam: Elsevier, 1990. P. 213–261.
- Collewyn H, van der Steen J., Ferman L., Jansen T.C.* Human ocular counterroll: Assessment of static and dynamic properties from electromagnetic scleral coil recordings // *Exp. Brain Res.* 1985. V. 59. P. 185–196.
- Collewyn H., van der Mark F., Jansen T.C.* Precise recording of human eye movements // *Vision Res.* 1975. V. 15. P. 447–450.
- Coltheart M., Cooper C.M.* The retinal reference of the tilt aftereffect // *Percept. Psychophys.* 1972. V. 11. P. 321–324.
- Cook M.* Eye-movements during recognition of faces // *Practical aspects of memory.* London etc.: Academic press, 1978.
- Corah N.L.* Effects of the visual field upon perception of change in spatial orientation // *J. Exp. Psychol.* 1965. V. 70. S. 598–601.

- Coren S., Bradey D.R., Hoenig P., Girgus G.S.* The effect of smooth tracking and saccadic eye movements on the perception of size: the shrinking circle illusion // *Vision Res.* 1960. V. 15. P. 49–55.
- Coren L., Komoda M.K.* Eye movements control in voluntary nystagmus // *Amer. J. Ophthalmol.* 1972. V. 74. P. 1161–1165.
- Correia M.J., Huxson W.C., Niven J.I.* On predictive equations for subjective judgments of vertical and horizontal in force field // *Acta Otolaryng.* 1968. V. 230. P. 3–30.
- Crannel C.W., Peters G.* Monocular and binocular estimation of distance when knowledge of the relevant space is absent // *J. Psychol.* 1970. V. 76. P. 157–167.
- Crone R.A.* Optokinetically induced eye torsion // *V. Grafes Arch. Ophthalm.* 1975. V. 196. P. 1–7.
- Crouwel W.* Typography: a technique of making a text «legible» // *Processing of visible language* / Ed. by P. A. Kolers, M.E. Wrolstad, H. Bouma. New York and London: Plenum Press, 1979.
- Crovits H.F., Daves W.* Tendencies of eye movement and perceptual accuracy // *J. Exp. Psychol.*: HPP. 1962. V. 63. P. 495–498.
- Cutting J.E.* Perception with an eye for motion. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- Davidson M. L., Fox M. J., Dick A. O.* Effect of eye movements on backward masking and perceived location // *Percept. Psychophys.* 1973. V. 14. P. 110–116.
- Davis R.C., Green F.* Intersensory differences in the effect of warning signals on reaction time // *Acta Psychologica.* 1969. V. 30. P. 155–167.
- Day R.H., Power R.P.* Apparent reversal (oscillation) of rotatory motion in depth: an investigation of a general theory // *Psychol. Rev.* 1965. V. 72. P. 117–127.
- Day R.H., Power R.P.* Frequency of apparent reversal of rotatory motion in depth as a function of shape and pattern // *Austr. J. Psychol.* 1963. V. 15. P. 162–174.
- Day R.H., Wade N. J.* Visual spatial aftereffect from prolonged head-tilt // *Science.* 1966. V. 154. P. 1201–1202.
- Day R., Wade N.J.* Involvement of neck proprioceptive system in visual after-effect from prolonged head tilt // *J. Exp. Psychol.*: HPP. 1968. V. 20. P. 290–293.
- Deckert G.H.* Pursuit eye movements in the absence of a moving visual stimulus // *Science.* 1964. V. 143. P. 1192–1193.
- Deubel H., Schneider W.X.* Saccade target selection and object recognition: evidence for common attentional mechanism // *Vision Res.* 1996. V. 36. P. 1827–1837.
- Deubel H., Wolf W., Hauske G.* Adaptive gain control of saccadic eye movements // *Hum. Neurobiol.* 1986. V. 5. P. 245–253.
- Diamond S.G., Markham C.H., Simpson N.E., Curthoys I.S.* Binocular counterrolling in humans during dynamic rotation // *Acta Otolaryng.* 1979. V. 87. P. 490–501.
- Dichgans J., Brandt T.* Visual-vestibular interaction effect on self-motion perception and postural control // *Handbook of sensory physiology.* V. VIII. New York: Springer. 1978. P. 755–804.

- Dichgans J., Diener H. C., Brandt T.* Optokinetic-graviceptive interaction in different head positions // *Acta Otolaryng.* 1974. V. 78. P. 391–398.
- Dichgans J., Held R., Young L. R., Brandt T.* Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity // *Science.* 1972. V. 178. P. 1217–1219.
- Dichgans J., Jung R.* Attention eye movements and motion detection: facilitation and selection in optokinetic nystagmus and railway nystagmus // *Attention in neurophysiology* / Ed. by C. R. Evans, T. B. Mulholland. London, 1969. P. 348–476.
- Dichgans J., Nauck B., Wolpert H.* The influence of attention, vigilance and stimulus area on optokinetic and vestibular nystagmus and voluntary saccades // *The oculomotor system and brain functions* / Ed. by V.I. Zikmund. Bratislava; London, 1973. P. 279–294.
- Dixon N.F., Dixon P.M. «Sloping water» and related framework illusion: some informal observations // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1966. V. 18. P. 369–370.
- Dodge R.* Visual perception during eye movement // *Psychol. Rev.* 1900. V. 7. P. 454–465.
- Dodge R.* An experimental study of visual fixation // *Psychol. Monogr.* 1907. V. 35. P. 1–95.
- Dodge R.* Five types of eye movements in the horizontal meridian plane of the field of regard // *Amer. J. Physiol.* 1903. V. 8. P. 307–329.
- Duke-Elder W.S.* Text-book of ophthalmology. St. Louis, Missouri, 1936. V. 1.
- Duncan S., Fiske D.W.* Face-to-face interaction: research method and theory. Hillsdal. New Jersey: Erlbaum ass., 1977.
- Dunker K.* Uber indusierte bewegung (Ein beitrag sur theorie optisch wahrgenommer bewegung) // *Psychol. Forsch.* 1929. B. 12. S. 180–259.
- Dzhafarov E.N.* Visual kinematics. I, II, III // *J. Mathem. Psychol.* 1992. V. 36. № 4. P. 471–546.
- Ebenholtz S. M.* Perception of the vertical with body tilt in the median plane // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1970. V. 83. P. 1–6.
- Ebenholtz S.M.* The constancy of object orientations: effect of target inclination // *Psychol. Forsch.* 1972. V. 35. P. 178–186.
- Ebenholtz S.M.* Determinants of the rod-and-frame effect: the role of retinal size // *Percept. Psychophys.* 1977. V. 22. P. 531–538.
- Ebenholtz S. M., Benzschawel T.L.* The rod and frame effect and induced head tilt as a function of observation distance // *Percept. Psychophys.* 1977. V. 22. P. 491–496.
- Ebenholtz S. M., Callan J.W.* Modulation of the rod and frame effect: retinal angle vs apperent size // *Psychol. Res.* 1980. V. 42. P. 327–334.
- Ebenholtz S. M., Glaser G.W.* Absense of processing in the large-frame rod-and-frame effect // *Percept. Psychophys.* 1982. V. 32. P. 134–140.
- Ebenholtz S.M., Paap R.R.* The constancy of object orientation: compensation for ocular rotation // *Percept. Psychophys.* 1973. V. 14. P. 458–470.

- Ebenholtz S. M., Utrie J. W. Jr.* Inhibition of the rod-and-frame effect by circular contours // *Percept. Psychophys.* 1982. V. 32. P. 199–200.
- Edwards J., Gale A.* EEG correlates of eye-contact // *EEG and Clin. Neurophysiol.* 1980. V. 50. V. 5–6. P. 232–233.
- Edwards D.C., Goolkasian P.A.* Peripheral vision location and kinds of complex processing // *J. Exp. Psychol.* 1974. V. 102. P. 244–249.
- Ender D. H., Nye P. W.* An investigation of the mechanisms of eye movement control // *Kybernetic.* 1961. V. 1. P. 81–93.
- Egeth H.* Attention and preattention // *The psychology learning and motivation.* N. Y.: Acad. Press., 1977. V. 11. P. 277–320.
- Egly R., Homa D.* Sensitization of the visual field // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1984. V. 10. P. 778–793.
- Engbert R.* Microsaccades: A microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception // *Prog. Brain Res.* 2006. V. 154. P. 177–192.
- Engbert R., Kliegl R.* Microsaccades uncover the orientation of covert attention // *Vision Research.* 2003. V. 43. № 9. P. 1035–1045.
- Engel F.L.* Visual conspicuity and selective background interference in eccentric vision // *Vision Res.* 1974. V. 14. P. 459–471.
- Engel F.L.* Visual conspicuity, directed attention and retinal locus // *Vision Res.* 1971. V. 11. P. 563–576.
- Enoch J.M.* Effect of the size of a complex display upon visual search // *J. Opt. Soc. Amer.* 1959. V. 49. P. 280–286.
- Enright J.T.* Voluntary oscilopsia: Watching the world go round // *Behav. and Brain Science.* 1994. V. 17. P. 260–262.
- Epstein W., Park J., Casey A.* The current status of the size-distance hypothesis // *Psychol. Bull.* 1961. V. 58. P. 491–514.
- Erbakan S.* Electronystagmography and electrooculography // *Ophthalmologica.* 1974. V. 169. P. 99–110.
- Eriksen B.A., Eriksen C.W.* Effects of noise letters upon the identification of target letter in a nonsearch task // *Percept. Psychophys.* 1974. V. 16. P. 143–149.
- Eriksen C.W.* Object location in a complex display upon visual search // *J. Opt. Soc. Amer.* 1953. V. 49. P. 280–286.
- Eriksen C.W., Hoffmann J.E.* Some characteristics of selective attention in visual perception determined by vocal reaction time // *Percept. Psychophys.* 1972a. V. 11. P. 169–171.
- Eriksen C.W., Hoffman J.E.* Temporal and spatial characteristics of selective encoding from visual display // *Percept. Psychophys.* 1972b. V. 12. P. 201–204.
- Eriksen C.W., James J.D.* Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model // *Percept. Psychophys.* 1986. V. 40. P. 225–240.
- Eriksen C.W., Rohrbaugh J.M.* Some factors determining efficiency of selective attention // *Amer. J. Psychol.* 1970. V. 83. P. 330–342.

- Eriksen C.W., Schultz D.W.* Retinal locus and acuity in visual information processing // Bull. Psychonom. Soc. 1977. V. 9(2). P. 81–84.
- Eriksen C. W., Yeh Y.* Allocation of attention in the visual field // J. Exp. Psychol.: HPP. 1985. V. 11. P. 583–597.
- Erke H., Gräser H.* Reversibility of perceived motion: selective adaptation of the human visual system to speed, size and orientation // Vision Res. 1972. V. 12. P. 69–87.
- Estes W.K.* Similarity-related channel interactions in visual processing // J. Exp. Psychol. 1982. V. 8. P. 353–382.
- Exline R.V.* Explorations in the process of person perception: visual interaction in relation to competition, sex and need for affiliation // J. Pers. Soc. Psychol. 1963. V. 31. P. 1–20.
- Exline R.V., Gray D., Schuette D.* Visual behavior in dyad as affected by interview content and sex of respondent // J. Pers. Soc. Psychol. 1965. V. I. P. 201–209.
- Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading / Ed. by K. Rayner. N.Y.: Springer Verlag. 1992.
- Eye movements in reading: Perceptual and language processes // Ed. by K. Rayner. Academic Press, 1983.
- Fechner G.T.* Elemente der Psychophysik, Leipzig, 1860.
- Fender D. H., Nye P. W.* An investigation of the mechanisms of eye movement control // Kybernetic. 1961. V. 1. P. 81–93.
- Ferman L., Collewijn H., Jansen T.C., van den Berg A.V.* Human gaze stability in the horizontal, vertical and torsional directions during voluntary head movements, evaluated with a three-dimensional scleral induction coil technique // Vision Res. 1987. V. 27. P. 811–828.
- Ferman L., Collewijn H., Van den Berg A.V.* A direct test of Listing's law. I. Human ocular torsion measured in static tertiary positions // Vision Res. 1987a. V. 27. P. 929–938.
- Ferman L., Collewijn H., Van den Berg A.V.* A direct test of Listing's law. II. Human ocular torsion measured under dynamic conditions // Vision Res. 1987b. V. 27. P. 939–951.
- Fernandez C., Goldberg J.M.* Physiology of peripheral neurons innervating otolith organs of the squirrel monkey. I, II, III // J. Neurophysiol. 1976. V. 39. P. 970–1008.
- Fernandez-Duque D., Posner M.I.* Relating the mechanisms of orienting and alerting // Neuropsychologia. 1997. V. 35. № 4. P. 477–486.
- Festinger L., Canon L.K.* Information about spatial location based on knowledge about efference // Psychol. Rev. 1965. V. 72. P. 373–384.
- Festinger L., Easton A.M.* Inferences about the efferent system based on perceptual illusion produced by eye movements // Psychol. Rev. 1974. V. 81. P. 44–58.

- Filehne W.* Über das optische Wahrnehmen von Bewegungen // *Z. Sinnesphysiol.* 1922. Bd. 43. S. 134–145.
- Findlay J.M.* Saccadic eye movements and visual cognition // *Ann. Psychol.* 1985. V. 85. P. 101–136.
- Findley J.M., Gilchrist I.D.* Active vision: The psychology of looking and seeing. Oxford Univ. Press, 2003.
- Fine B. J., Danforth A.V.* Field-dependence extraversion and perception of vertical: empirical and theoretical perspectives of the rod-and-frame test // *Percept. and Mot. Skills.* 1975. V. 40. P. 683–693.
- Finke R.A., Held R.* State reversals of optically induced tilt and torsional eye movements // *Percept. Psychophys.* 1978. V. 23. P. 337–340.
- Fischer B.* The preparation of visually guided saccades // *Rev. Physiol., Biochem. and Pharmacol.* 1987. V. 106. P. 1–35.
- Fisher B., Weber H.* Express saccades and visual attention // *Behav. and Brain Science.* 1993. V. 16. P. 553–610.
- Fleische E.* Physiologisch-optische Notizen // *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien.* 1882. Abt. III. Bd. 86. S. 17–25.
- Fodor J.A.* The modularity of the mind: An essay on faculty psychology. MA: MIT Press, 1983.
- Foley J.M.* Primary distance perception // *Handbook of sensory physiology.* V.VIII. Perception / R. Held, H. Leibowitz, H.-L. Teuber. Berlin e. a.: Springer Verlag, 1978. P. 181–213.
- Fuchs A.F.* The saccadic system // *The control of eye movements* / Ed. by P. Bach-y-Rita, C. C. Collins. N. Y.: Acad. Press, 1971. P. 343–362.
- Garten S.* Über die Grundlagen unserer Orientierung im Raum // *Abh. Sächs. Ges. (Akad.) Wiss.* 1920. B. 36. S. 431–510.
- Gasson A.P., Peter G.S.* The effect of concentration upon the apparent size of the visual field in binocular vision. 1965. Part 1. *The Optician.* Jan.1. P. 660–663; Part 2. Jan. 8. P. 5–12.
- Gauthier G.M., Hofferer J.-M.* Eye tracking of self-moved targets in the absence of vision // *Exp. Brain Res.* 1976a. V. 26. P. 121–139.
- Gauthier G.M., Hofferer J.-M.* Eye movements in response to real and apparent motions of acoustic targets // *Percept. and Mot. Skills.* 1976b. V. 42. P. 963–971.
- Gerrits H.J., Vendrik A.J.H.* Artificial movements of a stabilized image // *Vision Res.* 1970. V. 10. P. 1443–1456.
- Gibson E.J., Levin H.* *The Psychology of reading.* Cambridge, MA: MIT Press, 1975
- Gibson J.J.* *The perception of visual world.* N. Y.: Houghton Mifflin, 1950
- Gibson J.J.* The visual perception of objective motion and subjective movement // *Psychol. Rev.* 1954. V. 61. P. 304–314.
- Gibson J.J.* What give rise to the perception of motion? // *Psychol. Rev.* 1968 V. 75. P. 335–346.

- Gibson J.J., Radner M.* Adaptations, aftereffect and contrast in the perception of tilted lines. I. Quantitative studies // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1937. V. 20. P. 453–467.
- Gibson J.J., Pick A.D.* Perception of another person's looking // *Am. J. Psychol.* 1963. V. 76. P. 386–394.
- Gilliland A.R.* The effect on reading of changes in the size type // *Elementary School J.* 1923. V. 24. P. 138–146.
- Gogel W.C.* Convergence as a cue to absolute distance // *J. Psychol.* 1961a. V. 52. P. 287–301.
- Gogel W.C.* Convergence as a cue to absolute distance of objects in a binocular configuration // *J. Psychol.* 1961b. V. 52. P. 303–315.
- Gogel W.C.* Convergence as a determiner of perceived absolute size // *J. Psychol.* 1962. V. 53. P. 475–489.
- Gogel W.C., Newton R.E.* Depth adjacency and rod-and-frame illusion // *Percept. Psychophys.* 1975. V. 18. P. 163–171.
- Goldiamond I., Howkins W. F.* Vexiersuch: the log relationship between word frequency and recognition obtained in the absence of stimulus words // *J. Exp. Psychol.* 1958. V. 5. P. 457–463.
- Goodenough D.R., Oltman P.K., Sigman E., Rosso J., Merta H.* Orientation contrast effects in the rod-and-frame test // *Percept. Psychophys.* 1979. V. 25. P. 419–424.
- Goodenough D. R., Sigman E., Oltman P., Rosso J., Mertz H.* Eye torsion in response to a tilted visual stimulus // *Vision Res.* 1979. V. 19. P. 1177–1180.
- Goodman K.S.* Reading: A psycholinguistic guessing game // *Elementary English.* 1967. V. 42. P. 639–643.
- Goswami U., Bryant P.* Phonological skills and learning to read. Hove (UK): LEA, 1994.
- Gould J.D., Grischkowsky N.* Does visual angle of a line of characters affect reading speed? // *Human Factors.* 1986. 28 (2). 165–173.
- Graham C.H.* Visual space perception // *Vision and visual perception* / Ed. by C.H. Graham. New York: John Wiley and Sons, 1965. P. 504–547.
- Grant V.* Accommodation and convergence in visual space perception // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1942. V. 31. P. 89–104.
- Gratto, G., Coles M.G.H., Donchin E.* A new method for off-line removal of ocular artifact // *EEG and Clin. Neurophysiol.* 1983. V. 55. P. 468–484.
- Graybiel A.* The oculogravic illusion // *A.M.A. Arch. Ophthal.* 1952. V. 48. P. 605–615.
- Graybiel A., Kellogg R.S.* The inversion illusion in parabolic flight: its probable dependence on otolith function // *Aerosp. Med.* 1967. V. 38. P. 1099–1102.
- Graybiel A., Miller E. F., Billingham J., Waite R., Berry C.A., Deitlein L.F.* Vestibular experiments in Gemini flights V and VII // *Aerosp. Med.* 1967. V. 38. P. 360–370.

- Graybiel A., Miller E.F., Newsom B.D., Kennedy R.S.* The effect of water immersion on perception of the oculagravic illusion in normal and labyrinthine-defective subjects // *Acta Otolaryng.* 1968. V. 65. P. 599–610.
- Gregory R.L.* Eye movements and stability of the visual world // *Nature.* 1958. V. 182. P. 1214–1216.
- Grindley G., Townsend V.* Visual search without eye movement // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1970. V. 22. P. 62–67.
- Günther H., Gfroerer S., Weiss L.* Inflection, frequency, and the word superiority effect // *Psychol. Res.* 1984. V. 46. P. 261–281.
- Gurney R.W.* A binocular illusion // *Nature.* 1938. N 141. P. 1060.
- Haddad G.H., Steinman R.M.* The smallest voluntary saccade: implication for fixation // *Vision Res.* 1973. V. 13. P. 1075–1086.
- Hebb D.O.* The organisation of behavior. New York, Willy, 1949.
- Hedtun I. M., White C.T.* Nystagmus induced by visual feedback // *J. Opt. Soc. Amer.* 1959. V. 49. P. 729–730.
- Heinemann E.G., Tulving E., Nachmias J.* The effect of oculomotor adjustment of the visual stimulus // *Amer. J. Psychol.* 1959. V. 72. P. 32–45.
- Heiwood S., Churcher I.* Eye movements and the after-image. 2. The effect of foveal and non-foveal after-images on saccadic behaviour // *Vision Res.* 1972. V. 12. P. 1033–1043.
- Held R.* Exposure-history as a factor in maintaining stability of perception and coordination // *J. Nerv. Mental Disease.* 1961. V. 132. P. 26–32.
- Held R., Dichgans J., Bauer J.* Characteristics of moving visual areas influencing spatial orientation // *Vision Res.* 1975. V. 15. P. 357–365.
- Helmholtz H. von.* Handbuch der physiologischen Optic. Leipzig, Voss, 1866.
- Henderson J.M.* Visual attention and eye movement control during reading and picture viewing // *Eye movements and visual cognition / Ed. by K. Rayner.* Berlin: Springer-Verlag, 1992. P. 260–283.
- Hennessy R.T.* The effect of heat stress on reaction time to centrally and peripherally presented stimuli // *Human Factors.* 1972. V. 14. P. 155–160.
- Hering E.* Der raumsinn und die bewegungen des auges // *Handbuch der physiologie.* 1879. Bd. 3 (Teil I).
- Heywood S.* Voluntary control of smooth eye movements and their velocity // *Nature.* 1972. V. 238. № 5364. P. 408–410.
- Heywood S., Churcher I.* Eye movements and the after-image. II. The effect of foveal and non-foveal after-images on saccadic behaviour // *Vision Res.* 1972. V. 12. P. 1033–1043.
- Heywood S., Churcher J.* Eye movement and the afterimage II. The effect of foveal and non-foveal afterimages on saccadic behaviour // *Vision Res.* 1972. V. 12. P. 1033–1043.

- Heywood S., Churcher J.* Eye movements and the afterimage. I. Tracking in afterimage // *Vision Res.* 1971. V. 11. P. 1163–1168.
- Hillebrandt F.* Das Verhältnig von Akkomodation und Konvergenz zur Tiefenlokalisation // *Z. Psychol.* 1894. B. 7. S. 97–151.
- Hiven J.I., Hixon W.C., Correia M.J.* Elicitation of horizontal nystagmus by periodic linear acceleration // *Acta Otolaryng.* 1966. V. 62. P. 429–441.
- Hochberg J.* Components of literacy: Speculations and exploratory research // *Basic studies on reading* / Ed. by H. Levin, J.P. Williams. New York: Basic Books, 1970. P. 74–89.
- Hochberg J.E.* In the mind's eye // *Contemporary theory and research in visual perception* / Ed. by R.M. Haber. Stuttgart, 1968. P. 309–336.
- Hochberg J.E.* Perception. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall, Inc., 1965.
- Hochberg J.E.* Toward a speech-plan eye movement model of reading // *Eye movement and psychological processes* / Ed. by R.A. Monty, J.W. Senders. Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1976.
- Hoffman J.E., Nelson B., Houck M.R.* The role of attentional resources in automatic detection // *Cognitive Psychol.* 1983. V. 51. P. 379–410.
- Hogaboam T.W.* Reading patterns in eye movement data // *Eye Movements and Reading* / Ed by K. Rayner. N.Y.: Academic Press, 1983.
- Holst E. von.* Active leistung der menschlichen gesichtswahrnehmung. Studium Generale. 1957. B. 10. S. 231–337.
- Holst E. von.* Relations between the central nervous system and the peripheral organs // *Brit. J. Anim. Behav.* 1954. V. 2. P. 89–94.
- Holst E. von, Mittelstaedt H.* Das reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen zentralnerven-system und peripherie) // *Naturwissenschaften.* 1950. B. 37. S. 464–476.
- Holway A.H., Boring E.G.* Determinants of apparent visual size with distance variant // *Amer. J. Psychol.* 1941. V. 54. P. 21–37.
- Horrocks A., Stark L.* Experiments on error as function of response time in horizontal eye movements // *Q. Progr. Rep. Res. Lab. Electr. M. I. T.,* 1964. V. 72. P. 267–269.
- Howard I. P.* Vergence, eye signature, and stereopsis // *Psychon. Monogr. Suppl.* 1970. V. 3. P. 201–219.
- Howard I.P.* Recognition and knowledge of the water-level principle // *Perception.* 1978. V. 7. P. 151–160.
- Howard I.P.* Human visual orientation. N. Y.: Wiley. 1982.
- Howard I.P., Templeton W.B.* Human spatial orientation. N. Y.: Wiley. 1966.
- Howard I.P., Templeton W.B.* Visual-induced eye torsion and tilt adaptation // *Vision Res.* 1964. V. 4. P. 433–437.
- Hughes P.C., Brecher G.A., Fishkin S.M.* Effects of rotating backgrounds upon the perception of verticality // *Percept. Psychophys.* 1972. V. 11. P. 135–138.

- Humphreys G.W.* Flexibility of attention between stimulus dimensions. *Percept. Psychophys.* 1981. V. 30. P. 281–302.
- Hyslope J.H.* Experiments in space perception. I // *Psychol. Rev.* 1894a. V. 1. P. 257–273.
- Hyslope J.H.* Experiments in space perception. II // *Psychol. Rev.* 1894b. V. 1. P. 581–601.
- Ikeda M., Takeuchi T.* Influence of foveal load on the functional visual field // *Percept. Psychophys.* 1975. V. 18. P. 255–260.
- Intraub H.* The role of implicit naming in pictorial encoding. // *J. Exp. Psychol.: HLM.* 1979. V3. P. 78–87.
- Irwin D.E., McConkie G.W., Carlson-RadvanskyL., Currie C.* A localist evaluation solution for visual stability across saccades // *Behav. and Brain Science.* 1994. V. 17. P. 265–266.
- Ittelson W.H.* Visual space perception. New York: Springer, 1960.
- James W.* Principles of psychology. New York: Holt, 1890.
- Johansson G.* Configuration in event perception. Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1950.
- Johansson G.* Visual perception of biological motion and a model for its analysis // *Percept. Psychophys.* 1973. V. 14. P. 201–211.
- Johansson G., von Hofsten G., Jansson G.* Event perception // *Ann. Rev. Psychol.* 1980. V. 31. P. 27–63.
- Jones L.A., Higgins G.C.* Photographic granularity and graininess. III. Some characteristics of the visual system of importance in the evaluation of graininess and granularity // *J. Opt. Soc. Amer.* 1947. V. 37. P. 217–263.
- Jonides J.* Further toward a model of the mind's eye movement // *Bull. Psychonom. Soc.* 1983. V. 21. P. 247–250.
- Jonides J.* Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement // *Attention and performance IX* / Ed. by J. B. Long, A. D. Baddeley. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1981. P. 187–203.
- Judd C.H.* Reading: Its nature and developments // *Supplementary Educational Monographs.* 1918. 10.
- Jung R.* Visual perception and neurophysiology // *Handbook of sensory physiology* / Ed. by R. Jung. Berlin, N. Y.: Springer-Verlag, 1973. V. VII/3. P. 3–152.
- Juola J.F., Ward N.J., McNamara T.* Visual search and reading of rapid serial presentation of letter strings, words and text // *J. Exp. Psychol.: General.* 1982. V. 111. P. 208–277.
- Just M.A., Carpenter P.A.* A theory of reading: from eye fixations to comprehension // *Psychol. Rev.* 1980. V. 87. P. 329–354.
- Kahneman D.* Attention and effort. Englewood Cliffs. N. Y.: Prentice-Hall, 1973.
- Kaufman L., Richards W.* Spontaneous fixation tendencies for visual forms // *Percept. Psychophys.* 1969. V. 5. P. 85–88.
- Kazai K., Yagi A.* Comparison between lambda response of eye-fixation-related potentials and the P100 component of patient-reversal visual evoked potentials // *Cogn., Affect. and Behav. Neurosci.* 2003. V. 3 (1). P. 46–56.

- Keene G.C.* The effect of response codes on the accuracy of making absolute judgments of linear inclination // *J. Gen. Psychol.* 1963. V. 69. P. 37–50.
- Kertesz A.E., Jones R.W.* The effect of angular velocity of stimulus on human torsional eye movements // *Vision. Res.* 1969. V. 9. P. 995–998.
- Kertesz A.E., Sullivan M.J.* The effect of stimulus size on human cyclofusional response // *Vision Res.* 1978. V. 18. P. 567–571.
- Kilpatrick F.P., Ittelson W.H.* The size-distance invariance hypothesis // *Psychol. Rev.* 1953. V. 60. P. 223–231.
- Kirkland J., Lewis Ch.* Glance, look, gaze and stare: a vocabulary for eye-fixation research // *Percept. and Mot. Skills.* 1976. V. 43. № 3. Pt 2. P. 1278.
- Kitahara M., Uno R.* Equilibrium and vertigo in a tilting environment // *Ann. Otol.* 1967. V. 76. P. 166–178.
- Klein R.* Does oculomotor readiness mediate cognitive control of visual attention? // *Attention and performance. V. VIII* / Ed. by R.S. Nickerson. Hillsdale NJ: LEA, 1980. P. 259–276.
- Kleinke C.L.* Gaze and eye contact: a research review // *Psychol. Bull.* 1986. V.100. P. 78–100.
- Kohfeld D.L.* Effects of intensity of auditory and visual ready signals on simple reaction time // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1969. V. 82. P. 88–95.
- Kohfeld D.L.* Stimulus intensity and adaptation level as determinants of simple reaction time // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1968. V. 76. P. 468–473.
- Köhler W., Held R.* The cortical correlate of pattern vision // *Science.* 1949. V. 110. P. 414–419.
- Komerell G., Klein U.* Über die visuelle regelung der okulomotorik: die optomotorische wirkung exzentrischer nachbilder // *Vision Res.* 1971. V. 11. P. 905–920.
- Kommerell G; Täumer R.* Investigation of the eye tracking system through stabilized retinal images // *Cerebral control of eye movements* / Ed. by J. Dichgans, E. Bizzi. Bibliotheca Ophthalmologica. 1972. V. 82. Berlin: Karger. P. 288–297.
- Komoda M. K, Festinger L., Phillips L. J., Duckman R. H., Joung R. A.* Some observations concerning saccadic eye movements // *Vision Res.* 1973. V. 13. P. 1009–1020.
- Komoda N. K., Ono H.* Oculomotor adjustment and size-distance perception // *Percept. Psychophys.* 1974. V. 15. P. 241–248.
- Kosslyn S., Flynn A., Amsterdam J.B., Wang G.* Components of high-level vision: a cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndroms // *Cognition.* 1990. V. 34. P. 203–277.
- Kowler E.* The role of visual and cognitive processes in the control of eye movement // *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* / Ed. by E. Kowler. Elsevier, 1990. P. 1–69.
- Krejčová H., Highstein S., Cohen B.* Labyrinthine and extra-labyrinthine effects on ocular counterrolling // *Acta Otolaryng.* 1971. V. 72. 165–171.

- Krischer C.C., Coenen R., Hecker M., Hoeppe D., Meissen R.* Gliding text: a new aid to improve the reading performance of poor readers by subconscious gaze control // *Educ. Res.* 1995. 36 (3). P. 271–283.
- Kruse P., Stadler M.* Kinematic cues in gait perception: gender specific movement gestures // *Studies in perception and action.* Amsterdam, 1991. P. 154–161.
- Kruger K., Hückstedt B.* Die Beurteilung der Blickrichtungen // *Z. Exp. Angew. Psychol.* 1969. B. 16. S. 452–472.
- Külpe O.* Ein Beitrag zur experimentellen Aesthetik // *Am. J. Psychol.* 1903. V. 14. P. 479–495.
- Kurtzberg, D., Vaughan, H. G.* Electro cortical potentials associated with eye movements // *The oculomotor system and brain functions / Ed. by V. Zirkmund.* London: Butterworths, 1973. P. 137–146.
- Kutas, M. and Hillyard, S. A.* Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity // *Science.* 1980. V. 207. P. 203–205.
- LaBerge D.* Attentional processing. The brain's art of mindfulness. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1995.
- LaBerge D.* The spatial extent of attention to letters and words // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1983. V. 9. P. 371–379.
- Lackner J.R., Graybiel A.* Parabolic flight: loss of sense of orientation // *Science.* 1979. V. 206 (N. 4422). P. 1105–1108.
- Lappin J.S., Uttal W.R.* Does prior knowledge facilitate the detection of visual targets in random noise? // *Percept. Psychophys.* 1976. V. 20. P. 367–374.
- Laubrock J., Engbert R., Kliegl R.* Microsaccade dynamics during covert attention. *Vision Res.* 2005. V. 45. P. 721–730.
- Le Conte.* On some phenomena of binocular vision. № XII. Some peculiarities of the phantom images formed by binocular combination of regular figures // *Amer. J. Sci.* 1887. V. 34. P. 97–107.
- Lechner-Steinleitner S.* Interaction of labyrinthine and somatoreceptor inputs as determinants of the subjective vertical // *Psychol. Res.* 1978. V. 40. P. 65–76.
- Lechner-Steinleitner S., Schöne H.* The subjective vertical under «dry» and «wet» conditions at clockwise and anticlockwise changed positions and the effect of the parallel background field // *Psychol. Res.* 1980. V. 41. P. 305–318.
- Lee D.N.* Visual information during locomotion // *Perception: Essays in honor of James J. Gibson.* Ithaca/London: Cornell Univ. Press, 1974. P. 250–267.
- Lee D.N., Lishman J.R., Thompson J.A.* Visual regulation of gait in long jumping // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1982. V. 8. P. 448–459.
- Legge G.E., Pelli D.G., Rubin G.S., Schleske M.M.* Psychophysics of reading. I. Normal vision // *Vision Res.* 1985. V. 25. P. 239–252.
- Leplat J.* Attentional et encertitude. Paris, 1968.

- Lester G.* The rod-and-frame test: some comments on methodology // *Percept. and Mot. Skills.* 1968. V. 26. P. 1307–1314.
- Lévy-Schoen A.* Position of stimuli in visual field and within a pattern as determinants of the fixation response // *The oculomotor system and brain functions* / Ed. by V. Zikmund. London, 1973. P. 243–255.
- Lévy-Schoen A., Blanc-Garin J.* On oculomotor programming and perception // *Brain Res.* 1974. V. 71. P. 443–450.
- Lévy-Schoen A.U., O'Regan K.* The control of eye movements in reading (Tutorial paper) // *Processing of visible language* / Ed. by P.A. Kolars, M.E. Wrolstad, H. Bouma. Plenum Press, New York: 1979.
- Lie S.* Convergence as a cue to perceived size and distance // *Scand. J. Psychol.* 1965. V. 6. P. 109–116.
- Lindauer M.S., Baust R.F.* Comparisons between 25 reversible and ambiguous figures on measures of latency, duration and fluctuation // *Behav. Res. Meth. and Instr.* 1974. V. 6. P. 1–9.
- Loftus G.R.* Eye fixation and recognition memory for pictures // *Cognitive Psychol.* 1972. V. 3. P. 525–551.
- Logvinenko A.D., Belopolsky V.I.* Convergence as a cue for distance // *Perception.* 1994. V. 23. P. 207–217
- Luborsky L., Blinder B., Schimek J.* Looking, recalling and GSR as a function of defense // *J. Abnorm. Psychol.* 1965. V. 70.
- Ludvig E.* Possible role of proprioception in the extraocular muscles // *Arch. Ophthalmol.* 1952. V. 48. P. 436–441.
- Lusberger S.J., Fuchs A.F., King W. M., Evinger L.E.* Effect of mean reaction time on saccadic responses to two-step stimuli with horizontal and vertical components // *Vision Res.* 1975. V. 15. P. 1021–1025.
- MacCall R.B., Kagan J.* Individual differences in the infant's discrepancy // *Develop. Psychol.* 1970. V. 2. P. 90–98.
- Mack A., Bachant J.* Perceived movement of the after-image during eye movements // *Percept. Psychophys.* 1969. V. 6. P. 379–384.
- Mack A., Herman E.* A new illusion. The underestimation of distance during pursuit eye movements // *Percept. Psychophys.* 1972. V. 12. P. 471–473.
- Mackay D.M.* Visual stability and voluntary eye movements // *Handbook of sensory physiology* / Ed. by R. Jung. Berlin, N. Y.: Springer-Verlag, 1973. V. VII/3. P. 307–332.
- Mackworth J.F.* Some models of the reading process: learners and skilled readers // *Reading Res. Quart.* 1968. V. 3. P. 149–177.
- Mackworth N. H.* Visual noise causes tunnel vision // *Psyconom. Sci.* 1965. V. 3. P. 67–68.
- Mackworth N.H.* Stimulus density limits the useful field of view // *Eye movements and psychological processes* / Ed. by R.A. Mounty, I.W. Senders. N. Y., 1976. P. 307–322.

- Mackworth N.H., Bruner J.S.* How adults and children search and recognize pictures // Human Development. 1970. V. 13. P. 149–177.
- Mackworth N.H., Morandi A.J.* The gaze selects informative details within pictures // Percept. Psychophys. 1967. V. 2. P. 547–552.
- Magnuski H.S., Lai D.C.* Computer control of the foveal and periferal visual field // Proc. 28-th ann. conf. eng. medical and blol. New Orleans La. Chevy Case, Md., 1975. V. 17. P. 325.
- Mateeff St.* Stimulus image configuration on the retina and perception of direction during or just before voluntary saccades // Biokybernetik. Jena, 1975. Bd. 5. S. 222–224.
- MakKay D.M.* Visual stability and voluntary eye movements // Handbook of sensory physiology. V. 7(3A) / Ed. by R. Jung. Berlin: Springer, 1973. P. 307–332.
- MakKay D.M.* Voluntary eye movements as a questions // Cerebral control of eye movements / Ed. by J. Dichgans, E. Bizzi. Bibliotheca Ophthalmologica. 1972. V. 82. Karger: P. 369–376.
- Mandelbaum J., Sloan L.L.* Peripheral visual acuity // Amer. J. Ophthalmol. 1947. V. 30. 581–588.
- Mandes E.* Visual field accuracy and eye movement direction: a child's eye view // Percept. and Mot. Skills. 1980. V. 50. P. 631–636.
- Mangun G.R., Hillyard S.A., Luck S.J.* Electrocortical substrates of visual selective attention // Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience / Ed. by D.E. Meyer, S. Kornblum. Cambridge, MA.: M.I.T. Press. 1993. P. 219–243.
- Marcel T.* The effective visual field and the use of context in fast and slow readers of two ages // Br. J. Psychol. 1974. V. 65. P. 479–492.
- Marton M., Szirtes J.* Context effects on saccade-related brain potentials to words during reading. Neuropsychologia. 1988. V. 26(3). P. 453–463.
- Mateeff St.* Mislocation of visual stimuli during voluntary saccades // Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci. 1972. V. 25. P. 1347–1440.
- Mateeff St.* Perception of direction of a brief visual stimulus during voluntary saccadic eye movements // Activ. Nerv. Super. 1973. V. 15. P. 48–49.
- Matin E.* Saccadic suppression: a review and an analysis // Psychol. Bull. 1974. V. 81. P. 899–917.
- Matin L.* Eye movements and perceived visual direction // Handbook of sensory physiology. V. VII/4. Visual psychophysics / Ed. by D. Jameson, L. M. Hurvich. Heidelberg; New York, 1972. P. 331–380.
- Matin L., Matin E.* Visual perception of direction and voluntary saccadic eye movements // Bibl. Ophthalmol. 1972. V. 82. P. 359–368.
- Matin L., Matin E., Pearce D.G.* Visual perception of direction when voluntary saccades occur. I. Relation of visual direction of a fixation target extinguished before a saccade // Percept. Psychophys. 1969. V. 5. V. 65–80.

- Matin L., Matin E., Pola J.* Visual perception of direction when voluntary saccades occur. II. Relation of visual direction of a fixation target extinguished before a saccade to a subsequent test flash presented before the saccade // *Percept. Psychophys.* 1970. V. 8. P. 9–14.
- Matin L., Pearce D.* Visual perception of direction for stimuli flashed during voluntary saccadic eye movements // *Science.* 1965. V. 148. P. 1485–1488.
- Mauritz R.H., Dichgans J., Hufschmidt A.* The angle of visual roll motion determines displacement of subjective visual vertical // *Percept. Psychophys.* 1977. V. 22. P. 557–562.
- Mays L.E., Sparks D.L.* Saccades are spatially, not retinocentrically, coded // *Science.* 1980. V. 208 (4448). P. 1163–1165.
- McCarthy, G., Donchin E.* A metric for thought: a comparison of P300. latency and reaction time // *Science.* 1981. V. 211. P. 77–80.
- McConkie G.W.* Eye movements and perception during reading // *Eye movements and reading* / Ed. by K. Rayner. N.Y.: Academic Press, 1983.
- McConkie G.W.* On the role and control of eye movements in reading // *Processing of visible language* / Ed. by P.A. Kolers et al. New York: Plenum Press, 1979.
- McConkie G.W., Currie C.E.* Visual stability across saccades while viewing complex pictures // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1996. V. 22. P. 222–247.
- McConkie G.W., Rayner K.* The span of the effective stimulus during a fixation in reading // *Percept. Psychophys.* 1975. V. 7. P. 578–576.
- McCready D.* Size-distance perception and accommodation–convergence micropsia.– A critique // *Vision Res.* 1965. V. 5. P. 189–206.
- Merill E. G., Stark L.* Optokinetic nystagmus: double stripe experiment // *Q. Progr. Rep Res. Lab. Electr. MIT,* 1963. V. 70. P. 357–359.
- Merker B.H., Held R.* Eye torsion and the apparent horizon under head tilt and visual field rotating // *Vision. Res.* 1981. V. 21. P. 543–547.
- Merton P.A.* Absence of consigns position sense In the human eyes // *The oculomotor system* / Ed by M.B. Bender. New York, 1964. P. 314–320.
- Metzger W.* Beobachtungen über phänomenale Identität // *Psychol. Forsch.* 1934. Bd. 19. S. 1–60.
- Metzger W.* Tiefenerscheinungen in optischen Bewegungsteldern // *Psychol. Forsch.* 1935. Bd. 20. S. 195–260.
- Meyer G.* Über einige Tauschunder in der Entfernung und Grosse der Gesichtsobjecte // *Arch für physiologische Heilkunde.* 1842. Arch. I. P. 316–326.
- Michotte A.* The Perception of causality. London: Methuen, 1963.
- Milhorn H.T.* The application of control theory to physiological systems. Philadelfia; London, 1966.
- Miller E.F., Fregby A.R., Graybiel A.* Visual horizontal-perception in relation to otolith function // *Amer. J. Psychol.* 1968. V. 81. P. 488–496.

- Miller E.P., Fregby A.R., van der Brink G., Graybiel A.* Visual localization of the horizontal as a function of body tilt, up to  $\pm 90^\circ$  from gravitational vertical // NSAM-942. 1965. NASA Order. No R-47. Nav. Sch. Aviat. Med. Pensacola, Florida.
- Miller E.F., Graybiel A.* Rotary autokinesis and displacement of the visual horizontal associated with head (body) position // USH Sch. Aviat. Med. NASA & Rees. Rep. Proj. MROOS. 13-6001, Subtask Rep. 1963. № 77.
- Miller E.F., Graybiel A.* Magnitude of gravito-inertial force, an independent variable in egocentric visual localization of the horizontal // J. Exp. Psychol. 1966. V. 71. P. 425-460.
- Miller E.F., Graybiel A.* Effect of gravito-inertial force on ocular counterrolling // J. Appl. Physiol. 1971. V. 31. 697-700.
- Miller E.F.* Counterrolling of the human eyes produced by head tilt with respect to gravity // Acta Otolaryng. 1962. V. 54. P. 479-501.
- Millodot M.* Foveal and extra-foveal acuity with and without stabilized retinal images // Brit. J. Physiol. Opt. 1966. P. 75-106.
- Mitchell D.E.* A review of the concept of «Panum fusional areas» // Amer. J. Optom. 1966. V. 43. P. 387-401.
- Mittelstaedt H.* A new solution of the problem of the subjective vertical // Naturwissenschaften. 1983. 70. 272-281.
- Monahan J.S.* Extraretinal feedback and visual localization // Percept. Psychophys. 1972. V. 12. P. 349-353.
- Morant R.B.* Prism induced tilts and changed felt head position // Arch. Psychol., Neurol. Psychiatr. 1983. V. 44. P. 33-43.
- Morant R.B., Aronoff J.* Stating position, adaptation and visual framework as influencing the perception of verticality // J. Exp. Psychol. 1966. V. 71. P. 604-686.
- Morant R.B., Deller H.K.* Adaptation to prismatically rotated visual fields // Science. 1965. V. 148. P. 530-531.
- Morant R. B., Mikaelian H. H.* Inter-field tilt after-effects // Percept. and Mot. Skills. 1960. V. 10. P. 95-98.
- Morrison R.E.* Manipulation of stimulus onset delay in reading: evidence for parallel programming of saccades // J. Exp. Psychol.: HPP. 1984. V. 10. P. 667-682.
- Morrison R.E.* Retinal image size and the perceptual span in reading // Eye movements and reading / Ed by K. Rayner. Academic Press, 1983.
- Morrison R.E., Rayner K.* Saccadic size in reading depends upon character spaces and not visual angle // Percept. Psychophys. 1981. V. 30. P. 395-396.
- Morton J.* Interaction of information in word recognition // Psychol. Rev. 1969. V. 76. P. 165-178.
- Moskowitz H., Sharma S.* Effect alcohol on peripheral vision as function of attention // Human Factors. V. 16. P. 174-180.

- Muir D.U., Over R.* Tilt aftereffects in central and peripheral vision // *J. Exp. Psychol.* 1970, V. 85. P. 165–170.
- Muller P.E., Sidorsky R.C., Slivinska A.J., Alluisi E.A., Fitts P.M.* The symbolic coding of information on cathode ray tubes and similar displays // *U.S.A.F. WADC. Techn. Rep. № 55–375.* 1985.
- Müller G.E.* Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen [Kapitel 1, 2-3] // *Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg.* 1896. B. 10. S. 1–82, 321–413.
- Müller G.E.* Über das Aubertsche Phänomenon // *Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg.* 1916. B. 49. S. 109–246.
- Müller J.* Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen. B. 2. Coblenz: Hölscher, 1840.
- Murphy B.J., Kowler E., Steiman R.M.* Slow oculomotor control in the presence of moving backgrounds // *Vision Res.* 1975. V. 15. P. 1263–1268.
- Murphy T.D., Eriksen C.W.* Temporal changes in the distribution of attention in the visual field in response to precues // *Percept. Psychophys.* 1987. V. 42. P. 576–586.
- Näätänen R.* Attention and brain function. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1992.
- Näätänen R.* The diminishing time uncertainty with the lapse of time after the warning signal in reaction time experiments with varying foreperiods // *Acta Psychologica.* 1970. V. 34. P. 399–419.
- Nakayama R., Balliet R.* Listing's law eye position, sense and perception of the vertical // *Vision Res.* 1977. V. 17. P. 453–457.
- Neisser U.* Cognitive psychology. New York: Appleton-Century-Crofts, 1967.
- Nelson J.* Globality and stereoscopic fusion in binocular vision // *J. Theor. Biol.* 1975. V. 49. P. 46–48.
- Niemi P.* Stimulus intensity effects on auditory and visual reaction processes // *Acta Psychologica.* 1979. V. 43. P. 299–312.
- Niemi P., Näätänen R.* Foreperiod and simple reaction time // *Psychol. Bull.* 1981. V. 89. P. 133–162.
- Norman D.A., Bobrow D.B.* On data-limited and resource-limited processes // *Cognitive Psychol.* 1975. V. 7. P. 44–64.
- Norris D.* The effects of frequency, repetition, and stimulus quality in visual word recognition // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1984. V. 36A. P. 507–518.
- Norris D.* Word recognition: context effects without priming // *Cognition.* 1986. V. 22. P. 93–136.
- Nyborg H.* A method for analysing performance in the rod-and-frame test // *Scand. J. Psychol.* 1974. V. 15. P. 119–123.
- Nyborg H.* Psychological differentiation in school children. Maturation, cognition and personality development // *Psychol. Reports Aarhus. Univ. Aarhus, Denmark.* 1980. V. 5. № 2.
- Nyborg H.* Tactile stimulation and perception of the vertical. 1. Effects of diffuse vs specific tactile stimulation // *Scand. J. Psychol.* 1971. V. 12. P. 1–13.

- O'Regan K.* Saccade size control in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis // *Percept. Psychophys.* 1979. V. 25. P. 501–509.
- O'Regan K.J.* Eye movements and reading // *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* / Ed. by E. Kowler. Elsevier, 1990.
- O'Regan K., Levy-Schoen A.* Les mouvements des yeux au cours de la lecture // *L'Année Psychologique.* 1978. V. 78. P. 459–492.
- Odom J.V., Chao G.* A stereo illusion induced by binocularly presented gratings: Effects of number of eyes stimulated, spatial frequency, orientation, field size, and viewing distance // *Percept. Psychophys.* 1987. V. 42. P. 140–149.
- Ogle K.N.* Researches in binocular vision. Philadelphia: Sanders, 1950.
- Ogle K.N.* Spatial localization through binocular vision // *The eye.* V. 4. Visual optics and the optical space sense / Ed. by H. Davson. New York and London: Academic Press, 1962. P. 211–417.
- Ono H., Mitson L., Seabrook K.* Change in convergence and retinal disparities as an explanation for the wall-paper phenomenon // *J. Exp. Psychol.* 1971. V. 91. P. 1–10.
- Padden D.A.* Ability of deaf swimmers to orient themselves when submerged in water // *Res. Quart.* 1959. V. 30. P. 214–226.
- Padmos P.* Visual fatigue with work on visual display units: The current state of knowledge // *Human-computer interaction: psychonomic aspects* / Ed. by G.C. van deeg Veer and G. Mulder. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 41–52.
- Pailhous J.* Influence de l'ordre de presentation des donnees sur la constitution de l'image spatiale // *Trav. Hum.* 1972. V. 35. P. 69–84.
- Pashler H.* The Psychology of attention. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- Pavlidis G. Th.* Relating ophthalmo-kinesis and dyslexia: a promise for early diagnosis // *Perspectives on dyslexia: V. I. Neurology, neuropsychology and genetics* / Ed. by G.Th. Pavlidis. Chichester: J. Wiley and Sons. 1990.
- Petrov A.P., Zenkin G.M.* Torsional eye movements and constancy of the visual field // *Vision Res.* 1973. V.13. P. 2465–2477.
- Piaget J., Inhelder B.* La representation de l'espace chez l'enfant. Paris, 1947.
- Pritchardt R.* Stabilized images on the retina // *Sci. Amer.* 1961. V. 204. P. 72–86.
- Pollatsek A., Rayner K.* What is integrated across fixations? // *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* / Ed. by K. Rayner. New York: Springer, 1992. P. 161–191.
- Pollatsek A., Rayner K., Fischer M.H., Reichle E.D.* Attention and eye movements in reading // *Reading and dyslexia: Visual and attentional processes* / Ed. by J. Everatt. London: Routledge, 1999. P. 179–209.
- Posner M.I.* Chronometric explorations of mind. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 1978.
- Posner M.I.* Orienting attention // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1980. V. 32. P. 3–25.
- Posner M.I., Inhoff A.W., Friedrich F.J., Cohen A.* Isolating attentional systems: A cognitive-anatomical analysis // *Psychobiology.* 1987. V. 15. P. 107–121.

- Posner M.I., Cohen Y.* Components of visual orienting // Attention and performance. X / Ed. by H. Bouma, D.G. Bouwhuis. Hillsdale, NJ: LEA. 1984. P. 531–556.
- Posner M.I., Nissen M.J., Ogden W.C.* Attended and unattended processing modes: the role offset for spatial location // Modes of perceiving and processing information / Ed. by I.J. Saltzman, H.L. Pick. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1978.
- Posner M.I., Raichle M.E.* Images of Mind. Scientific American Books, 1994.
- Posner M.I., Snyder C.R., Davidson B.J.* Attention and the detection of signals // J. Exp. Psychol.: General. 1980. V. 109. P. 160–174.
- Potlatsek A., Bolozky S., Well A. D., Rayner K.* Asymmetries in the perceptual span for Israeli readers // Brain and Language. 1981. V. 14. P. 174–180.
- Potter M.C.* Meaning in visual search // Science. 1975. V. 187. P. 965–966.
- Power R.P.* Stimulus properties which reduce apparent reversal of rotating rectangular shapes // J. Exp. Psychol.: General. 1967. V. 73. P. 595–599.
- Prablanc C., Jeannerod M.* Corrective saccades: dependence on retinal reafferent signals // Vision Res.. 1975. V. 15. P. 465–469.
- Prablanc C., Jeannerod M.* La tence et precision de l'intensite de la duree et de la position retinienne d'un stimulus // Rev. EEG. Paris, 1974. V. 4. P. 484–488.
- Pritchard R.* Stabilized images on the retina // Sci. Amer. 1961. V. 204. P. 72–86.
- Pugh A.K.* Styles and strategies in silent reading // Processing of visible language / Ed. by P.A. Kolers, M.E. Wrolstad, H. Bouma. N.Y.: Plenum Press, 1979.
- Pulkin B.V.* Programming without programming: The system Butterfly for professional psychologists // Behav. Res. Meth., Instr. and Computers. 1996. V. 28. № 4. P. 577–583.
- Purcell T., Wenderoth P., Moore D.* The angular function of orientation illusions induced by projected images of tilted real object scenes // Perception. 1978. V. 7. P. 229–238.
- Rashbass C.* The relationship between saccadic and smooth tracking eye movements // J. Physiol. 1961. V. 159. P. 326–338.
- Rayner K.* Parafoveal identification during a fixation in reading // Acta Psychologica. 1975. V. 39. P. 271–282.
- Rayner K.* Eye movements in reading // International encyclopedia of the social and behavioral sciences / Ed. by N.J. Smelser, P.B. Baltes. Pergamon Press, 2002.
- Rayner K., Pollatsek A.* Eye movement control during reading: evident for direct control // Quart. J. Exp. Psychol. 1981. V. 33A. P. 351–373.
- Rayner K., Pollatsek A.* The psychology of reading. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1989.
- Rayner K., Well A.D., Pollatsek A.* Asymmetry of the effective visual field in reading // Percept. Psychophys. 1984. V. 27. P. 537–544.
- Reading as a perceptual process / Ed. by Kennedy, R. Radach, D. Heller, J. Pynte. Oxford: Elsevier, 2000.

- Remington R.W.* Attention and saccadic eye movements // *J. Exp. Psychol.*: HPP. 1980. V. 6. P. 726–744.
- Rexroad C.N.* Eye movements and visual after-images // *Amer. J. Psychol.* 1928. V. 40. P. 426–433.
- Richards W., Miller J.* Convergence as a cue to the depth // *Percept. Psychophys.* 1969. V. 5. P. 317–320.
- Rieser J. J., Banks M. S.* The perception of verticality and the frame of reference of the visual tilt aftereffect // *Percept. Psychophys.* 1981. V. 29. P. 113–120.
- Riggs L.A., Tulunay S.U.* Visual effects of varying the extent of compensation for eye movements // *J. Opt. Soc. Amer.* 1959. V. 49. P. 741–745.
- Rizzolatti G., Riggio L., Dascola I., Umiltà C.* Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians — evidence in favor of a premotor theory of attention // *Neuropsychologia.* 1987. V. 25. P. 31–40.
- Robinson D. A.* A method of measuring eye movement using a scleral search coil in magnetic field // *IEEE. Trans. Biomed. Electronics.* 1963. V. 10. P. 137–145.
- Robinson D. A.* Models of oculomotor neural organization // *The control of eye movements* / Ed. by P. Bach-y-Rita, C.C. Collins. N. Y.: Acad. Press, 1971. P. 519–538.
- Robinson D. A.* Models of the saccadic eye movement control system // *Kybernetic.* 1973. V. 14. P. 71–83.
- Robinson D.A.* Oculomotor control signals // *Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications.* Oxford; N. Y., 1975. P. 337–374. Discuss. P. 375–378.
- Robinson D. A.* The mechanics of human pursuit movements // *J. Physiol.* 1965. V. 180. P. 569–591.
- Robinson D. A.* The physiology of pursuit eye movements // *Eye movements and psychological processes* / Ed. by A. Monty, J. W. Senders. N. Y, 1976. P. 19–31.
- Rock I., Halper F.* Form perception without retinal image // *Amer. J. Psychol.* 1969. V. 82. P. 425–440.
- Ross H.E., Crickmar S.D., Sills H.Y., Owen E.P.* Orientation to the vertical in free divers // *Aerosp. Med.* 1969. V. 40. P. 728–732.
- Ross J., Hogben J.H.* Short-term memory in stereopsis // *Vision Res.* 1974. V. 14. P. 181–185.
- Roufs J.A.J., Boschman M.C.* Visual comfort and performance // *Visual and visual dysfunction* / Gen. ed. by J.R. Cronly-Dillon. V.15. *The man-machine Interface* / Ed. by J.A.J. Roufs. London: The Macmillan Press, Chapter . 1991. 3. 24–40.
- Rubinstein H.* An overview of psycholinguistics // *Current trends in linguistics.* V. 12. The Hague: Mounton, 1971.
- Rubinstein H., Garfield L., Millikan J.A.* Homographic entries in the internal lexicon // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior.* 1970. V. 9. P. 487–494.

- Rumelhart D.E.* Toward an interactive model of reading // Attention and performance VI / Ed. by S. Dornic. Erlbaum, 1977.
- Sanders A.F.* Some aspects of selective process in the functional visual field // Ergonomics, 1970. V. 13. P. 101–117.
- Sanford E.* A Course in experimental psychology. V. I. Sensation and perception. Boston: Heath, 1901. P. 273.
- Scheerer E.* Expansion of the functional visual field and context skipping in continuous search task // Psychol. Res. 1978. V. 40. P. 113–126.
- Schlag J., Schlag-Rey M., Dassonville P.* For and against spatial coding of saccades // Visual and oculomotor functions / Ed. by Gery d'Ydewalle and Johan van Rensbergen. North Holland: Elsevier Science. B.V. 1994. P. 3–18.
- Schmid-Priscoveanu A., Straumann D., Kori A.A.* Torsional vestibulo-ocular reflex during whole body oscillation in the upright and the supine position // Exp. Brain Res.. 2000. V. 134(2). P. 212–219.
- Schneider G.W.* Monocular and binocular perception of verticality and the relationship of ocular dominance // Amer. J. Psychol. 1966. V. 79. P. 632–636.
- Schöne H.* On the role of gravity in human spatial orientation // Aerosp. Med. 1964. V. 35. P. 764–772.
- Schöne H.* Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Augenrollung und auf die Wahrnehmung der Lage im Raum // Z. Vergl. Physiol. 1962.46 : 57–87.
- Schöne H., Lechner-Steinleitner S.* The effect of preceding tilt on the perceived vertical // Acta Otolaryng. 1978. V. 85. P. 68–73.
- Schöne H., Mortag H.C.* Variation on the subjective vertical on the parallel swing at different body positions // Psychol. Forsch. 1968. V. 32. P. 124–134.
- Schöne H., Udo de Haes H.* Perception of gravity-vertical as a function of head and trunk position // Z. Vergl. Physiol. 1968. V. 60. P. 440–444.
- Senders J.W.* Speculation and notions // Eye movements and psychological processes / Ed. by R.A. Monty, J.W. Senders. New York, 1976. P. 355–366.
- Sherrington G. S.* Observation on the sensual role of the proprioceptive nerve supply of the extrinsic ocular muscles // Brain. 1918. V. 41. P. 332–343.
- Shiffrin R.M., McKay D.P., Shaffer W.D.* Attending to forty-nine spatial position at ones // J. Exp. Psychol.: HPP. 1976. V. 2. P. 14–22.
- Shulman G.L., Remington R.W., McLean J.P.* Moving attention through visual space // J. Exp. Psychol.: HPP. 1979. V. 5. P. 522–526.
- Sigman E., Goodenough D. R., Flannagan M.* Instructions illusory self-tilt and rod-and-frame test // Quart. J. Exp. Psychol. 1979. V. 31. P. 155–165.
- Simmel G.* Sociology of the senses: visual interaction // Introduction to the science of sociology / Ed. by R.E. Park, E.W. Burgess. University of Chicago Press, 1922.
- Singer W., Purcell A.T., Austin M.* The effect of structure and degree of tilt on the tilted room illusion // Percept. Psychophys. 1970. V. 7. P. 250–252.

- Singer W., Zihl J., Poppel E.* Subcortical control of visual thresholds in humans: evidence for modality specific and retinotopically organized mechanisms of selective attention // *Exp. Brain Res.* 1977. V. 29. P. 173–190.
- Sirigatti S.* The tau effect and its disruption with the availability of information about velocity // *Atti. Fondaz. G. Ronchi.* 1934. V. 29. P. 177–197.
- Skavenski A.A.* Inflow as a source of extraretinal eye position information // *Vision Res.* 1972. V. 12. P. 221–229.
- Smith W.K.* The frontal eye fields // *The precentral motor cortex* / Ed. by K. Buce. N. Y., 1949.
- Sparks D.L., Mays L.E.* Spatial localization of saccadic targets. I. Compensation for stimulus induced perturbations of eye position // *J. Neurophysiol.* 1983. V. 49. P. 45–74.
- Sperling G., Speeltnan R.G.* Visual spatial localization during object motion, apparent object motion, and image motion produced by eye movements: (Abstr.) // *J. Opt. Soc. Amer.* 1965. V. 55. P. 1576.
- Sperry R.W.* Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by vision inversion // *J. Comp. and Physiol. Psychol.* 1950. V. 43. P. 482–489.
- Stability and constancy in visual perception / Ed. by W. Epstein. Wiley, 1977.
- Stark L.* Neurological control systems. New York, 1968.
- Stark L., Vossius J., Young L.R.* Predictive control of eye tracking movements // *I. R. E. Trans., on Human Factors in Electronics.* 1962. V. HFE-3. P. 52–57.
- Starr A.A.* disorder of rapid eye movements in Huntington's chorea // *Brain.* 1967. V. 90. P. 545.
- Starr M.S., Rayner, K.* Eye movements during reading: Some current controversies // *Trends in Cognitive Science.* 2001. V. 5. P. 156–163.
- Steinbach M. J.* Pursuing the perceptual rather than the retinal stimulus // *Vision Res.* 1976. V. 16. P. 1371–1376.
- Steinbach M.J., Pearce D.G.* Release of pursuit eye movements using after-images // *Vision Res.* 1972. V. 12. P. 1307–1311.
- Steinman R.M.* Role of eye movements in maintaining a phenomenally clear and stable world // *Eye movements and psychological processes.* N. Y., 1976. P. 121–149.
- Steinman R.M., Skavenski A.A., Sansbury R.V.* Voluntary control of smooth pursuit velocity // *Vision Res.* 1969. V. 9. P. 1167–1171.
- Steinman R. M., Haddad G. M., Skavenski A. A., Wyman D.* Miniature eye movement // *Science.* 1973. V. 181. P. 810–819.
- Steinman R.M., Skavenski A.A., Sansbury R.V.* Voluntary control of smooth pursuit velocity // *Vision Res.* 1969. V. 9. P. 1167–1171.
- Steinman R., Cunitz R., Timberlane G., Herman M.* Voluntary control of microsaccades during maintained monocular fixation // *Science.* 1967. V. 155. № 3769. P. 1577–1579.

- Stern J.A.* Eye movements, reading and cognition // Eye movements and the higher psychological functions / Ed. by J. W. Senders, D.F. Fisher, R.A. Monty. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1978.
- Stoll F.* Evaluation de trois types d'exercice de lecture rapide // Travail Humain. 1974. V. 37. P. 249–262.
- Stoper A.E.* Apparent motion of stimuli presented stroboscopically during pursuit movement of the eye // Percept. Psychophys. 1973. V. 13. P. 201–211.
- Stratton G.M.* Vision without inversion of the retinal image // Psychol. Rev. 1897. V. 3. P. 611–617.
- Swenson H.* Der relative Einfluss der Akkomodation und Konvergenz beider Beurteilung der Entfernungen // J. Gen. Psychol. 1932. V. 7. P. 360–379.
- Täumer R.* Three reaction mechanisms of the saccadic system in response to a double jump // Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications. Proc. intern. symp. Stockholm, 1974. Oxford etc., 1975. P. 515–518.
- Taylor E.A.* The spans: perception, apprehension and recognition as related to reading and speed reading // Amer. J. Ophthalmol. 1957. V. 44. P. 501–507.
- Templeton W.B.* The role of gravitational cues in the judgment of visual orientation // Percept. Psychophys. 1973. V. 14. P. 451–457.
- Ter Braak J.W.G.* Optokinetic control of eye movements: in particular optokinetic nystagmus // Proc. Intern. Union Physiol. Sci. Intern. Congr. Ser. № 47. Amsterdam, 1962. V. 1. Pt 2. P. 502–505.
- Ter Braak J.W.G.* Ambivalent optokinetic stimulation and motion detection // Bibl. Ophthalmol. 1972. V. 82. P. 308–316.
- Ter Braak J.W.G.* «Ambivalent» optokinetic stimulation // Folia Psychiatr., Neurol., Neurochir. Need. 1957. V. 60. P. 131–135.
- Ter Braak J.W.G., Buis C.* Optokinetic nystagmus and attention // Intern. J. Neurol. 1970. V. 8. P. 34–42. The control of eye movements / Ed. by P. Bach-y-Rita et al. N. Y., 1971.
- Theeuwes J., Kramer A.F., Hahn S., Irwin D.E.* Our eyes do not always go where we want them to go: capture of the eyes by new objects // Psychol. Sci. 1998. V. 9. P. 379–385.
- Tiering E.* Der Raumsinn und die Bewegungen der Augen // Handbuch der Physiologie. Leipzig, 1879. Bd. 3.
- Tinker M.A.* Bases of Effective Reading. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1965.
- Titchener E.* Experimental Psychology: A manual of laboratory practice. New York: Macmillan, 1918.
- Treisman A., Gelade G.* A feature-integration theory of attention // Cognitive Psychol. 1980. V. 12. P. 97–136.
- Trower, P., Bryant, B., Argyle, M.* Social skills and mental health. London: Methuen, 1978.

- Tweed D., Sieverig H., Misslisch H., Fetter M., Zee D., Koenig E.* Rotational kinematics of the human vestibuloocular reflex. I. Gain matrices // *J. Neurophysiol.* 1994. 72:2. 467–479.
- Twyman M.* A schema for study of graphic language (tutorial paper) // *Processing of visible language* / Ed. by P.A. Kolars, M.E. Wrolstad, H. Bouma. New York and London: Plenum Press, 1979.
- Tyler C.W.* The horopter and binocular fusion // *Vision and visual dysfunction. V. 9. Binocular Vision* / Ed. by D. Regan. London: The Macmillan Press Ltd., 1991. P. 19–37.
- Tzal Y.* Movements of attention across the visual field // *J. Exp. Psychol.: HPP.* 1983. V. 9. P. 523–530.
- Udo de Haes H.A.* Stability of apperent vertical and ocular counter torsion as a function of lateral tilt // *Percept. Psychophys.* 1970. V. 8. P. 137–142.
- Udo de Haes H.A., Schöne H.* Interaction between statolith organs and semicircular canals on apparent vertical and nystagmus. Investigations on the effectiveness of the statolith organs // *Acta Otolaryng.* 1970. V. 69. P. 25–31.
- Ullman S.* Visual routines // *Cognition.* 1984. V. 18. P. 97–159.
- Van der Heijden A.H.C., Eerland E.* The effect of cueing in visual signal detection task // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1973. V. 25. P. 496–503.
- Van der Heijden A.H.C.* Selective attention in vision. New York: Routledge, Chapman & Hall, 1992.
- van Diepen P., de Graef P., van Rensbergen J.* Online control of moving masks and windows on a complex background using the ATVista videographics adapter // *Behav. Res. Meth., Instr. and Computers.* 1994. V. 26. N 4. P. 454–460.
- van Diepen P., de Graef P., d'Ydewalle G.* Chronometry of foveal information extraction during scene perception // *Eye movement research* / Ed. by J.M. Findlay et al. 1995. P. 349–362.
- Vieville T., Masse D.* Ocular counterrolling during active head tilt in humans // *Acta Otolaryng.* 1987. 103:280–290.
- Visual object processing: A cognitive neuropsychological approach* / Ed. by G. Humphrey, M. J. Riddoch. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1987.
- Volkman F.C.* Vision during voluntary saccadic eye movements // *J. Opt. Soc. Amer.* 1962. V. 52. P. 571–578.
- Volkman F.C., Pufall O.B.* Adjustment of visual tilt as a function of age // *Percept. Psychophys.* 1972. V. 11. P. 187–192.
- Vossius J.* Adaptive control of saccadic eye movements // *Bibl. Ophthalmol.* 1972. V. 82. P. 244–250.
- Wade N.J.* Visual orientation during and after lateral head, body and trunk tilt // *Percept. Psychophys.* 1968. V. 3. P. 215–219.
- Wade N.J.* The effect of monocular and binoculars observation on visual orientation during head tilt // *Amer. J. Psychol.* 1969a. V. 82. P. 384–388.

- Wade N.J.* The effect of stimulus line variations on visual orientation with head upright and tilted // *Austr. J. Psychol.* 1969b. V. 21. P. 177–185.
- Wade N.J.* The effect of different psychophysical methods on visual orientation during tilt // *Psychom. Sci.* 1970a. V. 19. P. 201–203.
- Wade N.J.* The effect of instruction on visual orientation // *J. Exp. Psychol.* 1970b. V. 83. P. 331–332.
- Wade N.J.* Visual orientation during lateral head tilt when upright and supine // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1970c. V. 22. P. 420–422.
- Wade N.J.* Effect of prolonged tilt on visual orientation // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1970d. V. 22. P. 423–439.
- Wade N.J.* Effect of forward head inclination on visual orientation during lateral body tilt // *J. Exp. Psychol.* 1972. V. 96. P. 203–205.
- Wade N.J.* The effect of body immersion on perception of visual vertical // *Brit. J. Psychol.* 1973. V. 64. P. 351–361.
- Wade N.J., Day R.H.* Apparent head position as a basis for a visual aftereffect of prolonged head tilt // *Percept. Psychophys.* 1968a. V. 3. P. 324–326.
- Wade N.J., Day R.H.* Development and dissipation of a visual spatial aftereffect from prolonged head tilt // *J. Exp. Psychol.* 1968b. V. 76. P. 439–443.
- Wade N.J., Day R.H.* A correction to «The retinal reference of the tilt aftereffect» by Coltheart and Cooper // *Percept. Psychophys.* 1973. V. 13. P. 319–320.
- Wade N.J., Schöne H.* The influence of force magnitude on the perception of body position: 1. Effect of head posture // *Brit. J. Psychol.* 1971. V. 62. P. 157–163.
- Walker R.Y.* The eye movements of good readers. *Psychological Monographs.* 1933. V. 44. P. 95–117.
- Walker-Smith G.J., Gale A.G., Findlay J.M.* Eye-movement strategies involved in face perception // *Perception.* 1977. V. 6. P. 313–326.
- Wallace M., Singer P., Mottram J., Purcell A.T.* Effects of exposure to a tilted room on kinesthetic postexposure responses // *Perception.* 1975. V. 4. P. 447–451.
- Wallach H.* On perception. N.Y.: Quadrangle / New Times Book, 1976.
- Wallach H.* Perceiving a stable environment when one moves // *Ann. Rev. Psychol.* 1987. V. 38. P. 127.
- Wallach H., Bacon J.* The constancy of the orientation of the visual field // *Percept. Psychophys.* 1976. V. 19. P. 492–498.
- Warren R., Wertheim A.H.* Perception and control of self-motion. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1990.
- Watson O.M.* Proxemic behavior: a cross-cultural study. The Hague: Mouton, 1970.
- Weltman G., Smith J.E., Egstrom G.H.* Perceptual narrowing during stimulated pressure-chamber exposure // *Human Factors.* 1971. V. 13. P. 99–107.
- Wendepoth P., Beh H.* Component analysis of orientation illusion // *Perception.* 1977. V. 6. P. 57–75.

- Wenderoth P.* The distinction between rod-and-frame illusion and rod-and-frame test // Perception. V. 3. P. 200–221.
- Werner H., Wapner S.* Toward a general theory of perception // Psychol. Rev. 1952. V. 59. P. 324–338.
- Wertheim A.H.* Motion perception during self-motion: the direct versus inferential controversy revisited // Behav. and Brain Science. 1994. V. 17. P. 293–355.
- Wertheim T.* Über die indirekte Sehschärfe // Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 1984. B. 7. S. 121–187.
- Westheimer G.* Eye movement response to a horizontally moving visual stimulus // Arch. Ophthalmol. 1954b. V. 52. P. 932–941.
- Westheimer G.* Mechanism of saccadic eye movements // Arch. Ophthalmol. 1954a. V. 52. P. 710–724.
- Westheimer G., Conover D.W.* Smooth eye movements in the absence of moving stimulus // J. Exp. Psychol.: HPP. 1954. V. 47. P. 283–284.
- Westheimer G., Shimamura K., McKee S. P.* Interference with line-orientation sensitivity // J. Opt. Soc. Amer. 1976. V. 66. P. 332–338.
- Wheless L., Boynton R., Cohen G.* Eye-movement responses to step and pulse-step stimuli // J. Opt. Soc. Amer. 1966. V. 56. P. 956–960.
- Wheless L.L., Cohen J.H., Boynton R.M.* Luminance as a parameter of the eye-movement control system // J. Opt. Soc. Amer. 1967. V. 57. P. 394–400.
- Williams L.G.* The effects of target specification on objects fixation during visual search // Acta Psychologica. 1967. V. 27. P. 355–360.
- Witkin H.A., Asch S.E.* Studies in space orientation: IV. Further experiments on perception of the upright with displaced visual fields // J. Exp. Psychol. 1948. V. 38. P. 762–782.
- Witkin H.A., Oltman P.K., Cox P.W., Ehrichman E., Hamm R.M., Ringer R.W.* Field-dependence and psychological differentiation: A bibliography through 1972 with index. Princeton, N. Y.: Educational Testing Service Res. Bull., 1973. P. 73–62.
- Wolf J.M.* Visual search // Attention / Ed. by H. Pashler. Hove: Psychology Press, 1998. P. 13–74.
- Woo G.C.S.* The effect of exposure time on the foveal size of Panum's area // Vision Res. 1974. V. 14. P. 473–480.
- Woodworth R.* Experimental psychology. New York: Holt, 1938.
- Woodworth R.S.* Vision and localization during eye movements // Psychol. Bull. 1906. V. 3. P. 68–70.
- Woodworth R., Schlosberg H.* Experimental psychology. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1954. P. 477–478.
- Wundt W.* Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig: Wintersche, 1862.
- Wurtz R.H., Goldberg M.E.* The primate superior colliculus and the shift of visual attention // Invest. Ophthalmol. 1972. V. 11. P. 441–450.

- Wurtz R.H., Mohler C.W.* Selection of visual targets for the initiation of saccadic eye movements // *Brain Res.* 1974. V. 71. P. 209–214.
- Wyman D., Steinman R.M.* Small step tracking: Implications for the oculomotor «dead zone» // *Vision Res.* 1973. V. 13. P. 2165–2172.
- Yantis S.* Control of visual attention // *Attention* / Ed. by H. Pashler. Hove: Psychology Press, 1998. P. 223–256.
- Yasui S., Young L.R.* Perceived visual motion as effective stimulus to pursuit eye movement system // *Science.* 1975. V. 190. P. 906–908.
- Young L.R., Forster I.D., Houtte N. van.* A revised stochastic sampled data model for eye tracking movements — 4th ann. NASA univ. conf. on manual control, Ann Arbor Univ. of Michigan, 1968.
- Young L., Stark L.* A sampled-data model for eye tracking movements // *Q. Progr. Rep. Res. Lab. Electr. M. I. T.* 1962. V. 66. P. 370–384.
- Young L., Stark L.* Variable feedback experiments testing a sample date model for eye tracking movements. I. E. E. E. *Trans. Hum Fact. Electr.*, 1963. V. HFE-4. P. 38–51.
- Zajac J.* Convergence, accommodation and visual angle as factors in perception of size and distance // *Amer. J. Psychol.* 1960. V. 73. P. 142–146.
- Zikmund V.I.* Concerning the role of eye movements in the processing of visual information during optokinetic stimulation // *Activ. Nerv. Super.* 1973. V. 15. P. 49–50.
- Zikmund V.I.* Movement perception during ambivalent optokinetic stimulation // *The oculomotor system and brain functions* / Ed. by V.I. Zikmund. London; Bratislava, 1973. P. 259–264.
- Zikmund V.I.* Visual motion perception during ambivalent optokinetic stimulation // *Physiol. Bohemoslov.* 1972. V. 21. P. 123.
- Zuber B., Stark L.* Saccadic suppression — elevation of visual threshold associated with saccadic eye movements // *Exp. Neurol.* 1966. V. 16. P. 65–79.

**Научное издание**

Белопольский Виктор Исаевич

**ВЗОР ЧЕЛОВЕКА  
МЕХАНИЗМЫ МОДЕЛИ, ФУНКЦИИ**

Редактор — *О.В. Шапошникова*  
Корректор — *И.В. Клочкова*  
Макет и верстка — *Б.В. Пулькин*

Сдано в набор 10.04.07. Подписано в печать 07.05.07.  
Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Petreersburg.  
Усл. печ. л. 25,9. Уч.-изд. л. 22,4 .  
Тираж 1000 экз. Заказ

Лицензия ЛР № 03726 от 12.01.01.  
Издательство «Институт психологии РАН»  
129366, Москва, ул. Ярославская, 13  
Тел.: (495) 682-51-29

E-mail: [publ@psychol.ras.ru](mailto:publ@psychol.ras.ru)  
[www.psychol.ras.ru](http://www.psychol.ras.ru)

Отпечатано с готовых диапозитивов в ППП Типография «Наука»  
121099, Москва, Шубинский пер., 6

