

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

СЕЛЕКТИВНОЕ ВНИМАНИЕ И РЕГУЛЯЦИЯ
ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ*Белополюский В. И.*

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 [1, 23, 49, 64]. 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 обрабатывает 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 [9], 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 саккадических и плавных движений глаз (аргументы «за» и «против» суммированы в [3]); каково время «чистой» задержки сигнала в ГДС [1, 3, 50] 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 рассмотрении 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) [6, 24, 25, 42, 44, 45, 61].

Важно отметить, что в ситуациях рассматривания и поиска сам переходный процесс ГДС сохраняет, видимо, амплитудно-скоростные характеристики, описываемые моделью следящей системы [1, 19]. 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» [13, 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» [14, с. 176]. Обычно этот механизм обозначают термином «зрительное внимание»: объект привлёк 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 настоящей статьи состоит 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 что только та визуальная стимуляция, которая попадает в зону

актуального внимания¹, учитывается при формировании сигнала рассогласования на входе ГДС, обрабатываемого ею по законам следующей системы позиционного контроля с зрительной обратной связью.

Основная задача исследования заключалась в доказательстве пространственной селективности зрительного внимания. Требовалось 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 одновременном соотнесении пространственных позиций зоны внимания и зоны собственно восприятия: существует мнение, что они не совпадают и внимание лишь указывает место будущей фиксации [15, 19].

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 [11, 48]. (Интересно, что этот эффект сначала отнесли к разряду 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.

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 гомогенном фоне) фиксационные повороты глаз не будут уменьшать сигнал ошибки и приобретают следующие закономерности (см. [1, 35, 36, 40]): 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 $15\text{—}25^\circ$, 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. Тот факт, что в условиях стабилизации фиксационный поворот глаз занимает значительно больше времени (до нескольких секунд), чем в обычных условиях (саккада длится 20—70 мс [19]), предоставляет уникальные методические возможности для выявления временной динамики зоны внимания и сопоставления ее с отдельными глазодвигательными 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.

¹ Ниже, употребляя термин «зона внимания», мы будем иметь в виду зону актуального 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. [1] и [36, 40]). 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 [9]. 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° в диаметре), центры которых отстояли от фовеа на расстоянии 4°. Неравновесная конфигурация состояла или из одинаковых кругов (2°), разнородных от фовеа (на 2 и на 6°), или кругов разного размера (1 и 2° в диаметре), удаленных от фовеа на одно и то же расстояние (4°).

б) По одного круга. Он был центрирован относительно фовеа (размеры круга 2, 5, 10, 20 и 50° в диаметре) или смещен относительно центра фовеа на 1, 2, 3, 4 или 5° (размер круга 1° в диаметре).

в) ПО двусмысленной фигуры «лицо Шафер — Мурфи» [41]. Размер фигуры — 10° в диаметре, она была центрирована относительно фовеа.

Схематическое изображение всех стимульных конфигураций представлено в верхней части рис. 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 движений 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 рис. 1, а. При инструкции смотреть на оба ПО одновременно (И1) отмечены лишь незначительные медленные колебания глаз с амплитудой 2—4°. 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—30°. Скорости плавных движений глаз в обе стороны мало отличались друг от друга и укладывались в диапазон 12—16°/с. Требование увеличить частоту переключения внимания (И3) выразилось в учащении плавных колебаний глаз до 1,5—2 Гц и падении их амплитуды до 5—10°. 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 динамике 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 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.

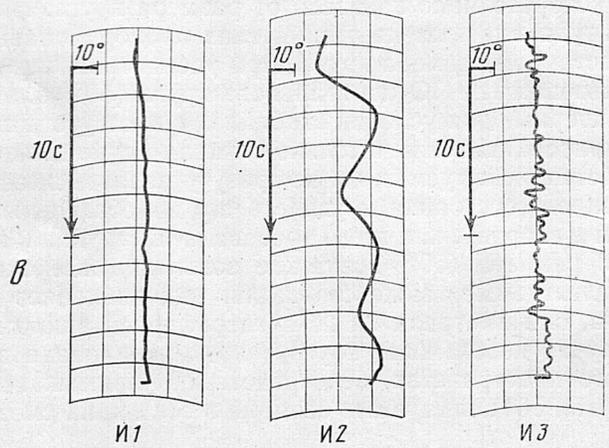
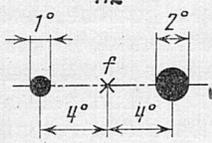
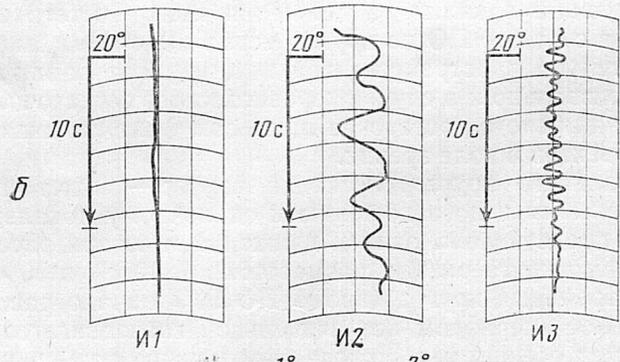
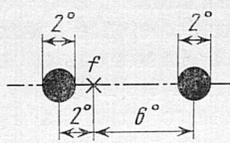
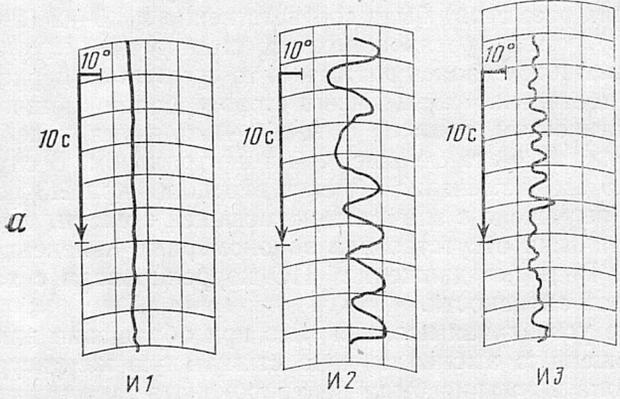
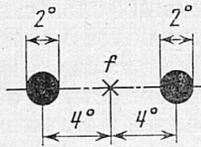
ПО двух кругов: неравновесная стимульная конфигурация. Типичные записи движений глаз для разноудаленных от фовеа одинаковых ПО представлены на рис. 1, б, а для ПО разных размеров — на рис. 1, в. Во всех этих ситуациях доминировали горизонтальные движения глаз. При выполнении И1, требующей фиксировать одновременно оба ПО, не было отмечено выраженной глазодвигательной активности. Зарегистри-

рованы лишь дрейфовые движения глаз с некоторой тенденцией к смещению позиции глаз в сторону более удаленного ПО или ПО больших размеров. 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 больших размеров) 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 конфигурацию 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 зоны внимания 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 рис. 2 представлены записи движений глаз при рассматривании ПО центрального круга разных размеров: 2, 5, 10, 20 и 50° в диаметре. Для всех центральных кругов (кроме ПО 50°) 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°) 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°) все такие попытки вовсе оказались безуспешными. Испытуемые также сообщали, что, добываясь «раскачки» видимого круга, они смотрели на него «периферией внимания», «краем глаза», а в случае небольших кругов концентрировали внимание на области темного пространства, непосредственно примыкавшего к краю круга. При кругах 50° испытуемые были не в состоянии смотреть внима-



тельно 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 результирующего 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. Однако для достаточно больших ($10-20^\circ$) кругов центр зоны внимания располагался несколько центральнее, а для малых (2°) 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 рассматривании ПО центрального круга размером 50° 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° в диаметре) экстрафовеального круга в неподвижном состоянии. Это довольно легко удавалось им во всем диапазоне тестируемых сетчаточных эксцентриситетов — от 1 до 5° — 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° . Правда, двум из трех испытуемых удалось добиться такого эффекта и при эксцентриситете 2° . Записи движений глаз при успешных попытках такого прослеживания представлены на рис. 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 не оставалась постоянной в течение более чем $3-4$ с и была подвержена флуктуациям. Когда эксцентриситет ПО превышал 2° , 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

Рис. 1. Записки 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

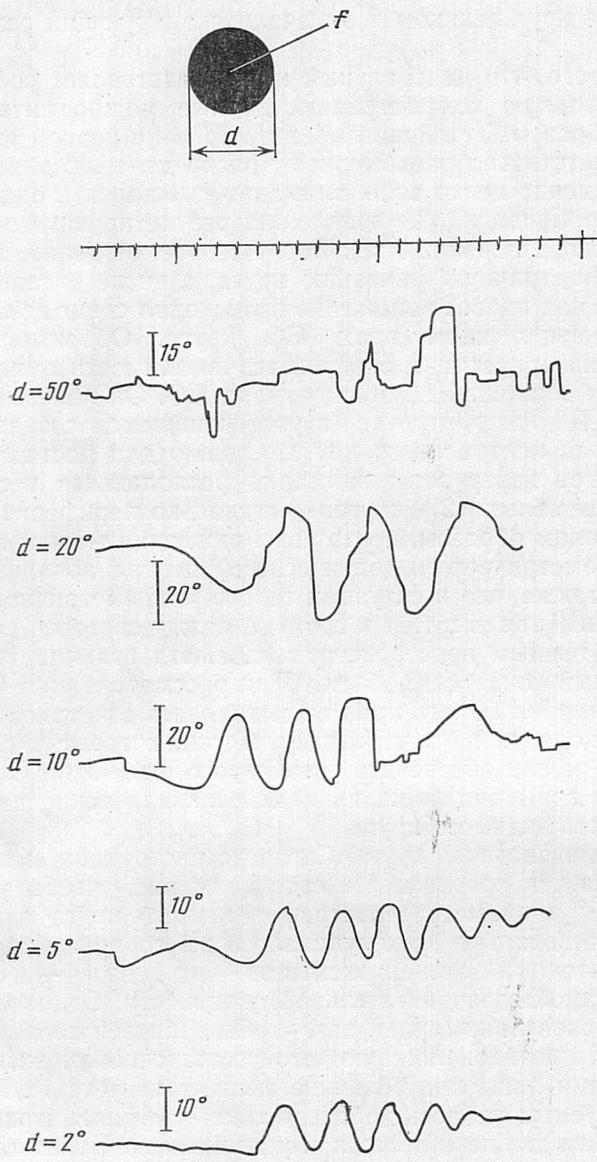


Рис. 2. Записи горизонтальных движений глаз при рассмотрении последовательного образа центрального круга. Вверху — схематическое изображение стимула в координатах сетчатки (f — фовеа), внизу — записи, соответствующие кругам разных размеров (d — диаметр круга)

тогда 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.

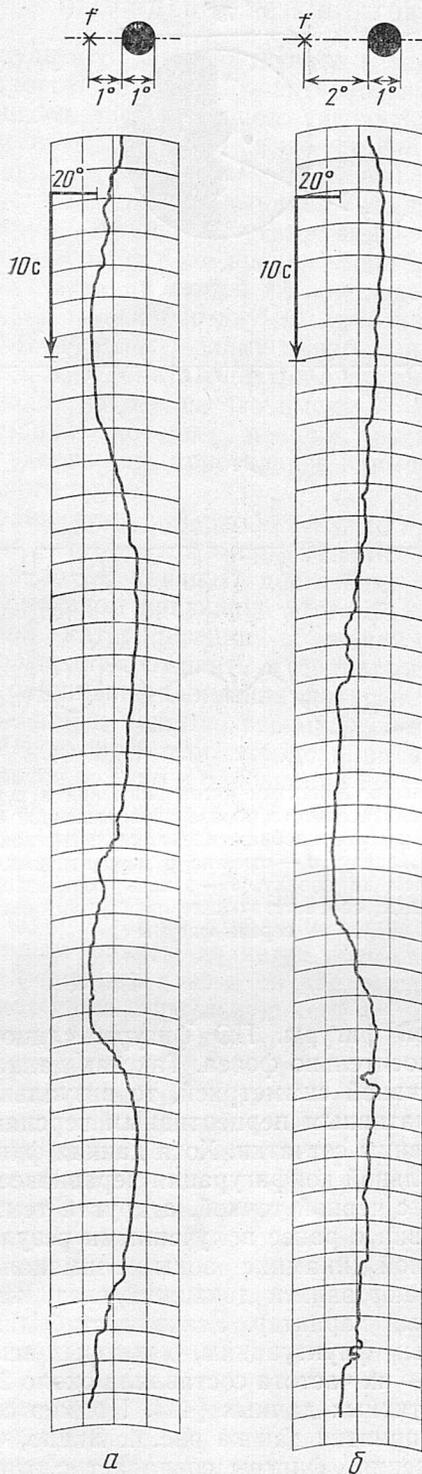


Рис. 3. Записи горизонтальных движений глаз при успешных попытках плавно перемещать последовательный образ экстрафовеального круга в сторону, противоположную его эксцентриситету. Вверху — схематическое изображение стимула в координатах сетчатки (f — фовеа). a — эксцентриситет 1° , b — эксцентриситет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

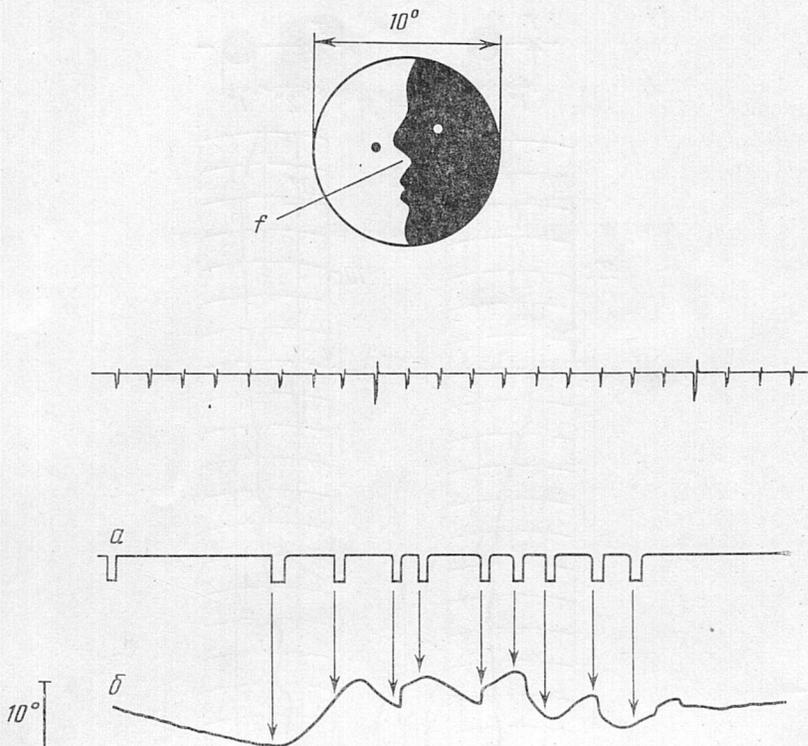


Рис. 4. Пример сопоставления динамики актов внимания и перцептивных флуктуаций при рассматривании последовательного образа двусмысленной фигуры «лицо Шафер — Мурфи». Вверху — схематическое изображение стимульной конфигурации в координатах сетчатки (f — фовеа), внизу: a — отметка о перцептивных флуктуациях, подаваемая испытуемым нажатием на кнопку, b — запись горизонтальных движений глаз. Стрелки указывают моменты, соответствующие началу восприятия новой перцептивной версии фигуры

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 («лицам»), попала 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 [41]. Пример сопоставления динамики внимания и восприятия дан на рис. 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.

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 почти невозможно удерживать пристальное внимание на очень больших (50°) ПО центрального круга.

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 (сравни с [10, 37]). 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 им 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° (см. также [35, 40, 43, 55]), так и возможность сохранять устойчивость ГДС и даже менять направления движений глаз при экспозиции экстрафовеального ПО. Удивительно, но движения глаз в последнем случае управляются сиг-

налом, поступающим с темновой 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 наблюдения, сделанные Г. Гельмгольцем еще в прошлом веке и относящиеся 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» [33, с. 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 происходил 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 он был достаточен для охвата всей стимульной конфигурации (испытываемые 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 [53], 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 (сравни с [4]). 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 структу-

рированных изображений ($25 \times 30^\circ$), стабилизированных относительно сетчатки [11], 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 рассмотрение центрального ПО круга), то для них характерна определенная, достаточно стабильная ритмика, вообще свойственная процессам внимания [5].

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 [58] можно объяснить асимметричной позицией их в зоне внимания, причем испытуемые могли менять степень этой асимметрии. Манипулирование частотой микросаккад при фиксации небольшого неподвижного объекта [59] зависит, видимо, от величины зоны внимания: при инструкции, требующей «жесткой» фиксации (узкая зона), микросаккад значительно больше, чем при инструкции «держат объект в поле зрения» (широкая зона). Еще старые данные показывают, что удержать неподвижно узкую зону внимания гораздо сложнее, чем широкую [12]. Тем не менее нужно подчеркнуть, что простое расширение — сужение зоны внимания не должно отражаться в макромоторике глаз, если оно происходит вокруг постоянного центра. Точная установка зрительной оси глаза относительно небольшого фрагмента структурированного изображения, например вершины острого угла или точки, расположенной эксцентрично внутри окружности [57], может быть достигнута за счет сужения зоны внимания вокруг целевого фрагмента. Чтобы совершать микросаккады в заданном направлении, необходимо наличие хотя бы одной светящейся точки [32, 59], так что 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 [60], 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 [5]. 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, что этот «рисунок глазом» поместили на обложку журнала (Химия и жизнь, 1973, № 7). Необученные же испытуемые плохо обводят даже контур квадрата [6].

В последние несколько лет были проведены исследования [46, 50, 56], которые поставили на повестку дня вопрос, кодируются ли движения глаз в ретинотипических координатах либо в пространственных (эгоцентрических), 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: прослеживая 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 в [16]), а также для управления движениями глаз в темноте [21]. Различие же между ними состоит в том, что пространственное внимание понимается нами (см. также [47]) как процесс настройки зрительной системы на тот или иной сигнал, относительно независимый от низкоуровневой ГДС, работающей в автоматическом режиме, 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 [7, 18, 21], 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 [16]). Так, например, плавные движения глаз в полной темноте, которые доступны лишь некоторым людям при визуализации предъявленной ранее светящейся движущейся цели [26, 34], значительно облегчаются, когда в качестве целевого объекта используются конечности (пальцы) или движущийся источник звука [30, 31]. Обобщающим понятием для обозначения проприоцептивного образа пространства является «схема тела», в которой заданы основные эгоцентрические на-

правления: «право», «лево», «верх», «низ» и «прямо перед собой» [8]. 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 вычленить 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 [2, 9], где экспериментальным путем удалось увеличить время фиксационного поворота глаз. Оказалось, что в этих условиях процесс обнаружения и опознания искомого 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 [20, 22, 27, 29, 38, 53].

В последнее время 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 [17, 54, 62, 63].

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» [39]. В качестве наиболее адекватного научного понятия, описывающего зону внимания, ее динамику и процессы съема визуальной информации, протекающие в этой зоне, выступает понятие «функциональное поле зрения» [2, 23, 51, 52].

ВЫВОДЫ

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 объект в поле зрения (но не слишком большой), 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 рас-

сматриваемой стимульной конфигурации. Однако возможна и такая позиция зоны внимания, когда ее центр ориентирован в направлении бесструктурного (темнового) участка поля зрения.

5. Изменение пространственной позиции зоны внимания происходит достаточно плавно, хотя скорость перемещения центра зоны внимания варьирует в большом диапазоне.

6. Подтверждена гипотеза, что динамика зоны внимания совпадает по своим пространственным и временным характеристикам с динамикой зоны съема содержательной визуальной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е. А., Вергилес Н. Ю., Ломов Б. Ф. Механизм элементарных движений глаз как следящая система.— В кн.: Моторные компоненты зрения. М., 1975, с. 7—55.
2. Белопольский В. И. Исследование динамики функционального поля зрения методом варьирования величины оптической обратной связи: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. психол. наук. М., 1978.
3. Белопольский В. И., Вергилес Н. Ю. Адаптивная реакция глазодвигательной системы на изменение величины зрительной обратной связи.— Физиол. человека, 1979, т. 5, № 3, с. 543—551.
4. Владимиров А. Д., Хомская Е. Д. Процессы экстраполяции в глазодвигательной системе. М., 1981.
5. Вудвортс Р. Экспериментальная психология. М., 1950.
6. Гиппенрейтер Ю. Б. Движения человеческого глаза. М., 1978.
7. Гуревич Б. Х. Движения глаз как основа пространственного зрения и как модель поведения. Л., 1971.
8. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С. Сенсорные комплексы и сенсомоторная интеграция.— Физиол. человека, 1979, т. 5, № 3, с. 399—414.
9. Движение глаз и зрительное восприятие. М., 1978, с. 71—171.
10. Завалишин Н. В., Мучник И. Б. Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. М., 1974.
11. Зинченко В. П., Вергилес Н. Ю. Формирование зрительного образа. М., 1969.
12. Коффка К. Основы психического развития. М.—Л., 1934.
13. Леушина Л. И. Глазодвигательная система и ее функции.— В кн.: Физиология сенсорных систем, ч. 1. Физиология зрения. М.—Л., 1971, с. 60—77.
14. Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.
15. Лурия А. Р., Правдина-Винарская Е. Н., Ярбус А. Л. К вопросу о механизмах движений глаз в процессе восприятия и их патологии.— Вопр. психол., 1961, № 5, с. 159—172.
16. Луук А., Барабанщиков В., Белопольский В. Движения глаз и проблема стабильности воспринимаемого мира.— В кн.: Уч. зап. Тартус. ун-та, 1977, № 429, с. 122—167.
17. Чуприкова Н. И. К вопросу о центральной регуляции возбудимости зрительного анализатора и механизмах, управляющих саккадическими движениями глаз.— Вопр. психол., 1973, № 5, с. 41—48.
18. Хомская Е. Д. К проблеме афферентации движений глаз.— Вопр. психол., 1962, № 3, с. 73—84.
19. Ярбус А. П. Роль движений глаз в процессе зрения. М., 1965.
20. Ambler B. A., Finklea D. L. The influence of selective attention in peripheral and foveal vision.— Percept. Psychophys., 1976, v. 19, p. 518—524.
21. Vecker W. Accuracy of saccadic eye movements and maintenance of eccentric eye positions in the dark.— Vision Res., 1973, v. 13, p. 1021—1034.
22. Bodis-Wollner I. A distractive effect of peripheral attention on foveal trigram recognition.— Perception, 1973, v. 2, p. 407—413.
23. Bouma H. Visual search and reading: eye movements and functional visual field: a tutorial review.— In: Attention and Performance VI. N. J., 1978, p. 115—148.
24. Brandt H. F. Ocular patterns and their psychological implication.— Amer. J. Psychol., 1940, v. 53, p. 260—268.
25. Buswell G. T. How people look at pictures. Chicago, 1935.
26. Deckert G. H. Pursuit eye movements in the absence of a moving visual stimulus.— Science, 1964, v. 143, p. 1192—1193.
27. Engel F. L. Visual conspicuity, directed attention and retinal locus.— Vision Res., 1971, v. 1, p. 563—576.
28. Fender D. H., Nye P. W. An investigation of the mechanisms of eye movement control.— Kybernetik, 1961, v. 1, p. 81—93.
29. Grindley G., Townsend V. Visual search without eye movement.— Quart. J. Exptl Psychol., 1970, v. 22, p. 62—67.
30. Gauthier G. M., Hofferer J.-M. Eye tracking of self-moved targets in the absence of vision.— Exptl Brain Res., 1976, v. 26, p. 121—139.
31. Gauthier G. M., Hofferer J.-M. Eye movements in response to real and apparent motions of acoustic targets.— Percept. mot. Skills, 1976 v. 42, p. 963—971.

32. *Haddad G. H., Steinman R. M.* The smallest voluntary saccade: implication for fixation.— *Vision Res.*, 1973, v. 13, p. 1075—1086.
33. *Helmholtz H. von.* Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig, Voss, 1866 (translated by M. P. C. Southall. Washington, 1925).
34. *Heywood S.* Voluntary control of smooth eye movements and their velocity.— *Nature*, 1972, v. 238, № 5364, p. 408—410.
35. *Heywood S., Churcher J.* Eye movements and the afterimage. I. Tracking in afterimage.— *Vision Res.*, 1971, v. 11, p. 1163—1168.
36. *Heywood S., Churcher J.* 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.
37. *Kaufman L., Richards W.* Spontaneous fixation tendencies for visual forms.— *Percept. Psychophys.*, 1969, v. 5 p. 85—88.
38. *Ikeda M., Takeuchi T.* Influence of foveal load on the functional visual field.— *Percept. Psychophys.*, 1975, v. 18, p. 255—260.
39. *Kirkland J., Lewis Ch.* Glance, look, gaze and stare: a vocabulary for eye-fixation research.— *Percept. mot. Skills*, 1976, v. 43, N-3, Pt 2, p. 1278.
40. *Kommerell G., Tämer R.* Investigations of the eye tracking system through stabilized retinal images.— In: *Cerebral Control of Eye Movements and Motion Perception*. Basel, 1972, p. 288—297.
41. *Lindauer M. S., Baust R. F.* Comparisons between 25 reversible and ambiguous figures on measures of latency, duration and fluctuation.— *Behav. Res. Meth. and Instrum.*, 1974, v. 6, p. 1—9.
42. *Lofthus G. R.* Eye fixation and recognition memory for pictures.— *Cognitive Psychol.*, 1972, v. 3, p. 525—551.
43. *Mack A., Bachant J.* Perceived movement of the after-image during eye movements.— *Percept. Psychophys.*, 1969, v. 6, p. 379—384.
44. *Mackworth N. H., Bruner J. S.* How adults and children search and recognize pictures.— *Human Development*, 1970, v. 13, p. 149—177.
45. *Mackworth N. H., Morandi A. J.* The gaze selects informative details within pictures.— *Percept. Psychophys.*, 1967, v. 2, p. 547—552.
46. *Mays L. E., Sparks D. L.* Saccades are spatially, not retinocentrically, coded.— *Science*, 1980, v. 208 (4448), p. 1163—1165.
47. *Posner M. I.* Orienting attention.— *Quart. J. Exptl Psychol.*, 1980, v. 32, p. 3—25.
48. *Rexroad C. N.* Eye movements and visual after-images.— *Amer. J. Psychol.*, 1928, v. 40, p. 426—433.
49. *Robinson D. A.* Models of the saccadic eye movement control system. *Kybernetik*, 1973, v. 14, p. 71—83.
50. *Robinson D. A.* Oculomotor control signals.— In: *Basic Mech. Ocular Motility and their Clin. Implicat.*, Proc. Int. Symp. Stockholm, 1974. Oxford e. a., 1975, p. 337—374, discuss., p. 375—378.
51. *Sanders A. F.* Some aspects of selective process in the functional visual field.— *Ergonomics*, 1970, v. 13, p. 101—117.
52. *Scheerer E.* Expansion of the functional visual field and context skipping in continuous search task.— *Psychol. Res.*, 1978, v. 40, p. 113—126.
53. *Shulman G. L., Remington R. W., McLean J. P.* Moving attention through visual space.— *J. Exptl Psychol. Human Percept. and Performance*, 1979, v. 5, p. 522—526.
54. *Singer W., Zihl J., Pöppel E.* Subcortical control of visual thresholds in humans: evidence for modality specific and retinotopically organized mechanisms of selective attention.— *Exptl Brain Res.*, 1977, v. 29, p. 522—526.
55. *Steinbach M. J., Pearce D. G.* Release of pursuit eye movements using after-images.— *Vision Res.*, 1972, v. 12, p. 1307—1311.
56. *Steinbach M. J.* Pursuing the perceptual rather than the retinal stimulus.— *Vision Res.*, 1976, v. 16, p. 1371—1376.
57. *Steinman R. M.* Role of eye movements in maintaining a phenomenally clear and stable world.— In: *Eye Movements and Psychological Processes*. N. Y., 1976, p. 121—149.
58. *Steinman R. M., Skavenski A. A., Sansbury R. V.* Voluntary control of smooth pursuit velocity.— *Vision Res.*, 1969, v. 9, p. 1167—1171.
59. *Steinman R. M., Haddad G. M., Skavenski A. A., Wyman D.* Miniature eye movement.— *Science*, 1973, v. 181, p. 810—819.
60. *Westheimer G., Conover D. W.* Smooth eye movements in the absence of moving stimulus.— *J. Exptl Psychol.*, 1954, v. 47, p. 283—284.
61. *Williams L. G.* The effects of target specification on objects fixation during visual search.— *Acta Psychologica*, 1967, v. 27, p. 355—360.
62. *Wurtz R. H., Goldberg M. E.* The primate superior colliculus and the shift of visual attention.— *Investigative Ophthalmol.*, 1972, v. 11, p. 441—450.
63. *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.
64. *Young L., Stark L.* Variable feedback experiments testing a sample data model for eye tracking movements.— *Inst. Electr. Electronics Engineers Trans. Hum. Fact., Electr.*, 1963, v. HFE-4, p. 38—51.