

# МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ЗАГРУЗКИ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ НА ЭТАПЕ ИНКУБАЦИИ ИНСАЙТНОГО РЕШЕНИЯ

С.Ю. КОРОВКИН, А.Д. САВИНОВА, И.Ю. ВЛАДИМИРОВ

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Приведены результаты экспериментального исследования процессов решения малых творческих (инсайтных) задач с помощью отслеживания динамики загрузки рабочей памяти. Показана возможность использования методики двойного задания для мониторинга процессов, участвующих в решении. Выявлено различие динамики загрузки рабочей памяти в решении инсайтных и алгоритмизированных задач. Выявленные различия интерпретируются как наличие специфических инсайтных механизмов, задействующих ресурсы рабочей памяти на стадии инкубации.

**Ключевые слова:** мышление, инсайт, инкубация, рабочая память, задание-зонд, инсайтная и алгоритмизированная задача.

## ПРОБЛЕМА

Проблема механизмов, лежащих в основе феномена инсайта, является одной из ключевых в области психологии мышления. Несмотря на то, что феномен инсайта, внезапного нахождения правильного решения, сопровождающегося выраженной аффективной реакцией, является легкодоступным для самонаблюдения и описан сравнительно давно, в психологии мышления не существует единства взглядов на вопрос существования отдельных механизмов, обеспечивающих процесс инсайтного решения. В данной работе предпринята попытка построения критического эксперимента для оценки тезиса о существовании специфических когнитивных механизмов инсайтного решения.

Понятие инсайта и его гипотетические механизмы были предложены в работах гештальтпсихологов (Duncker, 1945; Köhler, 1917; Wertheimer, 1959). В основе инсайта лежит нахождение решателем функцио-

нального решения (Duncker, 1945), т.е. такое понимание ситуации, элементов и связей, которое позволяет переструктурировать все составляющие, найдя новые качества и свойства объектов, необходимые для оптимального решения проблемы.

С этой точки зрения инсайтное решение специфично, оно отличается от решения любых неинсайтных задач, требующих последовательного движения в ходе решения, и является единственным видом творческого мышления.

Среди отличительных признаков инсайта многие авторы называют следующие: оригинальность (творческий характер) решения задачи (Isen, Daubman, Nowicki, 1987), расширение границ, «выход за пределы» задачи (Ohlsson, 1992), преодоление фиксированности (Öllinger, Jones, Knoblich, 2008), субъективная внезапность решения задачи (Jones, 2003), наличие инкубационного (внешне пассивного) периода решения задачи (Segal, 2004; Seifert et al., 1995), «ага-реакция» (Kounios, Beeman, 2009), нахождение функционального решения (Duncker, 1945). По нашему мнению, нахождение функционального решения является наиболее существенным критерием инсайтного решения.

С точки зрения теории задачного пространства (Newell, Simon, 1972) инсайтное решение не имеет своей специфики и представляет собой свернутые вычислительные операции и применение эвристик. Согласно данной точке зрения, процесс решения любой задачи есть последовательное движение в пространстве задачи. Это пространство представляет собой граф, где вершинами являются возможные состояния элементов задачи, а ребрами — операторы, переводящие задачу из состояния А в минимально отличное от него состояние В. Любую сколь угодно сложную задачу, в том числе и инсайтную, можно представить в виде такого пространства с конечным числом состояний, и решаться она будет однотипно: путем перемещения по данному графу в результате применения операторов (Kaplan, Simon, 1990). Таким образом, решение инсайтных и вычислительных задач неразличимо по механизмам, а появляющееся в субъективном опыте «ага-переживание» не относится к процессу решения, а является просто реакцией на достижение цели.

На данный момент получено множество экспериментальных и эмпирических фактов, свидетельствующих как в пользу неспецифичности (Weisberg, Alba, 1981), так и в пользу различных вариантов специфичности инсайтного решения (Kounios, Beeman, 2009; Knoblich, Ohlsson, Raney, 2001; Metcalfe, Wiebe, 1987). Для согласования результатов работ разных авторов также предпринимаются попытки расширения теории задачного пространства, ее усложнения и более полного описания (MacGregor, Ormerod, Chronicle, 2001).

Для описания процессов, задействованных в ходе решения задач, можно воспользоваться теоретическим конструктом «рабочая память» (РП), описывающим особенности работы с информацией, актуальной для решения текущей задачи (Baddeley, Hitch, 1974). РП включает не только систему хранилищ информации, но

и процессы, управляющие работой с этой информацией. Авторы выделяют два уровня структур РП: интегрирующий высокоуровневый исполнительский контроль и подчиненные системы, работающие с форматно-специфической информацией: со зрительно-образной (оптико-пространственный блокнот) и речевой (фонологическая петля). Основная функция этих структур — это не просто удержание информации в определенной форме, но и ее переработка, активное изменение и включение в исполняемые процессы, а также изменение характеристик других познавательных процессов под требования той задачи, которая выполняется в данный момент. Следует отметить, что если в понимании механики функционирования вспомогательных систем, как правило, предполагается работа именно систем памяти, то с блоком контроля возникают существенные вопросы. Так, значительная часть авторов чаще всего под исполнительским контролем или исполнительскими функциями понимают функционирование механизмов внимания и рассматривает работу контроля в данном контексте (расширение-сужение фокуса, удержание программы действия и т.п.). Такая тенденция наиболее ярко отражена в одном из наиболее полных обзоров проблемы роли рабочей памяти в процессе решения задач (Wiley, Jarosz, 2012). Такой подход к пониманию природы контроля максимально близок к видению роли исполнительского внимания в модели С. Петерсена и М. Познера (2012) и пониманию политики распределения общего ресурса в теории Д. Канемана (Kahneman, 1973). Ввиду сложности разделения функционирования процессов внимания и рабочей памяти мы в нашей работе не будем акцентировать эту проблему и станем рассматривать роль процессов РП и внимания в решении мыслительных задач в совокупности. Важно отметить также наличие проблемы перевода термина «executive»: существуют

традиции перевода данного термина как «исполнительское внимание» (Воронин, Строганова, 2009) и «управляющие функции» (Мачинская, 2015). В тексте данной статьи мы будем придерживаться первого варианта перевода.

Рабочая память, по мнению ряда авторов (Андерсон, 2002; Robertson, 2001; Ericsson, Simon, 1980), является важной структурой для решения задач, в частности инсайтных. Предполагаемыми механизмами участия могут быть: очистка РП в период инкубации от неправильных стратегий и вариантов решения, что приводит к иному пониманию условий задачи и нахождению инсайтного решения (Андерсон, 2002); участие РП в процессах вербализации решения (Ericsson, Simon, 1980); изменение степени загрузки РП при смене репрезентаций, ограниченность когнитивного ресурса при условии превышения максимума возможных единиц анализа (Hambrick, Engle, 2003).

Инкубация как этап, предшествующий инсайту, наиболее часто исследуется многими авторами, но описание процессов, происходящих в РП во время инкубации, существенно различается: во время инкубации происходят различные вычислительные операции по типу перехода по «дереву решений» (Kaplan, Simon, 1990); в период инкубации осуществляется решения происходит очистка РП от неправильных схем и путей решения (Андерсон, 2002); инкубация – время для активного поиска новой информации, которая может быть использована для решения актуальной проблемной ситуации (Seifert et al., 1995); во время инкубации происходит активная переработка имеющейся информации (Davidson, 2003; Knoblich, Ohlsson, Raney, 2001). В самом общем виде можно описать две альтернативные точки зрения на динамику процессов в РП во время инкубации инсайтного решения: снижение или повышение загрузки РП.

Основная цель нашей работы – определить, существуют ли специфические

компоненты инсайтного решения, отличающие его от неинсайтного, или же более верной является модель неспецифичности данного феномена. Мы предполагаем, что оценить специфику можно через динамику загрузки РП. Если гипотеза о специфичности верна, то динамика загрузки РП будет существенно различаться у инсайтных и алгоритмизированных задач, так как их выполнение контролируется разными механизмами. Если же верно предположение о неспецифичности решения, то будет наблюдаться обратная картина.

Таким образом, *общая гипотеза* данного исследования может быть сформулирована следующим образом: существуют специфические механизмы решения инсайтных задач. В поддержку общей гипотезы исследования будет говорить подтверждение *частных гипотез*:

1) существуют значимые различия в динамике загрузки РП при решении инсайтных и алгоритмизированных задач; подтверждение данной гипотезы будет указывать на различную роль блоков (ресурсов) РП при решении инсайтных и алгоритмизированных задач;

2) существует значимая динамика загрузки РП при решении инсайтных задач; подтверждение этой гипотезы будет указывать на динамику процессов, задействованных при решении инсайтных задач, а также на их возможное содержание благодаря варьированию соответствующего зонда.

## МЕТОД

История поиска механизмов инсайтного решения – это во многом история поиска адекватного метода. Решение проблемы специфичности инсайтного решения зависит от понимания динамики протекания процессов, лежащих в основе решения разных типов задач. Можно обозначить ряд требований к методу исследования динамики процессов при решении задач: метод (1) должен отслеживать динамику

по возможности на максимально коротких временных интервалах (от секунд до миллисекунд) на протяжении всего решения задачи; (2) должен быть релевантен процессам решения задач, скрытым от прямого наблюдения; (3) не должен нарушать и останавливать естественное течение мыслительного процесса.

Методы, используемые в классических исследованиях мышления (прежде всего, анализ протоколов мышления вслух — Duncker, 1945, Брушлинский, 1979), малоэффективны для решения вопроса о верности специфической или неспецифической модели инсайта. Во-первых, «внезапность» найденного испытуемым решения может быть результатом осознания ранее неосознанного процесса решения. В таком случае процессы решения на этапе инкубации могут быть скрыты от наблюдения. Во-вторых, классические методы обладают низкой «частотой опроса»: процессы решения могут быть более быстрыми, чем процесс вербализации. В-третьих, представления о динамике, получаемые с помощью таких методов, могут давать искаженные представления о логике протекания процесса. Ряд исследований с использованием косвенных методов демонстрирует изменение внешних маркеров инсайта до осознания решения: эмоциональная реакция может предвосхищать ответ на 5 с (Тихомиров, 1969), испытуемый перестает обращать внимание на ту часть условий задания, которая является дистрактором и не нужна для решения, за 2,4 с до ответа (Ellis, Glaholt, Reingold, 2011). Таким образом, для проверки гипотезы о специфичности инсайтного решения наряду с классическими методами необходимо использовать косвенные, которые компенсируют недостатки метода мышления вслух.

В работах, посвященных экспериментальному исследованию инкубации инсайтного решения, применяются различные маркеры, указывающие на тот или иной

этап переработки информации в процессе решения. В качестве таковых использовались вегетативные компоненты эмоциональной реакции (Тихомиров, 1969), изменение параметров гностических действий (Ellis, Glaholt, Reingold, 2011; Knoblich, Ohlsson, Raney, 2001), оценка близости к решению (Metcalf, Wiebe, 1987). Исследование динамики параметров кожно-гальванической реакции (падение сопротивления кожи) в сопоставлении с протоколами мышления вслух демонстрирует, что ответ КГР опережает вербализацию ответа примерно на 5 с (Тихомиров, 1969). КГР-ответ интерпретируется как проявление эмоциональной реакции, связанной с нахождением решения задачи. Однако для решения поставленной нами проблемы данный методический прием не подходит по ряду причин: эмоция связана только с одним из этапов решения задачи; эмоциональная реакция может быть всего лишь переживанием достижения цели; КГР может отражать не только эмоцию, но и двигательный артефакт, который мог проявиться в решении шахматных задач.

Не менее интересным является использование фиксации гностических действий в процессе решения, в частности, движения глаз. В качестве маркеров информационных процессов при решении задач используются показатели длины фиксации (Knoblich, Ohlsson, Raney, 2001), количество двойных фиксаций (Ellis, Glaholt, Reingold, 2011), ширина зрачка (Kahneman, Beatty, 1966; Wong, 2009). Первые два параметра интерпретируются как показатели степени (глубины) переработки информации, третий — как показатель величины умственного усилия. Данный метод безусловно интересен тем, что имеет высокую «частоту опроса» и позволяет отслеживать динамику процесса переработки информации в ходе всего решения, а не только на одном из этапов. У метода фиксации гностических действий также существуют определенные ограничения.

Основным из них является то, что группа задач, с которыми обычно работают исследователи, пользуясь этим методом, ограничена задачами, предполагающими зрительно-образное переструктурирование.

В качестве маркера динамики инсайтных процессов могут рассматриваться метакогнитивные процессы оценки близости решения (Metcalfе, Wiebe, 1987). В ходе решения инсайтных и неинсайтных задач испытуемых просят оценить субъективную близость к решению каждые 15 с. В неинсайтных задачах чувство приближения к решению нарастает равномерно, а в инсайтных задачах испытуемый до последнего момента не может адекватно оценить, насколько он близок к решению. Результат говорит о непредсказуемости инсайта и о малой значимости процессов исполнительского контроля в инсайтном решении. Аналогичные данные о роли контроля получены в исследованиях с ЭЭГ (Lavric, Forstmeier, Rippon, 2000). При выполнении двойного задания с решением задач получены данные, согласно которым в процессе решения неинсайтных задач амплитуда P300 в префронтальной коре, свидетельствующая об активации процессов исполнительского контроля, выше, чем при решении инсайтных, что говорит о важности контроля при решении только неинсайтных задач.

Очевидно, что использование какого-либо маркера без понимания того, как именно отражаемый им процесс участвует в инсайтном решении, не является методологически корректным. Если мы будем обладать методом, позволяющим замерять параметры активности систем РП в процессе решения задач, и будем в состоянии отслеживать динамику этих параметров на различных этапах решения, мы сможем ответить на вопрос о специфичности инсайтного решения. Большинство рассмотренных выше методов, работающих с маркерами инсайта, прямо или косвенно связано с работой РП.

Традиционный способ экспериментального исследования роли РП в решении задач — метод distraction работы блоков (Baddeley, Hitch, 1974). Во время решения основной задачи испытуемому одновременно предлагается выполнять дополнительное задание, которое гарантированно загружает один из блоков РП и не затрагивает другие (Hambrick, Engle, 2003). Наряду с экспериментальной парадигмой изучения роли РП в решении задач существует дифференциально-психологическая. Логика исследования в этой парадигме предполагает либо поиск корреляций между параметрами эффективности решения и параметрами успешности выполнения тестов на емкость РП, либо поиск различий в параметрах емкости РП между контрастными группами, разделенными по признакам эффективности решения (Ash, Wiley, 2006; Daneman, Carpenter, 1980). Промежуточное положение занимают квазиэкспериментальные исследования, где группы выборки различаются по какому-либо из параметров РП (как правило, исполнительского контроля) (Владимиров, Коровкин, 2014; Ash, Wiley, 2006; Hambrick, Engle, 2003). Однако перечисленные методы изучения РП не позволяют отслеживать динамику активности тех или иных процессов, связанную с решением основной задачи.

Решением проблемы может быть использование другого варианта методики двойной задачи — метода задания-зонда. Принципиальное отличие его от метода distraction заключается в том, что показателем перегрузки того или иного блока системы является не изменение времени выполнения основной задачи, а изменение времени выполнения дополнительного задания. Такое смещение акцента опирается на эффект доминирования основной задачи (Kahneman, 1973) и заключается в том, что при дефиците ресурса он распределяется на выполнение в первую очередь основного задания и по остаточному прин-

ципу — второстепенного. Поскольку в качестве вторичной задачи может выступать какое-либо простое и быстрое задание, возникает возможность отслеживать загрузку того или иного ресурса (блока) в процессе решения основной задачи. Это значит, что динамику эффективности решения вторичной задачи мы можем использовать как показатель загрузки интересующего нас ресурса в первичной. Дополнительная задача предъявляется постоянно на протяжении выполнения основной, таким образом выполняется мониторинг основного решения. Иной вариант методики-зонда (Posner, Voies, 1971) предполагает разовое воздействие на протяжении решения основной задачи, варьируя время этого разового воздействия. Такой вариант методики-зонда представляет собой зонд-пункцию. Для наших целей в большей степени подходит мониторинг, его высокая частота обновления. Учитывая, что нас интересует роль исполнительского контроля в решении инсайтных и неинсайтных задач, в качестве мониторов мы взяли задания, обновляемые достаточно часто и соразмерные с темпом работы испытуемого: теппинг-тест и фиксацию времени реакции выбора из двух альтернатив.

#### ПРОЦЕДУРА

Выборку исследования составили 32 испытуемых в возрасте от 18 до 52 лет ( $M = 21,9$ ;  $\sigma = 7,9$ ). Отсеивались задачи, на решение которых ушло менее 30 с или не решенные вовсе, а также в которых у испытуемых время хотя бы одной реакции составляло более 5 с при выполнении задания-зонда, не учитывалось время реакции менее 50 миллисекунд. Всего было отсеяно 17,7% (34 из 192) задач.

Статистической единицей служило среднее время реакции одного испытуемого на каждом из этапов выполнения задания-зонда. Статистическая обработка осуществлялась с помощью методов одно-

и двухфакторного ANOVA с повторными измерениями, критерия  $\chi^2$ , Фридмана, критерия U Манна—Уитни. Динамика выполнения задания-зонда является показателем динамики загрузки РП. Повышение среднего времени реакции при выполнении задания-зонда принимается за показатель увеличения загрузки РП (или блока РП, задействованного при выполнении этого задания).

Эксперимент состоял из двух частей — тренировочной и основной. В рамках первой части испытуемые тренировались в выполнении дополнительных заданий (теппинг-теста и задания-выбора), а также решали пробную мыслительную задачу. Задание на выполнение теппинг-теста выглядит следующим образом: испытуемому требуется как можно чаще нажимать на заданную клавишу в течение всего времени выполнения задания. Измеряется время между отдельными нажатиями клавиши. При выполнении задания-выбора на экране в случайном порядке появляются карточки красного и зеленого цвета, испытуемому требуется как можно быстрее нажимать соответствующую цвету клавишу (стрелки «влево» и «вправо»). Измеряется время реакции на стимул, а также правильность выполнения задания. Пробная мыслительная задача: «У вас есть сковорода, в ней нужно пожарить 6 котлет. В сковороде помещается максимум 4 котлеты. Каждая из двух сторон котлеты жарится 5 минут. В вашем распоряжении 15 минут». Задача предъявлялась на экране компьютера, велся протокол «мышления вслух». Испытуемым предлагалось последовательно выполнять тренировочные задания в следующем порядке: теппинг-тест (90 с), задание-выбор (90 с), пробная задача (до полного решения), теппинг-тест (90 с), задание-выбор (90 с). Общие значения и динамика выполнения первой и второй тренировочных серий (до и после пробной задачи) значимо не различались. В качестве контрольной серии использовались данные второй тренировки.

В качестве основной задачи в эксперименте выступали мыслительные задачи инсайтного и алгоритмизированного типов. Ко второму типу мы относим задачи, для решения которых известна (очевидна или актуализирована) система операторов и правил их применения, а процедура их решения может быть описана в терминах использования алгоритмов. Под инсайтными задачами мы, в общем виде, понимаем задачи, для успешного решения которых нужна смена операторов или системы их применения (требуется нахождение функционального решения), а новая система операторов и правил для решателя неизвестна (не очевидна или не актуализирована). Выделение двух типов задач носит во многом условный характер. В зависимости от опыта решения задач для испытуемого те или иные задачи могут носить и противоположный характер: инсайтная задача может решаться по алгоритму, если решателю очевидна система правил и операторов, а алгоритмизированная задача может быть решена инсайтно, если правила и операторы по какой-то причине для решателя не очевидны. Методический прием сравнения типов задач является традиционным для психологии решения задач (Davidson, 2003; Duncker, 1945; Metcalfe, Wiebe, 1987; и др.) и базируется на идее, что подавляющее число испытуемых инсайтные и алгоритмизированные задачи решают соответственно инсайтно или алгоритмично. В итоге нас интересуют различия в решениях, а не различия задач. Поэтому были подобраны, по возможности, различающиеся задачи с учетом возможности их текстового предъявления на экране компьютера, которые объединены только самым общим принципом решения задач.

В основной части эксперимента испытуемому предъявлялись три инсайтные задачи: «Известный экстрасенс мог предсказать счет любого хоккейного матча до его начала. В чем его секрет? (Ответ: счет 0:0)»; «Легендарный бегун Флеш Флитфут был

настолько быстр, что мог, выключив свет, добежать до кровати до того, как в комнате становилось темно. Как это возможно? (Ответ: он ложился днем)», «Первый получил свое название благодаря размерам, второй — благодаря способности давать дополнительную информацию, третий прославился своим местоположением, четвертый предпочитает выступать инкогнито. А как называют пятого? (Ответ: мизинец)». Три алгоритмизированные задачи: « $65 \times 24 - 541$  (Ответ: 1019)», «Отец с двумя сыновьями отправился в поход. На их пути встретилась река, у берега которой находился плот. Он выдерживает на воде или отца, или двух сыновей. Как переправиться на другой берег отцу и сыновьям? (Ответ: переправляются оба сына — один сын возвращается — переправляется отец — возвращается второй сын — переправляются оба сына)», «Три курицы за три дня несут три яйца. Сколько яиц снесут 12 таких же кур за 12 дней? (Ответ: 48)». Все задачи выполнялись устно с использованием метода «мышления вслух» с предъявлением текста задачи на мониторе компьютера. Испытуемый решал каждую задачу до полного нахождения правильного решения. На этом решение задачи прекращалось, и испытуемый после кратковременного отдыха переходил к следующей задаче. При создании дизайна эксперимента был использован неполный экспериментальный план по типу греко-латинского квадрата  $3 \times 3 \times 2$ . Тип задач в ряду заданий варьировался поочередно. Испытуемые решали инсайтные и алгоритмизированные задачи в двух экспериментальных условиях: при выполнении теппинг-теста и при выполнении задания-выбора, а также в контрольном условии без выполнения задания-зонда. Каждый испытуемый в каждом из условий выполнял инсайтную и алгоритмизированную задачу. Данные о времени решения задач в контрольном условии демонстрируют относительную идентичность задач по сложности (отсут-

ствуют значимые различия по времени решения между всеми задачами для данной выборки, критерий U Манна–Уитни).

Для каждого отдельного испытуемого в отдельном задании возможно построение графиков динамики по каждой точке времени реакции. Сопоставление динамики выполнения заданий и построение обобщенных графиков возможно на основе либо абсолютных величин (времени до решения), либо относительных (этапы решения). В силу того, что время решения задач было различно, время выполнения задания было поделено на 10 равных отрезков, на основе которых возможно сопоставление динамики выполнения заданий. Количество этапов выбрано достаточно условно, но руководствуясь требованием максимальной дробности (традиционно в психологии мышления динамика решения рассматривается на 2–4 этапах (Knoblich, Ohlsson, Raney, 2001; Moss, Kotovsky, Cagan, 2011; Спиридонов, 2006)). Однако увеличение количества этапов приводит к повышению требований к времени реакции (время реакции не должно превышать продолжительность этапа). Следовательно, увеличение количества этапов привело бы к увеличению отсеянных заданий. Размерность в 10 этапов принята нами как оптимальная.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Высокая сложность мониторов может нарушать решение основной задачи и выступать в качестве дистрактора, а не монитора. Оценка количества полностью решенных задач позволяет сказать, что параллельное выполнение задания-зонда и решение мыслительной задачи затрудняет, но не разрушает процесс мышления полностью. При выполнении методики двойной задачи были успешно решены 99% (190 из 192) задач. По данным двухфакторного дисперсионного анализа не наблюдалось влияния фактора типа зонда ( $F(2, 42) = 0,57, p = 0,57, \eta_p^2 = 0,007$ ) и взаимодействия факторов зонда и задачи ( $F(2, 42) = 0,17, p = 0,85, \eta_p^2 = 0,002$ ). Однако значимым является фактор типа задачи, инсайтные задачи в целом по всем условиям решаются значимо дольше ( $F(1, 42) = 8,9, p < 0,005, \eta_p^2 = 0,056$ ).

Результаты показывают (табл. 1 и 2), что задания-зонды вступают в конкуренцию за ресурсы рабочей памяти с основной мыслительной задачей. При этом темп выполнения задания-зонда ниже при выполнении задания-выбора и при решении алгоритмизированных задач, что указывает на высокую конкуренцию между заданиями. При проверке трудности задач

Таблица 1  
Среднее время решения задач (с) в зависимости от типа применяемого зонда и типа решаемой задачи

Тип задачи	Контрольная серия	Теппинг-тест	Задание-выбор
Алгоритмизированные	135,0	111,2	129,5
Инсайтные	164,7	145,9	181,3

Таблица 2  
Средний темп выполнения задания-зонда (с) и количество ошибок

Тип задачи	Среднее время реакции (теппинг-тест)	Среднее время реакции (задание-выбор)	Количество ошибок (задание-выбор)
Алгоритмизированные	247,3	1145,1	40,7
Инсайтные	230,7	860,6	51,9
Контрольная серия	176,2	555,1	4,9



не выявлено различий во времени решения мыслительных задач. На основе этих данных можно утверждать, что методика двойной задачи, в которой одно из заданий выполняет роль зонда-монитора, не нарушает течения мыслительного процесса.

Следующим этапом обработки данных была оценка показателей динамики загруженности рабочей памяти. В связи с тем, что время решения каждой задачи различно, время решения каждой задачи было разбито на 10 равных по длительности этапов (рис. 1). Для оценки динамики загруженности РП использовался подсчет среднего времени реакции для каждого этапа.

Динамика загрузки РП значимо различается между контрольной серией и решением алгоритмизированных ( $F(1, 600) = 26,45, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,31$ ) и инсайтных ( $F(1, 590) = 16,5, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,23$ ) задач. С помощью двухфактор-

ного дисперсионного анализа с повторными измерениями не выявлено значимого взаимодействия факторов задачи и этапов с учетом контрольного условия ( $F(18, 880) = 1,31, p = 0,17, \eta_p^2 = 0,03$ ) и без его учета ( $F(9, 570) = 1,04, p = 0,41, \eta_p^2 = 0,02$ ). Не выявлено различий в динамике загрузки рабочей памяти при решении инсайтных и алгоритмизированных задач ( $F(1, 570) = 0,82, p = 0,37, \eta_p^2 = 0,01$ ).

При оценке значимости динамики (сдвига) с помощью непараметрического критерия  $\chi_r^2$  Фридмана в контрольной серии ( $\chi_r^2 = 71,9, p < 0,001, df = 9$ ), при решении инсайтных ( $\chi_r^2 = 55,1, p < 0,001, df = 9$ ) и при решении алгоритмизированных ( $\chi_r^2 = 38,6, p < 0,001, df = 9$ ) задач выявлено наличие значимой однонаправленной динамики в сторону увеличения среднего времени реакции, т.е. в сторону снижения темпа выполнения задания. При

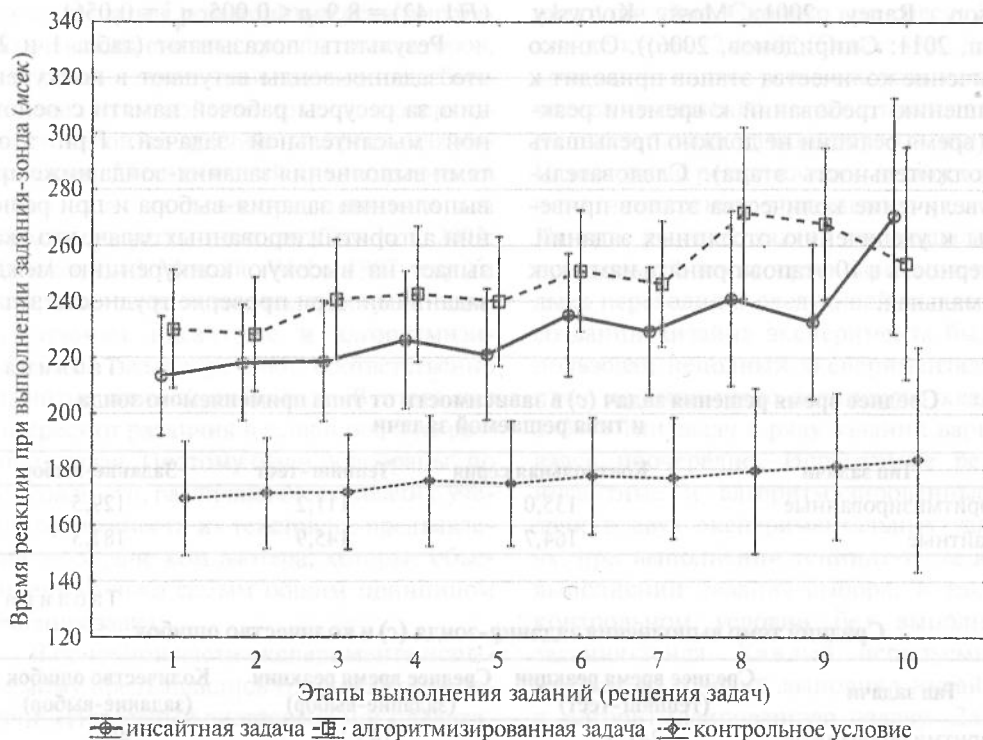


Рис. 1. Динамика загруженности РП при выполнении теппинг-теста в качестве зонда в течение решения задачи. Вертикальными линиями отмечен 95-процентный доверительный интервал

этом можно заметить, что динамика носит плавный характер и связана, по-видимому, с усталостью при выполнении заданий. Ни один из спадов или подъемов, изображенных на рис. 1, не имеет статистически значимого подтверждения.

На рис. 2 представлены результаты динамики загруженности РП при выполнении задания-выбора. В данном случае динамика также значительно различается между контрольной серией и решением алгоритмизированных ( $F(1, 510) = 33,16, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,4$ ) и инсайтных ( $F(1, 530) = 30,54, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,37$ ) задач. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями выявлено значимое взаимодействие факторов задачи и этапов с учетом контрольного условия ( $F(18, 720) = 4,06, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,11$ ) и без его учета ( $F(9, 400) = 2,34, p < 0,014, \eta_p^2 = 0,06$ ). Темп выполнения дополни-

тельного задания-зонда при решении алгоритмизированных задач значительно ниже, чем при решении инсайтных ( $F(1, 400) = 4,37, p < 0,05, \eta_p^2 = 0,1$ ).

Оценка значимости динамики (сдвига) с помощью непараметрического критерия  $\chi^2$  Фридмана в контрольной серии ( $\chi^2_r = 60, p < 0,001; df = 9$ ) и при решении алгоритмизированных задач ( $\chi^2_r = 45,4; p < 0,001; df = 9$ ) выявила наличие значимой динамики, в то время как в целом по всем 10 этапам при решении инсайтных ( $\chi^2_r = 14,3, p = 0,11; df = 9$ ) задач значимой динамики не обнаружено. При детальном рассмотрении графиков динамики задания-зонда при решении задач можно обратить внимание на наличие сильных подъемов. В частности, при решении алгоритмизированных задач в динамике дополнительного задания после пятого этапа наблюдается «горб», т.е. значительный спад в продуктивности вы-

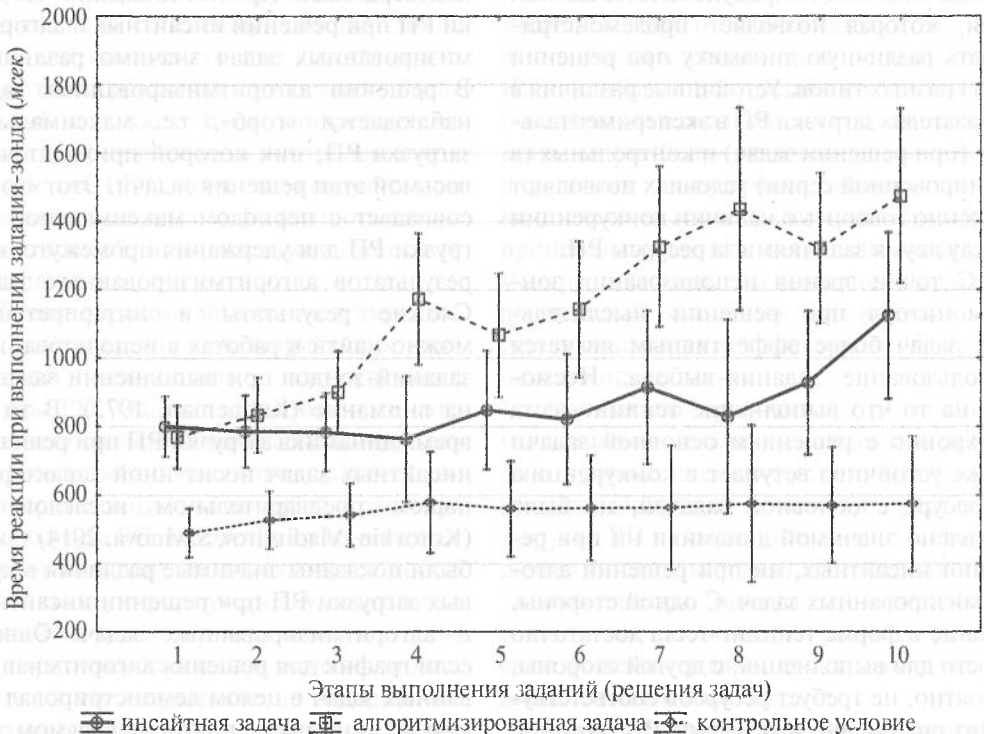


Рис. 2. Динамика загруженности РП при выполнении задания-выбора в качестве зонда в течение решения задачи. Вертикальными линиями отмечен 95-процентный доверительный интервал

полнения задания-зонда, рассматриваемый нами как признак существенной загрузки РП. Анализ динамики задания-выбора для этапов с пятого по десятый демонстрирует наличие значимой динамики на этом отрезке ( $\chi^2_r = 13,3, p < 0,05, df = 5$ ). Также обращает на себя внимание увеличение среднего времени реакции на последних этапах при решении инсайтных задач. Проверка значимости динамики на этапах с восьмого по десятый подтверждает это наблюдение ( $\chi^2_r = 6,4, p < 0,05, df = 2$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования в первую очередь необходимы для оценки предложенного методического приема двойной задачи в виде использования задания-зонда для изучения процессов решения мыслительных задач. В целом необходимо отметить продуктивность данной идеи, которая позволяет продемонстрировать различную динамику при решении задач разных типов. Устойчивые различия в показателях загрузки РП в экспериментальных (при решении задач) и контрольных (в тренировочной серии) условиях позволяют уверенно говорить о наличии конкуренции между двумя заданиями за ресурсы РП.

С точки зрения использования зонда-монитора при решении мыслительных задач более эффективным является использование задания-выбора. Несмотря на то что выполнение теппинг-теста синхронно с решением основной задачи также устойчиво вступает в конкуренцию за ресурс с основной задачей, не было выявлено значимой динамики ни при решении инсайтных, ни при решении алгоритмизированных задач. С одной стороны, задание в форме теппинг-теста достаточно просто для выполнения, с другой стороны, вероятно, не требует ресурсов соответствующих специфических блоков РП, которые используются механизмами решения задач. Различия в показателях загрузки РП при

выполнении теппинг-теста между контрольным и экспериментальными условиями могут быть объяснены использованием ресурсов исполнительского контроля для параллельного выполнения двух заданий. В то же время использование в качестве зонда задания-выбора позволило наблюдать не только различия в загрузке РП при решении задач разных типов, но и динамику в решении задач. Однако пока остается неясным, насколько устойчивы полученные результаты к изменению параметров задания-выбора, таких как количество альтернатив, содержание зонда, формат репрезентации зонда, модальность зонда, эмоциональная коннотация зонда и т.д.

Обращаясь к результатам проведенного исследования, можем видеть, что гипотеза о существовании значимых различий в динамике загрузки РП при решении инсайтных и алгоритмизированных задач подтвердилась. Кривые динамики загрузки РП при решении инсайтных и алгоритмизированных задач значимо различны. В решении алгоритмизированных задач наблюдается «горб», т.е. максимальная загрузка РП, пик которой приходится на восьмой этап решения задачи. Этот «горб» совпадает с периодом максимальной загрузки РП для удержания промежуточных результатов алгоритмизированных задач. Схожие результаты и интерпретацию можно найти в работах с использованием заданий-зондов при выполнении заданий на внимание (Kahneman, 1973). В то же время динамика загрузки РП при решении инсайтных задач носит иной характер. В нашем предварительном исследовании (Korovkin, Vladimirov, Savinova, 2014) также были показаны значимые различия в кривых загрузки РП при решении инсайтных и алгоритмизированных задач. Однако если график для решения алгоритмизированных задач в целом демонстрировал такую же динамику с пиком на восьмом этапе решения, то кривая динамики загрузки РП не имела значимых спадов и подъемов,

оставаясь на одном уровне на протяжении всего времени решения задачи. В текущем исследовании при увеличении выборки нам удалось обнаружить наличие значимого подъема загрузки РП на последних этапах (с восьмого по десятый этап). Одной из версий объяснения данного феномена является идея о подключении на последних этапах решения задачи в РП дополнительных механизмов, обеспечивающих нахождение инсайтнoго решения. Выявлено, что загрузка РП при решении алгоритмизированных задач значительно выше, чем при решении неалгоритмизированных задач. В целом это указывает на более активное участие процессов РП в решении алгоритмизированных задач. Более низкая выраженность загрузки рабочей памяти при решении инсайтнoх задач на данный момент не может быть проинтерпретирована однозначно. На наш взгляд, различия в уровнях загрузки РП могут быть связаны со специфичностью зонда и релевантностью его для инсайтнoх и алгоритмизированных процессов. Задание-выбор может быть специфически связано с произвольным контролем (блок управления РП), значение которого при решении инсайтнoх задач на протяжении всей основной части решения может быть минимально.

Таким образом, можно постулировать возможное наличие специфических «инсайтнoх» механизмов, задействующих ресурсы РП. Однако возможно и то, что перед непосредственным называнием правильного ответа должен происходить процесс вербализации, на который и расходуются ресурсы РП. Несмотря на то что ответ в инсайтнoх задачах представляет собой весьма краткую формулировку, подготовка которой не должна иметь столь длительный период вербализации, однозначно ответить на это возражение по имеющимся данным нельзя. Таким образом, в целом остается неясным: какой момент в решении инсайтнoй задачи следует принимать

за инсайт — момент называния правильного ответа (что принято в данной работе по умолчанию) или некий момент до называния ответа (что вызывает соответствующие методические трудности). В связи с этими трудностями для вынесения суждения о подтверждении гипотезы о том, что существует значимая динамика загрузки РП при решении инсайтнoх задач, необходим ряд дополнительных исследований.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования получены данные в поддержку гипотезы о специфичности инсайтнoго решения. Выявлены значимые различия между инсайтнoми и алгоритмизированными задачами в динамике загрузки рабочей памяти при выполнении задания-зонда на выбор из двух альтернатив на последних этапах решения. В то же время такой специфичности динамики РП при выполнении теппинг-теста не выявлено. На наш взгляд, это связано с уровнем использования исполнительского контроля, который наиболее активно задействуется в решении алгоритмизированных задач на последних этапах задачи, что связано с процессами вычисления. Таким образом, мы предполагаем, что выполнение последовательных операций специфично для решения алгоритмизированных задач, но не для инсайтнoх.

Однако по полученным результатам мы не можем сделать однозначного вывода о природе специфического механизма инсайта. Получены данные о возрастании загрузки РП на заключительных этапах решения инсайтнoх задач при выполнении задания-выбора, однако это может быть связано как со специфическими процессами решения задачи, так и, например, с вербализацией ответов.

Предложенная методика мониторинга динамики загрузки рабочей памяти с помощью заданий-зондов может быть

использована для дальнейшего поиска специфических процессов, задействованных на этапе инкубации инсайтного решения.

- Андерсон Дж. Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2002.
- Anderson J. Kognitivnaya psihologiya [Cognitive psychology]. SPb.: Piter, 2002.
- Брушлинский А.В. Мышление и прогнозирование. М.: Мысль, 1979.  
Brushlinsky A.V. Myshlenie i prognozirovaniye [Thinking and prediction]. M.: Mysl, 1979.
- Ворогин Н.А., Строганова Т.А. Латерализация модулей зрительно-пространственного внимания и эффект перцептивного научения у детей дошкольного возраста // *Вопр. психол.* 2009. № 6. С. 138–148.  
Voronin N.A., Stroganova T.A. Lateralizatsiya modulej zritel'no-prostranstvennogo vnimaniya i ehffekt perceptivnogo naucheniya u detej doshkol'nogo vozrasta [Lateralization of modules of visual-spatial attention and the effect of perceptual learning in children of preschool age] // *Vopr. psikhol.* 2009. N 6. S. 138–148.
- Владимиров И.Ю., Коровкин С.Ю. Рабочая память как система, обслуживающая мыслительный процесс // *Когнитивная психология: феномены и проблемы* / Под ред. В.Ф. Спиридонова. М.: Ленанд, 2014. С. 8–21.  
Vladimirov I.Yu., Korovkin S.Yu. Rabochaya pamyat' kak sistema, obsluzhivayushchaya myslitel'nyj process Kognitivnaya psihologiya: fenomeny i problemy [Working memory as a system serving thought process] // *Cognitive psychology: Phenomena and problems* / Spiridonov V.F. (ed.). M.: Lenand, 2014. S. 8–21.
- Мачинская Р.И. Управляющие структуры мозга // *Журн. высш. нервн. деят.* 2015. Т. 65. № 1. С. 33–60.  
Machinskaya R.I. Upravlyayushchie struktury mozga [Control structures of the brain] // *Zhurn. vyssh. nervn. deyat.* 2015. T. 65. N 1. S. 33–60.
- Спиридонов В.Ф. Психология мышления: Решение задач и проблем. М.: Генезис, 2006. 319 с.  
Spiridonov V.F. Psihologiya myshleniya: Reshenie zadach i problem [Psychology of thinking: Solving problems and challenges]. M.: Genesis, 2006. 319 s.
- Тихомиров О.К. Структура мыслительной деятельности человека: опыт теоретического и экспериментального исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. 304 с.  
Tikhomirov O.K. Struktura myslitel'noj deyatel'nosti cheloveka: opyt teoreticheskogo i eksperimental'nogo issledovaniya [The structure of cogitative activity of a person: The experience of theoretical and experimental studies]. M.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1969. 304 s.
- Ash I.K., Wiley J. The nature of restructuring in insight: An individual differences approach // *Psychonomic Bull. & Rev.* 2006. V. 13 (1). P. 66–73.
- Baddeley A.D., Hitch G.J. Working memory // Bowler G.H. (ed.). *The psychology of learning and motivation*. N.Y.: Academic Press, 1974. V. 8. P. 47–89.
- Daneman M., Carpenter P.A. Individual differences in working memory and reading // *J. of Verbal Learn. & Verbal Behav.* 1980. V. 19 (4). P. 450–466.
- Davidson J.E. Insights about insightful problem solving // Davidson J.E., Sternberg R.J. (eds.). *The psychology of problem solving*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2003. P. 149–175.
- Duncker K. On problem solving // *Psychol. Monographs.* 1945. V. 58 (5). P. 1–113.
- Ellis J.J., Glaholt M.G., Reingold E.M. Eye movements reveal solution knowledge prior to insight // *Consciousness and Cognit.* 2011. V. 20. P. 768–776.
- Ericsson K.A., Simon H.A. Verbal reports as data // *Psychol. Rev.* 1980. V. 87 (3). P. 215–251.
- Hambrick D.Z., Engle R.W. The role of working memory in problem solving // Davidson J.E., Sternberg R.J. (eds.). *The psychology of problem solving*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2003. P. 176–206.
- Isen A.M., Daubman K.A., Nowicki G.P. Positive affect facilitates creative problem solving // *J. of Pers. and Soc. Psychol.* 1987. V. 52 (6). P. 1122–1131.
- Jones G. Testing two cognitive theories of insight // *J. of Exp. Psychol.: Learn., Memory, and Cognit.* 2003. V. 29 (5). P. 1017–1027.
- Kahneman D. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc., 1973.
- Kahneman D., Beatty J. Pupil diameter and load on memory // *Science.* 1966. V. 154 (3756). P. 1583–1585.
- Kaplan C.A., Simon H.A. In search of insight // *Cognit. Psychol.* 1990. V. 22 (2). P. 374–419.
- Knoblich G., Ohlsson S., Raney G.E. An eye movement study of insight problem solving // *Memory & Cognit.* 2001. V. 29 (7). P. 1000–1009.
- Köhler W. *Intelligenzprüfungen an Anthropoiden*. Berlin: Verlag der Königlichen Akademie des Wissens, 1917.
- Korovkin S., Vladimirov I., Savinova A. The dynamics of working memory load in insight problem solving // *The Russian J. of Cognit. Sci.* 2014. V. 1 (4). P. 67–81.
- Kounios J., Beeman M. The Aha! moment: The cognitive neuroscience of insight // *Current Directions in Psychol. Sci.* 2009. V. 18 (4). P. 210–216.
- Lavric A., Forstmeier S., Rippon G. Differences in working memory involvement in analytical and creative tasks: An ERP study // *Cognit. Neurosci.* 2000. V. 11 (8). P. 1613–1618.

26. MacGregor J.N., Ormerod T.C., Chronicle E.P. Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and related problems // *J. Exp. Psychol.: Learn., Memory, and Cognit.* 2001. V. 27 (1). P. 176–201.
27. Metcalfe J., Wiebe D. Intuition in insight and non-insight problem solving // *Memory & Cognit.* 1987. V. 15 (3). P. 238–246.
28. Moss J., Kotovsky K., Cagan J. The effect of incidental hints when problems are suspended before, during, or after an impasse // *J. Exp. Psychol.: Learn., Memory and Cognit.* 2011. V. 37 (1). P. 140–148.
29. Newell A., Simon H.A. Human problem solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.
30. Ohlsson S. Information processing explanations of insight and related phenomena // Keane M., Gilhooly K. (eds.). *Advances in the psychology of thinking*. L.: Harvester Wheatsheaf, 1992. V. 1. P. 1–44.
31. Ollinger M., Jones G., Knoblich G. Investigating the effect of mental set on insight problem solving // *Exp. Psychol.* 2008. V. 55 (4). P. 270–282.
32. Petersen S.E., Posner M.I. The attention system of the human brain: 20 years after // *Ann. Rev. of Neurosci.* 2012. V. 35. P. 73–89.
33. Posner M.I., Boies S.J. Components of attention // *Psychol. Rev.* 1971. V. 78 (5). P. 391–408.
34. Robertson S.I. Problem solving. Philadelphia: Psychology Press Ltd., 2001.
35. Segal E. Incubation in insight problem solving // *Creativ. Res. J.* 2004. V. 16 (1). P. 141–148.
36. Seifert C.M. et al. Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared mind perspective / Seifert C.M., Meyer D.E., Davidson N., Patalano A.L., Yaniv I. // Sternberg R.J., Davidson J.E. (eds.). *The nature of insight*. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1995. P. 65–124.
37. Weisberg R.W., Alba J.W. An examination of the alleged role of “fixation” in the solution of “insight” problems // *J. Exp. Psychol.: General*. 1981. V. 110 (2). P. 169–192.
38. Wertheimer M. Productive thinking. N.Y.: Harper & Row, 1959.
39. Wiley J., Jarosz A.F. How working memory capacity affects problem solving // Ross B.H. (ed.). *Psychology of learning and motivation*. Burlington: Academic Press, 2012. V. 56. P. 185–227.
40. Wong T.J. Capturing “Aha!” moments of puzzle problems using pupillary responses and blinks: Master’s thesis. Univ. of Pittsburgh, 2009.

Поступила в редакцию 02. II 2015 г.