А. В. СМИРНИЦКАЯ,
И. Ю. ВЛАДИМИРОВ

Смирницкая Анастасия Витальевна
магистрант, кафедра общей психологии, факультет психологии,
Ярославский государственный университета им. П. Г. Демидова
Россия, 150003, Ярославль, ул. Советская, 14
Тел.: +7 (915) 979-30-33
E-mail: a9159793033@gmail.com

Владимиров Илья Юрьевич
кандидат психологических наук
доцент, кафедра общей психологии, факультет психологии,
Ярославский государственный университета им. П. Г. Демидова
Россия, 150003, Ярославль, ул. Советская, 14
Тел.: +7 (909) 279-88-97
E-mail: kein17@mail.ru

Различия в активности управляющего контроля при решении алгоритмизированных и творческих задач: метод вызванных потенциалов[1]

Аннотация. Работа посвящена электроэнцефалографическому исследованию активности управляющего контроля при решении творческих задач в сравнении с алгоритмизированными. Авторы вслед за А. Лавриком и коллегами предполагали, что активность управляющего контроля выше для решения алгоритмизированных задач (она необходима для оперирования элементами задачи и для поддержания репрезентации в рабочей памяти) и несущественна для решения инсайтных. Исследование представляет собой репликацию работы А. Лаврика на русскоязычной выборке. Полученные данные противоречат результатам оригинального исследования: функция контроля более выражена при решении инсайтной задачи. Следовательно, управляющий контроль является сопровождающим процессом в решении как алгоритмизированных, так и инсайтных задач. В ходе исследования были выявлены критерии, соблюдение которых позволит дать ответ на вопрос о роли управляющего контроля в решении инсайтных задач.

Ключевые слова: Решение задач, управляющий контроль, инсайт, P300

[1] Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-06-07899а).

© А. В. СМИРНИЦКАЯ, И. Ю. ВЛАДИМИРОВ

Решение творческих мыслительных задач непредсказуемо [Пономарев 1989], ход решения не представляется изначально [Ohlsson 1992], ответ возникает внезапно [Metcalfe, Wiebe 1987] в отсутствие стратегий. В этом состоит их отличие от четко определенных аналитических задач, решение которых включают систематический анализ, планирование и проверку. Однако некоторые авторы полагают, что процессы, лежащие в основе решения обоих типов задач, принципиально не различаются [Weisberg, Alba 1981]. На данный момент нет единой теории, опровергающей или подтверждающей специфические и неспецифические процессы в решении инсайтных задач.

Часто в качестве специфического механизма инсайта рассматривают «отключение» управляющего контроля [Ash, Wiley 2006]. Предполагается, что снижение уровня контроля и приводит к решению задачи, выходу из «тупика», преодолению фиксированности. Контроль в данном аспекте рассматривается как внимание, направленное на процессы оперирования с элементами задачи, поддержания репрезентации в рабочей памяти [Awh et al. 2006]. Но при решении творческих задач исследователи также отмечают разную роль управляющих функций. В работе [Владимиров и др. 2016] показано, что в ходе решения как алгоритмизированных, так и инсайтных задач функция контроля необходима на протяжении всего решения, однако в инсайтных задачах контроль ведет себя неоднозначно, данные варьируют в разных экспериментальных сериях. Это предположительно связано с разными вторичными заданиями — зондами и, следовательно, с конкуренцией за разный ресурс: контроль включает не только функцию мониторинга действий и операций, поддержания репрезентации, но и детекцию ошибок, удержание и отказ от неверных стратегий решения. Различия в функции контроля преимущественно были выявлены в середине временно́го интервала решения, что может соответствовать стадии тупика. Считается, что для выхода из тупика (или в момент этого этапа) происходит процесс реструктурирования, который также рассматривается с двух сторон: как сознательный, подчиненный контролю [Kaplan, Simon 1990; Ohlsson 1984] или как неосознаваемый, «автоматический» [Ash, Wiley 2006; Bowden, Jung-Beeman 1998; Metcalfe 1986] процесс работы с репрезентаций.

Для изучения проблемы творчества применяются различные стратегии: от исследований творческих людей (художников, музыкантов и др.) и выявления свойств когнитивных процессов, коррелирующих с успешным решением, до мониторинга деятельности мозга в процессе решения творческих задач [Wiggins, Bhattacharya 2014]. Имеется также внушительное количество работ с применением структурно магнитно-резонансной томографии, функционально магнитно-резонансной томографии, позитронно эмиссионной томографии, электроэнцефалографии (ЭЭГ). Управляющие функции имеют выявленные физиологические корреляты, по которым мы можем отслеживать их активность. Поэтому аппаратурные методы полезны для исследования заявленной проблемы. Однако наиболее подходящими для изучения особенностей динамики протекания творческого решения выступают методы, имеющие хорошее временно́е разреше-

ние. Регистрация электрической активности мозга с помощью методов ЭЭГ является наилучшим по этому параметру [Jung-Beeman et al. 2004]. В ходе теоретического анализа работ с использованием аппаратурных методов Р. Арден и коллеги выделили следующие корреляты процесса творческого решения: доминирование активности правого полушария, высокая нейронная взаимосвязь, низкая корковая активация, связь творческого решения с функциями префронтальной и фронтальной коры [Arden et al. 2010]. Данные во многом остаются противоречивыми, что связано как с разными способами и исследовательскими парадигмами, так и с тем, что творческий процесс не имеет единой структуры: он развивается во времени с чередованием этапов, различных по специфике и продолжительности. Это затрудняет интерпретацию и сопоставление полученных данных. Для наиболее точного изучения мозговых процессов в ходе решения задачи могут использоваться методы стимуляции мозга [Cerruti, Schlaug 2009; Chi, Snyder 2011]. Работы с использованием метода вызванных потенциалов существуют в нескольких парадигмах. Это исследования, где сама задача или ответ на нее являются стимулом [Zhao et al. 2011; Gao, Zhang 2014], или где производится стимуляция в процессе решения задач [Lavric et al. 2000]. Например, в работе [Ibid.] с применением метода вызванных потенциалов мозга была продемонстрирована разница вклада управляющего контроля в процессы решения задач разных типов. Было выявлено, что во время решения аналитических задач компонент вызванного потенциала мозга, отражающий деятельность функции контроля (P300), более выражен, чем при решении с инсайтной задачей.

Вызванный потенциал P300 (позитивный потенциал, который наблюдается через 250–400 мс после подачи стимула) связан с избирательностью внимания и отвечает за прием и переработку информации, оценку, принятие решения о действии со стимулом — обновление «эталона» стимула в памяти. Данный компонент более выражен при привлечении внимания, что отражается в показателях амплитуды. Время задержки появления пика данного потенциала после подачи стимула варьируется в зависимости от сложности задачи и индивидуальных показателей когнитивных процессов [Дорошенко, Полякова 1994]. В работе М. Познера [Posner 1994] внимание рассматривается как система контроля умственных процессов. Предполагается существование нескольких систем внимания: системы произвольного, управляющего внимания, детекции цели (представлена в передней цингулярной извилине и дорзолатеральной префронтальной коре) и системы непроизвольного внимания, которая включает в себя теменную кору, подушку зрительного бугра и верхние бугорки четверохолмия [Мачинская 2003]. Также различают несколько включенных в P300 компонентов: P3a (фронтальный) — отражающий механизмы фронтального внимания, связанные с оценкой стимула, и P3b (париетальный) — локализующийся в височно-теменных регионах, отражающий поддержание контекста и обработку стимула в памяти [Polich 2007]. Данные о различных механизмах внимания сопоставимы с компонентами когнитивного вызванного потенциала P300. Более тщательный анализ экспериментальных данных, выполненных в данной парадигме, может позволить отследить, какие из функций

контроля необходимы при решении инсайтных и неинсайтных задач, а следовательно, разрешить существующую неоднозначность о роли контроля в решении задач разных типов.

Исследования с использованием ЭЭГ в основном фиксируют данные, не позволяющие оценить динамику управляющих функций. Работа [Lavric et al. 2000] предлагает метод, который теоретически позволяет это сделать. Однако поскольку работ, выполненных в данной парадигме, больше нет, мы прежде всего решили проверить предлагаемый Лавриком и коллегами метод, реплицировать их исследование и оценить воспроизводимость полученных ими результатов.

Гипотезы исследования

1. Управляющий контроль необходим для решения алгоритмизированных и неважен для инсайтных задач.

Гипотеза операционализируется следующим образом: вызванный потенциал P300 будет иметь бóльшую амплитуду в условии с алгоритмизированной задачей (показатель большей нагрузки на управляющий контроль).

2. В условии решения задачи с одновременным подсчетом стимулов (условие двойной задачи) контроль более загружен по сравнению с условием выполнения пробы в режиме единственной задачи, в силу конкуренции за ресурс.

Гипотеза операционализируется следующим образом: вызванный потенциал P300 будет иметь бóльшую амплитуду в условии двойной задачи.

Процедура

Процедура данного экспериментального исследования соответствует процедуре, описанной в работе [Lavric et al. 2000]. Используется метод двойной задачи, который основан на идее конкуренции за ресурсы внимания и рабочей памяти [Kahneman 1973]. В качестве конкурирующего задания выступает подсчет звуковых стимулов, которые используются для последующего анализа когнитивных вызванных потенциалов мозга. Стимуляция производится в однотональном режиме (single tone paradigm) [Cass, Polich 1997]: подразумевается подсчет испытуемым подаваемых звуковых стимулов одинакового тона. В исследовании испытуемому было последовательно предложено выполнить три задания: подсчет звуков без решения задачи, подсчет звуков с решением одной из инсайтных задач, подсчет звуков с решением алгоритмизированной задачи. В каждом из условий испытуемый выполнял задание в течение не более 75 секунд, после чего его прерывали, спрашивали результат подсчета стимулов и ответ на задачу, если она подразумевалась условием. Вся процедура решения сопровождалась регистраций ЭЭГ (225 секунд записи по всем трем условиям для каждого из испытуемых). Количество поданных звуковых сигналов за 75 секунд равно 53. Характеристики подаваемых звуковых стимулов: 440 Гц, длительность 200 мс с псевдослучайным интервалом в 1000–2000 мс, предъявление производилось с динамиков персональ-

ного компьютера. Для регистрации ЭЭГ использовали усилитель NVX-36 с программным обеспечением NeoCortex. Полоса записи 0,1–30 Гц с режекторным фильтром в 50 Гц, частота дискретизации — 500 Гц. Использовали мостиковые электроды, установленные по стандарту 10–20 по следующим отведениям: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, P3, Fz, P4, O1, Oz, O2. Запись происходила монополярно с референтом на ушных отведениях (A1, A2 соответственно полушариям), с заземлением на лбу (Fpz). Триггерным каналом являлся Po4. Для проведения эксперимента была разработана программа на языке Python, которая предъявляла инструкции, задания, а также производила стимуляцию.

Усреднение кривой ЭЭГ производили программным обеспечением автоматически, по расставленным вручную эпохам в 1024 мс. Эпохи выделяли по триггерным меткам, которые представляли собой отдельную кривую, отражающую начало подачи звукового стимула как нарастающий пик с последующим спадом. Для дальнейшей чистки результатов выборки были выбраны следующие критерии: на записи ЭЭГ выделено не менее 15 эпох для последующего усреднения, предыдущий критерий должен быть выполнен для всех трех условий; если хоть в одном из условий нет возможности выделить необходимое число эпох, все результаты испытуемого исключались из дальнейшего анализа. Также убирали результаты испытуемых, которые сообщали, что не считали звуки в какой-либо из проб. Общая выборка составила 21 человек. После очистки результатов осталось 10 человек, в связи с чем приведенные ниже результаты скорее являются трендами, невзирая на значимость некоторых из них.

Анализ и интерпретация результатов

Для обработки данных использовали процедуры факторного анализа (анализ главных компонент) и многофакторный дисперсионный анализ (для сравнения контрольных и экспериментальных условий).

Поскольку компонент P300 вариативен не только по амплитуде, но и по латентности в зависимости от индивидуальных характеристик испытуемого, для исследования на небольшой выборке необходимо иметь наиболее точные окна анализа, для чего нами был использован факторный анализ. Анализ главных компонент был произведенным по результатам всех проб каждого из испытуемых на интервале записи 200–400 мс (после подачи стимула), именно на этом участке мы ожидаем увидеть положительный позитивный пик (P300). Данный анализ позволил выделить окна, необходимые для последующей обработки. По результатам мы выявили три главных компоненты: 332–398 мс, 200–266 мс, 288–322 мс. Далее в каждом из окон был получен усредненный результат амплитуд (отдельно для каждого испытуемого; условия; по каждому из отведений).

Основные гипотезы проверялись с помощью дисперсионного анализа. Было проанализировано влияние разных экспериментальных условий в выявленных окнах записи на активность во всех фиксируемых регионах. По результатам выявлено, что наибольшее количество различий наблюдается в окнах первой и третьей компонент, во второй же компоненте

(200–266 мс) различия минимальны. Далее было произведено усреднение результатов в каждом из условий по регионам: лобный (Fr), центрально-темной (CP), височный (T) и по полушариям (L, R), для первой и третьей компоненты. Результаты рассчитывали при помощи однофакторного дисперсионного анализа с применением поправки Бонферрони.

В первой компоненте (*Рис. 1*) были выявлены различия в центрально теменных отведениях (Fz, Cz, Pz) между условиями без решения задачи с решением алгоритмизированной задачи (F (1, 18) = 4,77, p = 0,042, ηp^2 = 0,21). В центрально-теменном регионе правого полушария для условий без решения задачи и с решением инсайтной задачи (F (1, 18) = 5,58, p = 0,03, ηp^2 = 0,24). В височном регионе левого полушария для условий с решением инсайтной и алгоритмизированной задач (F (1, 18) =10,55, p = 0,004, ηp^2 = 0,37). В височном регионе правого полушария для условий без решения и с решением инсайтной задачи (F (1, 18) = 10,04, p = 0,005, ηp^2 = 0,36). Во всех случаях среднее в условии с решением инсайтной задачи выше, чем в иных условиях. В сравнении условий без решения задачи с решением алгоритмизированной задачи среднее выше во втором случае.

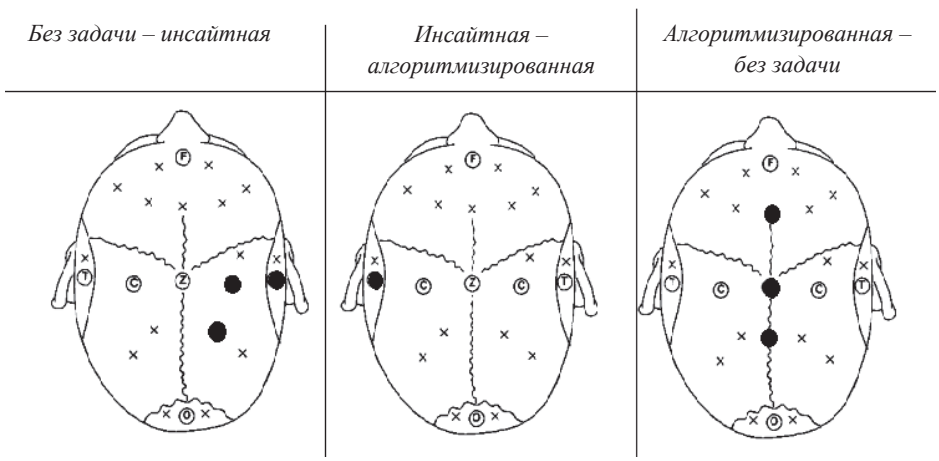


Рис. 1. **Анализ первой компоненты**
Черными кругами обозначены области различий в разных условиях

При анализе третьей компоненты (*Рис. 2*) были получены следующие результаты. В сравнении условий без задачи с инсайтной задачей различия наблюдаются в лобных регионах левого полушария (F (1, 18) = 5,51, p = 0,03, ηp^2 = 0,23), в центрально-теменных левого полушария (F (1, 18) = 6,08, p = 0,024, ηp^2 = 0,25), в центральных (F (1, 18) = 7,59, p = 0,013, ηp^2 = 0,3), в центрально-теменных правого полушария (F (1, 18) = 8,54, p = 0,009, ηp^2 = 0,32), а также в правовисочном регионе (F (1, 18) =10,7, p = 0,004, ηp^2 = 0,37). Во всех случаях среднее выше в условии с решением инсайтной задачи. Различия между условиями без решения и с алгоритмизированной задачей выявлено только в височном регионе правого полушария (F (1, 18) = 7,3, p = 0,015, ηp^2 = 0,29), в случае с решением алгоритмизированной задачей среднее выше.

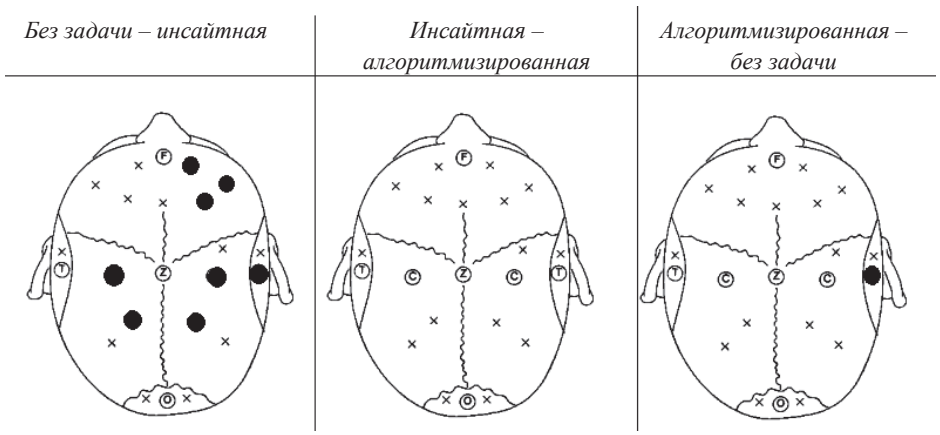


Рис. 2. **Анализ третьей компоненты**
Черными кругами обозначены области различий в разных условиях

В ходе анализа было выявлено, что наибольшее количество различий присутствует в сравнении условий с подсчетом звуковых стимулов без решения задачи и с условием, где помимо подсчета стимулов решается инсайтная задача. В первой компоненте это повышение активности в височной и центрально-теменной области правого полушария, в третьей к этому добавляется более высокая активность в лобных регионах правого полушария и центрально-теменной области левого полушария. При сравнении условий без задачи с условием, где присутствует решение алгоритмизированной задачи, в первой компоненте повышается активность в центральных отведениях, а во второй — в височном отведении правого полушария, с наибольшей активностью в условии с двойной задачей. Эти данные подтверждают гипотезу о повышении активности в следующем условии: контроль более загружен по сравнению с условием выполнения пробы в режиме единственной задачи в силу возникающей конкуренции за ресурсы внимания. Но выявленные регионы различий требуют отдельного анализа.

Однако в сравнении инсайтной и алгоритмизированной задач достоверных различий выявлено не было, за исключением височного региона левого полушария в первой компоненте, притом с активностью, более высокой в условии с решением инсайтной задачи. Данный факт опровергает гипотезу о более высокой активности контроля в ходе решения алгоритмизированной задачи. Но такой эффект мог быть получен из-за некоторых специфических процедур эксперимента: не все задачи были решены до конца, не фиксировалась стратегия решения задачи испытуемым, задачи имеют разный уровень сложности и требуют разного тип репрезентации.

Выводы

В нашем случае наибольшая амплитуда вызванного потенциала, обозначенного нами как P300, присутствует в решении инсайтных задач по сравне-

нию с решением алгоритмизированных и условием без решения задачи, что противоречит первой выдвинутой гипотезе о необходимости управляющего контроля для решения алгоритмизированных и его снижения для инсайтных задач. Данные противоречат тем, что были получены в исследовании А. Лаврика [Lavric et al. 2000], где показано, что вызванный потенциал P300 значимо выше в условии с решением алгоритмизированной задачи. Однако вторая гипотеза о большей загруженности контроля в условии двойной задачи по сравнению с условием выполнения пробы в режиме единственной задачи в силу конкуренции за ресурс подтверждается: действительно, амплитуда компонента вызванных потенциалов мозга P300 выше в условиях двойной задачи.

Для анализа выявленных регионов, на которых присутствуют различия, необходимо дополнительное исследование, которое удовлетворяло бы требованиям, выдвинутым в ходе анализа процедуры данного исследования. А именно: задачи должны быть уравнены по уровню сложности и первичному представлению; фоновое задание во время решения задачи должно быть направлено в большей степени на детекцию уровня контроля, а не на загрузку рабочей памяти; также необходимо увеличить время записи и фиксировать стратегию решения задачи.

Литература

Владимиров и др. 2016 — *Владимиров И. Ю.*, *Коровкин С. Ю.*, *Лебедь А. А.*, *Савинова А. Д.*, *Чистопольская А. В.* Управляющий контроль и интуиция на различных этапах творческого решения // Психологический журнал. Т. 37. № 1. 2016. С. 48–60.

Дорошенко, Полякова 1994 — *Дорошенко В. А.*, *Полякова М. В.* Метод регистрации вызванных потенциалов мозга // Методы исследований в психофизиологии / Под ред. А. С. Батуева. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1994. С. 46–110.

Мачинская 2003 — *Мачинская Р. И.* Нейрофизиологические механизмы произвольного внимания (аналитический обзор) // Журнал высшей нервной деятельности. Т. 53. № 2. 2003. С. 133–150.

Пономарев 1989 — *Пономарев Я. А.* Психология творчества // Тенденция развития психологической науки / Под ред. Б. Ф. Ломова, Л. И. Анциферовой. М.: Наука, 1989. С. 21–34.

Arden et al. 2010 — *Arden R.*, *Chavez R. S.*, *Grazioplene R.*, *Jung R. E.* Neuroimaging creativity: a psychometric view // Behavioural Brain Research. Vol. 214. No. 2. 2010. P. 143–156.

Ash, Wiley 2006 — *Ash I. K.*, *Wiley J.* The nature of restructuring in insight: An individual-differences approach // Psychonomic Bulletin & Review. Vol. 13. No. 1. 2006. P. 66–73.

Awh et al. 2006 — *Awh E.*, *Vogel E. K.*, *Oh S.-H.* Interactions between attention and working memory // Neuroscience. Vol. 139. No. 1. 2006. P. 201–208.

Bowden, Jung-Beeman 1998 — *Bowden E. M.*, *Beeman M. J.* Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems // Psychological Science. Vol. 9. No. 6. 1998. P. 435–440.

Cass, Polich 1997 — *Cass M.*, *Polich J.* P300 from a single-stimulus paradigm: Auditory intensity and tone frequency effects // Biological Psychology. Vol. 46. No. 1. 1997. P. 51–65.

Cerruti, Schlaug 2009 — *Cerruti C.*, *Schlaug G.* Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought // Journal of Cognitive Neuroscience. Vol. 21. No. 10. 2009. P. 1980–1987.

Chi, Snyder 2011 — *Chi R. P.*, *Snyder A. W.* Facilitate insight by non-invasive brain stimulation // PloS ONE. Vol. 6. No. 2. 2011. e16655.

Gao, Zhang 2014 — *Gao Y.*, *Zhang H.* Unconscious processing modulates creative problem solving: Evidence from an electrophysiological study // Consciousness and Cognition. Vol. 26. No. 1. 2014. P. 64–73.

Jung-Beeman et al. 2004 — *Jung-Beeman M.*, *Bowden E. M.*, *Haberman J.*, *Frymiare J. L.*, *Arambel-Liu S.*, *Greenblatt R.*, *Reber, P. J., Kounios J.* Neural activity when people solve verbal problems with insight // PLoS Biology. Vol. 2. No. 4. 2004. e97.

Kahneman 1973 — *Kahneman D.* Attention and effort. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1973.

Kaplan, Simon 1990 — *Kaplan C. A.*, *Simon H. A.* In search of insight // Cognitive Psychology. Vol. 22. No. 3. 1990. P. 374–419.

Lavric et al. 2000 — *Lavric A.*, *Forstmeier S.*, *Rippon G.* Differences in working memory involvement in analytical and creative tasks: An ERP study // NeuroReport. Vol. 11. No. 8. 2000. P. 1613–1618.

Metcalfe 1986 — *Metcalfe J.* Feeling of knowing in memory and problem solving // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. Vol. 12. No. 2. 1986. P. 288–294.

Metcalfe, Wiebe 1987 — *Metcalfe J.*, *Wiebe D.* Intuition in insight and noninsight problem solving // Memory & Cognition. Vol. 15. No. 3. 1987. P. 238–246.

Ohlsson 1984 — *Ohlsson S.* Restructuring revisited. I: Summary and critique of the Gestalt theory of problem solving // Scandinavian Journal of Psychology. Vol. 25. No. 1. 1984. P. 65–78.

Ohlsson 1992 — *Ohlsson S.* Information-processing explanations of insight and related phenomena // Advances in the psychology of thinking / Ed. by M. T. Keane, K. J. Gilhooly. London: Harvester; Wheatsheaf, 1992. P. 1–44.

Polich 2007 — *Polich J.* Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b // Clinical Neurophysiology. Vol. 118. No. 10. 2007. P. 2128–2148.

Posner 1994 — *Posner M. I.* Attention: the mechanisms of consciousness // Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol. 91. No. 16. 1994. P. 7398–7403.

Weisberg, Alba 1981 — *Weisberg R. W.*, *Alba J. W.* An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of several "insight" problems // Journal of Experimental Psychology: General. Vol. 110. No. 2. 1981. P. 169–192.

Wiggins, Bhattacharya 2014 — *Wiggins G. A.*, *Bhattacharya J.* Mind the gap: An attempt to bridge computational and neuroscientific approaches to study creativity // Frontiers in Human Neuroscience. Vol. 8. 2014. P. 1–15.

Zhao et al. 2011 — *Zhao Y.*, *Tu S.*, *Lei M.*, *Qiu J.*, *Ybarra O.*, *Zhang Q.* The neural basis of breaking mental set: An event-related potential study // Experimental Brain Research. Vol. 208. No. 2. 2011. P. 181–187.

Differences in the activity of the executive functions in algorithmic and insight problem solving: ERP study

Smirnitskaya, Anastasiya V.
MS student, Chair of General Psychology, Department of Psychology,
P. G. Demidov Yaroslavl State University
Russia, 150003, Yaroslavl, Sovetskaya str., 14
Tel.: +7 (915) 979-30-33
E-mail: a9159793033@gmail.com

Vladimirov, Ilya Yu.
PhD (Candidate of Science in Psychology)
Associate Professor, Chair of General Psychology, Department of Psychology
P. G. Demidov Yaroslavl State University,
Tel.: +7 (909) 279-88-97
E-mail: kein17@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the investigation of electroencephalographic activity of executive functions in problem solving. We compared differences in solving insight and algorithmic problems. In the work of A. Lavric and colleagues it was shown that the activity of the executive functions is higher when subjects face algorithmic problems (it is necessary to operate with elements of the problem and to save representations in the working memory) and is not essential for insight problem solving. This study is an adaptation of Lavric's study with Russian-speaking participants. Our findings contradict the results of the original research: the executive function is more prominent in insight problem solving. We conclude that the executive function accompanies the problem-solving process in the case of both algorithmic and creative problems. Differences in data obtained from different samples are the result of using the computer version of the experimental stimuli and of the type of problems chosen for the experiment. The study identified criteria that might warrant further investigation in finding answers to the question about the role of the executive functions in insight problem solving.

Keywords: Problem solving, executive functions, insight, P300

References

Arden, R., Chavez, R. S., Grazioplene, R., Jung, R. E. (2010). Neuroimaging creativity: A psychometric view. *Behavioural Brain Research*, *214*(2), 143–156.

Ash, I. K., Wiley, J. (2006). The nature of restructuring in insight: An individual-differences approach. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(1), 66–73.

Awh, E., Vogel, E. K., Oh, S.-H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, *139*(1), 201–208.

Bowden, E. M., Beeman, M. J. (1998). Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems. *Psychological Science*, *9*(6), 435–440.

Cass, M., Polich, J. (1997). P300 from a single-stimulus paradigm: Auditory intensity and tone frequency effects. *Biological Psychology*, *46*(1), 51–65.

Cerruti, C., Schlaug, G. (2009). Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(10), 1980–1987.

Chi, R. P., Snyder, A. W. (2011). Facilitate insight by non-invasive brain stimulation. *PloS ONE*, *6*(2), e16655.

Doroshenko, V. A., Poliakova, M. V. (1994). Metod registratsii vyzvannykh potentsialov mozga [The method of recording evoked brain potentials]. In A. S. Batuev (Ed.). *Metody issledovanii v psikhofiziologii* [Research methods in psychophysiology], 46–110. St. Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta (In Russian).

Gao, Y., Zhang, H. (2014). Unconscious processing modulates creative problem solving: Evidence from an electrophysiological study. *Consciousness and Cognition*, *26*(1), 64–73.

Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., Reber, P. J., Kounios, J. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biology*, *2*(4), e97.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Kaplan, C. A., Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, *22*(3), 374–419.

Lavric, A., Forstmeier, S., Rippon, G. (2000). Differences in working memory involvement in analytical and creative tasks: An ERP study. *NeuroReport*, *11*(8), 1613–1618.

Machinskaia, R. I. (2003). Neirofiziologicheskie mekhanizmy proizvol'nogo vnimaniia (analiticheskii obzor) [Neurophysiological mechanisms of voluntary attention (analytical review)]. *Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti* [Journal of higher nervous activity], *53*(2), 133–150. (In Russian).

Metcalfe, J. (1986). Feeling of knowing in memory and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning*, *Memory*, *and Cognition*, *12*(2), 288–294.

Metcalfe, J., Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & Cognition*, *15*(3), 238–246.

Ohlsson, S. (1984). Restructuring revisited. I: Summary and critique of the Gestalt theory of problem solving. *Scandinavian Journal of Psychology, 25*(1), 65–78.

Ohlsson S. (1992) Information-processing explanations of insight and related phenomena. In Keane M. T., Gilhooly K. J. (Eds.). *Advances in the psychology of thinking*, 1–44. London: Harvester; Wheatsheaf.

Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128–2148.

Ponomarev, Ia. A. (1989). Psikhologiia tvorchestva. In B. F. Lomov, L. I. Antsiferova (Eds.). *Tendentsiia razvitiia psikhologicheskoi nauki* [The trend of development of psychological science], 21–34. Moscow: Nauka. (In Russian).

Posner, M. I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *91*(16), 7398–7403.

Vladimirov, I. Iu., Korovkin, S. Iu., Lebed', A. A., Savinova, A. D., Chistopol'skaia, A. V. (2016). Upravliaiushchii kontrol' i intuitsiia na razlichnykh etapakh tvorcheskogo resheniia [Executive control and intuition: interaction at different stages of creative decision]. *Psikhologicheskii zhurnal* [Psychological journal], *37*(1), 48–60 (In Russian).

Weisberg, R. W., Alba, J. W. (1981). An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of several "insight" problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, *110*(2), 169–192.

Wiggins, G. A., Bhattacharya, J. (2014). Mind the gap: An attempt to bridge computational and neuroscientific approaches to study creativity. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1–15.

Zhao, Y., Tu, S., Lei, M., Qiu, J., Ybarra, O., Zhang, Q. (2011). The neural basis of breaking mental set: An event-related potential study. *Experimental Brain Research*, *208*(2), 181–187.

Smirnitskaya, A. V., Vladimirov, I. Yu. (2017). Differences in the activity of the executive functions in algorithmic and insight problem solving: ERP study. *Shagi / Steps, 3*(1), 98–108