

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 159.91

Павлов Юрий Геннадьевич

ассистент кафедры клинической психологии и психофизиологии Уральского федерального университета, Екатеринбург (РФ), научный сотрудник Института медицинской психологии и поведенческой нейробиологии Университета Тюбингена, Тюбинген (Германия).

E-mail: pavlovug@gmail.com

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ: ЭФФЕКТ «ПЕРЕГРУЗКИ»

Аннотация. Цель изложенной в публикации работы – исследование индивидуальных особенностей продуктивной рабочей памяти человека и влияния на нее динамики среднелобного тета-ритма.

Методы. Автором в ходе эксперимента использовались поведенческое тестирование на основе программы для предъявления стимулов и регистрации ответов «PsyTask»; метод ЭЭГ (электроэнцефалография); методика измерения продуктивности рабочей памяти; сравнительный анализ. При обработке данных применялись программные пакеты EEGLab для Matlab и Fieldtrip.

Результаты. По результатам поведенческого тестирования было выделено две группы испытуемых: с «высокопродуктивной» и «низкопродуктивной» памятью. Участникам эксперимента – студентам и сотрудникам Уральского федерального университета и курсантам Уральского юридического института МВД – предлагался специально подготовленный авторский комплект заданий, сложность которых варьировалась от средней до сверхвысокой. Задания на выявление показателей и особенностей рабочей памяти включали в себя пробы с непосредственным запоминанием вербальных стимулов, а также пробы с мысленными манипуляциями стимульным материалом. Замеряемые характеристики тета-ритма ЭЭГ во время удержания информации в памяти сравнивались у представителей двух групп. Полученные данные показали относительно равномерную и схожую динамику снижения количества правильных ответов по мере увеличения сложности заданий. Однако изменения тета-ритма в разных группах имели резко выраженные различия. У «высокопродуктивных» испытуемых зафиксировано планомерное увеличение мощности тета-ритма в центральных отведениях со стабилизацией на самых трудных за-

даниях; у «низкопродуктивных» – после достижения максимальной активации тета-ритма при выполнении заданий средней сложности наблюдалось резкое падение его активности.

Научная новизна. На большой выборке (102 человека) продемонстрированы ЭЭГ-корреляты эффекта «перегрузки» памяти при достижении индивидуального порога возможностей по удержанию информации и манипуляции ею в рабочей памяти.

Практическая значимость. Актуальность работы связана со все увеличивающимися нагрузками на память человека в современном информационном обществе. Исследование механизмов, управляющих памятью, особенно важно для выяснения возможностей учащихся постоянно пополнять свои знания и самостоятельно решать различные когнитивные задачи, включая планирование, ориентацию в вербальном пространстве, мысленное манипулирование объектами и др.

Ключевые слова: ЭЭГ, среднелобный тета-ритм, эффект перегрузки, рабочая память, управляющие механизмы.

DOI: 10.17853/1994-5639-2015-10-20-38

Pavlov Yuri G.

Teaching Assistant, Department of Clinical Psychology and Psychophysiology, Ural Federal University, Yekaterinburg (RF); Research Staff Member, Institute of Medical Psychology and Behavioral Neurobiology, University of Tübingen, Tübingen (Germany).

E-mail: pavlovug@gmail.com

INDIVIDUAL DIFFERENCES IN WORKING MEMORY PERFORMANCE: «OVERLOAD» EFFECT

Abstract. *The aim of this research is to study the relationship between frontal midline theta rhythm changes and individual differences in working memory performance.*

Methods. *The methods involve behavioural testing on the basis of the program for a presentation of stimulus and registration of answers «PsyTask»; method of EEG (electroencephalography); a technique of measurement of efficiency of working memory; the comparative analysis. Software packages EEGLab for Matlab and Fieldtrip are applied while data processing.*

Results. *After the behavioral test all subjects were separated into 2 groups according to their performance: with «highly productive» and «low productive» memory. Specially prepared author's complete set of the tasks which complexity varied from average to ultrahigh level was offered to participants of experiment – students and employees of the Ural Federal University and Ural Legal Institute of the Ministry of Internal Affairs. Working memory tasks included sets of verbal stimuli for memorizing in strict order without any mental manipulation and sets*

of similar stimuli for memorizing in alphabetical order (with manipulations). Measured characteristics of theta-rhythm of EEG during information deduction in memory were compared of two groups' representatives. The obtained data has shown rather uniform and similar dynamics of decrease in quantity of right answers in process of increasing tasks' complexity. However, changes of a theta-rhythm in different groups had sharply expressed distinctions. «Highly productive» examinees have systematic expansion of a theta-rhythm in the central assignments with stabilisation on the most difficult tasks; «low productive» – while tasks performance of average complexity, a sharp falling of theta-rhythm activity is observed after achievement of its maximum activation.

Scientific novelty. The working memory «overload» effect and its EEG correlates are demonstrated on a big sample of subjects.

Practical significance. The work urgency is connected with increasing loadings for memory of the person in a modern information society. Research of the operating memory mechanisms is especially important for finding-out of pupils' possibilities to renew their knowledge and independently solve various cognitive problems, including planning, orientation in verbal space, a mental manipulation objects, etc.

Keywords: EEG (electroencephalography), frontal midline theta, overloads effect, working memory, operating mechanism.

DOI: 10.17853/1994-5639-2015-10-20-38

Введение

Согласно модели Baddeley & Hitch [3], в структуре рабочей памяти (РП) человека выделяются модально-специфические компоненты – буферы, обеспечивающие непосредственное сохранение информации. Другими ключевыми элементами являются управляющие компоненты рабочей памяти, которые поддерживают ее активное состояние, задействуя функциональные элементы, контролирурующие внимание и блокирующие его интерференцию другими стимулами [2, 13].

Способность удерживать информацию в сознании является критически важной для решения множества когнитивных задач, включая планирование, обретение вербальной компетентности, ориентацию в пространстве, мысленное манипулирование объектами и др. [10, 11, 18]. Активизация исследований рабочей памяти в последние десятилетия и интенсивный поиск механизмов ее нейронального обеспечения, в том числе и выявление на основе электро- и магнитоэнцефалограмм (ЭЭГ и МЭГ) роли ритмической активности для ее функционирования, является важной тенденцией в развитии нейронаук [11, 23].

В ряде публикаций обосновывается роль среднелобного тета-ритма (frontal midline theta – FMT) в обеспечении функции неспецифического

внимания и РП [1, 21, 27, 31]. Гипотеза о связи ФМТ с активацией передней области поясной извилины, деятельность которой сопровождает процессы памяти, внимания и его нарушения, была неоднократно подтверждена как в ЭЭГ-исследованиях [6, 7, 14, 15], так и в работах, опирающихся на техники нейровизуализации [24, 32, 36].

Одним из ключевых вопросов остается поиск электрофизиологических коррелятов функционирования РП в разрезе индивидуальных особенностей ее продуктивности. Основной вклад в индивидуальные различия вносит способность индивида к контролю внимания [4, 35] и / или управляющие компоненты РП. Также известны работы по изучению электрофизиологических ответов мозга в зависимости от нагрузки на РП [9, 14, 27, 28]. Однако существующие исследования не позволяют получить полноценную картину активности мозга, так как в них индивидуальные различия продуктивности памяти учитываются недостаточно.

Во-первых, большинство авторов, занимающихся феноменом РП, в качестве инструментария прибегают к заданиям для испытуемых, соответствующим n-back парадигме [5, 9, 20]. В заданиях данного типа информация о предъявляемых стимулах непрерывно обновляется, в связи с чем трудно произвести разделение двух элементов задания и разграничить процессы непосредственного удержания в памяти стимулов и манипуляций с ними, т. е. дифференцировать информационные и управляющие компоненты РП на уровне активности мозга.

Во-вторых, сложность используемых для диагностики и эксперимента заданий с применением ЭЭГ обычно лежит в диапазоне средних способностей человека. Так, в некоторых упомянутых выше исследованиях в n-back парадигме количество «шагов» не превышает трех [9, 20]. Есть примеры выявления особенностей РП при помощи градированных по сложности экспериментальных заданий, но в этих случаях либо степень сложности является крайне низкой [16], либо не учитываются манипуляции с объектами [21, 27].

Наконец, во всех существующих на сегодняшний день работах по изучению электрофизиологических основ индивидуальных различий в РП численность групп испытуемых не превышает 14 человек [9, 12, 27].

В нашем исследовании применялись задания, сложность которых позволяла дифференцировать и описать испытуемых с разным уровнем продуктивности РП. Кроме того, мы предположили, что использование двух типов заданий с разной степенью нагрузки на управляющие компоненты РП позволит обнаружить ЭЭГ-корреляты данного конструкта. Главной целью работы стало установление связи между динамикой среднелобного тета-ритма и индивидуальными особенностями продуктивности РП.

В эксперименте приняли участие студенты и сотрудники Уральского федерального университета, а также курсанты Уральского юридического института МВД. Испытуемые обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением и не имели психических или неврологических отклонений в анамнезе. От каждого из них было получено предварительное согласие об участии в исследовании.

В общей сложности количество испытуемых составило 102 человека: 70 женщин и 32 мужчины; возраст $M = 21,32$, $SD = 3,50$. Вследствие значимых половых различий в показателях продуктивности памяти в обработку результатов ЭЭГ были включены только данные выборки женщин ($N = 70$). Дальнейший анализ ЭЭГ обнаружил 5 записей с превышающим пороговое значение количеством артефактов. Таким образом, конечная выборка составила 65 человек – все женщины, $M = 20,92$, $SD = 2,96$.

Поведенческое тестирование

Модель поведенческого эксперимента была построена на основе программы для предъявления стимулов и регистрации ответов «PsyTask» (ООО «Мицар») и сконструирована в виде последовательности событий, объединенных в блоки (рис. 1).

В качестве стимулов в модели были использованы наборы прописных букв русского алфавита. Буквы выбирались и располагались в случайном порядке.

Среди заданий было два варианта. В первом после сигнала начала пробы (восклицательный знак) испытуемый должен был удерживать внимание на точке в центре экрана на протяжении 3000 мс (состояние неспецифического внимания). Затем предлагалась инструкция «Прямой порядок» о сохранении в памяти первоначального набора стимулов без изменений (500 мс). По завершении этого этапа тестируемый получал набор стимулов – 5, 6 или 7 букв, информацию о которых следовало удерживать в памяти 6500 мс. Далее в течение 1000 мс предъявлялся тестовый стимул, состоящий из двух символов: на первом месте стояла случайно выбранная буква из предыдущего набора букв, а на втором через тире – цифра, обозначающая номер позиции данной буквы в ряде. Номер соответствовал истине в 50% случаев. Истинные и ложные выражения предлагались в произвольном порядке. Буквы, отсутствующие в тестовом наборе, не использовались. Сразу после демонстрации нужно было дать ответ на вопрос об истинности данного выражения, нажимая на одну из двух клавиш на пульте (левая клавиша означала истинность выражения, правая – ложность). После реакции испытуемого до следующей пробы следовал межпробный интервал продолжительностью 5000–5500 мс.

Внимание	Удержание внимания	Инструкция	Набор стимулов	Удержание	Тестовый стимул	Межстимульный интервал
!	+	Прямой порядок	Ш Р А Ы Л	+	Р - 2	+
Внимание	Удержание внимания	Инструкция	Набор стимулов	Удержание	Тестовый стимул	Межстимульный интервал
!	+	Алфавитный порядок	Г Р К М Т	+	Р - 4	+
200 мс	3000 мс	500 мс	3000 мс	6500 мс	1000 мс	5000-5500 мс

Рис. 1. Примеры последовательностей стимулов в одной пробе

Второй вариант задания был идентичен первому за исключением того, что вместо инструкции удержания в памяти прямой последовательности стимулов от испытуемого требовалось расположить показанный ранее набор букв в алфавитном порядке и только затем ответить на вопрос об истинности тестового стимула.

В общей сложности каждому участнику было предъявлено 6 различных вариантов проб: прямой и алфавитный порядок для 5 стимулов, то же – для 6 стимулов, то же – для 7 стимулов. Каждый из вариантов содержал по 20 проб. Псевдослучайным образом выбиралась последовательность блоков, соответствующих каждому из типов заданий. Перед началом процедуры испытуемые проходили подробный инструктаж, включающий три тренировочные пробы в ситуации без фиксации ответов. Непосредственно перед экспериментом каждый из них просматривал рисунок с изображением последовательности букв русского алфавита.

Во время эксперимента участники находились в затемненном помещении, сидя в удобном кресле. Стимулы белого цвета располагались в центре монитора на черном фоне. Расстояние до монитора составляло 1 метр, а размер каждой буквы – 1,2 угловых градуса.

Для анализа влияния факторов «порядок» (2 уровня: алфавитный или прямой порядок запоминания буквенных наборов) и «объем» (2 уровня: наборы из 5 или 7 букв) был применен дисперсионный анализ с повторными измерениями (RM ANOVA).

Запись ЭЭГ и анализ

Для регистрации и записи биоэлектрической активности головного мозга применялся электроэнцефалограф «Мицар-ЭЭГ-ВП-24/8» и EEG Studio. Electrodes располагались в отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, C3, C4, P3, P4, Cz, Pz, Fz, O1, O2 согласно международной системе «10–20». Два дополнительных электрода служили для регистрации вертикальной и горизонтальной составляющих ЭОГ (электроокулографии). На основе данных ЭОГ проводилась последующая коррекция артефактов от морганий и движений глаз. В качестве референтного средства использовался численно объединенный ушной электрод. Регистрация и усиление электрической активности производились с частотой опроса 500 Гц и фильтром низких частот 70 Гц. Постоянная времени составляла 0,1 сек.

Частотный диапазон для тета-ритма ЭЭГ был определен исходя из индивидуальной частоты альфа-ритма (IAF). Показатели мощности ЭЭГ анализировались в частотном диапазоне от IAF – 6 Гц до IAF – 2,5 Гц.

Перед началом поведенческого эксперимента на протяжении 3 минут ЭЭГ регистрировалась в фоновом состоянии с закрытыми глазами

и в продолжение 1 минуты в состоянии с открытыми глазами. Затем запись осуществлялась во время удержания стимула в РП после инструкции (6 секунд в пределах каждой пробы).

В анализ были включены освобожденные от артефактов отрезки ЭЭГ для состояния с закрытыми глазами и 6-секундные участки записи, соответствующие этапу удержания информации в памяти. Были проанализированы показатели ЭЭГ при запоминании 5 и 7 буквенных наборов в алфавитном и прямом порядках, т. е. в 4 экспериментальных условиях. Полученные записи делились на 2-секундные эпохи, на которых производилось преобразование Фурье и были получены средние значения спектральной мощности для различных частотных диапазонов. Для подавления артефактов от морганий и движений глаз использовался метод независимых компонент (ICA). Далее следовал визуальный анализ и удаление артефактных эпох. Данные операции обрабатывались при помощи программных пакетов EEGLab для Matlab и Fieldtrip. В дальнейший статистический анализ были включены записи, в которых для каждого из анализируемых условий оставалось не менее 20 свободных от артефактов эпох (40 секунд записи).

Для выявления индивидуальных различий в характеристиках ЭЭГ в зависимости от особенностей решаемой задачи применялись два варианта дисперсионного анализа с повторными измерениями (ANOVA RM). Для первого были выделены 4 зоны интереса со следующей локализацией электродов: левая лобная область (F1: Fp1, F7, F3), правая лобная область (F7: Fp2, F8, F4), левая височно-теменно-затылочная область (TPOl: T5, P3, O1), правая височно-теменно-затылочная область (TROr: T6, P4, O2). Рассматривались такие внутригрупповые факторы, как «порядок» (2 уровня: алфавитный или прямой порядок запоминания буквенных наборов), «объем» (2 уровня: 5 или 7 букв в запоминаемых наборах), «локализация» (2 уровня: F1 и TPO), «полушарие» (2 уровня: левое или правое), а также межгрупповой фактор «группа» (2 уровня: «высокопродуктивные» испытуемые (с наилучшими показателями запоминания) и «низкопродуктивные» (с наихудшими показателями)). Для выявления активации среднелобного тета-ритма был проведен специальный анализ центральных отведений (Fz, Cz, Pz), который по аналогии с предыдущим включал факторы «порядок», «объем» и «группа».

Поведенческий эксперимент

Средняя успешность запоминания составила $78,5 \pm 0,9\%$. Было показано взаимовлияние факторов «объем» и «порядок» (соответственно $F = 102,49$ и $85,212$, $p < 0,00001$, $n^2 = 0,619$ и $0,575$), а также взаимодействие факторов

($F(1, 63) = 4,693$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,069$). Средняя успешность запоминания «низкопродуктивных» испытуемых составила $71,9 \pm 1,1\%$, а «высокопродуктивных» $84,9 \pm 0,5\%$.

Перед сравнительным анализом ЭЭГ в двух группах были проанализированы половые особенности. Выявлены высокосignимые ($F = 16,619$, $p < 0,0001$) различия между показателями успешности запоминания мужчин и женщин. Только 10 из 32 мужчин вошли в группу «высокопродуктивных» испытуемых. Среди женщин к таковым были отнесены 57 из 70. Данные гендерные различия оказались статистически значимыми по критерию χ^2 Пирсона ($\chi^2 = 24,53$, $p < 0,00001$). Для нивелирования возможного влияния половых особенностей на результаты статистического анализа электрической активности мозга сравнительный анализ показателей ЭЭГ решено было производить только у женщин. Средние показатели запоминания итоговой выборки для каждого из анализируемых уровней изображены на рис. 2.

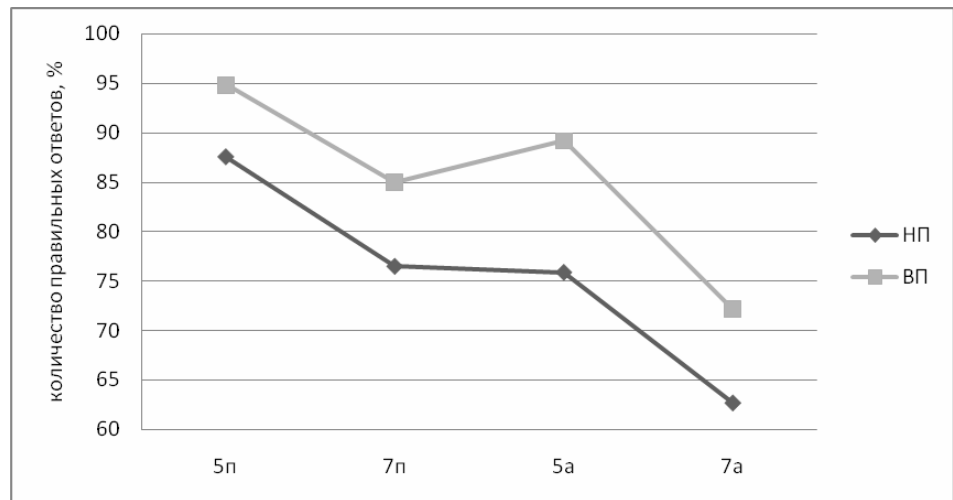


Рис. 2. Успешность запоминания рядов букв у представителей различных групп по продуктивности: 5а – запоминание 5 букв в алфавитном порядке, 7а – запоминание 7 букв в алфавитном порядке, 5п и 7п – то же для прямого порядка; НП – «низкопродуктивные», ВП – «высокопродуктивные»

Группы «высокопродуктивных» и «низкопродуктивных» испытуемых были сформированы как результат деления по медиане, проранжированной по успешности запоминания выборки. Различия между представителями двух групп оказались статистически значимы ($p < 0,00001$). На ос-

новании поведенческих данных в группы «низкопродуктивных» и «высокопродуктивных» было отобрано 33 и 32 участника эксперимента соответственно.

Электроэнцефалография

Фоновое состояние. Сравнение мощности ритмов ЭЭГ женщин и мужчин на данном этапе анализа продемонстрировало значимо более высокие показатели мощности ЭЭГ первых в большинстве отведений во всех частотных диапазонах. В связи с полученными половыми различиями в продуктивности запоминания еще при рассмотрении поведенческих данных, а также с учетом значительного преобладания количества женщин в выборке, при статистической обработке ЭЭГ данный фактор подробно не анализировался.

Для проверки гипотезы о возможных различиях в тета-активности между двумя группами в фоне сопоставлялись значения показателя мощности тета-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами. Были обнаружены более высокие значения мощности тета-ритма в задних отведениях по сравнению с передними. Данное обстоятельство подтверждается наличием главного эффекта фактора «локализация» ($F(1, 63) = 25,019$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,284$). Вместе с тем зафиксирована межполушарная асимметрия мощности с преобладанием тета-активности в левом полушарии по сравнению с правым ($F(1, 63) = 10,662$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,145$). Взаимодействия с фактором «группа» обнаружено не было.

Состояние удержания информации в памяти. Далее анализировались показатели мощности ритмов ЭЭГ на участках записи, относящихся к различным типам заданий.

Было выявлено взаимодействие факторов «порядок» х «локализация» х «полушарие» х «группа» ($F(1, 63) = 9,042$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,126$). Раздельный анализ по группам показал, что при изменении порядка запоминания с прямого на алфавитный у «высокопродуктивных» испытуемых мощность тета-ритма возрастает во всех отведениях. Однако наиболее сильный рост наблюдался в левых передних областях коры, что подтверждает наличие взаимодействия факторов «порядок» х «локализация» х «полушарие» ($F(1, 31) = 7,605$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,197$). В группе «низкопродуктивных» испытуемых при тех же условиях мощность тета-ритма в задних отведениях правого полушария показала снижение, и значимого взаимодействия факторов получено не было.

При анализе мощности тета-ритма в центральных отведениях было зафиксировано взаимодействие факторов «объем» х «группа» ($F(1, 63) = 4,465$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,066$). Данный эффект говорит о снижении тета-активнос-

ти в группе «низкопродуктивных» испытуемых при переходе от запоминания 5-буквенных наборов к запоминанию 7-буквенных наборов, у «высокопродуктивных» испытуемых картина наблюдалась обратная (рис. 3).

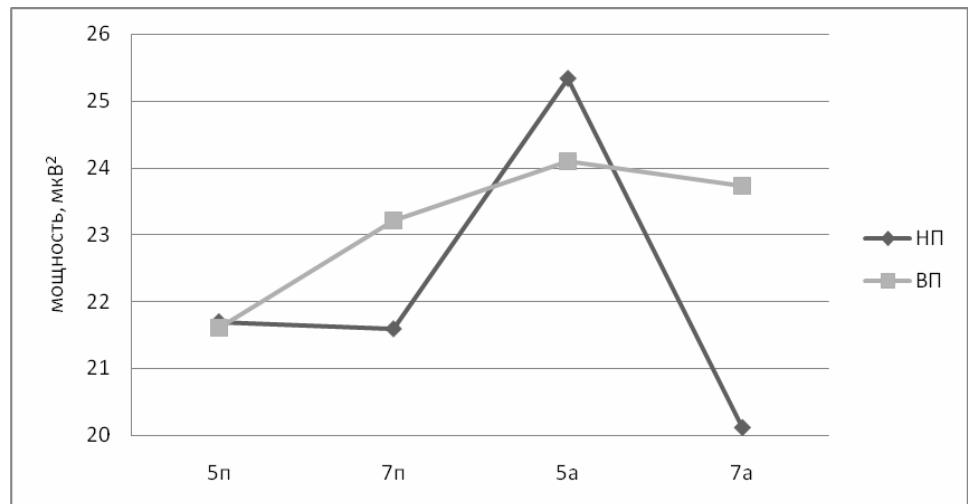


Рис. 3. Мощность тета-ритма в центральных отведениях для представителей различных групп по продуктивности в зависимости от задания:

5а – запоминание 5 букв в алфавитном порядке, 7а – запоминание 7 букв в алфавитном порядке, 5п и 7п – то же для прямого порядка; НП – «низкопродуктивные», ВП – «высокопродуктивные»

Учитывая недостатки предыдущих работ, мы выбрали задания, которые могли бы надежно, благодаря своей сложности, дифференцировать испытуемых с разным уровнем продуктивности РП. Выяснилось, что эффективность решения задач у представителей двух групп значительно различается. Как и ожидалось, процент правильно решенных задач снижался по мере увеличения количества символов в запоминаемых наборах и при смене способа запоминания. Увеличение степени нагрузки на управляющие механизмы РП путем добавления в задание инструкции по манипулированию объектами в кратковременном хранилище резко отразилось на успешности запоминания.

Половые различия

Полученные данные свидетельствуют о большей эффективности РП женщин, чем мужчин. Аналогичные результаты были получены в работе Speck et al. [34]. Вместе с тем, например, в исследовании Gur et al. [17] значимого влияния половых различий на продуктивность РП не обнару-

жено, хотя зафиксировано, что женщины достоверно лучше справлялись с заданиями на вербальную эпизодическую память и на внимание.

Не подтверждается зависимость степени продуктивности вербальной РП от половой принадлежности и рядом других авторов [15, 22, 33], а в исследовании Redick et al. [29] на крупной выборке показано статистически значимое, но слабое по величине эффекта доминирование мужчин.

Мы считаем, что требуются дополнительные исследования на сбалансированной по половозрастному составу выборке для детального анализа гендерных различий относительно особенностей РП. Вероятно, условие решения более ресурсозатратных для управляющих механизмов мозга задач в первую очередь опосредует подобные различия. Проверка данной гипотезы станет предметом последующих наших изысканий.

Среднелобный тета-ритм и его связь с продуктивностью РП

Наибольший интерес представляет сравнение показателей ритмической активности мозга у представителей различных групп по продуктивности РП в зависимости от типа задачи и ее сложности. Анализ данных ЭЭГ базировался на очевидном предположении, что задания, требующие манипуляции информацией, в большей мере, чем простое удержание в памяти той же информации, задействуют управляющие компоненты РП.

Изменение порядка запоминания вызвало значимый рост активности тета-ритма в передних отделах левого полушария только в группе «высокопродуктивных» испытуемых. Видимо, более эффективное запоминание помимо прочего обеспечивается вовлечением в работу гиппокампа и речевых зон коры. Предложенное задание требовало от испытуемых постоянного обращения к долговременной памяти, которое в нашем случае необходимо для извлечения информации о расположении букв в алфавите. Связь работы гиппокампа и тета-активности, регистрируемой с поверхности коры, наблюдалась в экспериментах и ранее [30]. В отдельных исследованиях показана активация левой префронтальной коры, в том числе inferior frontal gyrus (IFG) и зоны Брока, при вовлечении управляющих функций в решение вербальных задач [26, 32, 37]. Так, в нейровизуализационном эксперименте с параллельной регистрацией ЭЭГ Scheeringa et al. [32] показан эффект роста активации левой IFG и увеличение мощности тета-ритма по мере добавления нагрузки на РП. Схожий паттерн активации получен Chee & Choo [8] при сравнении запоминания с манипуляцией вербальными стимулами и запоминания в исходном виде. Мы полагаем, что левосторонняя активация тета-ритма сигнализирует о более

эффективном обмене информацией между кратковременным хранилищем и долговременной памятью у «высокопродуктивных» испытуемых.

Не только изменение типа задания, но и объем запоминаемого материала вызывали различные паттерны активации у представителей двух групп. При подробном рассмотрении изменения тета-ритма при увеличении объема, а следовательно, и сложности заданий выяснилось, что в группе «высокопродуктивных» испытуемых происходит планомерное увеличение мощности тета-ритма в центральных отведениях со стабилизацией на самых трудных заданиях по запоминанию 7 букв в алфавитном порядке. А у «низкопродуктивных» испытуемых после достижения максимальной активации тета-ритма при запоминании 5-буквенных комбинаций в алфавитном порядке наблюдалось резкое падение активности тета-ритма при попытке запомнить 7-буквенные сочетания. Таким образом, динамика активации среднелобного тета-ритма и связанной с ним anterior cingulate cortex (ACC) при решении задач средней степени сложности лежит в пределах существующих представлений о росте тета-активности по мере увеличения нагрузки на РП [9, 14, 19, 25, 27, 28]. Однако наиболее трудные задания провоцировали перестройку активности тета-ритма, ранее не наблюдаемую в других исследованиях.

Можно предположить, что достижение индивидуального предела в обеспечении функции РП в первую очередь сопровождается резким дефицитом ресурсов внимания. На предельном уровне сложности степень вовлечения управляющих механизмов мозга уже достаточно высока, переход к еще более сложным задачам вызывает сбой в работе существующей функциональной системы, которая обеспечивала успешное выполнение задания на среднем уровне сложности. Последующая перестройка функциональной системы, отвечающей за сохранение информации в памяти, позволяла гораздо менее эффективно, но все же справляться с поставленной когнитивной задачей «низкопродуктивным» испытуемым.

Другим вероятным объяснением для полученных данных может быть то, что «низкопродуктивные» участники эксперимента просто теряли мотивацию и не выполняли задания наиболее высокой степени сложности. В то же время распределение правильных ответов на каждом из исследуемых уровней демонстрирует, что различия в продуктивности между экспериментальными группами на каждом из уровней приблизительно схожи, т. е. резкого падения количества правильных ответов у «низкопродуктивных» испытуемых при запоминании 7-буквенных комбинаций в алфавитном порядке не было.

При фиксации схожего эффекта «перегрузки» РП в нейровизуализационном исследовании Jaeggi et al. [20] в качестве основной причины на-

зываются индивидуальные различия в продуктивности РП и стратегиях обработки информации. Авторы указанной работы обнаружили более распространенную активацию лобных областей коры при решении задач «низкопродуктивными» испытуемыми. Активация при решении более сложных задач распространяется на множество отделов префронтальной коры, не позволяя направить дополнительные ресурсы на поддержание АСС, являющейся основным субстратом для управляющих компонент РП.

Итак, можно заключить, что индивидуальные различия в продуктивности вербальной РП формируются благодаря как минимум двум механизмам:

- более эффективное удержание и манипуляций информацией в памяти обеспечиваются за счет более интенсивного вовлечения левой префронтальной коры; вероятно, благодаря возможности мозга «высокопродуктивных» испытуемых к более быстрому обмену информацией между долговременной и рабочей памятью;
- более энергетически эффективные стратегии по перераспределению ресурсов коры мозга для активации АСС позволяют более эффективно решать задачи, задействующие рабочую память.

Актуальность изложенной в статье работы связана со все увеличивающимися нагрузками на память человека в современном информационном обществе. Исследование механизмов, управляющих памятью, особенно важно для выяснения возможностей учащихся постоянно пополнять свои знания и самостоятельно решать различные когнитивные задачи, включая планирование, ориентацию в вербальном пространстве, мысленное манипулирование объектами и др.

*Статья рекомендована к публикации
д-ром психол. наук, проф. Э. Э. Сыманюк*

Литература

1. Aftanas L. I., Golosheikin S. A. Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation // *Neuroscience letters*. 2001. № 1 (310). P. 57–60.
2. Baddeley A. Working memory: looking back and looking forward // *Nature Reviews Neuroscience*. 2003. № 10 (4). P. 829–839.
3. Baddeley A. Working Memory: Theories, Models, and Controversies // *Annual Review of Psychology*. 2012. № 1 (63). P. 1–29.
4. Barrett L. F., Tugade M. M., Engle R. W. Individual Differences in Working Memory Capacity and Dual-Process Theories of the Mind // *Psychological bulletin*. 2004. № 4 (130). P. 553–573.
5. Brouwer A.-M. [и др.]. Estimating workload using EEG spectral power and ERPs in the n-back task // *Journal of Neural Engineering*. 2012. № 4 (9). P. 045008.

6. Bush G. [и др.]. Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the Counting Stroop // *Biological psychiatry*. 1999. № 12 (45). P. 1542–52.
7. Bush G., Luu P., Posner M. I. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex // *Trends in cognitive sciences*. 2000. № 6 (4). P. 215–222.
8. Chee M. W. L., Choo W. C. Functional Imaging of Working Memory after 24 Hr of Total Sleep Deprivation // *The Journal of Neuroscience*. 2004. № 19 (24). P. 4560–4567.
9. Daffner K. R. [и др.]. Mechanisms Underlying Age- and Performance-related Differences in Working Memory // *Journal of cognitive neuroscience*. 2011. № 6 (23). P. 1298–1314.
10. Daneman M., Merikle P. M. Working memory and language comprehension: A meta-analysis // *Psychonomic bulletin & review*. 1996. № 4 (3). P. 422–33.
11. D'Esposito M. From cognitive to neural models of working memory // *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. 2007. № 1481 (362). P. 761–72.
12. Dong S. [и др.]. Individual differences in working memory capacity are reflected in different ERP and EEG patterns to task difficulty // *Brain Research*. 2015. (1616). P. 146–156.
13. Engle R. W. [и др.]. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach // *Journal of experimental psychology: General*. 1999. № 3 (128). P. 309.
14. Gevins A. [и др.]. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice // *Cerebral cortex*. 1997. № 4 (7). P. 374–385.
15. Gevins A., Smith M. E. Neurophysiological Measures of Working Memory and Individual Differences in Cognitive Ability and Cognitive Style // *Cerebral Cortex*. 2000. № 9 (10). P. 829–839.
16. Griesmayr B. [и др.]. Human frontal midline theta and its synchronization to gamma during a verbal delayed match to sample task // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2010. № 2 (93). P. 208–215.
17. Gur R. C. [и др.]. Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8–21 // *Neuropsychology*. 2012. № 2 (26). P. 251–265.
18. Hyun J.-S., Luck S. J. Visual working memory as the substrate for mental rotation // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2007. № 1 (14). P. 154–158.
19. Itthipuripat S., Wessel J. R., Aron A. R. Frontal theta is a signature of successful working memory manipulation // *Experimental Brain Research*. 2012. № 2 (224). P. 255–262.
20. Jaeggi S. M. [и др.]. On how high performers keep cool brains in situations of cognitive overload // *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2007. № 2 (7). P. 75–89.
21. Jensen O., Tesche C. D. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task // *European Journal of Neuroscience*. 2002. (15). P. 1395–1399.
22. Kennedy K. M., Raz N. Aging White Matter and Cognition: Differential Effects of Regional Variations in Diffusion Properties on Memory, Executive Functions, and Speed // *Neuropsychologia*. 2009. № 3 (47). P. 916–927.

23. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain research reviews*. 1999. № 2 (29). P. 169–195.
24. Michels L. [и др.]. Simultaneous EEG-fMRI during a Working Memory Task: Modulations in Low and High Frequency Bands // *PLoS ONE*. 2010. № 4 (5). P. 10298.
25. Missonnier P. [и др.]. Frontal theta event-related synchronization: comparison of directed attention and working memory load effects // *Journal of neural transmission*. 2006. № 10 (113). P. 1477–1486.
26. Nelson J. [и др.]. Mapping interference resolution across task domains: A shared control process in left inferior frontal gyrus // *Brain research*. 2009. (1256). P. 92–100.
27. Onton J., Delorme A., Makeig S. Frontal midline EEG dynamics during working memory // *NeuroImage*. 2005. № 2 (27). P. 341–356.
28. Pesonen M., Hämäläinen H., Krause C. M. Brain oscillatory 4–30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load // *Brain Research*. 2007. (1138). P. 171–177.
29. Redick T. S. [и др.]. Measuring Working Memory Capacity With Automated Complex Span Tasks // *European Journal of Psychological Assessment*. 2012. № 3 (28). P. 164–171.
30. Sammer G. [и др.]. Relationship between regional hemodynamic activity and simultaneously recorded EEG-theta associated with mental arithmetic-induced workload // *Human Brain Mapping*. 2007. № 8 (28). P. 793–803.
31. Sauseng P. [и др.]. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory // *International Journal of Psychophysiology*. 2005. № 2 (57). P. 97–103.
32. Scheeringa R. [и др.]. Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance // *NeuroImage*. 2009. № 3 (44). P. 1224–1238.
33. Schmidt H. [и др.]. No gender differences in brain activation during the N-back task: An fMRI study in healthy individuals // *Human Brain Mapping*. 2009. № 11 (30). P. 3609–3615.
34. Speck O. [и др.]. Gender differences in the functional organization of the brain for working memory // *Neuroreport*. 2000. № 11 (11). P. 2581–2585.
35. Unsworth N., Spillers G. J. Working memory capacity: Attention control, secondary memory, or both? A direct test of the dual-component model // *Journal of Memory and Language*. 2010. № 4 (62). P. 392–406.
36. White T. P. [и др.]. Theta power during encoding predicts subsequent-memory performance and default mode network deactivation // *Human Brain Mapping*. 2013. № 11 (34). P. 2929–2943.
37. Zhang J. X. [и др.]. Is left inferior frontal gyrus a general mechanism for selection? // *NeuroImage*. 2004. № 2 (23). P. 596–603.

References

1. Aftanas L. I., Golocheikine S. A. Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience letters*. 2001. Vol. 310. № 1. P. 57–60. (Translated from English)

2. Baddeley A. Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*. 2003. Vol. 4. № 10. P. 829–839. (Translated from English)
3. Baddeley A. Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*. 2012. Vol. 63. № 1. P. 1–29. (Translated from English)
4. Barrett L. F., Tugade M. M., Engle R. W. Individual Differences in Working Memory Capacity and Dual-Process Theories of the Mind. *Psychological Bulletin*. 2004. Vol. 130. № 4. P. 553–573. (Translated from English)
5. Brouwer A.-M., Hogervorst M. A., van Erp J. B. F., Heffelaar T., Zimmerman P. H., Oostenveld R. Estimating workload using EEG spectral power and ERPs in the n-back task. *Journal of Neural Engineering*. 2012. Vol. 9. № 4. P. 45008. (Translated from English)
6. Bush G. et al. Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the Counting Stroop. *Biological Psychiatry*. 1999. Vol. 45. № 12. P. 1542–1552. (Translated from English)
7. Bush G., Luu P., Posner M. I. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*. 2000. Vol. 4. № 6. P. 215–222. (Translated from English)
8. Chee M. W. L., Choo W. C. Functional Imaging of Working Memory after 24 Hr of Total Sleep Deprivation. *The Journal of Neuroscience*. 2004. Vol. 24. № 19. P. 4560–4567. (Translated from English)
9. D'Esposito M. From cognitive to neural models of working memory. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 2007. Vol. 362. № 1481. P. 761–772. (Translated from English)
10. Daffner K. R. et al. Mechanisms Underlying Age- and Performance-related Differences in Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2011. Vol. 23. № 6. P. 1298–1314. (Translated from English)
11. Daneman M., Merikle P. M. Working memory and language comprehension: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*. 1996. Vol. 3. № 4. P. 422–433. (Translated from English)
12. Dong S., Reder L. M., Yao Y., Liu Y., Chen F. Individual differences in working memory capacity are reflected in different ERP and EEG patterns to task difficulty. *Brain Research*. 2015. Vol. 1616. P. 146–156. (Translated from English)
13. Engle R. W., Tuholski S. W., Laughlin J. E., Conway A. R. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*. 1999. Vol. 128. № 3. P. 309. (Translated from English)
14. Gevins A., Smith M. E. Neurophysiological Measures of Working Memory and Individual Differences in Cognitive Ability and Cognitive Style. *Cerebral Cortex*. 2000. Vol. 10. № 9. P. 829–839. (Translated from English)
15. Gevins A., Smith M. E., McEvoy L., Yu D. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*. 1997. Vol. 7. № 4. P. 374–385. (Translated from English)
16. Griesmayr B., Gruber W. R., Klimesch W., Sauseng P. Human frontal midline theta and its synchronization to gamma during a verbal delayed match to sample task. *Neurobiology of Learning and Memory*. 2010. Vol. 93. № 2. P. 208–215. (Translated from English)
17. Gur R. C. et al. Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8–21. *Neuropsychology*. 2012. Vol. 26. № 2. P. 251–265. (Translated from English)

18. Hyun J.-S., Luck S. J. Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2007. Vol. 14. № 1. P. 154–158. (Translated from English)
19. Itthipuripat S., Wessel J. R., Aron A. R. Frontal theta is a signature of successful working memory manipulation. *Experimental Brain Research*. 2012. Vol. 224. № 2. P. 255–262. (Translated from English)
20. Jaeggi S. M., Buschkuhl M., Etienne A., Ozdoba C., Perrig W. J., Nirkko A. C. On how high performers keep cool brains in situations of cognitive overload. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2007. Vol. 7. № 2. P. 75–89. (Translated from English)
21. Jensen O., Tesche C. D. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*. 2002. Vol. 15. P. 1395–1399. (Translated from English)
22. Kennedy K. M., Raz N. Aging White Matter and Cognition: Differential Effects of Regional Variations in Diffusion Properties on Memory, Executive Functions, and Speed. *Neuropsychologia*. 2009. Vol. 47. № 3. P. 916–927. (Translated from English)
23. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*. 1999. Vol. 29. № 2. P. 169–195. (Translated from English)
24. Michels L. et al. Simultaneous EEG-fMRI during a Working Memory Task: Modulations in Low and High Frequency Bands. *PLoS ONE*. 2010. Vol. 5. № 4. P. 10298. (Translated from English)
25. Missonnier P. et al. Frontal theta event-related synchronization: comparison of directed attention and working memory load effects. *Journal of Neural Transmission*. Springer, 2006. Vol. 113. № 10. P. 1477–1486. (Translated from English)
26. Nelson J., Reuter-Lorenz P. A., Persson J., Sylvester C.-Y. C., Jonides J. Mapping interference resolution across task domains: A shared control process in left inferior frontal gyrus. *Brain research*. 2009. Vol. 1256. P. 92–100. (Translated from English)
27. Onton J., Delorme A., Makeig S. Frontal midline EEG dynamics during working memory. *NeuroImage*. 2005. Vol. 27. № 2. P. 341–356. (Translated from English)
28. Pesonen M., Hämäläinen H., Krause C. M. Brain oscillatory 4–30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load. *Brain Research*. 2007. Vol. 1138. P. 171–177. (Translated from English)
29. Redick T. S. et al. Measuring Working Memory Capacity With Automated Complex Span Tasks. *European Journal of Psychological Assessment*. 2012. Vol. 28. № 3. P. 164–171. (Translated from English)
30. Sammer G. et al. Relationship between regional hemodynamic activity and simultaneously recorded EEG-theta associated with mental arithmetic-induced workload. *Human Brain Mapping*. 2007. Vol. 28. № 8. P. 793–803. (Translated from English)
31. Sauseng P., Klimesch W., Schabus M., Doppelmayr M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*. 2005. Vol. 57. № 2. P. 97–103. (Translated from English)

32. Scheeringa R., Petersson K. M., Oostenveld R., Norris D. G., Hagoort P., Bastiaansen M. C. M. Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. *NeuroImage*. 2009. Vol. 44. № 3. P. 1224–1238. (Translated from English)
33. Schmidt H. et al. No gender differences in brain activation during the N-back task: An fMRI study in healthy individuals. *Human Brain Mapping*. 2009. Vol. 30. № 11. P. 3609–3615. (Translated from English)
34. Speck O., Ernst T., Braun J., Koch C., Miller E., Chang L. Gender differences in the functional organization of the brain for working memory. *Neuroreport*. 2000. Vol. 11. № 11. P. 2581–2585. (Translated from English)
35. Unsworth N., Spillers G. J. Working memory capacity: Attention control, secondary memory, or both? A direct test of the dual-component model. *Journal of Memory and Language*. 2010. Vol. 62. № 4. P. 392–406. (Translated from English)
36. White T. P. et al. Theta power during encoding predicts subsequent-memory performance and default mode network deactivation. *Human Brain Mapping*. 2013. Vol. 34. № 11. P. 2929–2943. (Translated from English)
37. Zhang J. X., Feng C.-M., Fox P. T., Gao J.-H., Tan L. H. Is left inferior frontal gyrus a general mechanism for selection? *NeuroImage*. 2004. Vol. 23. № 2. P. 596–603. (Translated from English)

УДК 159.923.2

Сапего Екатерина Ивановна

аспирант кафедры психологии факультета философии и социальных наук Белорусского государственного университета, Минск (Республика Беларусь).
E-mail: miltcom@tut.by

ВЛИЯНИЕ ТИПА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПЕДАГОГОВ

Аннотация. Цель представленного в статье исследования – выявление взаимосвязи типа организационной культуры в образовательном учреждении и уровня личностной профессиональной деформации работающих в этом учреждении педагогов.

В качестве методологической основы работы использовался социокультурно-интердетерминистский диалогический подход В. А. Янчука. В процессе изысканий применялись психодиагностические методики: методика диагностики профессиональной деформации личности учителя (авторы В. Е. Орел, С. П. Андреев) и опросник «Шкалы организационных парадигм» Л. Л. Константина.