

УДК 612.821.6:612.822.3

РЕШЕНИЕ ОБРАЗНЫХ КРЕАТИВНЫХ ЗАДАЧ ИЗМЕНЯЕТ ФОНОВУЮ ЭЭГ ПОКОЯ У ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

© 2021 г. Е. Ю. Приводнова^{1, 2, *}, Н. В. Вольф^{1, 2, **}

¹ФГБНУ Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины,
Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

*E-mail: privodnovaeu@physiol.ru

**E-mail: volf@physiol.ru

Поступила в редакцию 27.07.2020 г.

После доработки 02.10.2020 г.

Принята к публикации 25.11.2020 г.

Включение в креативную деятельность оказывает нейропротекторный эффект в пожилом возрасте. Одним из ключевых факторов, который вносит вклад в этот эффект, является когнитивная стимуляция через креативное мышление. Лежащим в основе нейронным механизмом является вызванная предшествующей деятельностью нейропластичность, которая может проявляться в виде изменений активности мозга после завершения задания в областях, участвующих в его выполнении. Два основных вида креативности, вербальная и образная, которые соответственно опираются на зрительно-пространственные и семантические процессы, демонстрируют различные траектории возрастных изменений. Чтобы определить, какой тип креативных заданий оставляет более выраженное последствие в посттестовой электроэнцефалографической (ЭЭГ) активности мозга у пожилых людей, зарегистрировали ЭЭГ у 29 пожилых (64 ± 6 лет) ментально здоровых испытуемых до, во время и после выполнения 30 вербальных и 30 образных задач. Значения плотности источников тока (ПИТ) и последующие статистические контрасты с использованием непараметрического статистического картирования были проведены с помощью *LORETA*. ПИТ увеличилась от предтестового к посттестовому интервалу в Δ - γ -ритмах, наиболее выражено в париетально-окципитальной области (область интереса, ОИ). Увеличение ПИТ наблюдалось также при выполнении образной (но не вербальной) задачи. По сравнению с образной задачей было выявлено пространственно недифференцированное снижение ПИТ в посттестовой активности, что свидетельствует о сохранении паттерна, возникшего во время образного задания, в посттестовой ЭЭГ в менее выраженной форме. Кроме того, были выявлены множественные положительные корреляции между ЭЭГ-активностью во время выполнения образной задачи и посттестовым интервалом в пределах ОИ. Результаты позволяют предполагать, что образная креативная задача оставляет более выраженное последствие, чем вербальная, и, таким образом, является перспективной для дальнейшего изучения в качестве когнитивного тренинга для пожилых людей.

Ключевые слова: старение, образная креативность, дивергентное мышление, посттестовое последствие, ЭЭГ.

DOI: 10.31857/S0131164621020120

Считается, что когнитивный тренинг улучшает эффективность когнитивных функций в пожилом возрасте. Однако накоплены данные, свидетельствующие о незначительном переносе положительного эффекта тренинга специфических навыков на более широкий круг когнитивных способностей или поведение в реальной жизни (например, результаты метаанализа [1]). Креативное мышление направлено на создание новых и полезных значимых идей или продукта. Явля-

ясь комплексной когнитивной задачей, оно требует привлечения целого спектра когнитивных процессов, связанных с памятью, вниманием, воображением и когнитивным контролем [2]. Таким образом, вовлечение в креативную деятельность может иметь более широкий “эффект переноса” по сравнению с тренингом специфических навыков, и может оказывать влияние на общие когнитивные способности у людей старшего возраста. Ряд исследований свидетельствуют о том,

что креативная деятельность может представлять собой средство лечения без побочных эффектов таких проблем пожилого возраста, как депрессия и деменция, что подтверждает ее значимость для улучшения ментального здоровья и качества жизни [3, 4]. Данные обзора литературы показывают, что включение креативной тренировочной деятельности в комплексные программы лечения и ухода за пациентами с деменцией может использоваться в качестве замены медицинских препаратов [5].

Можно выделить два основных типа креативных задач — образные и вербальные, которые опираются на зрительно-пространственные [6] и семантические способности [7], соответственно. Известно, что зрительно-пространственные способности существенно снижаются с возрастом [8], в то время как вербальные способности и словарный запас остаются относительно сохранными [9, 10]. На данный момент остается невыясненным, какой тип креативных задач может больше влиять на функциональное состояние в пожилом возрасте.

Исследования последних лет указывают на то, что активность мозга в состоянии покоя изменяется под влиянием повторяющейся активности [11]. Локальные следы повторяющейся когнитивной или моторной активности были выявлены сразу после выполнения сорокаминутного [12, 13] или двадцатиминутного задания [14]. Вызванная выполнением задания нейропластичность может быть зафиксирована в тех областях мозга, которые были задействованы во время его выполнения [15]. Существуют специфические по отношению к заданию нейробиологические корреляты различных типов креативного мышления. Так, вербальная креативность более опирается на левую медиальную темпоральную долю, которая отвечает за извлечение и семантических, и эпизодических ассоциаций [16], в то время как образная креативность больше связана с активностью зрительной коры, задействованной во время зрительного воображения [17]. Согласно нашим данным, не существует работ, которые бы напрямую исследовали изменения в фоновой активности мозга после выполнения креативного задания. Однако анализ литературы позволяет предполагать, что выполнение креативного задания будет оставлять специфичный по отношению к этому заданию след в фоновой активности коры мозга.

Цель настоящей работы — исследование, какой тип креативной задачи оставляет более выраженный след в фоновой активности мозга после решения креативных заданий у пожилых людей. Идентификация такого типа задач может иметь прогностическое значение для их дальнейшего применения в качестве возможных заданий для когнитивного тренинга.

Поскольку выполнение различных креативных заданий может вызывать некоторые эмоционально-мотивационные состояния и усталость, в настоящем исследовании оба типа заданий предъявлялись в одном эксперименте. В таком случае, описанные выше факторы будут учтены в равной степени при оценке влияния различных типов креативных задач на ЭЭГ после выполнения экспериментальных заданий. Можно предположить, что эффект от конкретной задачи в фоновой ЭЭГ после окончания эксперимента будет проявляться, если паттерн изменений активности будет схожим с паттерном изменений ЭЭГ-активности во время ее решения и будет выявлена значимая корреляционная связь между активностями после выполнения и во время решения задачи конкретного типа.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 29 пожилых людей (17 женщин, 12 мужчин, от 55 до 75 лет, средний возраст — 64.2 года), продолжавших на момент исследования профессиональную деятельность. Критерием исключения были психиатрические, неврологические и основные медицинские заболевания (рак, болезни сердечно-сосудистой системы, диабет). Все участники были правшами и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Процедура эксперимента и задания. Во время записи ЭЭГ испытуемые сидели напротив монитора компьютера в звукоизолированной комнате, их просили расслабиться и избегать движений и морганий. ЭЭГ регистрировали в течение всего эксперимента. Предъявляли 2 типа (вербальные и образные) креативных задач. Пятнадцать испытуемых выполняли блок вербальных задач перед блоком образных, у 14 испытуемых была другая последовательность. Выполнение креативного задания длилось около 40 мин и состояло из 30 вербальных и 30 образных задач. Стимулы — 5 слов (кирпич, банка, газета, скрепка и карандаш) для вербального или 5 незаконченных фрагментов для образного — предъявляли по 6 раз каждый в псевдослучайном порядке таким образом, чтобы ни один из стимулов не встречался два раза подряд. В вербальном тесте “Необычное использование предмета” испытуемым было необходимо придумать необычное использование реальных предметов. В образном задании “Незавершенные фигуры” испытуемых просили достроить образ на основе предъявленного фрагмента.

В каждом из блоков, экспериментальная проба начиналась с пятисекундного предъявления центральной точки для фиксации взгляда. Затем в центре монитора в течение 5 с предъявляли стимульное слово или фрагмент. Испытуемым дава-

ли 15 с, чтобы найти решение (один ответ в каждой пробе), пока слово “Ответ” не появлялось на экране, сигнализируя о необходимости нажать на кнопки одновременно правой и левой рукой и сообщить ответ. Если испытуемый решал задачу быстрее, он мог вызвать появление слова “Ответ” с помощью нажатия на кнопки ответа. В каждой пробе испытуемые нажимали на кнопки, когда находили ответ. После нажатия на кнопки ответы произносились вслух и записывались экспериментаторами. После слова “Ответ” на экране по середине предъявляли крест, который означал десятисекундный отдых между пробами. В образном задании испытуемых просили нарисовать придуманные и названные во время эксперимента образы на бланке с фрагментами после окончания эксперимента.

Эффективность выполнения креативного задания оценивали по показателям оригинальности и беглости, отдельно в образном и вербальном блоках. Оригинальность каждой идеи рассчитывали как $1/(N + 1)$, где N — количество похожих ответов в компьютеризированной базе данных, созданной авторами ранее [18, 19]. Испытуемые, чьи ответы вошли в базу данных, состояли из людей младшей и старшей возрастных групп. Затем для каждого испытуемого рассчитывали среднюю оригинальность. Беглость оценивали по числу решенных задач, отдельно в вербальном и образном блоке.

Регистрация и предварительная обработка ЭЭГ. ЭЭГ регистрировали с помощью 60 Ag—AgCl электродов, монтированных в эластичный шлем согласно модифицированной системе 10—20 (*American Electroencephalographic Society*, 1991) с использованием комплекса “*Neuroscan 4.4*” (*Compumedics Neuroscan USA Ltd., Charlotte, NC, США*). В качестве референтного использовали объединенный ушной электрод. Сопротивление электродов не превышало 5 кΩ. Частота дискретизации составляла 250 Гц; использовали режекторный фильтр на 50 Гц и полосу пропускания частот 0—50 Гц. Артефакты удаляли с помощью метода независимых компонент с использованием пакета *EEGLAB* (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/>).

В начале эксперимента ЭЭГ покоя была записана при закрытых глазах. Для изучения предтестовой и посттестовой активности использовали трехминутные записи при открытых глазах до и после выполнения задания. Только пробы, в которых испытуемые сообщили найденное решение, были использованы для анализа активности мозга во время выполнения задач (среднее количество проб с ответом составило 25.6 ($SD = 4$) в вербальном блоке и 23.6 ($SD = 5.6$) — в образном). При дальнейшем анализе непрерывные данные ЭЭГ были сегментированы на двухсекундные эпохи.

LORETA. Дальнейший анализ проводили на уровне корковых источников ЭЭГ-сигналов с помощью *standardized Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography, sLORETA* [20] (http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm#_Toc391372607). В основе алгоритма лежит предположение о том, что регистрируемая с поверхности головы ЭЭГ является отражением суммарной активности больших нейронных популяций и соседние воксели имеют максимально аналогичную электрическую активность [20]. В *sLORETA* используется трехслойная сферическая модель головы, соотнесенная с оцифрованным атласом *Talairah and Tournoux (Brain Imaging centre, Montreal Neurological Institute, 1998, Канада)*. Область определения локализации ограничена серым веществом коры и гиппокампа, пространственное разрешение составляет $5 \times 5 \times 5$ мм.

В пожилом возрасте пик мощности α -ритма снижается, что приводит к смещению функциональных частотных диапазонов в область более низких частот [21]. Поэтому для более корректного определения границ частотных диапазонов использовали индивидуальный пик частоты α -ритма (ИПЧА) [21, 22]. ИПЧА рассчитывали по ЭЭГ покоя с закрытыми глазами как среднее значение по $P_7, P_5, P_3, P_1; PO_7, PO_5, PO_3; O_1$ левого и аналогичным электродам в правого полушарий, а также центральным электродам Pz, POz, Oz . В соответствии с традиционным подходом [22], границы Δ -ритма определяли от 1 Гц до (ИПЧА-6) Гц; θ — от (ИПЧА-6) Гц до (ИПЧА-4) Гц; α_1 — от (ИПЧА-4) Гц до (ИПЧА-2) Гц; α_2 — от (ИПЧА-2) Гц до ИПЧА; α_3 — от ИПЧА до (ИПЧА + 2) Гц; β_1 — от (ИПЧА + 2) Гц до 20 Гц и β_2 — от 20 Гц до 30 Гц.

Сначала в каждом частотном диапазоне рассчитывали кросс-спектр для свободных от артефактов эпох на уровне отведений для предтестовой, посттестовой и тестовых интервалов во время решения задач. На втором этапе анализа, значения кросс-спектра ЭЭГ использовали для расчета спектральной мощности сигналов корковых источников. Для каждого частотного диапазона в *sLORETA* рассчитывали распределение плотности источников тока (ПИТ) для 6430 вокселей с использованием реалистичной модели головы, основанной на шаблоне *MNI 152*. Вызванные осцилляции для каждого вокселя были рассчитаны как разностные карты следующим образом: $\lg$ ПИТ (посттестовый интервал) — $\lg$ ПИТ (предтестовый интервал) (обозначены как “пост-/предтестовые изменения”); $\lg$ ПИТ (образный тестовый интервал) — $\lg$ ПИТ (предтестовый интервал) (“образные тестовые/предтестовые изменения”); $\lg$ ПИТ (вербальный тестовый интервал) — $\lg$ ПИТ (предтестовый интервал) (“вербальные тестовые/предтестовые изменения”).

Выделение областей интереса (ОИ). Ассоциации между посттестовой активностью и активностью во время выполнения задания каждого типа исследовали для отдельных областей интереса (ОИ). В качестве ОИ брали сферу с радиусом 15 мм; в качестве “семян” использовали *MNI* координаты вокселей с максимальными различиями, полученными в результате сравнения между значениями ПИТ в предтестовом и посттестовом интервалах (по 1 ОИ на ритм, координаты “семян” указаны в табл. 1). Извлекали ОИ из разностных карт: пост-/предтестовых изменений, образных тестовых/предтестовых изменений, вербальных тестовых/предтестовых изменений. Для дальнейшего корреляционного анализа были взяты средние оценки ПИТ для каждой из выделенных ОИ (далее они обозначаются как “значения для ОИ”); всего было получено 24 (8 ритмов * 3 разностных карты) значений ПИТ в ОИ, по одной для каждого частотного диапазона и разностной карты.

Статистический анализ проводили с помощью статистического непараметрического картирования (*statistical nonparametrical mapping, SnPM*), реализованного в программе *LORETA*. *SnPM* относится к непараметрическим методам, поэтому не требует допущения в нормальном распределении. Эта методология основана на эмпирической оценке вероятности распределения данных и использует перестановочное тестирование. Коррекцию множественных сравнений (для всех вокселей и частот) проводили с помощью непараметрического метода Холмса [23]. Во всех случаях использовали 5000 перестановочных тестов.

При анализе значений для ОИ использовали корреляционный анализ Пирсона в программе *STATISTICA10*. Во всех видах корреляций для коррекции множественных сравнений был применен метод контроля ложных эффектов (*false discovery rate, FDR*) [24]. Тест Колмогорова-Смирнова использовали для проверки гипотезы, о соответствии распределения показателей беглости и оригинальности нормальному.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнения изменений значений ПИТ во время выполнения образных, вербальных задач и значений посттестовой ЭЭГ с предтестовыми показателями. Вначале провели повоксельный анализ значений ПИТ с целью выявить те области коры мозга, в которых присутствуют значимые различия между посттестовым и предтестовым интервалами. По данным табл. 2 выявлено значимое увеличение значений ПИТ в посттестовой ЭЭГ, по сравнению с предтестовой с преимущественной локализацией в париетально-окципитальных и темпоральных областях.

Затем исследовали, присутствовали ли посттестовые изменения ЭЭГ в тех областях, которые были задействованы при решении образной или вербальной задач. С этой целью дополнительно вычислили два контраста ПИТ: образного тестового и предтестового интервалов, а также вербального тестового и предтестовых интервалов. Результаты обоих сравнений представлены в табл. 1. Для образной задачи, значения ПИТ во время задания были выше, по сравнению с предтестовым интервалом в широком диапазоне частот с преимущественной локализацией в задних областях мозга. Для вербальной задачи, значения ПИТ во время задания были выше, по сравнению с предтестовым интервалом только в Δ -ритме в кластере, центрированном в левой темпоральной коре.

В совокупности эти результаты свидетельствуют о том, что активность мозга во время образной задачи, вероятно, оставляет последствие в посттестовой ЭЭГ. Чтобы проверить это предположение, дополнительно сравнили пост-/предтестовые изменения ПИТ с образными тестовыми/предтестовыми изменениями ПИТ и вербальными тестовыми/предтестовыми изменениями. Значения образных тестовых/предтестовых изменений ПИТ были выше, чем значения пост-/предтестовых изменений ПИТ, во всех частотных диапазонах и областях. Значения вербальных тестовых/предтестовых изменений ПИТ были ниже, чем значения пост-/предтестовых изменений ПИТ, во фронтальной области в Δ - β_1 -ритмах и в передних и задних областях в β_2 - γ -ритмах. Таким образом, показано недифференцированное снижение значений пост-/предтестовых изменений ПИТ, по сравнению с образными тестовыми/предтестовыми изменениями ПИТ.

Анализ корреляций между значениями выделенных ОИ. Анализ корреляции между значениями для ОИ, извлеченными из разностных карт посттестовых/предтестовых изменений, и значениями для ОИ, извлеченными из разностных карт тестовых/предтестовых изменений для вербальной и образной задач, был проведен отдельно для каждого ритма (табл. 3). Для образных тестовых/предтестовых изменений были выявлены положительные корреляции с посттестовыми/предтестовыми изменениями в Δ ($r = 0.44$, $p = 0.018$)-, θ ($r = 0.5$, $p = 0.002$)-, α_3 ($r = 0.46$, $p = 0.013$)-, β_2 ($r = 0.65$, $p = 0.000$)- и γ ($r = 0.65$, $p = 0.000$)-ритмах. Для соответствующих корреляций вербальных тестовых/предтестовых изменений только одна корреляционная связь достигла уровня статистической значимости, а именно, в β_1 -ритме ($r = 0.51$, $p = 0.005$).

Для дальнейшего корреляционного анализа ассоциаций между ЭЭГ-показателями и поведенческими индикаторами были выбраны данные

Таблица 1. Области, в которых выявлены статистически значимые различия между значениями ПИТ во время решения задач и в предтестовый интервал

Ритм	Доли (воксели)	Размер кластера	Воксель с максимальными различиями (структура)	X, Y, Z	t	$p_{\max} (corr)$
Образная задача и предтестовый интервал						
Δ	Фронтальная (1670), Париеальная (914), Окипитальная (713), Темпоральная (593), Limbic lobe (247)	4157	Угловая извилина (ПБ 39)	45, -75, 30	8.4	0.0002
θ	Париеальная (503), Окипитальная (406), Фронтальная (221), Темпоральная (45)	1175	Постцентральная извилина (ПБ 7)	-5, -55, 70	6.67	0.0003
α_1	Париеальная (329), Окипитальная (297), Фронтальная (143)	792	Предклинье (ПБ 7)	-5, -80, 50	6.2	0.0003
α_2	Париеальная (379), Окипитальная (325), Фронтальная (188)	913	Постцентральная извилина (ПБ 5)	-5, -50, 70	6.39	0.0003
α_3	Париеальная (406), Окипитальная (342), Фронтальная (205), Темпоральная (31)	985	Верхняя париеальная доля (ПБ 7)	-15, -75, 55	6.27	0.0003
β_1	Париеальная (771), Фронтальная (739), Окипитальная (587), Темпоральная (194)	2314	Клин (ПБ 19)	20, -90, 35	7.74	0.0002
β_2	Париеальная (606), Окипитальная (543), Фронтальная (528), Темпоральная (137)	1818	Угловая извилина (ПБ 39)	40, -80, 30	7.13	0.0003
γ	Париеальная (627), Фронтальная (610), Окипитальная (550), Темпоральная (130)	1922	Клин (ПБ 19)	20, -90, 35	7.1	0.0003
Вербальная задача и предтестовый интервал						
Δ	Левая Фронтальная (183), левая Темпоральная (172)	391	Средняя темпоральная извилина (ПБ 21)	-50, 5, -40	3.99	0.0006

Таблица 2. Области, в которых выявлены статистически значимые различия между значениями ПИТ в посттестовый и предтестовый интервалы

Ритм	Доли (воксели)	Размер кластера	Воксель с максимальными различиями (структура)	X, Y, Z	t	$p_{\max}$ (corr)
Δ	Париетальная (998), Фронтальная (991), Темпоральная (459), Окципитальная (378)	2850	Прецентральная извилина (ПБ 4)	-25, -30, 70	6.17	0.0002
θ	Париетальная (312)	376	Постцентральная извилина (ПБ 1)	-35, -35, 70	4.26	0.003
α_1	Париетальная (150)	157	Предклинье (ПБ 7)	5, -65, 65	4.25	0.003
α_2	Париетальная (225)	282	Предклинье (ПБ7)	-10, -80, 50	4.17	0.003
α_3	Париетальная (27)	27	Вехняя париетальная доля (ПБ 7)	30, -70, 55	3.7	0.019
β_1	Темпоральная (84), Окципитальная (81)	185	Средняя окципитальная извилина (ПБ 19)	45, -80, 5	4.2	0.003
β_2	Темпоральная (233), Окципитальная (116), Фронтальная (108), Париетальная (54)	512	Средняя темпоральная извилина (ПБ 21)	70, -25, -10	4.9	0.006
γ	Окципитальная (256), Фронтальная (526), Париетальная (31)	1420	Средняя темпоральная извилина (ПБ 21)	70, -25, -10	5.56	0.0004

только тех 6 ОИ, для которых выше показаны значимые корреляции. Значения для ОИ, извлеченные из образных тестовых/предтестовых изменений в α_3 -ритме, положительно коррелировали с образной оригинальностью ($r = 0.48, p = 0.008$), значения для ОИ, извлеченные из образных те-

стовых/предтестовых изменений в Δ ($r = -0.54, p = 0.002$)- и θ ($r = -0.46, p = 0.012$)-ритмах, отрицательно коррелировали с образной беглостью. Значимые корреляции между показателями эффективности и значениями для ОИ, извлеченными из образных тестовых/предтестовых изменений в β_2 - и γ -ритмах, и вербальных тестовых/предтестовых изменений в β_1 -ритме, отсутствовали.

Таблица 3. Корреляции между значениями ОИ пост-/предтестовых изменений и значениями ОИ образных тестовых/предтестовых изменений и вербальных тестовых/предтестовых изменений в Δ - γ частотных диапазонах

Ритм	Образная		Вербальная	
	r	p	r	p
Δ	0.436	0.018*	0.189	0.326
θ	0.546	0.002*	0.063	0.747
α_1	0.261	0.171	0.191	0.32
α_2	0.37	0.048	0.165	0.393
α_3	0.458	0.013*	0.281	0.138
β_1	0.289	0.128	0.51	0.005*
β_2	0.649	0.000*	0.299	0.114
γ	0.643	0.000*	0.18	0.35

Примечание: * — корреляции значимы после контроля ложных эффектов (жирный шрифт). Образная — образные тестовые/предтестовые изменения. Вербальная — вербальные тестовые/предтестовые изменения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В проведенной работе впервые исследовано, после решения какого типа креативных задач, образного или вербального, остаются более выраженные изменения фоновой активности мозга у людей старшего возраста. Выявлено значимое увеличение ПИТ от предтестового к посттестовому интервалу для всех анализируемых ритмов с локализацией максимальных различий в задних областях мозга. В совокупности, полученные результаты позволяют предположить, что пост-/предтестовые различия в большей степени ассоциируются с ЭЭГ-изменениями, индуцируемыми образной задачей. Во-первых, при выполнении образной задачи наблюдается увеличение ПИТ в широкой полосе частот, по сравнению с предтестовым интервалом, наиболее выраженное в париетально-окципитальной коре. Выявленный паттерн пост-/предтестовых изменений ПИТ был похож на паттерн образных тестовых/предтестовых изменений ПИТ, но не на паттерн вербаль-

ных тестовых/предтестовых изменений. Чтобы подтвердить это предположение, дополнительно сравнили пост-/предтестовые изменения ПИТ с тестовыми/предтестовыми изменениями ПИТ. Обнаружено топографически недифференцированное глобальное уменьшение пост-/предтестовых изменений ПИТ, по сравнению с образными тестовыми/предтестовыми изменениями ПИТ, что свидетельствует о сохранении пространственного паттерна ЭЭГ-активности, сформировавшегося во время решения образной задачи, в посттестовом интервале в менее выраженной форме. В то же время, различия между пост-/предтестовыми изменениями ПИТ и вербальными тестовыми/предтестовыми изменениями ПИТ имели топографическую специфику и не соответствовали паттерну изменений, установленному в посттестовом интервале. Во-вторых, величина пост-/предтестовых изменений ПИТ коррелировала с величиной тестовых/предтестовых изменений ПИТ в областях интереса в Δ -, θ -, α_3 -, β_2 -, γ -ритмах для задач образной природы и только в β_1 -ритме для вербальных задач, что означает широко распространенные ассоциации между ЭЭГ-активностью во время выполнения образной задачи и посттестовой активностью. Положительный характер корреляций согласуется с нашей предыдущей гипотезой, что паттерн ЭЭГ-активности, сформировавшийся во время решения образных задач, присутствует в менее выраженной форме в посттестовом интервале. Полученные результаты в большой степени согласуются с предыдущими работами, показавшими, что краткосрочная когнитивная активность может оставлять последствие в посттестовой ЭЭГ, которое повторяет частотно-пространственную специфику активности во время выполнения предшествующих заданий [12, 15].

Корреляции между значениями ПИТ и показателями эффективности выполнения креативных задач показывают, что для образной задачи изменения ПИТ от предтестового к тестовому интервалу в пределах ОИ в Δ -, θ -, α_3 -ритмах отражают специфичные для креативности аспекты выполнения задания. Широко распространенное увеличение активности на частоте Δ -ритма во время креативного мышления связывают со следованием правилам, по сравнению с преодолением правил [25].

В свою очередь, θ -синхронизация отражает задействование процессов памяти [26]. На основании этого можно предположить, что при решении образной креативной задачи негативная корреляция между увеличением мощности ЭЭГ на частоте θ -ритма и беглостью свидетельствует, что стратегии, основанные на извлечении информации из памяти, требуют большего времени для решения, что может приводить к пропускам неко-

торого количества ответов в условиях временных ограничений (т.е. меньшему количеству решений). Семантические ассоциативные и исполнительные процессы, которые вносят вклад в образную креативность, связаны с увеличением α -ритма в задних областях мозга [27], что отражает активное подавление сенсорной информации во время внутренне направленных мыслительных операций [28]. Выявленная в настоящем исследовании положительная корреляция между увеличением α -ритма во время выполнения образной креативной задачи и образной оригинальностью, может указывать на значимость семантических процессов (зрительные репрезентации семантических концептов), а также процессов оценивания и усовершенствования, которые требуют большего торможения восходящей сенсорной информации. Эти аспекты креативного мышления могут быть особенно выражены у пожилых людей, поскольку основываются на более сохраненных в старшем возрасте вербальных способностях.

Что касается пространственных особенностей выявленных паттернов ЭЭГ-активности, образная задача вызывает изменения в активности мозга и оставляет выраженное последствие в посттестовый интервал с преимущественной локализацией эффектов в париетально-окципитальных и темпоральных областях, которые отвечают за зрительно-пространственную обработку [6]. Это интересный факт, учитывая хорошо известное ухудшение этих способностей при старении [8]. Можно предположить, что решение креативных образных задач оставляет более выраженный след связанной с деятельностью нейропластичности (по сравнению с вербальной задачей) в результате вовлечения более подверженных возрастному снижению зрительно-пространственных способностей.

ВЫВОДЫ

1. Значения ПИТ фоновой ЭЭГ увеличились от предтестового к посттестовому интервалу в Δ - γ -ритмах с локализацией максимальных эффектов в париетально-окципитальной коре.
2. Выявлено увеличение ПИТ от предтестовой к тестовой ЭЭГ в широком диапазоне частот с максимальной локализацией в правой париетальной и окципитальной коре при выполнении образного креативного задания и в левой темпоральной области на частоте Δ -ритма — при выполнении вербального.
3. По сравнению с изменениями, вызванными решением образной задачи, различия между посттестовым и предтестовым интервалами демонстрировали топографически недифференцированное снижение ПИТ во всех ритмах, что указы-

вает на сохранение топографического паттерна активности, сформировавшегося во время решения образной задачи, в посттестовой ЭЭГ.

4. Выявлены положительные корреляции между ЭЭГ-активностью во время выполнения образной задачи и в посттестовом интервале в пределах ОИ в Δ -, θ -, α_3 -, β_2 - и γ -ритмах и только в β_1 -ритме для вербальной задачи, что подтверждает большее сходство паттернов ЭЭГ-активности, сформировавшихся во время решения образной задачи и в посттестовой ЭЭГ.

5. Различия между изменениями ПИТ от предтестового к посттестовому интервалу и изменениями ПИТ от предтестового к вербальному тестовому интервалу имели топографическую специфику и не соответствовали паттерну изменений, установленному в посттестовом интервале.

6. Полученные результаты свидетельствуют о том, что решение образных креативных задач оставляет более выраженный след в ЭЭГ, регистрируемой после выполнения заданий.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Научно-исследовательского института нейронаук и медицины (Новосибирск).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Работа выполнена за счет средств федерального бюджета на проведение ФНИ (тема № АААА-А16-116021010228-0, регистрация ЭЭГ), гранта РФФИ и Правительства Новосибирской области (№ 19-415-543009, анализ ЭЭГ-данных, написание статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sala G., Gobet F. Cognitive Training Does Not Enhance General Cognition // *Trends Cogn. Sci.* 2019. V. 23. № 1. P. 9.
2. Beaty R.E., Benedek M., Silvia P.J., Schacter D.L. Creative Cognition and Brain Network Dynamics // *Trends Cogn. Sci.* 2016. V. 20. № 2. P. 87.
3. Fancourt D., Steptoe A. The art of life and death: 14 year follow-up analyses of associations between arts engagement and mortality in the English Longitudinal Study of Ageing // *BMJ.* 2019. V. 367. P. 16377.
4. Ho A.H.Y., Ma S.H.X., Ho M.R. et al. Arts for ageing well: a propensity score matching analysis of the effects of arts engagements on holistic well-being among older Asian adults above 50 years of age // *BMJ Open.* 2019. V. 9. № 11. P. e029555.
5. McGreevy J. Arts-based and creative approaches to dementia care // *Nurs. Older People.* 2016. V. 28. № 1. P. 20.
6. Gansler D.A., Moore D.W., Susmaras T.M. et al. Cortical morphology of visual creativity // *Neuropsychologia.* 2011. V. 49. № 9. P. 2527.
7. Zhu F., Zhang Q., Qiu J. Relating inter-individual differences in verbal creative thinking to cerebral structures: an optimal voxel-based morphometry study // *PloS One.* 2013. V. 8. № 11. P. e79272.
8. Techentin C., Voyer D., Voyer S.D. Spatial abilities and aging: a meta-analysis // *Exp. Aging Res.* 2014. V. 40. № 4. P. 395.
9. Ferré P., Benhajali Y., Steffener J. et al. Resting-state and Vocabulary Tasks Distinctively Inform On Age-Related Differences in the Functional Brain Connectome // *Lang. Cogn. Neurosci.* 2019. V. 34. № 8. P. 949.
10. Salthouse T.A. Trajectories of normal cognitive aging // *Psychol. Aging.* 2019. V. 34. № 1. P. 17.
11. Lewis C.M., Baldassarre A., Comitteri G. et al. Learning sculpts the spontaneous activity of the resting human brain // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009. V. 106. № 41. P. 17558.
12. Moissello C., Meziane H.B., Kelly S. et al. Neural activations during visual sequence learning leave a trace in post-training spontaneous EEG // *PloS One.* 2013. V. 8. № 6. P. e65882.
13. Henz D., Schöllhorn W.I. Differential training facilitates early consolidation in motor learning // *Front. Behav. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 199.
14. Henz D., John A., Merz C., Schöllhorn W.I. Post-task effects on EEG brain activity differ for various differential learning and contextual interference protocols // *Front. Hum. Neurosci.* 2018. V. 12. P. 19.
15. Hung C.S., Sarasso S., Ferrarelli F. et al. Local experience-dependent changes in the wake EEG after prolonged wakefulness // *Sleep.* 2013. V. 36. № 1. P. 59.
16. Li W., Li G., Ji B. et al. Neuroanatomical correlates of creativity: evidence from voxel-based morphometry // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 155.
17. Sparing R., Mottaghy F.M., Ganis G. et al. Visual cortex excitability increases during visual mental imagery – a TMS study in healthy human subjects // *Brain Res.* 2002. V. 938. № 1–2. P. 92.
18. Privodnova E.Y., Volf N.V., Knyazev G.G. The evaluation of creative ideas in older and younger adults: A view from sLORETA study // *J. Psychophysiol.* 2020. V. 34. № 1. P. 19.
19. Razumnikova O.M., Volf N.V., Tarasova I.V. Creativity associated beta2-oscillations in men and women / *Advances in biomedical research. Proceedings of the International Conference on Medical physiology (PHYSIOLOGY \10): University of Cambridge, UK, 2010.* P. 229.
20. Pascual-Marqui R.D. Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details // *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 2002. V. 24(Suppl D). P. 5.

21. Scally B., Burke M.R., Bunce D., Delvenne J.F. Resting-state EEG power and connectivity are associated with alpha peak frequency slowing in healthy aging // *Neurobiol. Aging*. 2018. V. 71. P. 149.
22. Doppelmayr M., Klimesch W., Pachinger T., Ripper B. Individual differences in brain dynamics: Important implications for the calculation of event-related band power // *Biol. Cybern.* 1998. V. 79. P. 49.
23. Holmes A.P., Blair R.C., Watson J.D., Ford I. Nonparametric analysis of statistic images from functional mapping experiments // *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1996. V. 16. № 1. P. 7.
24. Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing // *J. R. Stat. Soc. Series B Stat. Methodol.* 1995. V. 57. № 1. P. 289.
25. Boot N., Baas M., Mühlfeld E. et al. Widespread neural oscillations in the delta band dissociate rule convergence from rule divergence during creative idea generation // *Neuropsychologia*. 2017. V. 104. P. 8.
26. Kerrén C., Linde-Domingo J., Hanslmayr S., Wimber M. An Optimal Oscillatory Phase for Pattern Reactivation during Memory Retrieval // *Curr Biol.* 2018. V. 28. № 21. P. 3383.e6.
27. Rominger C., Papousek I., Perchtold C.M. et al. The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration // *Neuropsychologia*. 2018. V. 118(Pt A). P. 13.
28. Luft C.D.B., Zioga I., Thompson N.M. et al. Right temporal alpha oscillations as a neural mechanism for inhibiting obvious associations // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2018. V. 115. № 52. P. E12144.

Figural Creative Task Sculpts the Baseline Resting-State EEG in Older Adults (Pilot Study)

E. Yu. Privodnova^{a, b, *}, N. V. Volf^{a, b, **}

^a*Scientific Research Institute of Neuroscience and Medicine, Novosibirsk, Russia*

^b*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Novosibirsk, Russia*

*E-mail: privodnovaeu@physiol.ru

**E-mail: volf@physiol.ru

Creative engagement has a neuroprotective effect in later life. One of the key factors, which contribute to this inspiring effect, is cognitive stimulation via creative ideation. Underlying neuronal mechanism is task-induced neuroplasticity, which may manifests as use-dependent post-performance changes in the brain areas involved in the task. Two main types of creativity, figural and verbal, rely consequently on visual-spatial and semantic processes that show different trajectories of age-related change. In order to identify which type of creative task leaves more pronounced post-task traces in the resting-state electroencephalographic (EEG) activity in older adults, we recorded EEG in 29 elderly (64 ± 6 years) high-functioning subjects before, during and after performance of 30 verbal and 30 figural tasks. Current source density (CSD) estimates and subsequent statistical contracts using statistical non-parametrical mapping were calculated via LORETA. CSD increased from pre-task to post-task interval in delta-gamma rhythms, most prominent in parietal-occipital regions (regions of interest, ROIs). CSD increase was also induced during figural (not verbal) task performance. In comparison with figural task, topographically undifferentiated decrease of CSD was identified in post-task activity suggesting preservation of the pattern, originated during figural task, in the post-task EEG in a less pronounced form. Additionally, multiple positive correlations between EEG activity during figural task (and in post-task interval within ROIs) were found. The results indicate that figural creative task leaves more pronounced post task traces, than verbal task, suggesting that figural tasks are challenging to further examinations as cognitive training in older adults.

Keywords: aging, figural creativity, divergent thinking, post-task traces, EEG.