

УДК 612.821

ДИНАМИКА ЧАСТОТНОЙ СТРУКТУРЫ ЭЭГ ВО ВРЕМЯ ЭСКИЗИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И ВЫПОЛНЕНИЯ НЕВЕРБАЛЬНЫХ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ХУДОЖНИКОМ: ЛОНГИТЮДНОЕ CASE STUDY

© 2022 г. Н. В. Шемякина¹ *, Ю. Г. Потапов², Ж. В. Нагорнова¹

¹ИФГБУН институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

²“Мансарда художников”, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: natalia.shemyakina@iephb.ru

Поступила в редакцию 06.06.2022 г.

После доработки 08.06.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В работе представлено лонгитюдное исследование с участием профессионального художника (пятидесятилетний опыт живописи с начала обучения). Записано двенадцать многочасовых сессий ЭЭГ в экологических условиях рисования/живописи. В статье приводится разработка подходов к исследованию нейрофизиологических характеристик художественного творчества методом ЭЭГ. Представлены результаты динамики частотной структуры ЭЭГ по сессиям эскизирования (не менее 20 мин каждая, в разные дни), регистрациям фоновых состояний (глаза открыты/закрыты) и при выполнении невербальных заданий, используемых в нейрофизиологических исследованиях творческой деятельности. Экологические условия рисования были реализованы с использованием 19-канальной мобильной ЭЭГ-системы: *SmartBCI* (ООО Мицар, Россия). Для анализа частотной структуры ЭЭГ в каждом отведении длительности интервалов ЭЭГ (мс) между точками на пересечениях изолинии были преобразованы в частоты с шагом в 1 Гц, рассчитывали процентное содержание волн каждой частоты. При выполнении классического задания на исследование невербальной творческой деятельности – теста Торренса наблюдалась ббольшая представленность θ -частот в сравнении с выполнением контрольной задачи – рисование названных объектов. В условиях свободного, экологического эскизирования выявлен более высокий процент θ - (5–6 Гц) и α -частот (12–13 Гц) в лобных зонах коры, а также δ -, θ - и α -частот (2–5, 6–7 Гц и 8–9, 12–13 Гц) в теменных зонах коры в сравнении с контрольной задачей (рисование линий). При анализе фоновых состояний до и после сессий исследований не было выявлено комплекса физиологической усталости, отмечалось уменьшение процента частот θ -диапазона ЭЭГ. Субъективные оценки самочувствия, активности, настроения также не выявили признаков усталости после сессий рисования и живописи. Полученные индивидуальные данные подтверждают значимость динамики частот θ -диапазона ЭЭГ как в контролируемых условиях рисования (тест Торренса), так и в условиях экологического, свободного эскизирования и, предположительно, связаны с загрузкой образной памяти художника. Согласно литературным данным у профессионалов участие образной памяти выражено сильнее. В исследованных индивидуальных данных явно проявились отличия выполнения творческой задачи уже в контролируемых условиях теста Торренса. Точность классификации многоминутной ЭЭГ (разделение на 2-секундные фрагменты) для трех классов (творчество, контроль, открытые глаза) составила 66.9% при использовании классификатора на основе машины опорных векторов (Гауссовская радиальная базисная функция) при теоретическом пороге случайной классификации 33.3%.

Ключевые слова: ЭЭГ, художественное творчество, невербальные задания, частотная структура ЭЭГ, экологическое исследование, метод опорных векторов, классификация.

DOI: 10.31857/S0131164622700096

Творческая деятельность – один из самых высокоорганизованных типов человеческой активности, исключительно сложный для исследования, но регулярно привлекающий внимание исследователей [1]. Творчество можно определить, как способность человека генерировать новые,

необычные идеи, отклоняться в мышлении от стереотипов и традиционных схем и быстро решать проблемные задачи [2]. Ранее проведенные нами исследования вербальной творческой деятельности [3–6] были сконцентрированы на изучении мозгового обеспечения творческой дея-

тельности непрофессионалов, т.е. обычных людей, не имеющих опыта в искусстве. Испытуемым предлагались задачи, которые они могли решить вне зависимости от того, есть или нет у них опыт художественного образования и деятельности.

В данной работе представлено лонгитюдное “*case study*” или “*single subject study*” с участием профессионального художника, имеющего многолетний опыт в искусстве и живописи.

Искусство – многофункциональный язык общения создателя и зрителя. Искусство вызывает у зрителя эстетическое восприятие, радость, веселье, иногда – компенсацию недовольства жизнью, новые знания и инсайты. Эмоциональная и адаптационная роль искусства обсуждается как для создателя, так и для реципиента [7–9] и в этой ситуации, возможно, возникновение состояний, которые могут быть специфическими для художника во время работы. Вместе с тем, мы ожидали появления и таких нейрофизиологических характеристик, которые свойственны обычным людям при невербальной творческой деятельности [6, 10].

На данный момент статьи о нейрофизиологии художественного творчества, в большом объеме представлены сравнительными работами – художник/не художник; есть/нет художественное образование, мужчины и женщины и т.д. в контролируемых условиях психофизиологического эксперимента.

Выявленными особенностями ЭЭГ художников являются: менее выраженное во время мысленного придумывания рисунка (относительно состояния покоя) уменьшение амплитуды $\alpha 1$ - (7.5–9 Гц) и $\alpha 2$ - (9.5–12.5 Гц) ритмов ЭЭГ, чем у не-художниц [11]; более высокие показатели фазовой синхронности в δ -диапазоне ЭЭГ при мысленном представлении картин у художниц по сравнению с не-художницами [12]; в этом же исследовании у художниц наблюдались меньшие значения фазовой синхронности в α -диапазоне ЭЭГ при представлении и при рассмотрении картин по сравнению с не-художницами, отмечалась характерная для художниц межполушарная асимметрия с большими значениями синхронности ЭЭГ (в большинстве диапазонов) в правом полушарии [12].

В исследовании другого года [13] у художниц, во время мысленного придумывания картины (относительно состояния спокойного бодрствования), наблюдалось увеличение и короткодистантных и длиннодистантных связей δ -ритма ЭЭГ, в то время как у не художниц – было выявлено увеличение короткодистантных взаимодействий в β - и γ -диапазонах ЭЭГ в лобных зонах коры. Бóльшее значение синхронизации в δ -диапазоне ЭЭГ у художниц по сравнению с “непрофессионалами”, авторы связывают с развитой зрительной долговременной памятью. Интегральная оценка

синхронности ЭЭГ (показатель универсальности) при воображении картин была более выражена, чем при восприятии картин художницами и проявлялась сильнее, чем у не-художников [14].

При сложном пространственном воображении (создании образов из предложенных графических элементов), когда число элементов значительно превышает объем одновременно удерживаемых в памяти единиц – у испытуемых с профессиональной художественной подготовкой в правом полушарии наблюдались бóльшие значения пространственной неупорядоченности в сравнении с “непрофессионалами”, а у “непрофессионалов” – были бóльшими значения пространственной синхронизации преимущественно в задних областях коры [15, 16]. При этом мощность и когерентность ЭЭГ у “профессионалов” увеличивалась в бóльшем числе узкочастотных поддиапазонов.

В этом исследовании авторы предположили, что активация “правые лобные – левые затылочные области” отражает эффективное образное мышление, а активация только задних областей – наблюдается при меньшей эффективности образного мышления. Эффективность образного мышления, в свою очередь, может зависеть от индивидуальных свойств личности и профессиональной подготовки.

По данным фМРТ у художников во время обдумывания сюжета картины выше функциональная коннективность между сетью пассивного режима работы мозга и управляющей сетью, чем у не-художников, хотя общее увеличение функциональной связности между этими регионами наблюдается в обеих группах [17]. В фМРТ-исследовании творческого процесса у профессиональных и непрофессиональных дизайнеров было показано, что оригинальность продукта количественно коррелировала со степенью доминирования активности правой префронтальной коры над левой, но не с активностью в правой или левой префронтальной коре. Кроме того, профессиональное образование, по-видимому модулировало активность в левой теменной области [18].

В большом структурном МРТ-исследовании было показано, что креативность в области искусства (*artistic creativity*), оцененная при помощи опросника творческих достижений, отрицательно коррелировала с объемом серого вещества (*supplementary motor area*) в дополнительных моторных областях и передней поясной коре (*anterior cingulate cortex*) [19]. В мета-анализе фМРТ-исследований творческого мышления в различных областях (художественное, музыкальное, литературное творчество) [20] были выделены общие кластеры в пре-дополнительных моторных областях, левой дорзолатеральной префронтальной коре и правой нижней лобной извилине. художе-

ственное творчество вовлекает активность в левой веретенообразной извилине, предклинье левого полушария, правой парагиппокампальной извилине и правой средней лобной извилине по сравнению с музыкальным творчеством. При этом уникальных различий между художественным и литературным творчеством выявлено не было, предполагая близость их нейрокогнитивных систем.

Большинство представленных исследований проводятся в контролируемых лабораторных исследованиях. Вместе с тем, технические возможности в настоящее время позволяют проводить исследования в экологических условиях — когда человек занимается исследуемой деятельностью без ограничений, накладываемых лабораторией [21–23]. Во многих исследованиях, нейрофизиологические характеристики деятельности, полученные в реальных условиях, отличались от таковых, смоделированных в условиях лаборатории [24]. Для исследований состояний, связанных с художественной творческой деятельностью, регистрация нейрофизиологических показателей в “экологических условиях” может быть особенно актуальной, так как позволяет охватить все стадии реального творческого процесса, без ограничения времени и установленных рамок, и учесть влияние внешнего окружения [25]. Определенные преимущества имеет и формат *case study*, который позволяет исследовать характеристики художественного творчества с учетом индивидуальных психологических характеристик человека.

МЕТОДИКА

В исследовании принимал участие профессиональный художник (*JP*, возраст 56 лет) — он же соавтор и разработчик методики исследования, общий стаж художественной деятельности с момента начала обучения — более пятидесяти лет. Мы наладили сотрудничество с *JP*, чтобы определить соответствующий подход к изучению художественного творчества с позиций художника и разработать подходы к изучению этапов художественного творчества и состояний художников во время работы. Сбор данных (ЭЭГ, видео, аудио) был предварительно согласован с *JP* и подтвержден информированным согласием. При разработке данного исследования мы экстраполировали ряд подходов, использованных в *case study/single subjects study* [26].

На момент проведения исследования, участник был здоров, не имел в анамнезе неврологических и тяжелых соматических заболеваний, не проходил медикаментозную терапию.

В работе решали несколько задач — разработка/формирование экологической процедуры и самоотчетов исследования художественного твор-

чества с учетом опыта и описания состояний, характерных для работы художника, смысловых переходов в работе. И, собственно, проведение и корректировка процедур исследования. В данной работе приводится только один из этапов художественного творчества — эскизирование. Дополнением к этому исследованию является сопоставление ЭЭГ-характеристик при выполнении творческой задачи на основе теста Торренса и контрольных к ней задач в модельных условиях.

Психологическое исследование. В рамках лонгитюдного исследования испытуемый выполнял ряд психологических заданий, включавших оценку уровня: рабочей памяти (10 слов), скорости мышления (тест Рыбакова), интеллектуальной лабильности (в адаптации Волковой), когнитивной (прогрессивные матрицы Равена) и творческой деятельности (тест Торренса, Тест отдаленных ассоциаций Медника), а также тест на выявление полезависимости/полнезависимости.

Для дополнения картины личностных качеств испытуемого, возможно, связанных с творческой деятельностью, *JP* заполнял опросники Т. Элерса и Г. Шуберта для выявления доминирующей мотивации (избегание неудач, ориентация на успех, склонность к риску). Также мы использовали шкалу “Стратегии регулирования эмоций при художественной творческой деятельности” (*ERS-ACA*).

Дополнительно, на разных стадиях художественной деятельности испытуемый оценивал субъективную минуту и/или должен был определить время нахождения в процессе. Способность деятельности исказить восприятия времени — одна из черт, способствующих возникновению состояния потока по *M. Csikszentmihalyi* [27]. Для общего контроля и самоотчета о состоянии, испытуемый заполнял опросник САН (состояние, активность, настроение) до и после художественных сессий.

Результаты психологических тестов и опросников оценивали согласно стандартным процедурам. Тест Торренса (завершение эскизов) и контрольное к нему задание (рисование заданных объектов — стул, стол и т.д.) выполняли одновременно с регистрацией ЭЭГ. Для количественной оценки показателей креативности (оригинальности, беглости и гибкости) использовали компьютеризированные методики (база данных, Новосибирск), согласно которым оригинальность вычисляли как число обратное количеству таких же идей согласно предварительно созданной базе данных [28], а гибкость — как число образов из разных семантических категорий, беглость представляла количество рисунков.

Разработка подходов к экологическому исследованию художественного творчества. Художественные сессии состояли из последовательных видов

естественной для художника деятельности: этап “мысленного блуждания” и выбора темы и возможной композиции, этап эскизирования в альбоме (до момента, когда выстраивалась или наоборот заходила в тупик композиция), далее происходил выбор фрагмента эскиза для переноса на холст. Следующий этап – перенос эскиза на холст и снова оценка композиции, формирование основы цветового решения картины (обобщающие цветовые решения), работа с подмалевком и далее: многократно “возвратные” этапы работы на холсте с композицией, просмотр изображения и работа с цветом и т.д. Завершающим всегда был этап просмотра результатов работы за сессию и оценка произведения.

До и после, а также в качестве разграничения некоторых этапов деятельности и оценки функционального состояния проходила регистрация фоновых состояний ЭЭГ – глаза открыты/закрыты (± 3 мин каждая). В один из перерывов художественной сессии проводили задание с выполнением условно контрольной задачи.

Самоотчет испытуемого был представлен двумя частями: первая являлась самоотчетом по текущей работе (оценивалась по 10-балльной шкале для описанного явления) и предполагала оценку – увлеченности, внимания, эмоций, наличия посторонних мыслей, сложности решаемой задачи, возникновения состояния потока, инсайтов и др; вторая – итоговым самоотчетом для отдельной художественной сессии (одного дня). Этот вариант самоотчета проводился после просмотра произведения и сопровождался ретроспективной оценкой состояний, которые художник испытывал во время рисования, а также тех состояний, которые хотелось бы передать зрителю. Оценку вели по разработанной биполярной шкале, включавшей 12 полярных состояний (пример: радость–уныние, удовольствие–раздражение, страх–уверенность и т.д.).

Регистрация ЭЭГ. ЭЭГ регистрировали при помощи мобильного электроэнцефалографа “SmartBCF” (ООО “Мицар”, Россия) монополярно от 19 отведений, расположенных на голове по системе 10–20% в полосе пропускания DC–150 Гц с режекторными фильтрами 45–55 и 95–105 Гц, частота дискретизации 250 Гц. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм. Референтами служили ушные электроды, заземляющий электрод находился в передней части головы (между электродами Fz и Fpz). Регистрацию и анализ данных проводили при помощи программного пакета *WinEEG* (Патент Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д., № государственной регистрации 2001610516 от 08.05.2001) Сопротивление электродов контролировали через каждые 40 мин записи. Регистрацию ЭЭГ проводили непрерывно, захватывая различные этапы творческой деятельности в те-

чение одной сессии (4–6 ч). Вместе с тем, для анализа рассматривали только данные этапа эскизирования и сопоставимых с ними состояний выполнения задания Торренса (эскизы), а также контрольной к нему задачи.

Предобработка ЭЭГ. ЭЭГ анализировали в частотной полосе 1.5–30 Гц. ЭЭГ, записанные в разные дни мониторинга, сортировали исходя из соответствия разным этапам творческого процесса и контрольной деятельности. В ЭЭГ-записях артефакты, связанные с движением глаз, удаляли при помощи обнуления соответствующих независимых компонент [29–32]. Далее автоматически помечали и исключали из дальнейшего анализа фрагменты с медленными волнами (0–1 Гц с амплитудой больше 50 мкВ), быстрыми волнами (20–35 Гц с амплитудой выше 35 мкВ), фрагменты ЭЭГ с амплитудой сигнала больше 100 мкВ [29, 33]. Качество удаления артефактов контролировали визуальным анализом.

Анализ частотного состава ЭЭГ. Анализ частотного состава ЭЭГ проводили при помощи программы, разработанной сотрудником ИЭФБ РАН С.С. Бекшаевым [34, 35]. Для оценки частотной структуры на каждом ЭЭГ отведении, измеряли длительности интервалов между точками пересечения изолинии кривой ЭЭГ. Длительности интервалов между точками пересечения изолинии (мс) были преобразованы в частоты (Гц). Ритмические компоненты ЭЭГ (частоты) усреднялись с шагом в 1 Гц. Представленность частот выражали как процент волн каждой частоты относительно общего числа зарегистрированных волн (оцененных на основе пересечения нулей) и рассчитывали для каждого канала и каждой записи ЭЭГ. Частотный состав оценивали на безартефактных участках ЭЭГ длительностью не менее 100 с каждый – при выполнении невербального теста Торренса и свободном эскизировании (творческое рисование, 19 записей), а также выполнении контрольных заданий: рисование заданных объектов, черчении линий и узоров (нетворческое рисование, 5 сессий).

Статистический анализ. Статистический анализ частотного состава проводили в зонах интереса: лобном, центральном и теменном отведениях: Fz , Cz , Pz – в состояниях при рисовании в лобном и теменном отведениях (Fz , Pz) – в фоновых записях ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования для узких частотных диапазонов с 2 до 14 Гц: 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9, 9–10, 10–11, 11–12, 12–13, 13–14 Гц. Сравнивали процентную представленность волн данной частоты в исследуемых состояниях при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни. Данный критерий был выбран, исходя из предположений об отсутствии нормального распределения у величин процентного содержания частот в ряде исследуемых ча-

стотных полос и независимости наблюдений в разные дни. При лонгитюдном анализе мы опирались на подходы, используемые в работе [26], как наиболее близкие нашей задаче. Полученные критерии не корректировали, для исключения ошибок второго рода. Контроль закономерности полученных результатов оценивали по соответствию наблюдаемых эффектов в соседних областях (Fz - Cz - Pz) и в соседних частотных полосах. Для оценки статистической значимости α -уровень принимали равным 5%.

Для иллюстрации данных исследования была проведена оценка трехмерной локализации источников независимых компонент при разложении сигнала методом *ICA* посредством электромагнитной томографии мозга низкого разрешения (*sLORETA*, <http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>). Для записей ЭЭГ в состояниях выполнения теста Торренса “Эскизы” (Тв.), рисования заданных объектов (К.) и спокойного бодрствования с открытыми глазами (Ф.) рассчитывали спектры групповых независимых компонент в диапазоне частот 1.5–30 Гц. Подробно методика расчета групповых независимых компонент описана в работе [33]. Для обзора метода *LORETA* и его теоретических основ опирались на исследования [36, 37].

Методы классификации. Для классификации творческого рисования были использованы фрагменты ЭЭГ, записанной в следующих состояниях: 1) выполнение невербального задания креативного теста Торренса (Тв. – творческое задание); 2) рисование заданных объектов (К. – контрольное задание); 3) спокойное бодрствование с открытыми глазами (Ф. – фоновая ЭЭГ). Безартефактные записи ЭЭГ были разделены на фрагменты, длительностью 2 с. Для классификации использовали значения амплитуд ЭЭГ электродов Fz и Pz (500 значений для каждого электрода, исходя из ЧД 250 Гц), объединенных в вектор для каждой пробы. Всего для классификации брали по 168 проб каждого вида. Для классификации ЭЭГ-сигналов использовали опции программного пакета *classifier learning* в среде *matlab*. Были протестированы классификаторы на основе линейного дискриминантного анализа, машины опорных векторов, деревьев решений, методов k -ближайших соседей. Эмпирическую оценку обобщающей способности алгоритмов проводили автоматически при помощи кросс-валидации: общее число проб разделяли последовательно на 5 выборок, четыре из которых (80% проб) входили в обучающую, а одна (20% проб) – в тестовую выборку. Обучающая и тестовая выборки проб не пересекались. Для уменьшения размерности входного вектора признаков использовали анализ главных компонент, встроенный в пакет *matlab*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты психологического исследования. Результаты психологического исследования важны для рассмотрения индивидуальных характеристик испытуемого в совокупности с динамикой его ЭЭГ-данных. Здесь мы приводим те результаты, которые наиболее, с нашей точки зрения, важны для реализации творческой деятельности. Испытуемый характеризуется высокой полнезависимостью, высокие баллы были получены по оригинальности при выполнении теста Медника и теста Торренса. По шкале “Стратегии регулирования эмоций при художественной творческой деятельности” (*ERS-ACA*) выявлено, что у участника преобладают стратегии саморазвития и стратегии приближения при занятиях художественной деятельностью. Эти стратегии предполагают развитие самоидентичности, личностной субъектности, самооценки, принятия и решения проблем, а не уход от них [38].

В ситуации самоотчетов об ощущении времени, достаточно короткий этап – эскизирования (до 30 мин) определялся весьма точно в большинстве сессий. Данные самоотчетов САН продемонстрировали достаточную стабильность до и после сессии. Медиана и квартили показателей САН до и после сессии равнялись соответственно: Самочувствие: 60 (56–62) и 53 (50–57); Активность: 56 (51–57) и 48 (45–54); Настроение: 54 (50–56) и 53 (52–56). Значимых различий между оценками до и после ЭЭГ-сессий не выявлено.

Индивидуальная частотная структура ЭЭГ в условиях экологического эскизирования. В анализ вошли данные свободного эскизирования. В лобном отведении (Fz) при творческом рисовании наблюдался больший процент волн с частотой 5–6 Гц ($Z = 2.0, p < 0.05$) и больший процент волн с частотой 12–13 Гц ($Z = 3.0, p < 0.01$) по сравнению с нетворческим рисованием. В центральном отведении (Cz) при творческом рисовании наблюдался больший процент волн с частотами в θ -диапазоне: 4–5 Гц ($Z = 2.1, p < 0.05$), 5–6 Гц ($Z = 2.3, p < 0.05$), 6–7 Гц ($Z = 3.0, p < 0.01$), а также в α -диапазоне: 8–9 Гц ($Z = 2.3, p < 0.05$) и 9–10 Гц ($Z = 2.1, p < 0.05$) по сравнению с нетворческим рисованием. В теменном отведении (Pz) наблюдался больший процент частот в δ -: 2–3 Гц ($Z = 2.3, p < 0.05$) 3–4 Гц ($Z = 2.3, p < 0.05$), θ -: 4–5 Гц ($Z = 2.1, p < 0.05$), 6–7 Гц ($Z = 2.3, p < 0.05$) и α -: 8–9 Гц ($Z = 2.0, p < 0.05$), 12–13 Гц ($Z = 2.0, p < 0.05$) диапазонах частот при творческом рисовании по сравнению с нетворческим (рис. 1).

Индивидуальная частотная структура фоновых ЭЭГ до и после сессий рисования как маркер функционального состояния испытуемого. При сравнении состояний спокойного бодрствования с открытыми глазами до и после всего дня рисования выявлено снижение процента волн с частотой 6–

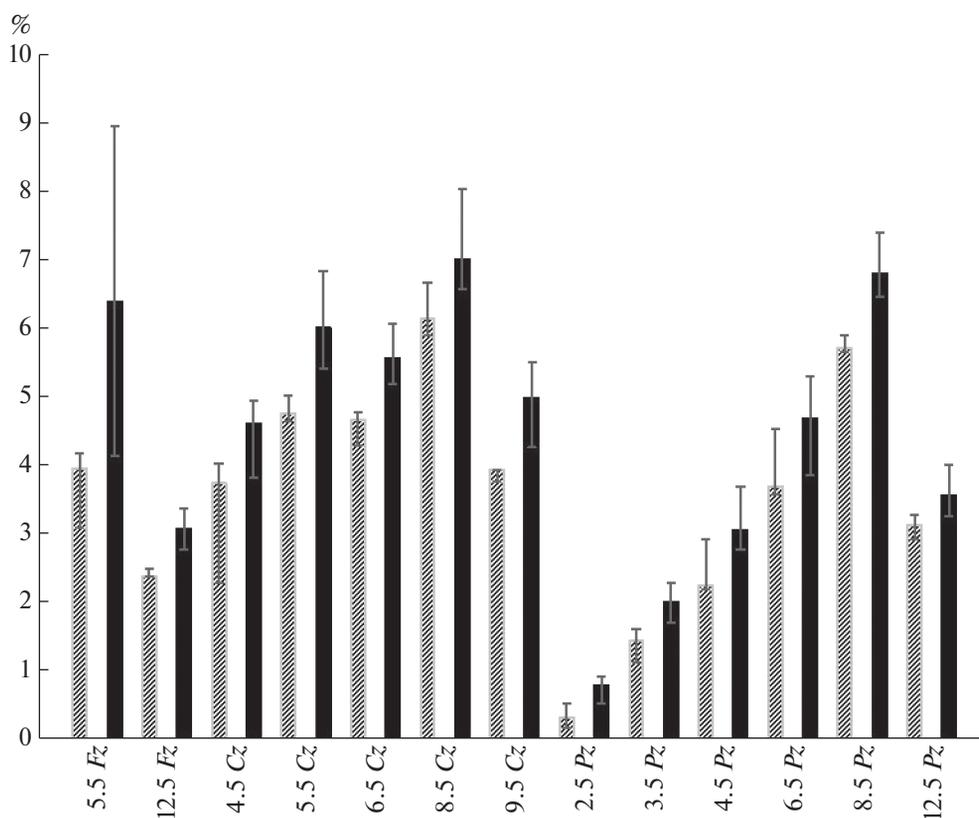


Рис. 1. Процентное содержание волн с частотой δ -, θ - и α -диапазонов в лобном (F_z), центральном (C_z) и теменном (P_z) отведении в состоянии творческого (черные столбцы) и нетворческого (заштрихованные столбцы) рисования. По оси абсцисс – перечислены узкие частотные диапазоны, в которых наблюдаются значимые различия процентной представленности волн соответствующей частоты: так 5.5 – обозначает волны с частотой от 5 до 6 Гц, и т.д. соответственно. По оси ординат – процент данной частоты в общей частотной структуре ЭЭГ в данном отведении. Представлена медиана значений процентной представленности волн каждой частоты и 25–75 квартили.

7 Гц в лобном отведении F_z ($Z = 2.0$, $p < 0.05$) и снижение процента волн с частотой 9–10 Гц в теменном отведении P_z ($Z = 2.3$, $p < 0.05$). При закрытых глазах после сессий рисования в лобном отведении значимых различий частотной структуры не выявлено, и наблюдается снижение процента волн с частотой 4–5 Гц в теменном отведении P_z ($Z = 2.5$, $p < 0.05$) (рис. 2).

Индивидуальные характеристики ЭЭГ при выполнении теста Торренса и контрольных к нему задач в контролируемых условиях (качественный анализ). При качественном рассмотрении выполнения классического задания – теста Торренса наблюдалась большая представленность θ -частот в сравнении с выполнением контрольной задачи – рисование названных объектов. Для иллюстрации наблюдаемых эффектов были выбраны независимые компоненты в зонах интереса: лобной, центральной и теменной областях. Спектральные мощности сигнала в состояниях Тв., К., Ф. приведены на рис. 3.

Локализация источников рассматриваемых независимых компонентов соотносится со следу-

ющими структурами: Поле Бродманна (ПБ)6, ПБ8 – верхняя лобная извилина; ПБ8 – средняя лобная извилина; ПБ2, ПБ5 – постцентральная извилина; ПБ46, ПБ10 – средняя лобная извилина; ПБ4 – парацентральная долька, ПБ3 – постцентральная извилина; ПЗ1 – поясная извилина, ПБ7 – предклинье.

Результаты классификации. Классификация ЭЭГ-сигналов производилась в рамках реализации подхода классификации единичных проб. Записи ЭЭГ разрезались на 2-секундные интервалы, которые формировали выборки проб определенного состояния: творческое эскизирование на основе теста Торренса, выполнение контрольной задачи – рисование заданных объектов и состояние спокойного бодрствования с открытыми глазами. Лучший результат классификации равный 66.9% был продемонстрирован классификатором на основе машины опорных векторов на основе мелковолновой радиальной базисной функции Гаусса (*SVM fine Gaussian*). Рассмотрение матрицы смешивания (*confusion matrix*) показало, что 70% фрагментов в задании Тв. верно от-

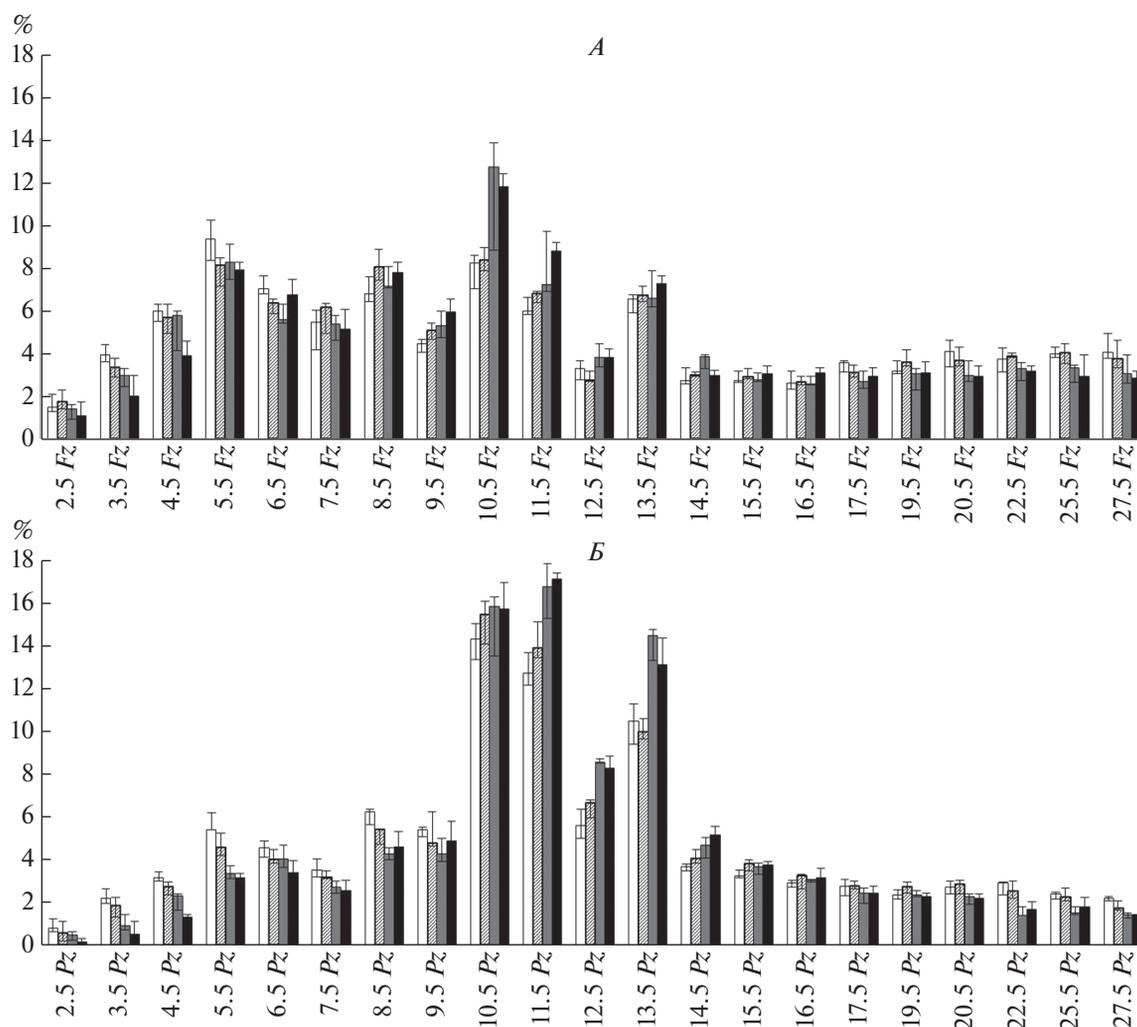


Рис. 2. Частотная структура ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми и закрытыми глазами до и после нескольких часов художественной творческой деятельности. Белые/заштрихованные столбцы – состояние с открытыми глазами до/после творческой деятельности; серые/черные столбцы – состояние с закрытыми глазами до/после творческой деятельности. По оси абсцисс – перечислены узкие частотные диапазоны: так 2.5 – обозначает волны с частотой от 2 до 3 Гц, и т.д. соответственно. По оси ординат – процент данной частоты в общей частотной структуре ЭЭГ в данном отведении. Представлена медиана значений процентной представленности волн каждой частоты за 7 сессий и 25–75 квартили.

носятся к этому классу, оставшиеся 30% классифицируются как относящиеся к нетворческому рисованию (14% фрагментов) или спокойному бодрствованию (16% фрагментов). К классу нетворческого рисования (К.) верно относятся 77% фрагментов, при этом только 2% из оставшихся ложно классифицируются, как фон и 21% – как творческое состояние. Состояние спокойного бодрствования верно распознается в 54% фрагментов, остальные 46% классифицируются, как деятельность (К. = 10% и Тв. = 36%). В целом, сравнение с теоретическим порогом случайного распознавания при трех-классовой классификации, равным 33%, можно говорить, что состояния творческого и нетворческого состояния распознаются с достаточной надежностью.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Лонгитюдное исследование позволяет подчеркнуть устойчивые индивидуальные особенности. В данном *case study* приводятся результаты индивидуального наблюдения для одного этапа художественной деятельности – эскизирования. Полученные данные поддерживают дискуссию о роли θ - и α -частот в творческом мышлении, несмотря на тип творческой деятельности [39–41] и его модальности, акцентируя внимание на художественном творчестве. Увеличение θ -частот обсуждается в творческом письме [41] и интуитивном мышлении (особенно во фронтальных областях), связанном с нагрузкой памяти и когнитивным контролем [42].

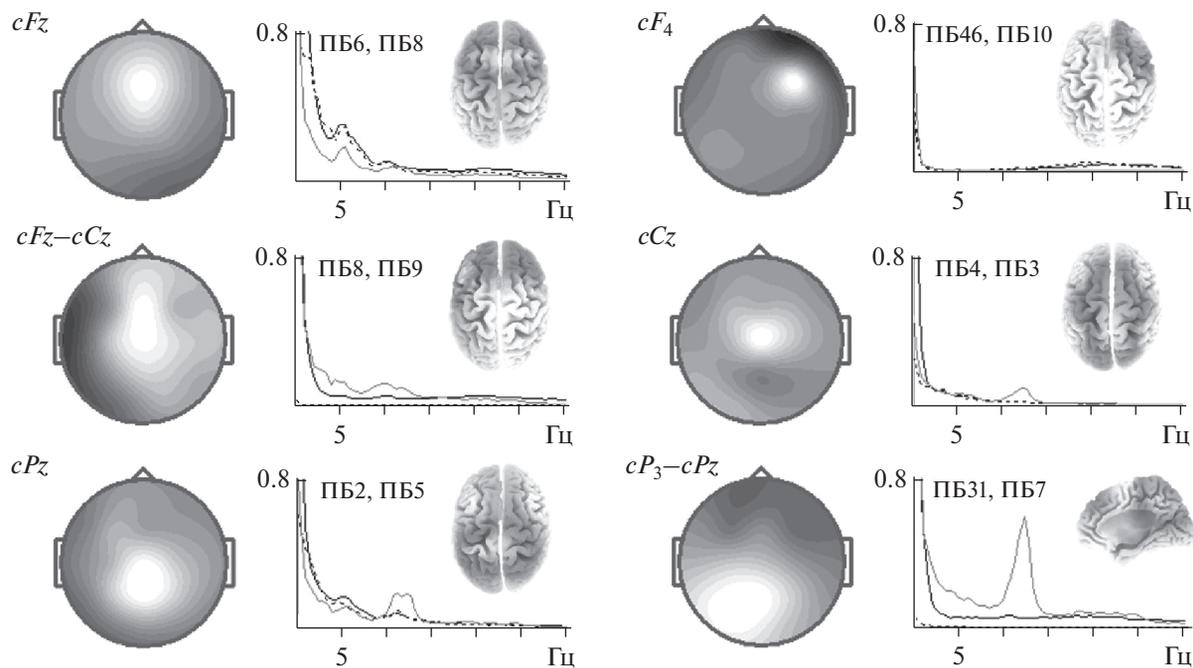


Рис. 3. Топографии, спектры мощности и локализация *sLORETA* независимых компонентов при творческом рисовании (выполнение невербального теста Торренса), нетворческом рисовании (рисование заданных объектов) и состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами.

На графиках: серая линия – состояние спокойного бодрствования с открытыми глазами, черная линия – выполнение творческого задания, черная пунктирная линия – выполнение контрольного задания. По оси абсцисс – частота (Гц), по оси ординат – спектральная мощность (относительные единицы; *cFz* и др. – топографии независимых компонентов, соотносимые с положением соответствующих электродов).

Обсуждение состояний спокойного бодрствования. При анализе состояний спокойного бодрствования до и после сессии творческой деятельности, можно сделать вывод о некотором изменении функционального состояния: наблюдается снижение процента частот в θ - и α -диапазонах при открытых глазах и в θ -диапазоне при закрытых глазах. Увеличение мощности в θ -диапазоне в центральных и лобных областях связывается с активацией структур мозга, эпизодической и рабочей памятью [43], активацией передней поясной коры [44], поэтому снижение процента волн в данном диапазоне после творческой деятельности может быть связано с расслаблением. В то же время, увеличение мощности ЭЭГ в θ -диапазоне в лобных областях показано при возникновении чувства сонливости [45, 46]. Таким образом, при анализе фоновых состояний до и после сессий исследований не было выявлено комплекса физиологической усталости. Субъективные оценки самочувствия, активности, настроения также не выявили признаков усталости после сессий рисования и живописи.

Вместе с уменьшением волн с частотой в θ -диапазоне, наблюдается снижение количества волн с частотой 9–10 Гц в теменном отведении. При рассмотрении всей частотной структуры ЭЭГ в дан-

ном отведении (рис. 2) следует, что такое снижение количества волн с частотой 9–10 Гц происходит за счет некоторого увеличения процентного содержания волн с частотами с 10 до 13 Гц – т.е. связано с увеличением представленности волн в высокочастотном α -диапазоне. В целом, при утомлении растет мощность в $\alpha 1$ -частотном диапазоне [47]. Сдвиг частотной структуры ЭЭГ в более высокочастотную область, по-видимому, свидетельствует об активирующем эффекте деятельности.

Изменения частотной структуры ЭЭГ при эскизировании. Свободное эскизирование сопровождалось увеличением процента волн в низкочастотных диапазонах – в лобных, центральных и теменных областях. Роль ритмической активности ЭЭГ в θ -диапазоне при творческой деятельности подчеркивалась рядом исследователей [48]. Увеличение θ -активности связывают с механизмами ассоциативной памяти и когнитивного контроля [49, 50]. Процесс эскизирования характеризуется комбинацией идей и изображений, построением и выбором композиций, вовлекая процессы ассоциативной памяти. Если манера художественного письма отличается от реалистического (как в нашем случае), от художника требуется мысленная перестройка привычных про-

странственных отношений, что может способствовать повышенному когнитивному контролю [51]. Большие значения мощности ЭЭГ в α -диапазонах, как в низкочастотном, так и высокочастотном, отмечаются рядом исследователей при сравнении более и менее творческих заданий [5, 48, 52].

При рассмотрении спектров мощности независимых компонентов ЭЭГ — обращает на себя внимание значительное уменьшение мощности как в широкой частотной полосе (компоненты $cFz-cCz$, $cP3-cPz$), так и только в диапазоне α -ритма (компоненты cCz , cPz), что связано с активацией во время деятельности. При этом в компоненте, локализуемом в соматосенсорной коре, наблюдается увеличение мощности в θ -диапазоне при выполнении заданий относительно состояния спокойного бодрствования, что свидетельствует об активации этих областей во время рисования и обозначает возможность использования спектрального анализа для выявления данных отличий. В недавних работах была показана связь θ - и α -активности с запоминанием сложной последовательности движений [53]. В компоненте, локализованном в лобной области (ПБ6, ПБ8) при рисовании наблюдается увеличение мощности ЭЭГ в θ - и α -диапазонах, относительно состояния спокойного бодрствования. Активация данных областей коры наблюдается во многих фМРТ-исследованиях творческой деятельности [54, 55] и выявляется при мета-анализе нейровизуализационных работ. Связь структурных особенностей ПБ6 с таким свойством личности, как открытость новому опыту, показана в работе [56].

Оценка результатов классификации. В данной работе предпринимается очередная попытка [4] классификации состояний творчества. Предварительная классификация состояний художественной творческой, нетворческой деятельности и фоновой ЭЭГ показала результаты, значимо превышающие порог случайной классификации (66.9% по сравнению с 33.3%). Можно заключить, что амплитудные характеристики отдельных коротких фрагментов спонтанной ЭЭГ в лобном и теменном отведении отражают особенности реализуемой деятельности и ментального состояния. Результаты, полученные нами, сопоставимы с данными при классификации состояний вербальной творческой деятельности при распознавании оригинальных и неоригинальных ответов в тесте альтернативного использования (точность классификации на 2 класса — 64%) [57]. В нашем предыдущем исследовании точность классификации состояний вербальной творческой деятельности (3-классовая классификация) составила в среднем по группе $48.7 \pm 5\%$ [SD] [4], при этом лучший результат был 58.5%, что ниже, чем наблюдается в данном исследовании. Интересен тот факт, что наибольший процент неверно клас-

сифицируемых фрагментов относится к состоянию спокойного бодрствования. Вероятно, так как это наименее регулируемое инструкцией состояние — возникновение спонтанных мыслей, образов и ассоциаций, отражающихся в характеристиках ЭЭГ, делает это состояние наиболее сложным для классификации [58]. Классификатор на основе машины опорных векторов является одним из эффективных методов машинного обучения, используемых при классификации ЭЭГ-сигналов онлайн [59] и может быть применим для распознавания моментов погружения в творческий процесс — например, в контуре обратной связи для модуляции творческой активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного лонгитюдного исследования были выделены и описаны некоторые нейрофизиологические индивидуальные особенности отдельного этапа художественного творчества. Полученные индивидуальные данные подтверждают значимость динамики частот θ -диапазона ЭЭГ как в контролируемых условиях рисования (тест Торренса), так и в условиях экологического, свободного эскизирования. Предпринятая попытка классификации состояний творческой деятельности в очередной раз подтвердило возможность различения состояний творческой и нетворческой деятельности. Исследование является пилотным и планируется к продолжению.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены Этическим комитетом Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург).

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

Финансирование работы. Работа поддержана РНФ 22-28-02073.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saggat M., Volle E., Uddin L.Q. et al. Creativity and the brain: An editorial introduction to the special issue on the neuroscience of creativity // *Neuroimage*. 2021. V. 231. P. 117836.

2. *Bechtereva N.P.* The usefulness of psychophysiology in the maintenance of cognitive life // *Int. J. Psychophysiol.* 2009. V. 73. № 2. P. 83.
3. *Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V.* Event-Related Changes in EEG Spectral Power Corresponding to Creative and Trivial Decisions // *Russian Journal of Physiology.* 2020. V. 106. № 7. P. 880.
4. *Шемякина Н.В., Нагорнова Ж.В.* Действительно ли инструкция “быть оригинальным и придумывать” влияет на ЭЭГ-корреляты выполнения творческих задач? // *Физиология человека.* 2020. Т. 46. № 6. С. 5.
5. *Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V.* Does the Instruction “Be Original and Create” Actually Affect the EEG Correlates of Performing Creative Tasks? // *Human Physiology.* 2020. V. 46. № 6. P. 587.
5. *Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V.* EEG “Signs” of Verbal Creative Task Fulfillment with and without Overcoming Self-Induced Stereotypes // *Behav. Sci. (Basel).* 2019. V. 10. № 1. P. 17.
6. *Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V.* Neurophysiology of Creativity or Research Trends in Neurophysiology of Creativity. Chapter 3. *New Frontiers in Creativity* / Ed. Kreitler Sh. Nova Science Pub. Inc., 2020. 454 p.
7. *Fredrickson B.L.* The broaden-and-build theory of positive emotions // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2004. V. 359. № 1449. P. 1367.
8. *Kaufman J.C.* Finding Meaning With Creativity in the Past, Present, and Future // *Perspect. Psychol. Sci.* 2018. V. 13. № 6. P. 734.
9. *Shen W., Hua M., Wang M., Yuan Y.* The mental welfare effect of creativity: how does creativity make people happy? // *Psychol. Health. Med.* 2021. V. 26. № 9. P. 1045.
10. *Dietrich A., Kanso R.* A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight // *Psychol. Bull.* 2010. V. 136. № 5. P. 822.
11. *Petsche H., Kaplan S., von Stein A., Filz O.* The possible meaning of the upper and lower alpha frequency ranges for cognitive and creative tasks // *Int. J. Psychophysiol.* 1997. V. 26. № 1–3. P. 77.
12. *Bhattacharya J., Petsche H.* Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art // *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.* 2002. V. 13. № 2. P. 179.
13. *Bhattacharya J., Petsche H.* Drawing on mind’s canvas: differences in cortical integration patterns between artists and non-artists // *Hum. Brain. Mapp.* 2005. V. 26. № 1. P. 1.
14. *Bhattacharya J.* Increase of universality in human brain during mental imagery from visual perception // *PLoS One.* 2009. V. 4. № 1. P. e4121.
15. *Свидерская Н.Е., Таратынова Г.В., Кожедуб Р.Г.* Влияние навыка формирования зрительных образов на пространственную организацию ЭЭГ // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 2005. Т. 55. № 6. С. 812.
16. *Свидерская Н.Е., Таратынова Г.В., Кожедуб Р.Г.* ЭЭГ-корреляты изменения стратегии переработки информации при зрительном воображении // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 2005. Т. 55. № 5. С. 624.
17. *De Pisapia N., Bacci F., Parrott D., Melcher D.* Brain networks for visual creativity: a functional connectivity study of planning a visual artwork // *Sci. Rep.* 2016. V. 6. P. 39185.
18. *Kowatari Y., Lee S.H., Yamamura H. et al.* Neural networks involved in artistic creativity // *Hum. Brain. Mapp.* 2009. V. 30. № 5. P. 1678.
19. *Shi B., Cao X., Chen Q. et al.* Different brain structures associated with artistic and scientific creativity: a voxel-based morphometry study // *Sci. Rep.* 2017. V. 7. P. 42911.
20. *Chen Q., Beaty R.E., Qiu J.* Mapping the artistic brain: Common and distinct neural activations associated with musical, drawing, and literary creativity // *Hum. Brain. Mapp.* 2020. V. 41. № 12. P. 3403.
21. *Chromik J., Kirsten K., Herdick A. et al.* SensorHub: Multimodal Sensing in Real-Life Enables Home-Based Studies // *Sensors (Basel).* 2022. V. 22. № 1. P. 408.
22. *Dehais F., Duprès A., Blum S. et al.* Monitoring Pilot’s Mental Workload Using ERPs and Spectral Power with a Six-Dry-Electrode EEG System in Real Flight Conditions // *Sensors (Basel).* 2019. V. 19. № 6. P. 1324.
23. *Grosselin F., Breton A., Yahia-Cherif L. et al.* Alpha activity neuromodulation induced by individual alpha-based neurofeedback learning in ecological context: a double-blind randomized study // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. № 1. P. 18489.
24. *Liebherr M., Corcoran A.W., Alday P.M. et al.* EEG and behavioral correlates of attentional processing while walking and navigating naturalistic environments // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. № 1. P. 22325.
25. *Chabin T., Tio G., Comte A. et al.* The Relevance of a Conductor Competition for the Study of Emotional Synchronization Within and Between Groups in a Natural Musical Setting // *Front. Psychol.* 2020. V. 10. P. 2954.
26. *Farrugia N., Lamouroux A., Rocher C. et al.* Beta and Theta Oscillations Correlate With Subjective Time During Musical Improvisation in Ecological and Controlled Settings: A Single Subject Study // *Front. Neurosci.* 2021. V. 15. P. 626723.
27. *Csikszentmihalyi M.* *Beyond Boredom and Anxiety: Experiencing Flow in Work and Play.* San Francisco, Washington, London: Jossey-Bass Publishers, 1975. P. 231.
28. *Разумникова О.М.* Способы определения креативности. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 35 с.
29. *Kozhushko N.J., Nagornova Zh.V., Evdokimov S.A. et al.* Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children // *Int. J. Psychophysiol.* 2018. V. 128. P. 22.
30. *Makeig S., Bell A.J., Jung T.P., Sejnowski T.J.* Independent component analysis of electroencephalographic data // *Adv. Neural. Inf. Process. Syst.* 1996. V. 8. P. 145.
31. *Vigário R.N.* Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1997. V. 103. № 3. P. 395.
32. *Терещенко Е.П., Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д., Мюллер А.* Сравнение эффективности различных методов удаления артефактов морганий при анализе количественной электроэнцефалограммы и

- ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 2. С. 124.
- Tereshchenko E.P., Ponomarev V.A., Kropotov Yu.D., Müller A.* Comparative efficiencies of different methods for removing blink artifacts in analyzing quantitative electroencephalogram and event-related potentials // Human Physiology. 2009. V. 35. № 2. P. 241.
33. *Ponomarev V.A., Mueller A., Candrian G. et al.* Group Independent Component Analysis (gICA) and Current Source Density (CSD) in the study of EEG in ADHD adults // Clin. Neurophysiol. 2014. V. 125. № 1. P. 83.
34. *Soroko S.I., Shemyakina N.V., Nagornova Z.V., Bekshaev S.S.* Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North // Int. J. Dev. Neurosci. 2014. V. 38. P. 127.
35. *Soroko S.I., Bekshaev S.S., Rozhkov V.P.* EEG correlates of genophenotypic characteristics of brain development in children of the aboriginal and settler populations in northeast Russia // Neurosci. Behav. Physiol. 2013. V. 43. P. 783.
36. *Pascual-Marqui R.D.* Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem // Int. J. Bioelectromagn. 1999. V. 1. № 1. P. 75.
37. *Pascual-Marqui R.D.* Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details // Methods Find. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2002. V. 24. Suppl D. P. 5.
38. *Fancourt D., Garnett C., Spiro N. et al.* How do artistic creative activities regulate our emotions? Validation of the Emotion Regulation Strategies for Artistic Creative Activities Scale (ERS-ACA) // PLoS One. 2019. V. 14. № 2. P. e0211362.
39. *Gruzelier J.* A theory of alpha/theta neurofeedback, creative performance enhancement, long distance functional connectivity and psychological integration // Cogn. Process. 2009. V. 10. Suppl 1. P. S101.
40. *Jausovec N., Jausovec K.* EEG activity during the performance of complex mental problems // Int. J. Psychophysiol. 2000. V. 36. № 1. P. 73.
41. *Cruz-Garza J.G., Sujatha Ravindran A., Kopteva A.E. et al.* Characterization of the Stages of Creative Writing With Mobile EEG Using Generalized Partial Directed Coherence // Front. Hum. Neurosci. 2020. V. 14. P. 577651.
42. *Williams C.C., Kappen M., Hassall C.D. et al.* Thinking theta and alpha: Mechanisms of intuitive and analytical reasoning // Neuroimage. 2019. V. 189. P. 574.
43. *Karakaş S.* A review of theta oscillation and its functional correlates // Int. J. Psychophysiol. 2020. V. 157. P. 82.
44. *Pizzagalli D.A., Oakes T.R., Davidson R.J.* Coupling of theta activity and glucose metabolism in the human rostral anterior cingulate cortex: an EEG/PET study of normal and depressed subjects // Psychophysiology. 2003. V. 40. № 6. P. 939.
45. *Strijkstra A.M., Beersma D.G., Drayer B. et al.* Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8–12 Hz) and positively with central frontal theta (4–8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram // Neurosci. Lett. 2003. V. 340. № 1. P. 17.
46. *Ahlström C., Zemblys R., Jansson H. et al.* Effects of partially automated driving on the development of driver sleepiness // Accid. Anal. Prev. 2021. V. 153. P. 106058.
47. *Li G., Huang S., Xu W. et al.* The impact of mental fatigue on brain activity: a comparative study both in resting state and task state using EEG // BMC Neurosci. 2020. V. 21. № 1. P. 20.
48. *Razumnikova O.M.* Creativity related cortex activity in the remote associates task // Brain Res. Bull. 2007. V. 73. № 1–3. P. 96.
49. *Eisma J., Rawls E., Long S. et al.* Frontal midline theta differentiates separate cognitive control strategies while still generalizing the need for cognitive control // Sci. Rep. 2021. V. 11. № 1. P. 14641.
50. *Herweg N.A., Solomon E.A., Kahana M.J.* Theta Oscillations in Human Memory // Trends. Cogn. Sci. 2020. V. 24. № 3. P. 208.
51. *Ruzzoli M., McGuinness A., Morís Fernández L., Soto-Faraco S.* From cognitive control to visual incongruity: Conflict detection in surrealist images // PLoS One. V. 15. № 6. P. e0224053.
52. *Fink A., Neubauer A.C.* EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: differential effects of sex and verbal intelligence // Int. J. Psychophysiol. 2006. V. 62. № 1. P. 46.
53. *van der Crujisen J., Manoochehri M., Jonker Z.D. et al.* Theta but not beta power is positively associated with better explicit motor task learning // Neuroimage. 2021. V. 240. P. 118373.
54. *Gonen-Yaacovi G., de Souza L.C., Levy R. et al.* Rostral and caudal prefrontal contribution to creativity: a meta-analysis of functional imaging data // Front. Hum. Neurosci. 2013. V. 7. P. 465.
55. *Boccia M., Piccardi L., Palermo L. et al.* Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity // Front. Psychol. 2015. V. 6. P. 1195.
56. *Vartanian O., Wertz C.J., Flores R.A. et al.* Structural correlates of Openness and Intellect: Implications for the contribution of personality to creativity // Hum. Brain Mapp. 2018. V. 39. № 7. P. 2987.
57. *Stevens C.E., Jr., Zabelina D.L.* Classifying creativity: Applying machine learning techniques to divergent thinking EEG data // Neuroimage. 2020. V. 219. P. 116990.
58. *Медведев С.В., Пахомов С.В., Рудас М.С. и др.* О выборе состояния спокойного бодрствования как референтного при психологических пробах // Физиология человека. 1996. Т. 22. № 1. С. 5.
- Medvedev S.V., Pakhomov S.V., Rudas M.S.* [The choice of quiet wakefulness as a reference state for psychological tests] // Fiziologija Cheloveka. 1996. V. 22. № 1. P. 5.
59. *Капралов Н.В., Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В.* Методы классификации ЭЭГ-паттернов воображаемых движений // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 1. С. 94.

Dynamics of EEG Frequency Structure During Sketching in Ecological Conditions and Non-Verbal Creative Tasks Fulfillment by a Professional Artist: Case Study

N. V. Shemyakina^{a, *}, Yu. G. Potapov^b, Zh. V. Nagornova^a

^a*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, RAS, St. Petersburg, Russia*

^b*Painters gallery "Mansard of Artists", St. Petersburg, Russia*

*E-mail: natalia.shemyakina@iephb.ru

The article presents a longitudinal study with the participation of a professional artist. Twelve EEG sessions were recorded under ecological drawing/painting conditions. The article provides the development of approaches to the study of neurophysiological characteristics of artistic creativity by the EEG method. The results of the EEG frequency structure changes are presented in sketching sessions (at least 20 minutes each, on different days), background states (eyes opened/closed) and in performing non-verbal tasks (Torrance Test) used in neurophysiological studies of creative activity. Ecological drawing conditions were realized using a 19-channel mobile EEG system: SmartBCI (Ltd. Mitsar, St. Petersburg). To analyze the frequency structure of the EEG in each channel, the duration of the EEG intervals (ms) between points at the intersections of iso-lines were converted into frequencies with 1 Hz step and percentage of each frequency was calculated. When performing a classical task for the study of non-verbal creative activity – the Torrance test, a greater percentage of theta frequencies was observed in comparison with the control task – drawing common objects. In the conditions of free, ecological sketching, a higher percentage of theta (5–6 Hz) and alpha frequencies (12–13 Hz) in the frontal cortex zones, as well as delta, theta- and alpha frequencies (2–5, 6–7 and 8–9, 12–13 Hz) in the parietal cortex zones were revealed in comparison with the control task (drawing lines). In analysis of background states before and after the study sessions, no sign of physiological fatigue was detected, and a decrease in the percentage of EEG theta frequencies was observed. Subjective assessments of well-being, activity and mood also showed no signs of fatigue after drawing and painting sessions. The obtained individual data confirm the significance of the EEG theta frequency dynamics both under controlled drawing conditions (Torrance test) and under ecological, free sketching conditions and are presumably associated with loading the artist's visual memory. According to literary data, the participation of figurative memory is more pronounced in professionals. The individual data studied clearly showed differences in the performance of the creative task already in the controlled conditions of the Torrance test. The classification accuracy of multi-minute EEG (splitted into 2 second fragments) for the three classes (creative, control, open eyes) was 66.9% using a support vector machine classifier (fine Gaussian) in comparison with 33.3% as theoretical threshold of random classification.

Keywords: EEG/ERP, artistic creativity, non-verbal tasks, frequency structure of EEG, ecological artist research.