ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2021, том 47, № 1, с. 104–122

ОБЗОРЫ

УДК 612.821

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРЕВНОВАНИЯ В НАВЫКАХ И КООПЕРАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ – ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГИПЕРСКАННИНГА

© 2021 г. Н. В. Шемякина[1], *, Ж. В. Нагорнова[1], **

[1]*ФГБУН Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

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

***E-mail: zhann.nagornova@iephb.ru*

Поступила в редакцию 04.08.2020 г.
После доработки 20.08.2020 г.
Принята к публикации 22.09.2020 г.

В обзоре приведены исследования нейрофизиологических показателей активности мозга человека при разных видах совместной деятельности. Обзор объединяет и обобщает результаты исследований, описывающих нейрофизиологические корреляты выполнения несколькими испытуемыми одновременно творческих задач и/или демонстрации навыков близкой к творческой деятельности в условиях кооперации или соревнования. Предполагается, что вовлечение в совместную деятельность вызывает нейрофизиологические перестройки активности мозга человека, которые не наблюдаются при индивидуальной деятельности и свойственны именно ситуациям взаимодействия между субъектами. При этом на активность мозга влияет и характер операций взаимодействия – конкуренция/соревнование или кооперация. В ряде работ было показано увеличение межсубъектной синхронизации при кооперации и ее снижение в условиях, не требующих взаимодействий. При этом в условиях исполнительских искусств координированная деятельность исполнителей, которая может рассматриваться как кооперация, характеризовалась возникновением динамического паттерна синхронизации между лобными и центральными областями коры исполнителей преимущественно в низкочастотных диапазонах ЭЭГ (Δ и θ). В исследованиях выполнения творческих задач методом функциональной спектроскопии в ближней инфракрасной области (*fNIRS – functional near-infrared spectroscopy*) показано, что при кооперации наблюдается увеличение межсубъектной синхронизации префронтальной области и височных, височно-теменных областей левого и правого полушарий, тогда как в условиях соревнования паттернов межсубъектной синхронизации не выявлено.

Ключевые слова: гиперсканнинг, межсубъектная синхронизация, творчество, импровизация, исполнительские искусства, ЭЭГ *fNIRS*, фМРТ.

DOI: 10.31857/S0131164621010124

Гиперсканнинг и межсубъектная синхронизация

Цель данной работы – обобщить результаты исследований, описывающих нейрофизиологические корреляты выполнения несколькими испытуемыми одновременно творческих задач и/или демонстрации навыков близкой к творческой деятельности в условиях соревнования и кооперации. Регистрация нейрофизиологических характеристик одновременно у нескольких людей с попыткой оценки степени межсубъектной синхронности их мозговой деятельности при выполнении каких-либо задач получила название гиперсканнинг ("*hyperscanning*"). Первоначально идею одновременной регистрации мозговой активности у нескольких людей, находящихся в фМРТ сканерах и играющих в игру с обманом "*deceptive game*" предложил *P.R. Montague et al.* [1].

Согласно работе *K. Kasai et al.* [2] концепция нейрофизиологических исследований с использованием гиперсканнинга соотносится с несколькими терминологическими определениями, предложенными разными авторами в области нейро-: "*two-body neuroscience*" [3], "*interactive brains*" [4, 5], "*two-brain approach*" [6, 7], и социальных наук: "*second-person interaction*" [8] и "*dark matter of social neuroscience*" [9].

Данный подход (гиперсканнинг) позволяет выделять паттерны "межмозговой" синхрониза-

ции (*between-brain neural coupling*) [10] во время социального и эмоционального взаимодействия, которые, как предполагают [11, 12], невозможно наблюдать в условиях выполнения деятельности индивидуально.

Важным преимуществом исследований с использованием гиперсканнинга является возможность изучать активность мозга людей в условиях, приближенных к натуральным ситуациям свойственного человеку естественного взаимодействия и общения [2].

За последние несколько лет по данной тематике опубликовано более десяти обзоров [11–13 и др.], освещающих разные методические аспекты гиперсканнинга: использование ай-треккера [14–16], *fNIRS* (*functional near-infrared spectroscopy* – функциональной спектроскопии в ближней инфракрасной области) [17], функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) [1, 18], ЭЭГ [6, 19] и физиологические эффекты совместной и соревновательной деятельности в различных условиях [13].

Согласно обзору *M.Y. Wang et al.* [20] экспериментальные парадигмы в исследованиях с гиперсканированием можно разделить на шесть основных типов задач: имитационные задачи [21], координационные/совместные задачи [22–24], задачи "зрительный контакт/взгляд" [25], экономические игры/обмены [26, 27], задачи сотрудничества и конкуренции [28, 29], и задания на взаимодействия по естественному сценарию [30, 31].

Одним из ключевых рассматриваемых факторов в исследованиях с использованием гиперсканирования является уровень кооперативного поведения (оцениваемого субъективно и объективно – сторонним наблюдателем) и условия соревнования или сотрудничества, задаваемые испытуемым инструкцией. Кооперативное поведение в исследованиях с гипперсканнингом реализуется вербальной и невербальной коммуникацией [7], в том числе, взаимодействием "ведущий–ведомый" [23, 32], участием в выполнении совместных заданий [33], необходимостью принимать решения в экономических играх [34, 35], вовлечением в творческую деятельность [36–38].

В данном обзоре основной акцент сделан на работах с использованием нейрофизиологических техник в условиях сотрудничества и конкуренции при работе с задачами, требующими включения творческого/нестереотипного мышления или демонстрации навыков исполнительских искусств.

Под творческой деятельностью понимается деятельность, в результате которой появляются новые, необычные идеи, происходит отклонение в мышлении от стереотипов и традиционных схем, быстро разрешаются проблемные ситуации [39–41].

К исполнительским видам искусств и парадигмам исследования с использованием гиперсканнирования относятся музыкальная импровизация, пение [36, 42–51], танец. То есть, согласно классификации, предложенной в обзоре *M.A. Acquadro et al.* [12], это варианты поочередного взаимодействия ("*turn-based condition*") и/или непрерывного взаимодействия ("*continuous interaction*").

Задача исследовать нейрофизиологические характеристики мозговой активности при взаимодействии или соревновании в процессе творчества или совместного музыкального, танцевального исполнения ориентирована на изучение нескольких актуальных вопросов – нейрофизиологии социального взаимодействия и роли социального взаимодействия для создания творческих "продуктов" и идей. Например, известно, что социальное взаимодействие и решение задач при использовании "мозгового штурма" может способствовать повышению оригинальности идей. На нейрофизиологическом уровне в работе *A. Fink et al.* [52] было показано, что когнитивная "стимуляция" чужими оригинальными идеями приводит к активации средней теменной и верхней лобной извилин, гиппокампа и парагиппокампальной извилин левого полушария мозга. В исследованиях группы китайско-японских коллабораторов из Восточно-китайского педагогического университета (*East China Normal University*, Шанхай, Китай) и Токийского технологического института (*Tokyo Institute of Technology*, Токио, Япония) было показано, что кооперация при решении творческих задач двумя не слишком креативными испытуемыми может привести к высококреативному взаимодействию [53]. А кооперация в группе испытуемых повышает уровень ее креативности в целом [37]. В группе низкокреативных пар (по данным *fNIRS*) был выше уровень межсубъектной синхронизации в правой лобной коре, по сравнению со всеми остальными участниками, и в правой височно-теменной области, по сравнению с парами, где был хотя бы один высококреативный участник.

Таким образом, кооперация и социальное взаимодействие при решении творческих задач имеет определенный потенциал для повышения креативности. При этом известно, что в ситуации соперничества и кооперации паттерны межсубъектной синхронизации отличаются. Так, в исследовании *Y. Hu et al.* [54] испытуемым предлагалось сыграть в игру "Дилемма заключенного" (*Prisoner's Dilemma*) против оппонента и затем против компьютера. Результаты продемонстрировали более высокий показатель сотрудничества и большую межмозговую синхронизацию в θ/α-диапазонах ЭЭГ для взаимодействия "чело-

век–человек”, по сравнению с взаимодействием “человек–компьютер”. При взаимодействии “человек–человек” в условиях бóльшей кооперации (задаваемой игрой) наблюдалось увеличение межсубъектной синхронизации в центрально-лобных отведениях в θ- и в центрально-теменных областях в α-диапазонах ЭЭГ, по сравнению с условиями низкой кооперации. При этом субъективно оцениваемый показатель кооперативного поведения модулировал взаимосвязь межсубъектной синхронизации и контекста игры. Это свидетельствует о значимой роли сотрудничества людей для межмозговой (межсубъектной) синхронизации во время принятия решений. Таким образом, межсубъектная синхронизация мозговой активности может лежать в основе высокоуровневого социального мышления и восприятия контекста взаимодействия в процессе принятия решений. По показателям межсубъектной синхронизации в игре “дилемма заключенного” можно предсказать несодружественную стратегию поведения в паре: в парах, где каждый партнер выбирал роль перебежчика, уровень межсубъектной синхронизации был значимо ниже, чем в парах с другими стратегиями поведения [55].

В исследовании кооперации в профессиональной деятельности [56] пилоты (на симуляторе) выполняли действия по взлету, полету и посадке самолета. Было показано, что во время операций, которые требуют повышенного внимания и координированных действий от экипажа, наблюдается увеличение мощности ЭЭГ в θ-диапазоне (3–7 Гц) в лобных областях и десинхронизация ЭЭГ в α-диапазоне ЭЭГ (8–12 Гц) в теменных областях. В эти же периоды наблюдалось увеличение уровня межсубъектной синхронизации в лобных областях коры, т.е. повышение показателя частичной направленной когерентности (*partial directed coherence*) от второго пилота к капитану. Во время фазы полета уровень межсубьектной синхронизации снижался до полного отсутствия, так как в этот период совместных скоординированных действий от экипажа не требуется. В исследовании [28], рассматривающем взаимодействие профессиональных пилотов во время симулированного полета, также наблюдалось увеличение межсубъектной синхронизации между лобными и теменными областями коры в периоды, требующие скоординированной деятельности – взлета и посадки самолета. В период полета синхронизация снижалась до нуля. Показатель направленной синхронизации различался в зависимости от роли участника – был постоянен от капитана ко второму пилоту в разные фазы полета и существенно увеличивался от второго пилота к капитану во время фазы посадки. Результаты межсубъектной синхронизации в лобных областях коры согласуются с данными исследований, показывающими активацию лобных областей коры, в частности, передней поясной извилины, при восприятии и оценке своих и чужих решений [57].

В исследованиях с использованием техники гиперсканинга в качестве нейрофизиологического субстрата, необходимого для обеспечения социальной коммуникации при решении каких-либо задач, обязательно задействованы такие нейронные системы мозга [12, 20] как система зеркальных нейронов (*MNS-mirror neural system*), включающая нижнюю теменную долю (*inferior parietal lobe*), вентральную премоторную кору (*ventral premotor cortex*), нижнюю лобную извилину (*inferior frontal gyrus*), дорзальную премоторную кору (*dorsal premotor cortex*) и верхнюю теменную долю (*superior parietal lobe*) [58, 59] и необходимая для реализации “неосознанных” подражаний, имитации действий и выполнения совместных координированных актов [60], а также “осознанная ментальная система” – *mentalizing network* (*system*) (*MENT* – из [12], *MS* – [20]), включающая верхнюю височную борозду (*STS*), переднюю поясную кору (ACC), височно-затылочное пересечение, ПБ37 (*TOJ*, BA37), полюс височной доли (*temporal pole*), миндалину (*amygdala*) [58] и ориентированная на определение осознанных мысленных интенций в различных видах деятельности, например: в экономических играх [61], естественных социальных взаимодействиях [62, 63], а иногда и на предсказание взаимодействия [64]. То есть, система зеркальных нейронов в ходе социального взаимодействия подключает структуры первичной моторной и сенсорной коры, теменную кору, а ментальная “осознанная система”, связанная с более сложными когнитивными процессами – височно-теменную кору и префронтальную кору. Взаимодействие этих двух систем позволяет сочетать неосознанные и осознанные действия для анализа и предсказания собственного поведения и поведения других участников естественного взаимодействия в контексте заданной задачи [12, 65]. При этом уровень межсубъектной синхронизации может зависеть от степени знакомства [66] и отличаться, например, у пар мужчина–женщина, находящихся в отношениях, и незнакомцев.

Как было показано, социальное взаимодействие и кооперация способны изменять качество творческой деятельности и улучшать оригинальность предлагаемых идей при взаимодействии нескольких человек. При этом, нейрофизиология и формирующиеся паттерны межсубъектной синхронизации при выполнении задач исполнительских искусств и творческой деятельности с использованием гиперсканнинга описаны мало и для условий кооперации, и для соревнования.

В табл. 1 приводятся основные исследования нейрофизиологии исполнительских искусств с

применением подхода гиперсканнинга. Во всех приведенных работах испытуемые не были знакомы друг с другом за исключением исследований с участием квартетов и трио [43, 46, 47]. В табл. 2 представлен обзор основных работ по нейрофизиологическим коррелятам творческой деятельности при различных инструкциях и при использовании техники гиперсканнинга. Во всех приведенных работах испытуемые также не были знакомы друг с другом.

Нейрофизиология совместного выполнения задач исполнительского искусства и межсубъектная синхронизация

Работы последних лет (табл. 1) свидетельствуют о том, что наиболее часто используемой моделью для исследования кооперации и других видов взаимодействия с применением гиперсканнинга в исполнительских видах искусства является игра на музыкальных инструментах [12, 67]. Данный вид деятельности требует высокой совместной координации, а ритм музыкального произведения сам по себе уже способствует условиям для синхронизации деятельности. При исполнении музыкальных произведений или музыкальной импровизации роли исполнителей могут быть как равнозначными [49], так и распределяться в пользу – “лидер (солист)–ведомый (аккомпаниатор)” или, в случае импровизации – “импровизирующий–аккомпаниатор”, которые легко изменяются между музыкантами во время исполнения [48]. Это позволяет в рамках одного исследования изучать нейрофизиологические характеристики состояний одних и тех же испытуемых, “примеряющих” разные роли. В ситуации же парадигмы “исполнитель–слушатель” добавляется возможность исследовать синхронизацию показателей мозговой активности “активного” и “пассивного” участников процесса [12, 46].

Наиболее близкими к изучению творческой деятельности оказываются работы по исследованию совместных импровизаций. Музыкальная импровизация предполагает сочинение музыкальных фрагментов (невербальное творчество) непосредственно в момент исполнения. В гиперсканнинговом исследовании [36] было показано, что при сольной импровизации растет внутрисубъектная синхронизация в α-диапазонах ЭЭГ, а при совместной – межсубъектная синхронизация в диапазоне Δ (2–3 Гц)- и θ (5–7 Гц)-частот ЭЭГ. В ЭЭГ-исследовании [46] проводится разделение состояний “сочинения музыки” и “музыкальной импровизации”. В ходе качественного анализа и анализа казуальности авторами было продемонстрировано, что “активированные нейронные сети” при *сочинении музыки* отличаются от нейронной сети *при импровизации*. Для одного из пианистов “информационный поток сужался” до задней части мозга во время сочинения музыки, тогда как во время импровизации – распределялся по всей коре. При этом лобные, височные и теменные зоны коры играли наибольшую роль в дифференциации мозговых сетей для разных условий исполнения (“*strict mode*”/“*let go mode*” по [46]). Совместная импровизация как модель творческой деятельности подразумевает кооперацию в рамках стиля и музыкальной темы и включает, как можно предположить, элементы творческого соревнования музыкантов в мастерстве и оригинальности исполнения. Таким образом, межсубъектная синхронизация в моменты совместной одновременной импровизации, особенно в ситуации равнозначных ролей, может быть рассмотрена как паттерн соревнования в творчестве. Однако этот вопрос требует всестороннего исследования с использованием “тест-контроль” подхода и сочетания разных ролей исполнителей.

В ЭЭГ-исследованиях музыкальной импровизации без привлечения гиперсканнинга отмечались бóльшие значения спектральной мощности ЭЭГ (локальная синхронизация) в θ-, α-, β-диапазонах [68] по сравнению с контрольной задачей “проигрывание гамм”; рост силы длинно-дистантных внутрисубъектных когерентных связей в β-диапазоне ЭЭГ по оси “левый лоб – правый затылок” при оригинальной и искусной музыкальной импровизации по сравнению с фоновой ЭЭГ [69]. Для обзора структурно-функциональных исследований импровизации см. [70, 71]. Основным отличием нейрофизиологических исследований импровизации в условиях гиперсканнига и в ходе индивидуальных исполнений является паттерн межсубъектной синхронизации.

Обычное исполнение музыкальных произведений (без импровизации и сочинения) тоже может соотноситься с коррелятами творческой деятельности и являться моделью для изучения различных способов кооперации, социального взаимодействия и эмоциональной коммуникации испытуемых. Прослушивание исполнения музыкальных произведений рождает эстетические переживания (признак погруженности в процесс прослушивания), которые могут модулировать привычную коммуникацию [72].

Так, при регистрации ЭЭГ во время совместного исполнения музыкальных произведений и наблюдения за своим исполнением в квартетах профессиональных саксофонистов – десинхронизация ЭЭГ в α-диапазоне в правых лобных областях (Поля Бродманна 44/45, по данным *sLORETA*) во время наблюдения коррелировала с уровнем эмпатии музыканта [67]. Полученные данные близки к исследованиям межсубъектной синхронизации при невербальной коммуникации и совместной двигательной активности [21], в которых выявлено, что состояние синхронной

Таблица 1. Исследования нейрофизиологических коррелят выполнения задач, относящихся к исполнительским искусствам с применением подхода гиперсканнинга

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[42]	(*a*) 13 гитаристов (*b*) 29.5 (10 *SD*) (*c*) 13 м (*d*) 8 дуэтов	(*a*1) Игра коротких (10–20 с) музыкальных фрагментов (*jazz* “*Fusion* № 1”, *A. Buck* (60 проб) (*a*2) Выбранная частота метронома задает темп 1.3–2 Гц) (*b*) “Лидер–ведомый” (*c*) 3*SD vs baseline* (–300 мс *onset*)	(*a*) ЭЭГ; 16 электродов (*b*) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*), 0–20 Гц. Расчет: индекса фазовой синхронизации (внутрисубъектный показатель), межсубъектной фазовой когерентности, эпоха анализа: 3 с (–1 с; 2 с) от начала игры (*c*) Лобно-центральные отведения (F_3, Fz, F_4, C_3, Cz, C_4)	В лобных и центральных областях: 1. В период начала совместной игры – увеличение внутри- и межсубъектной синхронизации ЭЭГ в низкочастотных диапазонах (0.5–7.5 Гц, *max* –3.3 Гц) 2. В период подготовки: 2.1. Увеличение внутрисубъектной синхронизации ЭЭГ для 2–10 Гц с максимум – 3–7 Гц 2.2. Увеличение межсубъектной синхронизации ЭЭГ для 3–8 Гц с максимум –5 Гц
[43]	(*a*) 4 (квартет профессиональных саксофонистов) (*b*) 38–48 (44 ± 2.2 [*SE*]) (*c*) 4 м (*d*) квартет	(*a*) Исполнение классической музыки Д. Скарлатти (Аллегро *from Sonata in A moll L.* 223 *Kirk.* 532), в переложении для саксофонов С. Сциаррино (1.5 м). Состояние спокойного бодрствования с открытыми глазами (4 м) (*b*) “Равное участие” (*c*1) Качественный анализ	(*a*) ЭЭГ; 30 электродов (*b*) Расчет относительной плотности мощности ЭЭГ в частотных диапазонах Δ (1–4 Гц), θ (4–8 Гц), α_1((ИЧА-2)-ИЧА Гц), α_2 (ИЧА-(ИЧА+2) Гц), β (14–30 Гц), γ (>30 Гц); ИЧА – индивидуальная частота α-пика связанное с событием уменьшение/увеличение мощности ЭЭГ при игре относительно состояния спокойного бодрствования (*c*) Электромагнитная томография низкого разрешения *sLORETA*	1. При игре: уменьшение вызванной мощности в α-диапазоне, увеличение вызванной мощности в β- и γ-диапазонах (в некоторых отведениях) 2. Наибольшая десинхронизация в α-диапазоне наблюдалась у альтового саксофониста, уровень десинхронизации градуально снижался в партиях саксофонистов – тенор, баритон, и сопрано 3. Уровень десинхронизации в α-диапазоне коррелирует с уровнем эмпатии

Таблица 1. Продолжение

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[44]	(*a*) данные 24 гитаристов (*b*) 20–58 (35.58 ± 1.82) (*c*) 18 м : 6 ж (*d*) 7 дуэтов: м–м, 4 пары м–ж, 1 пара: ж–ж	(*a*) Проигрывание мелодии (Рондо в *D*-мажоре К.Г. Шейдлера) на 2 голоса в дуэте, темп задается метрономом (*b*) “Лидер–ведомый” (назначенный лидер управляет темпом) (*c*) 4-*way RM ANOVA*	(*a*) ЭЭГ; 64 электрода (*b*1) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*). Расчет: индекса фазовой связности, частоты интереса: Δ (1–4 Гц), θ (4–8 Гц) временнóй интервал (–500 мс; 500 мс) после начала игры лидера (*b*2) Теория графов (*c*) Лобные, центральные и теменно-затылочные	1. Внутрисубъектная фазовая синхронность у “Лидера” > “Ведомого” при исполнении муз. фрагмента 2.1. Внутрисубъектная фазовая синхронность и у “Лидера”, и у “Ведомого” в лобных и центральных зонах >, чем в теменных 2.2. В Δ-диапазоне индекс внутрисубъектной синхронизации и у “Лидера”, и у “Ведомого” >, чем в θ 3. Межсубъектная синхронизация в начале исполнения > между лобными и центральными областями коры в θ-диапазоне, чем в Δ-диапозонах ЭЭГ
[36]	(*a*) 13 гитаристов (*b*) 29.5 (±10 *SD*) (*c*) 13 м (*d*) 8 дуэтов	(*a*) Сессии 3 × (5–7 мин): – гитарист *A* – импровизация, *B* – слушает; – гитарист *B* – импровизация, *A* – слушает – совместная импровизация (смена ведущего) (*b*) “Импровизатор–слушатель”, “лидер–ведомый” (*b*) 4-*way ANOVA*	(*a*) ЭЭГ; 64 электрода, полоса анализа 0–50 Гц, эпоха анализа 10 с (*b*1) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*), 0–30 Гц. Расчет мгновенных фаз для: индекса фазовой синхронизации, интегрального индекса взаимосвязи диапазоны ЭЭГ: Δ (2–3 Гц), θ (4–7 Гц), α (8–12 Гц), β_1 (14–20 Гц) β_2 (24–28 Гц) (*b*2) Теория графов (*c*) Лобные, центральные, теменно-затылочные	1. Индивидуальная синхронизация ЭЭГ растет от низких к высоким частотам. Сольная игра – большее количество не узловых взаимосвязей (*non-hub connectors*) в α-диапазоне (8–12 Гц) 2. Межсубъектная синхронизация низких частот > высоких частот. Совместная игра – большее количество узловых взаимосвязей (*hub-connectors*) в Δ (2–3 Гц)- и θ (5–7 Гц)-диапазонах ЭЭГ
[45]	(*a*) Данные 24-х гитаристов (*b*) 20–58 (35.58 ± 1.82 *SD*) (*c*) 18 м : 6 ж (*d*) 7 дуэтов: м–м, 4 дуэта м–ж, 1 дуэт: ж–ж	(*a*) “*Face-to-face*” игра на память (Рондо в *D*-dur К.Г. Шейдлера): 60 проб (2 дня × 30 проб) (*b*) “Лидер–ведомый” (назначенный лидер управляет темпом) (*c*) 5-*way RM ANOVA*	(*a*) ЭЭГ; 64 электрода (*b*1) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*). Расчет: индекса положительной фазовой связности, индекса абсолютной фазовой связности, интегрального индекса взаимосвязи, частоты интереса: 8 и 12 Гц; 20 и 28 Гц, временнóй интервал (–500 мс; 500 мс) после начала игры лидера (*b*2) Теория графов (*c*) Лобные, центральные и теменные	Межсубъектная синхронизация: для 12 Гц > 8 Гц; для теменных зон > лобных зон направленная синхронизация “лидер–ведомый” повышалась в лобных областях коры на частоте 12 Гц после начала исполнения фрагментов

Таблица 1. Продолжение

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[46]	I. (*a*) 1 пианист, 1 слушатель (*b*) – (*c*) м (*d*) пианист/слушатель II. (*a*) трио (альт, флейта, арфа), 14 слушателей (данные ЭЭГ одного) (*b*) – (*c*) 2 м : 1 ж (*d*) трио/слушатель	(*a*1) I. проигрывание мелодий: (1) нейтрально и (2) эмоционально: – Шуберт-экспромт (*in G flat major Op.* 90 *No.* 3) – импровизация, полифоническая (*a*2) II. исполнение двумя способами: (1) нейтрально и (2) эмоционально – Ж. Ибер – Г.Ф. Телеман – Импровизация – М. Равель – Импровизация (*b*) “Групповое исполнение”, наличие слушателя (*c*1) Качественный анализ (*c*2) Сравнение импровизации и известной мелодии (*c*2) Сравнение эмоционального и неэмоционального исполнения	(*a*) ЭЭГ; 8 электродов (*b*) Направленый показатель синхронизации – условная взаимная информация от смешанного включения (*conditional mutual information from mixed embedding, MIME*) (*c*) Лобные, центральные, теменные и височные отведения	I. 1. У пианиста при импровизации количество причинных связей (охватывают большинство областей) >, чем при проигрывании известной мелодии (охватывают теменные и центральные области) 2. У слушателя при импровизации количество причинных связей (охватывают большинство областей) >, чем при проигрывании известной мелодии (охватывают области правого полушария) 3. Причинные связи на межсубъектном уровне направлены от пианиста к слушателю II. 1. У музыкантов (трио) причинные связи при проигрывании известных мелодий сильнее, чем при импровизации, 2. У слушателя причинные связи при проигрывании известных мелодий сильнее, чем при импровизации, 3. Эмоциональное и неэмоциональное исполнение характеризуется различными причинными связями (как в мозге музыкантов, так и слушателя), 4. Причинные связи на межсубъектном уровне направлены от всех участников трио к слушателю, внутри трио – от арфы к флейте и виолончели
[47]	(*a*) 4 гитариста (*b*) 46.5 ± 1.7 (*c*) 4 ж (*d*) проф. квартет	(*a*) Проигрывание 2-х мелодий квартетом (*Libertango* (*Astor Piazzolla*) *an*d *Comme un Tango* (*Patrick Roux*)) (*b*) “Групповое исполнение” (*c*1) Качественный анализ (*c*2) Теория графов	(*a*) ЭЭГ; 28 электродов (*b*) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*). Расчет: интегрального индекса взаимосвязи, частоты интереса: 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 Гц, временно́й интервал анализа – 5 с (*c*) Анализ данных от 28 электродов	1. Выявлены паттерны межсубъектной синхронизации, включающие – двух, трех и четырех участников 2. Паттерны синхронизации внутри квартета динамически меняются во времени в зависимости от проигрываемых фрагментов

Таблица 1. Окончание

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[48]	(*a*) 3 гитариста (*b*) – (*c*) 3 м (*d*) 2 дуэт (с одним и тем же лидером)	(*a*) Свободная импровизация 5–7 мин на выбранную тему (*b*) “Лидер–ведомый” со сменой ролей (*c*) “Case study”. Качественный анализ. Теория графов	(*a*) ЭЭГ; 64 электрода (*b*1) Комплексный *Wavelet* (*Morlet*). Расчет: интегрального индекса взаимосвязи, частоты интереса: 1.25, 2.5, 5, 10 Гц, временно́й интервал – 10 с (>Σ 10 эпох) (*b*2) *Wavelet* (*Morlet*) для аудиозаписей Частоты интереса: (50–250, 250–500, 500–2000, 50–2000 Гц) (c) Анализ данных от 40 электродов	1. Увеличение межсубъектной фазовой синхронизации ЭЭГ, ЭЭГ и инструментов 2. Вариативность синхронизации во времени и в парах
[49]	(*a*) данные 15 пианистов (*b*) 18-28 (*c*) – (*d*) 12 дуэтов	(*a*) Проигрывание коротких последовательностей нот в дуэте. Пробы: разное время вступление, похожие/непохожие последовательности нот у участников, игра “в унисон” (*b*1) “Равные роли” Условия: (*b*2.1) *Face-to-face* (*b*2.2) *Person-computer* (*c*) 3-*way ANOVA*	(*a*) ЭЭГ; 64 электрода (*b*) Вейвлет-преобразование (Морле). Эпоха анализа: 5 с (–1; 4) относительно начала пробы Центральные частоты интереса: 8.2, 9.3, 10.4, 11.7 Гц (*c*) Анализ данных при усреднении лобно-центральных отведений (F_1, Fz, F_2, FC_1, FCz, FC_2, C_1, Cz, C_2), теменных левого (C_1, C_3, TP_7, CP_5, CP_3, P_7, P_5, P_3) и правого полушарий (C_2, C_4, CP_4, CP_6, TP_8, P_4, P_6, P_8)	1. Вызванная синхронизация в α-диапазоне была выше у начинающего игру человека в пробе “унисон”, играющего с компьютерным партнером, что может указывать на “соло-подобное” исполнение и игнорирование компьютера в качестве партнера 2. При игре с человеком таких различий не выявлено
[50]	(*a*) 10 проф. скрипачей (*b*) 32.7 ± 8 (*c*) 5 м : 5 ж (*d*) 5 дуэтов	(*a*) Проигрывание мелодии (дуэт 37 Б. Бартока) наизусть. Пробы: – проигрывание первой и второй партии соло (индивидуально); – проигрывание партии в дуэте (*b*) “Лидер–ведомый” (*c*) *Paired Wilcoxon Test*	(*a*) *fNIRS* (760 и 850 нм). ЧД = 7.81 Гц, интервал анализа 30 с (*b*) Уровень *Oxy-Hb* (“Сольное *vs* Дуэт”) (*c*) Моторная и сенсомоторная кора и височно-теменные области правого полушария	1. В височно-теменных и сенсомоторных областях *Oxy-Hb* в дуэте > *Oxy-Hb* соло у исполнителей 2-й партии 2. У исполнителей первой партии таких различий при проигрывании соло и партии в дуэте не наблюдалось

Примечание: в ЭЭГ-исследованиях немецко-итальянских коллобораторов (работы с участием – *Lindenberger U.* и *Müller V.*) референтные электроды располагались либо на мастоидах, либо на одном правом мастоиде. В исследованиях *Washburn A. et al.* [49] – общий усредненный референт находился в топографии между *CPz* и *Cz*, в исследовании *X. Wan et al.* – в отведении *Cz*.

двигательной активности коррелирует с возникновением межсубъектной синхронизации в α-μ-диапазонах в центральных и теменных областях правого полушария [21], а уровень десинхронизации μ-ритма ЭЭГ (10–12 Гц) в центральных и теменных областях коры правого полушария связан с изменениями паттерна поведения в задаче синхронных/асинхронных движений пальцев в паре [73].

Несмотря на то, что простое исполнение музыкальных произведений несколькими людьми по нотам скорее можно соотнести с процессами "кооперации", соревновательный момент (а значит и элементы творчества) здесь может проявляться в технике и эмоциональности исполнения. При этом, разные роли в дуэте при одинаковой сложности партий могут вызывать неравнозначные изменения нейрофизиологических характеристик. Так музыкант, играющий вторую партию на скрипке, характеризуется большей активацией височно-теменных и сенсомоторных областей коры в условиях совместного исполнения по сравнению с исполнением индивидуально, в то время как у играющего первую партию таких закономерностей не выявлено [50]. При уравновешенной по сложности партии это может свидетельствовать о большей когнитивной нагрузке аккомпаниатора, включающей необходимость синхронизировать свои действия и игру с солистом.

Как и во многих других исследованиях с гиперсканнингом, в работе [42] при исполнении коротких музыкальных фрагментов дуэтом наблюдалось повышение межсубъектной синхронизации в низкочастотных диапазонах ЭЭГ (0.5–7.5 Гц, с максимумом 3.3 Гц), охватывающей лобные и центральные зоны мозга, в период необходимой координации совместной деятельности – *перед* и *в самом начале исполнения* музыкального фрагмента.

Важным наблюдением является то, что просто совместное исполнение музыкальных фрагментов, например, в паре с компьютером (как и в работе с *Prisoner's Dilemma Y. Hu et al.* [54]), – отличается от ситуаций взаимодействия "человек–человек", демонстрируя важность именно социальной составляющей совместной деятельности. В исследовании [49] было показано внутрисубъектное увеличение синхронизации в α-диапазоне в пробе игра в "унисон" в паре "человек–компьютер", что может означать "соло-подобное" исполнение и игнорирование компьютера в качестве партнера.

Любопытно, что, если в исполнении участвуют больше, чем 2 чел., некоторые авторы [47] описывают формирование динамического рисунка межсубъектной синхронизации, модули которого включают синхронизацию одного, двоих, троих и четверых субъектов (например, в квартете).

Нейрофизиология совместного выполнения творческих задач и межсубъектная синхронизация в условиях гиперсканнинга

Гипперсканнинговые исследования творческой деятельности представлены немногочисленными, начиная с 2018 г., работами – реализованными посредством *fNIRS* технологии (*ETG*-7100, *Hitachi Medical company*, Япония; *Tandem NIR-Sport*; *LLC NIRx Medical Technologies,* США). В отличие от исполнительских искусств, при гиперсканнинговом изучении творчества пока используются только вербальные задания. При этом, творческая деятельность как создание новых идей рассматривается при совместном решении эксплицитно заданных задач, таких как: разработка нового продукта [38] или поиск решения нестандартных ситуаций [53]. Также используется классические творческие задания на поиск оригинальных способов применения различных предметов (*Alternative Uses Test*, тест Гилфорда, 1967) [37]. В отличие от исполнительских искусств, такая постановка задач дает возможность исследовать творческую деятельность у "обычных" участников, не обладающих специализированными навыкам (табл. 2).

В гиперсканнинговых исследованиях появляется возможность проводить сравнения нейрофизиологии совместной и индивидуальной творческой деятельности, оценивая влияние различных факторов: инструкции (кооперироваться/конкурировать), уровня творческих способностей участников в паре, пола участников или типа обратной связи (табл. 2) и др.

Вместе с тем, указанные подходы реализованы лишь частично: отражены в современных работах гиперсканнинга и творчества: 1) изменения межсубъектной синхронизации для сравнений "тест-контроль" и 2) описаны эффекты улучшения качества творческой продукции при кооперативном взаимодействии в процессе выполнения вербальных творческих задач.

В работе [38] при подходе "тест-контроль" показано увеличение межсубъектной синхронизации (в паре) при творческой деятельности (разработка продукта) по сравнению с нетворческой деятельностью (сборка 3*d* модели) между лобными и височно-теменными областями (левого полушария), а также между лобной корой и задней частью верхней височной извилины (по данным *fNIRS*). Участие лобных, височных и теменных зон коры в дискриминации совместных творческой-нетворческой деятельностей соотносится с включением систем *MNS* и *MENT* при реализации совместной (творческой) деятельности, но

Таблица 2. Обзор основных работ по нейрофизиологическим характеристикам выполнения творческих задач в условиях гиперсканнирования

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[53]	(*a*) 60 студентов (*b*) 21 ± 1.4 (*c*) 17 м : 43 ж (*d*) 30 пар, типы: – 2 высококреативных – 2 низкокреативных – 1 высоко- 1 низкокреативные	(*a*) *Face-to-face*: творческое задание (10 мин) – придумать решения ситуации: “Вы идете на концерт и собираетесь встретиться с друзьями уже в зале. Кассир сообщает вам, что ваши знакомые уже зашли, и чтобы попасть внутрь, вам нужно предъявить паспорт. Оказывается, что и кошелька, и паспорта у вас нет. Что можно сделать, чтобы достать свои билеты и попасть на концерт?”. Каждый испытуемый по очереди предлагает решение (*b*) “*Тест-baseline*” (*c*) *One-way ANOVA* (*group*)	(*a*) *fNIRS* (695 и 830 нм). ЧД = 10 Гц, 10–20% (*b*1) Когерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) *IBS* (*c*1) Лобные области билатерально – 15 оптодов – 22 канала (8 источников/7 детекторов) (*c*2) Височные и теменные области справа – 16 оптодов – 24 канала (8 источников/8 детекторов)	1. Уровень межъсубъектной синхронизации (*IBS*) повышался только в паре низкокреативных участников в лобных (*PFC*, *prefrontal cortex*) и височно-теменных областях правого полушария (*rTPJ*, *right temporal-parietal junction*) 2. В парах “низкокреативный-низкокреативный” наблюдался более высокий уровень кооперативного поведения
[74]	(*a*) 118 (*b*) 20.72 ± 2.47 (*c*) 16 м : 102 ж (*d*) 20 пар – с “+”, 19 – с “–” и 20 – с нейтральной обратной связью + один и тот же третий “ложный участник” – дает ответ, оценивает ответы одного из участников	(*a*) *Face-to-face* втроем: творческое задание: “Ваш друг сидит рядом с вами на занятиях и очень любит разговаривать с вами, он отвлекает вас, поэтому вы часто пропускаете часть лекций и не успеваете сделать свою работу. Что делать?”. Участники по очереди предлагают идеи или “пропускают ход”. Состояние покоя с закрытыми глазами (2 мин) (*b*) “*Тест -baseline*” (*c*) 2-*Way ANOVA* (обратная связь) × (диада)	(*a*) *fNIRS* (695 и 830 нм). ЧД = 10 Гц (*b1*) Когерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) *IBS* (*c*) Лобные области билатерально – 15 оптодов – 22 канала (8 источников/7 детекторов)	1. Негативная обратная связь для одного из участников понижала коллективный уровень оригинальности и беглости идей всей группы 2. Межсубъектная синхронизация в фронтальной и дорзолатеральной префронтальной коре билатерально в условиях позитивной и негативной обратной связи >, чем при нейтральной обратной связи 3. В условиях положительной обратной связи уровень синхронизации коррелировал с оригинальностью и беглостью идей

Таблица 2. Продолжение

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[38]	(*a*) 56 (*b*) 32.09 ± 6.95 [*SD*] (*c*) 29 м : 27 ж (*d*) 28 пар: 9 пар м–м, 8 пар ж–м, 8 пар ж–ж	(*a*) *Face-to -face*: Творческое задание (10 мин) – совместная разработка продукта, мотивирующего людей голосовать. Нетворческое задание (10 мин) – совместная сборка модели самолета (3*d*) (*b*) “Тест-контроль” (*c*1) *One-way ANOVA*: сравнение показателей реальных и ложных (путем пермутации) пар (*c*2) *T-tests*	(*a*) *fNIRS* (760 и 850 нм). ЧД = 7.81 Гц (*b*1) Ккогерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) Уровень межсубъектной синхронизации (*IBS*) (*c*) Левое полушарие -*SFG*, *aPFC*, *IFG*, *aSTG*, *PG*, *pSTG*, *IPL*, *TPJ* 16 оптодов на человека – 22 канала (8 источников/8 детекторов)	1. Увеличение межсубъектной синхронизации между лобными и височными областями при совместной деятельности (*aPFC-pSTG and IFG-pSTG*) 2. Творческая деятельность *vs* нетворческая – бóльшие значения межсубъектной синхронизации между лобными – височными и лобными – височно-теменными областями (*aPFC-pSTG*, *aPFC-TPJ*) 3. *IBS* для *aPFC-pSTG* и *IFG-pSTG* для реальных пар > чем для “ложных” пар, полученных путем пермутации
[37]	(*a*) 104 (*b*) 21 ± 1.52 (*c*) 40 м : 64 ж (*d*) 25 пар – *AUT* 26 пар – *OCT*	(*a*) *Face-to-face*: 2 группы – 25 пар (выполняли *AUT*): 26 пар (выполняли *OCT*). Творческое задание (*AUT*) – 5 мин; нетворческое задание (*OCT*) – перечислить характеристики объекта – 5 мин. Состояние покоя глаза закрыты (1 мин) (*b*1) “Задание-фон” (*b*2) “Сравнение групп” (*b*3) “Кооперация *vs* соревнование” (*c*) 2 – *Way-Mixed design ANOVA* 2 (задания: *AUT vs OCT*) × 2 (взаимодействие: кооперация *vs* соревнование)	(*a*) *fNIRS* (695 и 830 нм). ЧД = 10 Гц (*b*1) когерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) *IBS* (*c*1) Лобные области билатерально – 15 оптодов – 22 канала (8 источников/7 детекторов) (*c*2) Височные и теменные области справа – 16 оптодов – 24 канала (8 источников/8 детекторов)	1. Беглость (*AUT, OCT*) и оригинальность (*AUT*) в условиях кооперации >, чем в условиях соревнования 2. Межсубъектная синхронизации (*IBS*) для *AUT* (кооперация) > фон в *r-DLPFC* и *r-TPJ* 3. *IBS* для *AUT* (кооперация) > *AUT* (соревнование) и *OCT* (кооперация) в *r-DLPFC* и *r-TPJ*

Таблица 2. Окончание

Публикация	(*a*) *N* участников (*b*) Средний возраст (года) (*c*) Число муж : жен (*d*) Единицы сессии	(*a*) Задания (*b*) Парадигма (*c*) Анализ	(*a*) Метод: параметры регистрации (*b*) Параметры анализируемого сигнала (*c*) Области интереса	Физиологические эффекты
[75]	(*a*) 132 (*b*) 21.23 ± 2.91 (*c*) 58 м : 74 ж (*d*) 26 пар ж–ж, 22 пар ж–м, 18 пар м–м	(*a*) *Face-to-face*: Творческое задание (*AUT*) – 5 мин; нетворческое задание (*OCT*) – 5 мин. Состояние покоя – глаза закрыты (1 мин) (*b*1) “Задание-фон” × 3 комбинации пар (ж–ж; м–м; м–ж) (*b*2) “Тест-контроль” (*c*) *One-way ANOVA*	(*a*) *fNIRS* (695 и 830 нм). ЧД = 10 Гц (*b*1) Когерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) *IBS* (*c*1) Лобные области билатерально – 15 оптодов – 22 канала (8 источников/7 детекторов) (*c*2) Височные и теменные области справа – 16 оптодов – 24 канала (8 источников/8 детекторов)	1. Нет различий по полу (для оригинальности беглость задания *AUT*) 2. В парах ж–ж значения кооперативного поведения и коллективной гибкости >, чем у других диад 3. *IBS* при *AUT* у пар “ж–ж” в правых задних теменных областях >, чем у других диад
[76]	(*a*) 54 (*b*) 20.52 ± 2.22 (*c*) 10 м : 44 ж (*d*) 22 пар ж–ж, 5 пар м–м	(*a*) *Face-to-face*: Творческое задание – *AUT* (5 мин); состояние покоя – глаза закрыты (1 мин) Типы коммуникации в *AUT* задании в парах: 1. Естественный разговор – перечисление идей вслух, когда пришли в голову 2. Последовательный разговор – перечисление идей по очереди, приводя по одной идее 3. Электронная коммуникация – печать идей в приложении, видя идеи партнера из пары (*b*) Сравнения типов коммуникации в *AUT* (*c*) *One-Way ANOVA*	(*a*) *fNIRS* (695 и 830 нм). ЧД = 10 Гц (*b*1) Когерентность вейвлет-преобразования показателя *HbO* (*WTC*) (*b*2) *IBS* (*c*1) Лобные области билатерально – 15 оптодов – 22 канала (8 источников/7 детекторов) (*c*2) Височные и теменные области справа – 16 оптодов – 24 канала (8 источников/8 детекторов)	1. Уникальность идей при последовательном разговоре >, чем при электронной коммуникации 2. *IBS* в правой угловой извилине в условиях последовательного разговора >, чем при других видах коммуникации в *AUT*

Примечание: SFG – Superior Frontal Gyrus, *aPFC – Anterior prefrontal cortex*, *IFG – Inferior frontal gyrus*, *aSTG – Anterior Superior Temporal Gyrus*, *PG – precentral gyrus*, *pSTG – Posterior Superior Temporal gyrus*, *IPL – Inferior Parietal Lobule*, *TPJ – Temporoparietal Gyrus*; *fNIRS – functional near-infrared spectroscopy* (функциональная спектроскопия в ближней инфракрасной области); *r-DLPFC – right dorsolateral prefrontal cortex*; *r-TPJ – right temporal-parietal junction*. *AUT – alternative uses test*, *OCT – object characteristics task*; *WTC – Wavelet Transform Coherence*; *IBS – interbrain synchronization*.

также соотносится и с данными работ, описывающих реализацию творческой деятельности при индивидуальном выполнении (вне гипперсканнинга). В частности, в ряде работ обсуждается взаимосвязь сетей дефолтной системы мозга (*default mode network, DMN*) и когнитивного контроля [77, 78] для реализации творчества. Так активация мультимодальных зон коры – теменной и медиальной префронтальной коры, задней и передней поясной извилин связывается с ассоциативными процессами [79–82], а активация дорзолатеральной префронтальной коры – с оценкой и выбором идей [83–85]. Активация височно-теменных зон коры (преимущественно правого полушария) возникала при увеличении оригинальности решений [52] в условиях предъявления испытуемому чужих идей во время выполнения теста альтернативного использования, что авторы связывают с активацией ассоциативных следов памяти.

Эти же зоны задействованы там, где коммуникация (описано для "кооперации") является одним из ключевых факторов, способствующих повышению эффективности творческой деятельности. Кооперативное поведения при творческой деятельности, с одной стороны, может увеличивать ее результативность [37], с другой стороны – проявляться увеличением межсубъектной синхронизации. Так, в исследованиях *с участием волонтеров одного и разных полов* было выявлено увеличение межсубъектной синхронизации в теменных областях правого полушария у женщин (в экспериментальных парах) по сравнению с парами "мужчина–мужчина" или "мужчина–женщина" при выполнении творческого задания [75]. А как было показано ранее (при кооперация "лицом-к-лицу") [53], решение дивергентной проблемной ситуации *парами низко-, высоко- и смешанных по уровню креативности испытуемых* не выявило различий в беглости и оригинальности ответов испытуемых. При этом уровень кооперации в паре низкокреативных участников был выше и только у них соотносился с повышенной межсубъектной синхронизацией в лобных (правая дорзолатеральная префронтальная кора) и височно-теменных областях (*temporal-parietal junction*) коры правого полушария. В другом исследовании ситуации совместной деятельности (сборке пространственной конфигурации из геометрических фигур) активация верхней височной извилины правого полушария наблюдалась у ведущего – при невербальном объяснении (движения своей фигуры) пространственного расположения фигур на плоской доске другому участнику [29]. Высокие уровни корреляции *BOLD*-сигнала в этой области появились при совместном успешном решении пространственных задач. Можно предположить, что синхронизация активности височных и височно-теменных отделов коры может быть связана с более успешной эвристической деятельностью в паре. По всей видимости, кооперация дает возможность использовать более широкую ассоциативную сеть для поиска решений всеми участниками взаимодействия, а уровень межсубъектной синхронизации, вероятно, "определяет/облегчает" понимание друг друга и идей партнера. Последнее утверждение было подкреплено данными *fNIRS* об увеличении межсубъектной синхронизации между лобными и височно-теменными областями правого полушария, лобными и теменно-височными областями правого полушария испытуемых *при решении творческой задачи в условиях сотрудничества, по сравнению с ситуацией конкуренции* [37]. Большая синхронизация при кооперативном поведении, по сравнению с конкурентным, наблюдалась и в условиях решения дилеммы заключенного [55]. Значимым для социального взаимодействия становятся даже условия кооперативного диалога – синхронизация в левой нижней лобной извилине (по данным *fNIRS*) была выше в условиях диалога знакомых участников "лицом-к-лицу" по сравнению с их диалогом "спина-к-спине" и монологами "лицом-к-лицу" и "спина-к-спине" [86].

В исследованиях творческой деятельности с применением гиперсканнинга пока реализуется изучение творчества как непрерывного состояния. Модельный ряд парадигм нейрофизиологических исследований "индивидуального" творчества вне гиперсканнинга гораздо шире [87–89]: ведутся исследования не только творческой деятельности как "состояния" [90–92], но и этапов творческого процесса [93], коротких моментов (в парадигме вызванных потенциалов) принятия решений [94–97] и др. Изучаются мозговые механизмы творческой деятельности у испытуемых с различными интеллектуальными характеристиками [98–100], при разных стратегиях выполнения творческих задач [101, 102], разных типах творческой деятельности [103–105], в разных условиях [85, 92] и с градацией уровня сложности задачи [40, 95, 106]. При этом физиологические данные весьма вариативны. По всей видимости, расширение спектра исследований и методов (снимающих ограничения *fNIRS* по зонам интереса) с использованием гиперсканнинга – дело будущего.

Вместе с тем, полученные данные в исследованиях творческой деятельности и исполнительских искусств дополняют представления о роли височно-теменных областей правого полушария в социальных взаимодействиях и эмпатии [107], а лобных областей – в координации целенаправленной совместной деятельности между участниками как в условиях кооперации, так и в условиях соревнования [108–110]. А также предлагают новые данные о влиянии разных видов обратной связи на процессы кооперации и межсубъектной

синхронизации при выполнении творческих задач. Так в исследованиях совместной деятельности [74] синхронизация во фронтополярных и дорзолатеральной префронтальной коре была выше при наличии положительной/отрицательной внешней оценки по сравнению с нейтральной обратной связью, но знак получаемой испытуемыми оценки не имел значения. А вот своего рода стимуляция участников ответами других испытуемых (поочередное предложение идей) увеличивало межсубъектную синхронизацию в правой угловой извилине по сравнению с перечислением идей (без учета очередности в паре) или использованием электронной обратной связи [76].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможные направления нейрофизиологических исследований с подходом гиперсканнинг. С момента предложения термина "*hyperscanning*" (2002) в базе данных *pubmed.gov* (*National Center for Biotechnology Information*, США) индексируется около 200 работ на поисковые запросы, включающие термины: "*hyperscanning*", "*brain-to-brain*", "*fMRI/NIRS/EEG*". Минимальная часть этих работ посвящена изучению совместной творческой деятельности и нейрофизиологии исполнительских искусств. Вместе с тем, совместное творчество и социальное взаимодействие – перспективная область исследований. Наиболее вероятно, что в ближайшее время в нейрофизиологии совместной творческой деятельности и исполнительских искусств будет происходить:

1. Расширение набора используемых методов исследования. Переход от *fNIRS* (ограничение по количеству оптодов и выбору зон интереса) к более широкому использованию ЭЭГ и фМРТ, а также одновременной регистрации мультимодальных данных (ЭЭГ, *fNIRS*, вегетативных показателей) при совместной деятельности.

2. Увеличение числа используемых парадигм исследований [87–89], включая длительные процессы творческой деятельности [90, 92, 95] и короткие моменты/этапы принятия решения в парадигме вызванных потенциалов [85, 94, 96, 97].

3. Рассмотрение влияния различных психологических факторов (интеллект, личностные черты, когнитивные стили, уровень тревожности и др.) и ситуаций общения на нейрофизиологические характеристики при совместной деятельности.

4. Обращение к широкому спектру исполнительских искусств – танец в воображении, пение и др. Особый интерес могут представлять исследования коммуникации актеров для оценки формируемых паттернов индуцированных и сценических эмоциональных состояний [111, 112], сопоставления межсубъектной коммуникации в реальных и сценических ситуациях, в том числе, в парах: "опытный учитель–начинающий актер".

5. Исследования эффективности взаимодействия в паре или группе, в процессе принятия коллективного решения, исследования в области нейромаркетинга [113].

6. Исследования методом гиперсканнинга в больших группах людей, при помощи мобильных устройств, что может использоваться в образовательном процессе, для анализа взаимодействий и вовлеченности в деятельность в классе, взаимодействия "учитель–ученик" [114, 115], исследование нейрофизиологических изменений у зрителей в зале, музыкантов и актеров [116].

7. Исследования эффектов терапии: семейной, музыкальной [117, 118] и др., с возможностью предсказывать несодружественную стратегию поведения [55] в паре (например, по уровню межсубъектной синхронизации) и подбирать индивидуальный подход и обратную связь для выравнивания социального взаимодействия и перспектив коммуникации.

Финансирование работы. Работа поддержана РФФИ 19-015-00412.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Montague P.R., Berns G.S., Cohen J.D. et al.* Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions // Neuroimage. 2002. V. 16. № 4. P. 1159.
2. *Kasai K., Fukuda M., Yahata N. et al.* The future of real-world neuroscience: imaging techniques to assess active brains in social environments // Neurosci Res. 2015. V. 90. P. 65.
3. *Dumas G.* Towards a two-body neuroscience // Commun. Integr. Biol. 2011. V. 4. № 3. P. 349.
4. *Sänger J., Lindenberger U., Müller V.* Interactive brains, social minds // Commun. Integr. Biol. 2011. V. 4. № 6. P. 655.
5. *Di Paolo E., De Jaegher H.* The interactive brain hypothesis // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 163.
6. *Konvalinka I., Roepstorff A.* The two-brain approach: how can mutually interacting brains teach us something about social interaction? // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 215.
7. *Schoot L., Hagoort P., Segaert K.* What can we learn from a two-brain approach to verbal interaction? // Neurosci. Biobehav. Rev. 2016. V. 68. P. 454.
8. *de Bruin L., van Elk M., Newen A.* Reconceptualizing second-person interaction // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 151.
9. *Przyrembel M., Smallwood J., Pauen M., Singer T.* Illuminating the dark matter of social neuroscience: Considering the problem of social interaction from philo-

sophical, psychological, and neuroscientific perspectives // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 190.

10. *Stephens G.J., Silbert L.J., Hasson U.* Speaker-listener neural coupling underlies successful communication // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. V. 107. № 32. P. 14425.
11. *Babiloni F., Astolfi L.* Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future // Neurosci. Biobehav. Rev. 2014. V. 44. P. 76.
12. *Acquadro M.A., Congedo M., De Riddeer D.* Music Performance As an Experimental Approach to Hyperscanning Studies // Front. Hum. Neurosci. 2016. V. 10. P. 242.
13. *Balconi M., Vanutelli M.E.* Cooperation and Competition with Hyperscanning Methods: Review and Future Application to Emotion Domain // Front. Comput. Neurosci. 2017. V. 11. P. 86.
14. *Pfeiffer U.J., Vogeley K., Schilbach L.* From gaze cueing to dual eye-tracking: novel approaches to investigate the neural correlates of gaze in social interaction // Neurosci. Biobehav. Rev. 2013. V. 37. № 10. Pt 2. P. 2516.
15. *Macdonald R.G., Tatler B.W.* Gaze in a real-world social interaction: A dual eye-tracking study // Q. J. Exp. Psychol. (Hove). 2018. V. 71. № 10. P. 2162.
16. *Rogers S.L., Speelman C.P., Guidetti O., Longmuir M.* Using dual eye tracking to uncover personal gaze patterns during social interaction // Sci Rep. 2018. V. 8. № 1. P. 4271.
17. *Czeszumski A., Eustergerling S., Lang A. et al.* Hyperscanning: A Valid Method to Study Neural Inter-brain Underpinnings of Social Interaction // Front. Hum. Neurosci. 2020. V. 14. P. 39.
18. *Redcay E., Dodell-Feder D., Pearrow M.* Live face-to-face interactionduring fMRI: a new tool for social cognitive neuroscience // Neuroimage. 2010. V. 50. P. 1639.
19. *Astolfi L., Toppi J., De Vico Fallani F. et al.* Neuroelectrical hyperscanning measures simultaneous brain activity in humans // Brain Topogr. 2010. V. 23. № 3. P. 243.
20. *Wang M.Y., Luan P., Zhang J. et al.* Concurrent mapping of brain activation from multiple subjects during social interaction by hyperscanning: a mini-review // Quant. Imaging Med. Surg. 2018. V. 8. № 8. P. 819.
21. *Dumas G., Nadel J., Soussignan R. et al.* Inter-brain synchronization during social interaction // PLoS One. 2010. V. 5. № 8. P. e12166.
22. *Yun K., Watanabe K., Shimojo S.* Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction // Sci Rep. 2012. V. 2. P. 959.
23. *Konvalinka I., Bauer M., Stahlhut C. et al.* Frontal alpha oscillations distinguish leaders from followers: multivariate decoding of mutually interacting brains // Neuroimage. 2014. V. 94. P. 79.
24. *Cheng X., Pan Y., Hu Y., Hu Y.* Coordination Elicits Synchronous Brain Activity Between Co-actors: Frequency Ratio Matters // Front. Neurosci. 2019. V. 13. P. 1071.
25. *Chen Y., Zhao Y., Song H., Guan L., Wu X.* The neural basis of intergroup threat effect on social attention // Sci Rep. 2017. V. 7. P. 41062.
26. *Krueger F., McCabe K., Moll J. et al.* Neural correlates of trust // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104. № 50. P. 20084.
27. *Shaw D.J., Czekóová K., Staněk R. et al.* A dual-fMRI investigation of the iterated Ultimatum Game reveals that reAppsciprocal behaviour is associated with neural alignment // Sci Rep. 2018. V. 8. № 1. P. 10896.
28. *Toppi J., Borghini G., Petti M. et al.* Investigating Cooperative Behavior in Ecological Settings: An EEG Hyperscanning Study // PLoS One. 2016. V. 11. № 4. P. e0154236.
29. *Stolk A., Noordzij M.L., Verhagen L. et al.* Cerebral coherence between communicators marks the emergence of meaning // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2014. V. 111. № 51. P. 18183.
30. *Dikker S., Wan L., Davidesco I. et al.* Brain-to-Brain Synchrony Tracks Real-World Dynamic Group Interactions in the Classroom // Curr. Biol. 2017. V. 27. № 9. P. 1375.
31. *Spiegelhalder K., Ohlendorf S., Regen W. et al.* Interindividual synchronization of brain activity during live verbal communication // Behav. Brain Res. 2014. V. 258. P. 75.
32. *Astolfi L., Toppi J., Borghini G. et al.* Cortical activity and functional hyperconnectivity by simultaneous EEG recordings from interacting couples of professional pilots // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2012. V. 2012. P. 4752.
33. *Szymanski C., Pesquita A., Brennan A.A. et al.* Teams on the same wavelength perform better: Inter-brain phase synchronization constitutes a neural substrate for social facilitation // Neuroimage. 2017. V. 152. P. 425.
34. *Tang H., Mai X., Wang S. et al.* Interpersonal brain synchronization in the right temporo-parietal junction during face-to-face economic exchange // Soc. Cogn. Affect. Neurosci. 2016. V. 11. № 1. P. 23.
35. *Zhang M., Ding K., Jia H., Yu D.* Brain-to-brain synchronization of the expectation of cooperation behavior: A fNIRS hyperscanning study // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2018. V. 2018. P. 546.
36. *Müller V., Sänger J., Lindenberger U.* Intra- and interbrain synchronization during musical improvisation on the guitar // PLoS One. 2013. V. 8. № 9. P. e73852.
37. *Lu K., Xue H., Nozawa T., Hao N.* Cooperation Makes a Group be More Creative // Cereb/Cortex. 2019a. V. 29. № 8. P. 3457.
38. *Mayseless N., Hawthorne G., Reiss A.L.* Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study // Neuroimage. 2019. V. 203. P. 116161.
39. *Бехтерева Н.П.* Магия творчества и психофизиология. Факты, соображения, гипотезы. The magic of creativity and psychophysiology. Considerations, thoughts, hypotheses. Спб.: “Сова”, 2006. 79 с.

40. *Шемякина Н.В., Данько С.Г., Нагорнова Ж.В. и др.* Динамика спектров мощности и когерентности ритмических компонентов ЭЭГ при решении вербальной творческой задачи преодоления стереотипа // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 5. С. 14.
Shemyakina N.V., Danko S.G., Nagornova Zh.V. et al. Changes in the power and coherence spectra of the EEG rhythmic components during solution of a verbal creative task of overcoming a stereotype // Human Physiology. 2007. V. 33. № 5. P. 524.

41. *Runco M.A., Jaeger G.J.* The Standard Definition of Creativity // Creativity Res. J. 2012. V. 24. № 1. P. 92.

42. *Lindenberger U., Li S.C., Gruber W., Müller V.* Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar // BMC Neurosci. 2009. V. 10. P. 22.

43. *Babiloni C., Vecchio F., Infarinato F. et al.* Simultaneous recording of electroencephalographic data in musicians playing in ensemble // Cortex. 2011. V. 47. № 9. P. 1082.

44. *Sänger J., Müller V., Lindenberger U.* Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 312.

45. *Sänger J., Müller V., Lindenberger U.* Directionality in hyperbrain networks discriminates between leaders and followers in guitar duets // Front. Hum. Neurosci. 2013. V. 7. P. 234.

46. *Wan X., Crüts B., Jensen H.J.* The causal inference of cortical neural networks during music improvisations // PLoS One. 2014. V. 9. № 12. P. e112776.

47. *Müller V., Sänger J., Lindenberger U.* Hyperbrain network properties of guitarists playing in quartet // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2018. V. 1423. P. 198.

48. *Müller V., Lindenberger U.* Dynamic Orchestration of Brains and Instruments During Free Guitar Improvisation // Front. Integr. Neurosci. 2019. V. 13. P. 50.

49. *Washburn A., Román I., Huberth M. et al.* Musical Role Asymmetries in Piano Duet Performance Influence Alpha-Band Neural Oscillation and Behavioral Synchronization // Front. Neurosci. 2019. V. 13. P. 1088.

50. *Vanzella P., Balardin J.B., Furucho R.A. et al.* fNIRS Responses in Professional Violinists While Playing Duets: Evidence for Distinct Leader and Follower Roles at the Brain Level // Front. Psychol. 2019. V. 10. P. 164.

51. *Osaka N., Minamoto T., Yaoi K. et al.* How Two Brains Make One Synchronized Mind in the Inferior Frontal Cortex: fNIRS-Based Hyperscanning During Cooperative Singing // Front. Psychol. 2015. V. 6. P. 1811.

52. *Fink A., Koschutnig K., Benedek M. et al.* Stimulating creativity via the exposure to other people's ideas // Hum. Brain Mapp. 2012. V. 33. № 11. P. 2603.

53. *Xue H., Lu K., Hao N.* Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair // Neuroimage. 2018. V. 172. P. 527.

54. *Hu Y., Pan Y., Shi X. et al.* Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making // Biol. Psychol. 2018. V. 133. P. 54.

55. *De Vico Fallani F., Nicosia V., Sinatra R. et al.* Defecting or not defecting: how to "read" human behavior during cooperative games by EEG measurements // PLoS One. 2010. V. 5. № 12. P. e14187.

56. *Astolfi L., Toppi J., Borghini G. et al.* Study of the functional hyperconnectivity between couples of pilots during flight simulation: an EEG hyperscanning study // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2011. V. 2011. P. 2338.

57. *Apps M.A., Lockwood P.L., Balsters J.H.* The role of the midcingulate cortex in monitoring others' decisions // Front. Neurosci. 2013. V. 7. P. 251.

58. *Molenberghs P., Cunnington R., Mattingley J.B.* Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies // Neurosci. Biobehav. Rev. 2012. V. 36. № 1. P. 341.

59. *Molenberghs P., Hayward L., Mattingley J.B., Cunnington R.* Activation patterns during action observation are modulated by context in mirror system areas // Neuroimage. 2012. V. 59. № 1. P. 608.

60. *Iacoboni M., Dapretto M.* The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction // Nat. Rev. Neurosci. 2006. V. 7. № 12. P. 942.

61. *Sanfey A.G.* Social decision-making: insights from game theory and neuroscience // Science. 2007. V. 318. P. 598.

62. *Jiang J., Chen C., Dai B. et al.* Leader emergence through interpersonal neural synchronization // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2015. V. 112. № 14. P. 4274.

63. *Dai B., Chen C., Long Y. et al.* Neural mechanisms for selectively tuning into the target speaker in a naturalistic noisy situation // Nat. Commun. 2018. V. 9. № 1. P. 2405.

64. *Schirmer A., Meck W.H., Penney T.B.* The Socio-Temporal Brain: Connecting People in Time // Trends Cogn. Sci. 2016. V. 20. № 10. P. 760.

65. *Christov-Moore L., Simpson E.A., Coudé G. et al.* Empathy: gender effects in brain and behavior // Neurosci. Biobehav. Rev. 2014. V. 46. Pt. 4. P. 604.

66. *Kinreich S., Djalovski A., Kraus L. et al.* Brain-to-Brain Synchrony during Naturalistic Social Interactions // Sci. Rep. 2017. V. 7. № 1. P. 17060.

67. *Babiloni C., Buffo P., Vecchio F. et al.* Brains "in concert": frontal oscillatory alpha rhythms and empathy in professional musicians // Neuroimage. 2012. V. 60. № 1. P. 105.

68. *Sasaki M., Iversen J., Callan D.E.* Music improvisation is characterized by increase EEG spectral power in prefrontal and perceptual motor cortical sources and can be reliably classified from non-improvisatory performance // Front. Hum. Neurosci. 2019. V. 13. P. 435.

69. *Dikaya L.A., Skirtach I.A.* Neurophysiological correlates of musical creativity: The example of improvi-

sation // Psychology in Russia: State of the Art. 2015. V. 8. № 3. P. 84.

70. *Beaty R.E.* The neuroscience of musical improvisation // Neurosci. Biobehav. Rev. 2015. V. 51. P. 108.
71. *Donnay G.F., Rankin S.K., Lopez-Gonzalez M. et al.* Neural substrates of interactive musical improvisation: an FMRI study of 'trading fours' in jazz // PLoS One. 2014. V. 9. № 2. P. e88665.
72. *Grewe O., Kopiez R., Altenmüller E.* Chills as an indicator of individual emotional peaks // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2009. V. 1169. P. 351.
73. *Naeem M., Prasad G., Watson D.R., Kelso J.A.* Electrophysiological signatures of intentional social coordination in the 10-12 Hz range // Neuroimage. 2012. V. 59. № 2. P. 1795.
74. *Lu K., Qiao X., Hao N.* Praising or keeping silent on partner's ideas: Leading brainstorming in particular ways // Neuropsychologia. 2019b. V. 124. P. 19.
75. *Lu K., Teng J., Hao N.* Gender of partner affects the interaction pattern during group creative idea generation // Exp. Brain Res. 2020a. V. 238. № 5. P. 1157.
76. *Lu K., Yu T., Hao N.* Creating while taking turns, the choice to unlocking group creative potential // Neuroimage. 2020b. V. 219. P. 117025.
77. *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.
78. *Разумникова О.М., Николаева Е.И.* Тормозные функции мозга и возрастные особенности организации когнитивной деятельности // Успехи физиологических наук. 2019. Т. 50. № 1. С. 75.
Razumnikova O.M., Nikolaeva E.I. [Inhibitory brain functions and age-associated specificities in organization of cognitive activity] // Uspehi fiziologicheskih nauk. 2019. V. 50. № 1. P. 75.
79. *Mayseless N., Eran A., Shamay-Tsoory S.G.* Generating original ideas: The neural underpinning of originality // Neuroimage. 2015. V. 116. P. 232.
80. *Subramaniam K., Beeman M., Faust M., Mashal N.* Positively valenced stimuli facilitate creative novel metaphoric processes by enhancing medial prefrontal cortical activation // Front. Psychol. 2013. V. 4. P. 211.
81. *Tachibana A., Noah J.A., Ono Y. et al.* Prefrontal activation related to spontaneous creativity with rock music improvisation: A functional near-infrared spectroscopy study // Sci. Rep. 2019. V. 9. № 1. P. 16044.
82. *Shamay-Tsoory S.G., Adler N., Aharon-Peretz J. et al.* The origins of originality: the neural bases of creative thinking and originality // Neuropsychologia. 2011. V. 49. № 2. P. 178.
83. *Шемякина Н.В., Данько С.Г.* Изменения мощности и когерентности бета2-диапазона ЭЭГ при выполнении творческих заданий с использованием эмоционально-значимых и эмоционально-нейтральных слов // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 1. С. 27.
Shemyakina N.V., Dan'ko S.G. Changes in the power and coherence of the beta2 EEG band in subjects performing creative tasks using emotionally significant and emotionally neutral words // Human Physiology. 2007. V. 33. № 1. P. 20.
84. *Wu X., Yang W., Tong D. et al.* A meta-analysis of neuroimaging studies on divergent thinking using activation likelihood estimation // Hum. Brain Mapp. 2015. V. 36. № 7. P. 2703.
85. *Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V.* Event-Related Changes in EEG Spectral Power Corresponding to Creative and Trivial Decisions // Russian J. Physiology. 2020. 106. № 7. P. 880.
86. *Jiang J., Dai B., Peng D. et al.* Neural synchronization during face-to-face communication // J. Neurosci. 2012. V. 32. № 45. P. 16064.
87. *Arden R., Chavez R.S., Grazioplene R., Jung R.E.* Neuroimaging creativity: a psychometric view // Behav. Brain Res. 2010. V. 214. № 2. P. 143.
88. *Dietrich A., Kanso R.* A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight // Psychol. Bull. 2010. V. 136. № 5. P. 822.
89. *Benedek M., Christensen A.P., Fink A., Beaty R.E.* Creativity assessment in neuroscience research // Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts. 2019. V. 13. № 2. P. 218.
90. *Razumnikova O.M.* Creativity related cortex activity in the remote associates task // Brain Res. Bull. 2007. V. 73. № 1–3. P. 96.
91. *Bechtereva N.P., Korotkov A.D., Pakhomov S.V. et al.* PET study of brain maintenance of verbal creative activity // Int. J. Psychophysiol. 2004. V. 53. № 1. P. 11.
92. *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.
93. *Jung-Beeman M., Bowden E.M., Haberman J. et al.* Neural activity when people solve verbal problems with insight // PLoS Biol. 2004. V. 2. № 4. P. E97.
94. *Qiu J., Li H., Yang D. et al.* The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study // Brain Cogn. 2008. V. 68. № 1. P. 100.
95. *Шемякина Н.В., Данько С.Г.* Влияние эмоциональной окраски воспринимаемого сигнала на электроэнцефалографические корреляты творческой деятельности // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 2. С. 22.
Shemyakina N.V., Dan'ko S.G. Influence of the Emotional Perception of a Signal on the Electroencephalographic Correlates of Creative Activity // Human Physiology. 2004. V. 30. № 2. P. 145.
96. *Fink A., Benedek M.* EEG alpha power and creative ideation // Neurosci. Biobehav. Rev. 2014. V. 44. № 100. P. 111.
97. *Rominger C., Papousek I., Perchtold C.M. et al.* Creativity is associated with a characteristic U-shaped function of alpha power changes accompanied by an early increase in functional coupling // Cogn. Affect Behav. Neurosci. 2019. V. 19. № 4. P. 1012.

98. *Jausovec N., Jausovec K.* Differences in resting EEG related to ability // Brain Topogr. 2000. V. 12. № 3. P. 229.

99. *Разумникова О.М., Вольф Н.В., Тарасова И.В.* Стратегия и результат: половые различия в электрографических коррелятах вербальной и образной креативности // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 3. С. 31.
Razumnikova O.M., Volf N.V., Tarasova I.V. Strategy and results: sex differences in electrographic correlates of verbal and figural creativity // Human Physiology. 2009. V. 35. № 3. P. 285.

100. *Jauk E., Neubauer A.C., Dunst B., Fink A., Benedek M.* Gray matter correlates of creative potential: a latent variable voxel-based morphometry study // Neuroimage. 2015. V. 111. P. 312.

101. *Бехтерева Н.П., Старченко М.Г., Ключарев В. и др.* Исследование мозговой организации творчества. Сообщение II. Данные позитронно-эмиссионной томографии // Физиология человека. 2000. Т. 26. № 5. С. 12.
Bekhtereva N.P., Starchenko M.G., Klyucharev V.A. et al. Study of the Brain Organization of Creativity: II. Positron-Emission Tomography Data // Human Physiology. 2000. V. 26. № 5. P. 516.

102. *Данько С.Г., Старченко М.Г., Бехтерева Н.П.* Локальная и пространственная синхронизация ЭЭГ при выполнении теста на инсайтную стратегию решения творческих вербальных задач // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 4. С. 129.
Danko S.G., Starchenko M.G., Bechtereva N.P. EEG Local and Spatial Synchronization during a Test on the Insight Strategy of Solving Creative Verbal Tasks // Human Physiology. 2003. V. 29. № 4. P. 502.

103. *Petsche H.* Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis // Int. J. Psychophysiol. 1996. V. 24. № 1–2. P. 145.

104. *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.

105. *Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В.* Различия активации зрительных и ассоциативных зон коры при образной и вербальной деятельности // Российский физиологический журн. им. И.М. Сеченова. 2014. Т. 100. № 4. С. 418.
Nagornova Zh.V., Shemyakina N.V. [Differences of activations in visual and associative zones during figurative and verbal activity] // Rossiĭskii fiziologicheskiĭ zhurnal imeni I.M. Sechenova. 2014. V. 100. № 4. P. 418.

106. *Данько С.Г., Шемякина Н.В., Нагорнова Ж.В., Старченко М.Г.* Сравнение воздействия субъективной сложности и творческого характера вербальной деятельности на спектральные показатели мощности ЭЭГ // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 3. С. 132.
Danko S.G., Shemyakina N.V., Nagornova Z.V., Starchenko M.G. Comparison of the effects of the subjective complexity and verbal creativity on EEG spectral power parameters // Human Physiology. 2009. V. 35. № 3. P. 381.

107. *Decety J., Lamm C.* The role of the right temporoparietal junction in social interaction: how low-level computational processes contribute to meta-cognition // Neuroscientist. 2007. V. 13. № 6. P. 580.

108. *Decety J., Jackson P.L., Sommerville J.A. et al.* The neural bases of cooperation and competition: an fMRI investigation // Neuroimage. 2004. V. 23. № 2. P. 744.

109. *Funane T., Kiguchi M., Atsumori H. et al.* Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy // J. Biomed. Opt. 2011. V. 16. № 7. P. 077011.

110. *Chaminade T., Marchant J.L., Kilner J., Frith C.D.* An fMRI study of joint action-varying levels of cooperation correlates with activity in control networks // Front. Hum. Neurosci. 2012. V. 6. P. 179.

111. *Данько С.Г., Бехтерева Н.П., Шемякина Н.В., Антонова Л.В.* Электроэнцефалографические корреляты мысленного переживания эмоциональных личных и сценических ситуаций. Сообщение I. Характеристики локальной синхронизации // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 3. С. 5.
Danko S.G., Bechtereva N.P., Shemyakina N.V., Antonova L.V. Electroencephalographic Correlates of Mental Performance of Emotional Personal and Scenic Situations: I. Characteristics of Local Synchronization // Human Physiology. 2003. V. 29. № 3. P. 263.

112. *Данько С.Г., Бехтерева Н.П., Шемякина Н.В., Антонова Л.В.* Электроэнцефалографические корреляты мысленного переживания эмоциональных личных и сценических ситуаций. Сообщение II. Характеристики пространственной синхронизации // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 6. С. 31.
Danko S.G., Bechtereva N.P., Shemyakina N.V. Antonova L.V. Electroencephalographic Correlates of Mental Performance of Emotional Autobiographic and Scenic Situations: II. Characteristics of Spatial Synchronization // Human Physiology. 2003. V. 29. № 3. P. 685.

113. *Hakim A., Levy D.J.* A gateway to consumers' minds: Achievements, caveats, and prospects of electroencephalography-based prediction in neuromarketing // Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci. 2019. V. 10. № 2. P. e1485.

114. *Brockington G., Balardin J.B., Zimeo Morais G.A. et al.* From the Laboratory to the Classroom: The Potential of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Educational Neuroscience // Front. Psychol. 2018. V. 9. P. 1840.

115. *Zheng L., Chen C., Liu W. et al.* Enhancement of teaching outcome through neural prediction of the students' knowledge state // Hum. Brain Mapp. 2018. V. 39. № 7. P. 3046.

116. *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.

117. *Fachner J.C., Maidhof C., Grocke D. et al.* "Telling me not to worry..." Hyperscanning and Neural Dynamics of Emotion Processing During Guided Imagery and Music // Front. Psychol. 2019. V. 10. P. 1561.

118. *Bilek E., Stößel G., Schäfer A. et al.* State-Dependent Cross-Brain Information Flow in Borderline Personality Disorder // JAMA Psychiatry. 2017. V. 74. № 9. P. 949.

Neurophysiological Characteristics of Competition and Cooperation in Skills and Creative Task Performace – Review of Hyperscanning Research

N. V. Shemyakina[a], *, Zh. V. Nagornova[a], **

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

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

***E-mail: zhann.nagornova@iephb.ru*

The review presents studies of neurophysiological indices of human brain activity in different types of joint actions. The review combines and summarizes the results of studies describing neurophysiological correlates of joint performance of creative or artistic (musical) tasks by several subjects simultaneously in conditions of cooperation or competition. It is assumed that involvement in joint activities causes neurophysiological rearrangements of human brain activity, which are not observed during tasks performed individually and characterize situations of interaction between subjects. The nature of interaction: competition or cooperation essentially affects brain activity. A number of studies have shown an increase of interbrain synchronization during cooperation and its decrease in conditions that do not require interactions. In performing arts (music improvisation) the coordinated activity of performers, which can be considered as cooperation, was characterized by the emergence of a dynamic interbrain synchronization pattern in frontal and central regions mainly in low-frequency EEG bands (delta and theta). In studies of creative tasks fulfillment by the method of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) was shown that cooperation is characterized by an increase of inter-subject synchronization of the prefrontal region and temporal, temporal-parietal junction of the left and right hemispheres, while in the conditions of competition the inter-subject synchronization was not revealed.

Keywords: hyperscanning, creativity, interbrain synchronization, improvisation, performing arts, cooperation, competition, EEG, fNIRS, fMRI.