



ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖСУБЪЕКТНО ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АКТИВНОСТИ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА В ПРОЦЕССЕ СОЦИАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ МЕТОДАМИ ГИПЕРСКАНИРОВАНИЯ

МУРТАЗИНА Е.П.

*НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИ НФ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>, e-mail: e.murtazina@nphys.ru*

БУЯНОВА И.С.

*НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИ НФ»),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9105-3172>, e-mail: irinamatulko@gmail.com*

Настоящее исследование посвящено анализу нейрофизиологических механизмов социального поведения и методов их изучения. Неуклонно растет число исследований с использованием метода гиперсканирования, основанного на синхронной регистрации активности мозга нескольких субъектов социальных отношений. В связи с этим актуальной задачей представляется проведение обзора различных методик гиперсканирования (синхронной регистрации физиологических показателей) и результатов исследований взаимосвязанных межсубъектных изменений активности мозга при социальных взаимоотношениях. В статье рассмотрены методы регистрации и анализа мультисубъектных данных активности структур мозга, модели экспериментальных и натуралистических обследований, результаты исследований, а также прикладные и фундаментальные аспекты использования метода гиперсканирования. Внедрение методов, расширяющих понимание физиологических механизмов социальных отношений, позволит разработать подходы по повышению эффективности образовательного процесса и командной деятельности в различных профессиональных сферах, а также по улучшению социального благополучия и психосоматического здоровья человека.

Ключевые слова: социальные взаимодействия, гиперсканирование, синхронизация мозговой активности, электроэнцефалография, магнитная энцефалография, БИК-спектроскопия, функциональная магнитно-резонансная томография.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 19-115-50143.

Благодарности. Авторы благодарят анонимного рецензента за ценные комментарии и рекомендации в подготовке окончательного варианта этой статьи.

Для цитаты: Муртазина Е.П., Буйанова И.С. Исследования межсубъектно взаимосвязанных изменений активности структур головного мозга в процессе социальных отношений методами гиперсканирования // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 4. С. 205—223. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140411>



STUDIES OF INTERRELATED CHANGES IN BRAIN ACTIVITY DURING SOCIAL INTERACTIONS USING HYPERSCANNING

ELENA P. MURTAZINA

P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>, e-mail: e.murtazina@nphys.ru

IRINA S. BUYANOVA

P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9105-3172>, e-mail: irinamatulko@gmail.com

The neurophysiological mechanisms underlying social behavior are still poorly understood. An increasing number of international studies uses hyperscanning for simultaneous recording of brain activation from several individuals during social interaction. Despite the outstanding school of Russian social psychology, the number of studies investigating the neurophysiological basis of social behavior in humans is still limited in the Russian literature. The goal of the present work was to review the hyperscanning methods, i.e., methods for simultaneous recording of physiological indices used to investigate inter-brain synchronization during social interactions. The paper discusses methods for recording and analysis of multi-subject data representing the changes in brain activity, existing experimental and naturalistic models, key results, as well as applied and fundamental aspects of the implementation of this technique in social psychology and neuroscience. Introduction of the methods which allow for a better understanding of physiological mechanisms of social interactions may significantly contribute to the development of innovative approaches to improving educational process, teamwork in various professional areas, social welfare, and psychosomatic health of people.

Keywords: social interaction, hyperscanning, synchronous brain activity, electroencephalography, magnetoencephalography, functional near-infrared spectroscopy, functional magnetic resonance imaging.

Funding. The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project number 19-115-50143.

Acknowledgements. The authors are grateful for anonymous reviewer for insightful suggestions and helpful comments on our manuscript.

For citation: Murtazina E.P., Buyanova I.S. Studies of Interrelated Changes in Brain Activity during Social Interactions using Hyperscanning. *Ekspierimental'naya psikhologiya = Experimental Psychology (Russia)*, 2021. Vol. 14, no. 4, pp. 205–223. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140411> (In Russ.).

Введение

Вопрос о социальной организации общества и роли индивидуума в нем — одна из актуальных проблем психологии [4]. Взаимодействия между людьми тесно связаны с феноменом социального мышления или социального сознания, в основе которого лежат сложные психологические и когнитивные процессы. Результатом таких процессов являются планирование субъектом собственных действий и восприятие различных внешних и внутренних сигналов, позволяющие ему взаимодействовать с другими, понимать и предсказывать их действия, обмениваться информацией. Интенциональность, с точки зрения социальной психологии, представляет собой способность субъекта соотносить свое поведение



ние с действиями других людей, т. е. способность к такому взаимодействию, при котором индивиды имеют общую цель и распределяют свои роли для ее достижения.

Развитие нейросоциологии и внедрение передовых технологий открыли новые возможности для изучения нейрональных механизмов социального поведения не только отдельных индивидов, но и на уровне психофизиологических межсубъектных взаимосвязей.

Дуэйн Т.Д. и Берендт Т. (Duane T.D., Behrendt T.) [23] первыми осуществили одновременную запись электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и выявили взаимосвязи между ЭЭГ характеристиками двух взаимодействующих друг с другом субъектов. Данный метод получил свое второе рождение в исследовании Монтэгу П.Р. (Montague P.R.) с соавторами и был назван методом гиперсканирования [48]. Авторы использовали функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ) для регистрации активности головного мозга одновременно у двух испытуемых во время их аудио-видео-взаимодействия с синхронизацией технической аппаратуры, находящейся в разных лабораториях. С тех пор, благодаря совершенствованию сложных инструментальных методов регистрации, алгоритмов обработки данных, растет число исследований, в которых осуществляется анализ взаимосвязей активности областей мозга [19] и соматовегетативных показателей [5] у субъектов при совместной деятельности.

Цель настоящего исследования состояла в обзоре и анализе инструментальных методик гиперсканирования — синхронной регистрации нейрофизиологических показателей нескольких испытуемых в процессе социальных взаимодействий; методов оценки многомерных данных и межсубъектных взаимосвязей мозговой активности; экспериментальных моделей и натуралистических парадигм, а также полученных результатов гиперсканирования.

Методы мультисубъектной регистрации активности различных структур головного мозга основываются на одновременной регистрации ЭЭГ, магнитоэнцефалограмм (МЭГ), фМРТ или спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК-спектроскопия). У каждого из этих методов имеются преимущества и недостатки, на которых необходимо остановиться подробнее, поскольку именно данные факторы позволяют принять решение о том, какой именно метод гиперсканирования следует использовать в том или ином исследовании с точки зрения точности проводимого диагностического анализа.

ЭЭГ имеет высокое временное разрешение и недорогое аппаратно-программное обеспечение. Кроме того, этот метод позволил накопить большое количество данных об индивидуальных особенностях нейрофизиологических механизмов различных когнитивных процессов без влияния социальных факторов. Благодаря этим преимуществам ЭЭГ стала наиболее часто используемым методом гиперсканирования [46]. Осуществлены разработки и проведены исследования с применением ЭЭГ-гиперсканирования в группах от 9 и более человек в условиях естественного взаимодействия [16]. Данные, полученные с помощью энцефалографов потребительского класса на базе современных смартфонов или планшетов, подтвердили свою сопоставимость с данными аналогичных экспериментов с использованием лабораторного оборудования [60], что указывает на возможность их использования для ЭЭГ-гиперсканирования. Разработаны системы гиперсканирования, способные обеспечить запись ЭЭГ с частотой дискретизации 1 кГц в группах до 20 человек [42].

Для гиперсканирования все чаще используется магнитная энцефалография — метод, обладающий аналогичными ЭЭГ пространственно-временными характеристиками, но более низкой мобильностью. Разработана система для одновременной регистрации МЭГ-



активности двух субъектов, общающихся в режиме реального времени по каналам аудио-видеосвязи между двумя лабораториями [79]. Эта разработка позволяет исследовать мозговую активность испытуемых с учетом вербальных, визуальных и двигательных компонентов социальных взаимодействий. МЭГ-гиперсканирование было применено для изучения взаимодействий между матерями и детьми [44], диктором и слушателем [45], лидером и последователем в задаче согласованных движений рук [80].

Системы фМРТ являются дорогостоящей аппаратурой с возможностью использования исключительно в стационарных условиях, что накладывает ограничения на мобильность испытуемых в процессе взаимодействий. Преимущество метода фМРТ — достаточно высокое пространственное разрешение, но его недостаток — относительно низкое временное разрешение. Разработаны и апробированы двухшлемные системы катушек для одновременной регистрации гемодинамического ответа у испытуемых внутри одной фМРТ-установки, обеспечивающие визуализацию мозговой активности в общем физическом пространстве [41; 63].

Современные модели БИК-спектроскопии характеризуются мобильностью и позволяют проводить регистрацию активности корковых структур мозга нескольких субъектов в условиях, близких к естественным [14]. Однако БИК-спектроскопия имеет довольно низкое временное и пространственное разрешение, а локализация исследуемых областей мозга ограничена глубиной проникновения света в ткани мозга (~3 см), что делает невозможным исследование подкорковых структур, обеспечивающих интеграцию мотивационных, подкрепляющих и эмоциогенных систем в процессе социальных взаимодействий.

Методы анализа нейрофизиологических показателей при гиперсканировании на первом этапе включают методики определения тех структур мозга, в которых происходят достоверные индивидуальные изменения нейрофизиологических сигналов на различных поведенчески значимых этапах социальных взаимоотношений, после чего на втором этапе применяются математические методы определения синхронных или взаимосвязанных реорганизаций этих сигналов, выявления аналогичных паттернов у взаимодействующих испытуемых.

С самого начала применения методов гиперсканирования исследователи концентрировали свое внимание на выявлении межсубъектной синхронизации мозговой активности нескольких субъектов, под которой понимали симметричную во времени и пространстве активацию структур головного мозга двух и более людей. В последующем накопившиеся результаты исследований и развитие научных представлений о сложных формах социальных взаимодействий привели к разработке новых методов анализа данных, позволяющих выявлять фазовые сдвиги изменений нейрофизиологических показателей, а также описать их асимметричные или разнонаправленные причинно-следственные связи.

В зависимости от методов регистрации и экспериментальных парадигм применяются разные методы анализа: 1) корреляционный анализ в различных частотных диапазонах [6; 15], компонентный многомерный анализ [22; 53]; 2) оценка мер связанности двух периодических процессов (степень фазовой синхронизации [25], фазовая когерентность и индекс запаздывания фазы [7; 51], когерентность вейвлет-преобразований двух сигналов [58; 74]); 3) меры теории графов (модульность, направленность, сетевые характеристики, отражающие свойства организации межнейронных сетей [26; 61]); 4) оценка причинно-следственных связей (причинность Грейнджера [45; 58]); 5) нелинейные методы анализа синхронизации сигналов [45].



Следует отметить, что шкала измерения взаимосвязанных изменений мозговой активности зависит от временного разрешения методов ее регистрации: например, для ЭЭГ и МЭГ шкала находится в миллисекундных диапазонах, в то время как для БИК-спектроскопии и фМРТ составляет секунды. Как правило, для анализа электрофизиологических сигналов (ЭЭГ и МЭГ) используют методы, основанные на оценке связности фазовых характеристик, а при исследовании гемодинамических изменений мозговой активности (фМРТ и БИК-спектроскопия) применяют методы анализа временных корреляционных связей. С более подробными описаниями методов анализа взаимосвязи параметров мозговой активности нескольких субъектов можно ознакомиться в обзорах [см.: 19; 53] и в статье о новейшей разработке программного продукта «HyPyP» (Hyperscanning Python Pipeline) с открытыми программными кодами для его использования другими заинтересованными пользователями [10].

Для проверки достоверности межсубъектных взаимосвязей показателей мозговой активности проводится сравнение выявленных феноменов у реально взаимодействующих испытуемых с рандомизированными исходными данными: случайно выбранными парами [68] или с «лжепарными» испытаниями, когда объединяются сигналы мозговой активности на индивидуальных этапах деятельности [8].

Другим методом контроля достоверности взаимосвязи параметров мозговой активности испытуемых является декомпозиция (случайные перестановки блоков исходных сигналов), которая позволяет исключить ложные связи, вызванные частотными особенностями сигналов. Декомпозиция может быть применена по отдельности или попарно для синхронно зарегистрированных точек временных рядов [16].

Результаты исследований различных типов социальных отношений методами гиперсканирования

Совместное внимание

Совместное внимание — это когнитивный процесс распознавания характеристик взгляда и жестов, лежащий в основе способности понимать невербальные социальные сигналы и намерения других.

В БИК-спектроскопическом исследовании на модели прямого зрительного контакта продемонстрированы активация и увеличение функциональной межсубъектной связанности в левой лобной и височно-теменной областях коры, которые прилегают к областям Брока и Вернике, отвечающими за восприятие, понимание и воспроизведение речи [32]. Прямой зрительный контакт приводит к активации передней части медиальной префронтальной коры [67], зрительных областей, правой задней верхней височной борозды, дорсомедиальной префронтальной коры, а также правой нижней лобной извилины [38; 64], которая, предположительно, выполняет роль «посредника» между восприятием себя и другого человека [38]. Отмечается правосторонняя асимметрия гемодинамического ответа в процессе совместного внимания в правых областях височно-теменного узла и затылочной части верхней височной борозды [61], а также средней и нижней лобной извилины и предклинья [17].

Продемонстрирована фазовая синхронизация ЭЭГ в альфа-мю-диапазоне в процессе совместного внимания на модели прямого зрительного контакта [20] и параллельного зрительного поиска [71]. В периоды совместного внимания происходит снижение активности в альфа-мю-диапазоне в левой центропариетальной и затылочной областях [40]. Межсубъектная синхронизация осцилляторной активности мозга у детей школьного воз-



раста при прямом зрительном контакте является предиктором вовлеченности в образовательный процесс и отражает их социальность [21].

Вербальное общение

Наряду со зрительным контактом вербальное общение является ключевым инструментом социальных взаимодействий, и зачастую эти два компонента оказывают взаимное влияние на мозговую активность. Фазовая синхронизация в левой нижней лобной области коры в процессе диалога обнаруживается только при поддержании собеседниками визуального контакта [35], что подчеркивает важность зрительного компонента при вербальной коммуникации. Совместное выполнение вербальных заданий сопровождается синхронным усилением активации в зоне Вернике, а именно в области верхней височной извилины [31], а общение в группе сопровождается выраженной синхронной активацией в лобной полюсной области [56].

Согласно результатам МЭГ-ЭЭГ исследования [7], общение между двумя индивидами сопровождается фазовой синхронизацией в альфа-диапазоне в левой передней височной и правой центральной теменной областях и синхронизацией в гамма-диапазоне в левом височном и лобном отделах коры. Синхронизация в тета/альфа-диапазонах в височной и латеральной теменной областях характерна для синхронизации ритма речи [7; 37]. При смене роли говорящего и слушающего наблюдаются усиление 10-Гц активности за несколько секунд до окончания речи собеседника и началом собственной речи, а также совместная активация в диапазоне ~10 и ~20 Гц, которая в области левой центральной борозды выражена слабее у говорящего [39; 47].

Аффективные взаимодействия

Эмоциональный компонент общения оказывает значительное влияние на желание и готовность к взаимодействию. В исследовании целующихся влюбленных выявлена «гиперсеть» мозга, включающая зоны коры с преобладанием тета- или альфа-активности, в частности теменные и затылочные области, которые, согласно мнению авторов, играют роль связующего звена в интеграции активности внутри сети и ее связи с другими сетями мозга [50]. БИК-спектроскопическое исследование кооперации между романтическими партнерами продемонстрировало увеличение межсубъектной синхронизации в правой верхней лобной доле, характер и направленность которой различались у мужчин и женщин [58]. Показано, что нейрональная активность человека может быть предсказана активностью мозга любовного партнера, передающего эмоциональную информацию, что позволило предположить наличие общего «аффективного пространства» между возлюбленными [9].

Модель «мать—дитя» представляется наиболее эффективной для изучения аффективных взаимодействий, так как мать и ребенок испытывают сильные эмоции даже в отсутствии физического контакта. С помощью МЭГ продемонстрированы выраженные сопряженные изменения гамма-активности в верхней височной борозде, возникающие в процессе эмоционально позитивных взаимодействий между матерью и ребенком [44]; именно данная мозговая зона является ключевым звеном интеграции восходящих и нисходящих путей обработки социальных стимулов в сети зеркальных нейронов.

Поведенческая синхронизация

Наиболее часто изучение социальных взаимоотношений проводится на моделях совместной деятельности, требующих поведенческой синхронизации различной степени слож-



ности: от простых моторных действий [54] до совместного выполнения сложно координированных заданий: игры музыкантов [51] или спонтанной имитации движений рук [24].

При синхронном нажатии на кнопку у испытуемых наблюдается активация в префронтальных отделах [27] и левой средней лобной области коры [33], синхронизация в которой коррелирует со степенью просоциальности субъектов. Координация ритмичных движений кончиками пальцев сопровождается фазовой синхронизацией в бета-диапазоне в фронтальных и центральных областях [54], которая может свидетельствовать о межсубъектном сопряжении сенсомоторных процессов, регулирующих начало ритмичных действий. При переходе от некоординированных к координированным ритмичным действиям обнаруживаются синхронные изменения альфа-мю-активности в правой центральной теменной области [25]. Высказано предположение [52], что синхронизация высокочастотного компонента альфа-мю-ритма зависит от типа задания и по-разному проявляется в левом и правом полушариях. В левом полушарии десинхронизация мю-активности характерна для имитации действий, а снижение десинхронизации в правом полушарии соответствует процессу дискриминации между двигательной активностью и зрительным восприятием действий партнера и, таким образом, модулирует последующую моторную координацию. При совместной игре на музыкальных инструментах наблюдается увеличение фазовой синхронизации в дельта- и тета-диапазонах [65].

Вопрос об асимметрии нейронального ответа и участия различных ритмов ЭЭГ в поведенческой синхронизации остается открытым. Продемонстрирована билатеральная активация и фазовая синхронизация в тета- и бета-диапазонах в процессе координации движений пальцев рук [54]. В другом исследовании обнаружена выраженная правосторонняя асимметрия синхронизации в высокочастотном мю-диапазоне [25].

Результаты анализа активности мозга в процессе наблюдения за действиями партнера позволили выявить ведущую роль системы зеркальных нейронов и альфа-мю-активности в формировании связи между репрезентацией и непосредственно действием, а также в поддержании функции совместного внимания и интеграции информации о собственных действиях и поведении других [24; 55].

Игровые взаимодействия с принятием совместных решений, включая экономические

В процессе игровых взаимодействий с принятием решений наблюдается активация медиальной префронтальной и передней цингулярной коры, верхней височной борозды и височно-теменной узла [12; 72; 77]. Увеличение активации височно-теменного узла в процессе игры в карты наблюдается у субъектов, обманывающих партнеров, а непреднамеренный обман связан с активацией верхней височной борозды [77]. Результаты других исследований указывают на социальный контекст (кооперация или конкуренция) [3; 14] и знакомство участников игры друг с другом [12] как на наиболее важные факторы, влияющие на синхронизацию мозговой активности. При кооперации происходит активация передней поясной коры и поясной моторной зоны, являющихся частью системы вознаграждения [12]. Продемонстрированы активация дорсальной части передней поясной коры, а также роль цингулярной и парацингулярной зон в модуляции ответа на различный социальный контекст [72].

Показана синхронизация ЭЭГ активности в высокочастотном бета- и гамма-диапазонах в центрально-лобных областях коры при игре «Ультиматум» [76]. В исследовании ЭЭГ-активности участников игры «Дилемма заключенного» выявлены фазовые синхронизации в тета- и альфа-диапазонах частот при кооперации [34], которые авторы объясняют тем, что



альфа-активность участвует в интеграции и обработке социально значимой информации и связана с эффективностью координаций, а тета-активность лежит в основе имплицитной обработки эмоциональных стимулов и связана с реализацией адаптивного поведения при межсубъектных взаимодействиях.

Воздействия внешних физиологических и фармакологических факторов позволяют изучать роль различных областей мозга в социальном поведении и нейрохимические механизмы синхронизации мозговой активности между несколькими индивидуумами. В ряде работ использовали транскраниальную стимуляцию переменным током (ТСПТ) двух испытуемых. Синфазная ТСПТ моторной коры частотой 20 Гц приводила к усилению моторной координации на начальных этапах синхронизации, по сравнению с отсутствием эффектов протифазной, фиктивной или стимулирующей в альфа-диапазоне (10 Гц) [54]. ТСПТ в тета-диапазоне правой лобной и теменной областей мозга двух игроков на барабанах не оказывала влияния на эффективность синхронизации движений участников с метрономом при индивидуальном выполнении задания, но была связана с большей диадической асинхронностью [70].

Интраназальное введение окситоцина усиливало межмозговую синхронизацию в альфа-диапазоне ЭЭГ затылочных и центральных областях и повышало эффективность моторной координации между субъектами [28; 49], причем этот эффект был более выраженным у тех индивидов, которые отличались высокими значениями индекса эмпатии [36].

Практическая значимость исследований нейрофизиологических механизмов межличностных отношений методами гиперсканирования

Исследование нейрофизиологических основ кооперативного поведения имеет решающее значение для развития профессиографии, в особенности при изучении тех профессий, в которых сотрудничество является обязательным условием достижения успеха в выполнении поставленных задач. Предложен комбинированный подход к ЭЭГ-гиперсканированию и оценке эффективной межсубъектной связанности с целью выявления «мозговых коррелятов кооперации» между членами профессиональных летных экипажей [73]. Показано, что показатели межмозговой синхронизации у пилотов более информативны для оценки эффективности кооперации, чем их индивидуальные характеристики ЭЭГ.

Гиперсканирование с помощью БИК-спектроскопии симуляционных взаимодействий врачей анестезиологов-реаниматологов в операционной позволило выявить взаимосвязи показателей синхронизации мозговой активности с рабочей нагрузкой и успешностью деятельности [75].

В БИК-спектроскопическом исследовании учебной деятельности показано, что синхронизация мозговой активности в префронтальной и верхней височной коре между преподавателем и учащимся зависит от контекста образовательного процесса и может быть прогностическим критерием результативности обучения [59]. Синхронизация альфа-активности ЭЭГ между преподавателем и студентами позволяет предсказать эффективность обучения [20].

Таким образом, понимание нейрофизиологических механизмов социального поведения может способствовать разработке путей повышения эффективности группового обучения и командной деятельности в различных сферах профессиональной деятельности.

Изучение нейробиологических основ социальных взаимодействий особенно важно для понимания проблем социальной дезадаптации, которая может сопровождать ряд психических и неврологических расстройств, а также нарушений развития мозга. Предлагается



применение методов гиперсканирования в психотерапии [78] и психиатрии [43; 57], в частности, при изучении механизмов развития аутизма, аффективных состояний, шизофрении и их лечении методами социальной синхронизации поведения, двойной стимуляции мозга, мультиличностной нейрофизиологической обратной связи [57].

Заключение

Динамичное развитие когнитивной нейронауки и социальной психологии привело к необходимости разработки новых методов и технологий для изучения нейробиологических механизмов социального поведения, в основе которых лежит взаимодействие различных структур и сетей мозга, а также других субсистем организма. Выявляемые взаимосвязи между мозговыми сигналами не означают, что между двумя субъектами возникает физический «канал связи», как ошибочно было предположено в первых работах с одновременной регистрацией ЭЭГ.

Бабилони Ф. и Астолфи Л. (Babiloni F., Astolfi L.) [11] считают, что пространственно-временная синхронизация мозговой активности косвенно указывает на цепь поведенческих, когнитивных и эмоциональных событий, начало которой проявляется в изменениях активности определенных областей мозга одного субъекта и продолжается мозговыми процессами у другого. Они полагают, что обнаруживаемые взаимосвязи отражают пространственно-временную карту зон мозга испытуемых, участвующих в решении поставленной социальной задачи конкретного эксперимента [11].

Пан Я. и Ченг Кс. (Pan Y., Cheng X.) [57] предложили классифицировать разные виды межсубъектных взаимодействий в трехмерном пространстве, измерения которого отражают поведенческие и нейронные механизмы социальных отношений: «глаза в глаза» или «лицом к лицу»; «тело к телу» и «мозг с мозгом». Первая ось включает вклад совместного внимания в процессы социальных когнитивных взаимодействий, которые должны соответствовать двум критериям: происходят в реальном времени и вызывают психологическую вовлеченность (чувство сопричастности друг к другу) между взаимодействующими партнерами. Во второе измерение «тело к телу» авторы предлагают включить невербальную координацию между движениями субъектов, а также синхронизацию между их периферическим физиологическим сигналам, включая частоту сердечных сокращений, электротермическую активность и дыхание. Третье измерение — межличностная кросс-корреляция активностей структур мозга участников в процессе социальных взаимодействий.

Исследования функциональной межсубъектной связанности активности мозга методами гиперсканирования привели к развитию так называемой «двухличностной» нейробиологии. Полученные результаты демонстрируют одновременное вовлечение и взаимодействие между тремя основными системами мозга при социальных взаимодействиях: 1) системой зеркальных нейронов, которая обеспечивает имитацию и координацию действий; 2) ментальной системой, обеспечивающей когнитивные процессы, необходимые для формирования умозаключений о себе и других, а также их намерениях; и 3) системой оценки вознаграждений [18; 29; 62; 66].

По мнению Леви Дж. (Levy J.) с соавторами [44], взаимосвязанность мозговой активности нескольких субъектов основывается на интеграции между восходящими «зеркальными» компонентами (поведенческие и сенсомоторные процессы сопряжения, проявляющиеся в быстрой осцилляторной активности) и нисходящими «ментальными» компонентами (социо-когнитивные процессы, проявляющиеся в медленных энцефалографических ритмах) системы. Авторы считают, что эти интегративные процессы в определенном смысле



уникальны и зависят от свойств конкретных индивидуумов, социального контекста, истории взаимоотношений и степени близости субъектов взаимодействий.

В своем аналитическом обзоре Hasson и Frith [30] полагают, что социальные взаимодействия, включая совместную деятельность, часто характеризуются взаимодополняющими действиями с разделением ролей, например по типу лидер-последователь, а не только зеркальным отражением и простой синхронизацией мозговой активности субъектов. Авторы указывают на одну из проблем гиперсканирования: фазовая синхронизация может отражать и общие движущие или внешние сигналы, а не только согласованную мозговую активность участников социальных отношений. Кроме того, Хассон Ю. и Фрис С.Д. (Hasson U., Frith C.D.) предлагают рассматривать эти взаимосвязанные изменения мозговой активности как динамически и иерархически организованные функциональные связи, обеспечивающие передачу информации между субъектами и принимающие разные формы: 1) «согласования» или «выравнивания» паттернов «отправителя» и «принимающего»; 2) преобразований, когда паттерны получателя отражают предсказуемое отношение к нейронным паттернам отправителя; 3) синергии — динамических взаимовлияний для оптимизации обмена информацией.

К настоящему времени большинство авторов, использующих гиперсканирование, приходят к необходимости построения единой исследовательской парадигмы с расширением представлений о формировании и динамике взаимосвязанной мозговой активности при социальных взаимоотношениях и терминологических изменений с переходом от «синхронизации» к понятиям межмозговой/нейронной связанности или согласованности. Многие современные аспекты исследований в этой области рассмотрены в статьях отдельного выпуска журнала *Social Cognitive and Affective Neuroscience* (2021, Volume 16, Issue 1–2), полностью посвященном проблемам гиперсканирования [см. редакционную статью: 68].

Таким образом, для более полного изучения организации и функционирования сетей мозга, обеспечивающих процессы социальных взаимодействий, потребуются дальнейшее развитие методов гиперсканирования, разработка более экологически обоснованных экспериментальных задач с оценкой показателей результативности индивидуального и коллективного поведения. Также представляется важным проведение исследований в направлении изучения особенностей и механизмов возникновения, развития и пластичности межсубъектных взаимосвязей нейрофизиологических показателей.

Во многих исследованиях особенностей социального взаимодействия авторы делают акцент лишь на какой-либо одной из сторон обеспечивающих его когнитивных процессов. Преодоление некоторой разобщенности исследований было бы возможно с использованием теории функциональных систем П.К. Анохина [1; 2], согласно которой взаимодействующих субъектов можно рассматривать в качестве компонентов системы, иерархически выше организованной, как с точки зрения достижения результата для отдельного индивида в составе группы, так и с точки зрения достижения интегрального результата для группы в целом. С точки зрения теории функциональных систем, при целенаправленной деятельности личности в социуме должны происходить: реорганизация процессов афферентного синтеза за счет необходимости оценки значимых социальных обстановочных и пусковых стимулов; извлечение из памяти более сложных способов и программ удовлетворения собственных мотиваций и достижения результатов в присутствии, с участием или даже при противодействии других субъектов. В соответствии с выбранной поведенческой программой социального взаимодействия должен перестраиваться акцептор ожидаемых результатов действий с учетом ценностной оценки, как индивидуальной, так и внешней со стороны социального окружения.



Литература

1. Александров Ю.И. Макроструктура деятельности и иерархия функциональных систем // Психологический Журнал. 1995. Том 16. № 1. С. 26–30.
2. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука». 196 с.
3. Апанович В.В., Безденежных Б.Н., Знаков В.В., Самс М., Яаскелайнен И., Александров Ю.И. Различия мозгового обеспечения индивидуального, кооперативного и конкурентного поведения у субъектов с аналитическим и холистическим когнитивными стилями // Экспериментальная психология. 2016. Том 9. № 2. С. 5–22. DOI:10.17759/exrpsy.2016090202 DOI:10.17759/exrpsy.2016090202
4. Журавлев А.Л., Юревич А.В. Вместо введения: основные типы тенденций развития психологии // Новые тенденции и перспективы психологической науки / Отв. ред. А.Л. Журавлев, А.В. Юревич. М.: ИП РАН. 2019. С. 5–8.
5. Муртазина Е.П., Матюлько И.С., Журавлев Б.В. Соматовегетативные компоненты социальных взаимодействий (обзор) // Журнал Медико-Биологических Исследований. 2019. Т. 7. №3.С. 349–362. DOI:10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.349
6. Abe M.O., Koike T., Okazaki S., Sugawara S.K., Takahashi K., Watanabe K., Sadato N. Neural correlates of online cooperation during joint force production // NeuroImage. 2019. Vol. 191. P. 150–161. DOI:10.1016/j.neuroimage.2019.02.003
7. Ahn S., Cho H., Kwon M., Kim K., Kwon H., Kim B.S., Chang W.S., Chang W.J., Jun S.Ch. Interbrain phase synchronization during turn-taking verbal interaction—a hyperscanning study using simultaneous EEG/MEG // Human Brain Mapping. 2018. Vol. 39. № 1. P. 171–188. DOI:10.1002/hbm.23834
8. Allsop J.S., Vaitkus T., Marie D., Miles L. Coordination and collective performance: cooperative goals boost interpersonal synchrony and task outcomes // Frontiers in Psychology. 2016. Vol. 7. P. 1462. DOI:10.3389/fpsyg.2016.01462
9. Anders S., Heinzle J., Weiskopf N., Ethofer T., John-Dylan Haynes J.-D. Flow of affective information between communicating brains // NeuroImage. 2011. Vol. 54. № 1. P. 439–446. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.07.004
10. Ayrolles A., Brun F., Chen P., Djalovski A., Beauxis Y., Delorme R., Bourgeron T., Dikker S., Dumas G. HyPyP: a Hyperscanning Python Pipeline for inter-brain connectivity analysis // Soc Cogn Affect Neurosci. 2021. Vol. 16. № 1–2. P. 72–83. DOI:10.1093/scan/nsaa141
11. Babiloni F., Astolfi L. Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future // Neuroscience and biobehavioral reviews. 2014. Vol. 44. P. 76–93. DOI:10.1016/j.neubiorev.2012.07.006
12. Babiloni F. et al. Cortical activity and connectivity of human brain during the prisoner's dilemma: an EEG hyperscanning study // 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2007. С. 4953–4956. DOI:10.1109/IEMBS.2007.4353452
13. Balconi M., Vanutelli M.E. Brains in competition: improved cognitive performance and inter-brain coupling by hyperscanning paradigm with functional near-infrared spectroscopy // Frontiers in Behavioral Neuroscience. 2017. Vol. 11. P. 163. DOI:10.3389/fnbeh.2017.00163
14. Balconi M., Vanutelli M.E. Cooperation and competition with hyperscanning methods: review and future application to emotion domain // Frontiers in Computational Neuroscience. 2017. Vol. 11. P. 86. DOI:10.3389/fncom.2017.00086
15. Bevilacqua D., Davidesco I., Wan L., Chaloner K., Rowland J., Ding M., Poeppel D., Dikker S. Brain-to-Brain synchrony and learning outcomes vary by student–teacher dynamics: evidence from a real-world classroom electroencephalography study // Journal of Cognitive Neuroscience. 2018. Vol. 31. № 3. P. 401–411. DOI:10.1162/jocn_a_01274
16. Bilek E., Ruf M., Schäfer A., Akdeniz C., Calhoun V.D., Schmahl C., Demanuele C., Tost H., Kirsch P., Meyer-Lindenberg A. Information flow between interacting human brains: Identification, validation, and relationship to social expertise // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015a. Vol. 112. № 16. P. 5207–5212. DOI:10.1073/pnas.1421831112
17. Caruana N., Brock J., Woolgar A. A frontotemporoparietal network common to initiating and responding to joint attention bids // NeuroImage. 2015. Vol. 108. P. 34–46. DOI:10.1016/j.neuroimage.2014.12.041
18. Ciaramidaro A., Becchio C., Colle L., Bara B.G., Walter H. Do you mean me? Communicative intentions recruit the mirror and the mentalizing system // Social Cognitive and Affective Neuroscience. 2014. Vol. 9. № 7. P. 909–916. DOI:10.1093/scan/nst062



19. Czeszumski A., Eustergerling S., Lang A., Menrath D., Gerstenberger M., Schubert S., Schreiber F., Rendon Z.Z., König P. Hyperscanning: a valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 39. DOI:10.3389/fnhum.2020.00039
20. Davidesco I., Laurent E., Valk H., West T., Dikker S., Milne C., Poeppel D. Brain-to-brain synchrony between students and teachers predicts learning outcomes // *bioRxiv*. 2019. P. 644047. DOI:10.1101/644047
21. Dikker S., Wan L., Davidesco I., Kaggen L., Oostrik M., James McClintock J., Rowland J., Michalareas G., Van Bavel J.J., Ding M., Poeppel D. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom // *Current Biology*. 2017. Vol. 27. № 9. P. 1375–1380. DOI:10.1016/j.cub.2017.04.002
22. Dmochowski J.P., Sajda P., Dias J., Parra L.C. Correlated components of ongoing eeg point to emotionally laden attention – a possible marker of engagement? // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 112. DOI:10.3389/fnhum.2012.00112
23. Duane T.D., Behrendt T. Extrasensory electroencephalographic induction between identical twins // *Science (New York, N.Y.)*. 1965. Vol. 150. № 3694. P. 367. DOI:10.1126/science.150.3694.367
24. Dumas G., Martinerie J., Soussignan R., Nadel J. Does the brain know who is at the origin of what in an imitative interaction? // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012a. Vol. 6. P. 128. DOI:10.3389/fnhum.2012.00128
25. Dumas G., Nadel J., Soussignan R., Martinerie J., Garnero L. Inter-brain synchronization during social interaction // *PLOS ONE*. 2010. Vol. 5. № 8. P. e12166. DOI:10.1371/journal.pone.0012166
26. Fallani F.D.V., Nicosia V., Sinatra R., Astolfi L., Cincotti F., Mattia D., Wilke C., Doud A., Latora V., He B., Babiloni F. Defecting or not defecting: how to “read” human behavior during cooperative games by EEG measurements // *PLOS ONE*. 2010. Vol. 5. № 12. P. e14187. DOI:10.1371/journal.pone.0014187
27. Funane T., Kiguchi M., Atsumori H., Sato H., Kubota K., Koizumi H. Synchronous activity of two people’s prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy // *Journal of Biomedical Optics*. 2011. Vol. 16. № 7. P. 077011. DOI:10.1117/1.3602853
28. Gebauer L., Witek M.G., Hansen N.C., Thomas J., Konvalink, I., Vuust P. Oxytocin improves synchronisation in leader-follower interaction // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. № 1. P. 38416. DOI:10.1038/srep38416
29. Hari R., Kujala M. Brain basis of human social interaction: from concepts to brain imaging. // *Physiological reviews*. 2009. Vol. 89. P. 453–79. DOI:10.1152/physrev.00041.2007
30. Hasson U, Frith CD. Mirroring and beyond: coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2016. Vol. 371. P. 1693. DOI:10.1098/rstb.2015.0366
31. Hirsch J., Adam Noah J., Zhang X., Dravida S., Ono Y. A cross-brain neural mechanism for human-to-human verbal communication // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2018. Vol. 13. № 9. P. 907–920. DOI:10.1093/scan/nsy070
32. Hirsch J., Zhang X., Noah J.A., Ono Y. Frontal temporal and parietal systems synchronize within and across brains during live eye-to-eye contact // *NeuroImage*. 2017. Vol. 157. P. 314–330. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.018
33. Hu Y., Hu Y., Li X., Pan Y., Cheng X. Brain-to-brain synchronization across two persons predicts mutual prosociality // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 12. P. 1835–1844. DOI:10.1093/scan/nsx118
34. Hu Y., Pan Y., Shi X., Cai Q., Li X., Cheng X. Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making // *Biological Psychology*. 2018. Vol. 133. P. 54–62. DOI:10.1016/j.biopsycho.2017.12.005
35. Jiang J., Dai B., Peng D., Zhu C., Liu L., Lu C. Neural Synchronization during Face-to-Face Communication // *Journal of Neuroscience*. 2012. Vol. 32. № 45. P. 16064–16069. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.024
36. Josef L., Goldstein P., Maysless N., Ayalon L., Shamay-Tsoory S.G. The oxytocinergic system mediates synchronized interpersonal movement during dance // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. P. 1894. DOI:10.1038/s41598-018-37141-1
37. Kawasaki M., Yamada Y., Ushiku Y., Miyauchi E., Yamaguchi Y. Inter-brain synchronization during coordination of speech rhythm in human-to-human social interaction // *Scientific Reports*. 2013. Vol. 3. № 1. P. 1–8. DOI:10.1038/srep01692
38. Koike T., Tanabe H.C., Okazaki S., Nakagawa E., Sasaki A.T., Shimada K., Sugawara S.K., Takahashi H.K., Yoshihara K., Bosch-Bayard J., Sadato N. Neural substrates of shared attention as social memory:



- A hyperscanning functional magnetic resonance imaging study // *NeuroImage*. 2016. Vol. 125. P. 401–412. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.09.076
39. *Kuhlen A.K., Allefeld C., Haynes J.-D.* Content-specific coordination of listeners' to speakers' EEG during communication // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 266. DOI:10.3389/fnhum.2012.00266
40. *Lachat F., Hugeville L., Lemarechal J.-D., Conty L., George N.* Oscillatory brain correlates of live joint attention: a dual-EEG study // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 156. DOI:10.3389/fnhum.2012.00156
41. *Lee R.F., Dai W., Jones J.* Decoupled circular-polarized dual-head volume coil pair for studying two interacting human brains with dyadic fMRI // *Magnetic Resonance in Medicine*. 2012. Vol. 68. № 4. P. 1087–1096. DOI:10.1002/mrm.23313
42. *Lee S., Cho H., Kim K., Jun S.C.* Simultaneous EEG acquisition system for multiple users: development and related issues // *Sensors*. 2019. Vol. 19. № 20. P. 4592. DOI:10.3390/s19204592
43. *Leong V., Schilbach L.* The promise of two-person neuroscience for developmental psychiatry: using interaction-based sociometrics to identify disorders of social interaction // *The British Journal of Psychiatry*. 2019. Vol. 215. № 5. P. 636–638. DOI:10.1192/bjp.2019.73.
44. *Levy J., Goldstein A., Feldman R.* Perception of social synchrony induces mother–child gamma coupling in the social brain // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 7. P. 1036–1046. DOI:10.1093/scan/nsx032
45. *Li T., Li G., Xue T., Zhang J.* Analyzing brain connectivity in the mutual regulation of emotion–movement using bidirectional granger causality // *Frontiers in Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 369. DOI:10.3389/fnins.2020.00369
46. *Liu D., Liu S., Liu X., Zhang C., Li A., Jin C., Chen Y., Wang H., Zhang X.* Interactive brain activity: review and progress on EEG-based hyperscanning in social interactions // *Frontiers in Psychology*. 2018a. Vol. 9. P. 1862. DOI:10.3389/fpsyg.2018.01862
47. *Mandel A., Bourguignon M., Parkkonen L., Hari R.* Sensorimotor activation related to speaker vs. listener role during natural conversation // *Neuroscience Letters*. 2016. Vol. 614. P. 99–104. DOI:10.1016/j.neulet.2015.12.054
48. *Montague P.R., Berns G.S., Cohen J.D., King R.D., Apple N., Fisher R.E.* Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions // *NeuroImage*. 2002. Vol. 16. № 4. P. 1159–1164. DOI:10.1006/nimg.2002.1150
49. *Mu Y., Guo C., Han S.* Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2016. Vol. 11. № 12. P. 1882–1893. DOI:10.1093/scan/nsw106
50. *Müller V., Lindenberger U.* Hyper-brain networks support romantic kissing in humans // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. № 11. DOI:10.1371/journal.pone.0112080
51. *Müller V., Sängler J., Lindenberger U.* Intra- and inter-brain synchronization during musical improvisation on the guitar // *PloS One*. 2013. Vol. 8. № 9. P. e73852. DOI:10.1093/scan/nsw106
52. *Naeem M., Prasad G., Watson D.R., Kelso J.A.S.* Functional dissociation of brain rhythms in social coordination // *Clinical Neurophysiology*. 2012b. Vol. 123. № 9. P. 1789–1797. DOI:10.1016/j.clinph.2012.02.065
53. *Nastase S.A., Gazzola V., Hasson U., Keysers C.* Measuring shared responses across subjects using intersubject correlation // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2019. Vol. 14. № 6. P. 667–685. DOI:10.1093/scan/nsz037
54. *Novembre G., Knoblich G., Dunne L., Keller P.E.* Interpersonal synchrony enhanced through 20 Hz phase-coupled dual brain stimulation // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 4. P. 662–670. DOI:10.1093/scan/nsw172
55. *Novembre G., Sammler D., Keller P.E.* Neural alpha oscillations index the balance between self-other integration and segregation in real-time joint action // *Neuropsychologia*. 2016. Vol. 89. P. 414–425. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.027
56. *Nozawa T., Sasaki Y., Sakaki K., Yokoyama R., Kawashima R.* Interpersonal frontopolar neural synchronization in group communication: An exploration toward fNIRS hyperscanning of natural interactions // *NeuroImage*. 2016. Vol. 133. P. 484–497. DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.03.059
57. *Pan Y., Cheng X.* Two-person approaches to studying social interaction in psychiatry: uses and clinical relevance // *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 11. P. 301. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00301



58. Pan Y., Cheng X., Zhang Z., Li X., Hu Y. Cooperation in lovers: An fNIRS-based hyperscanning study // *Human Brain Mapping*. 2017. Vol. 38. № 2. P. 831–841. DOI:10.1002/hbm.23421
59. Pan Y., Dikker S., Goldstein P., Zhu Y., Yang C., Hu Y. Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning // *NeuroImage*. 2020. Vol. 211. P. 116657. DOI:10.1016/j.neuroimage.2020.116657
60. Poulsen A.T., Kamronn S., Dmochowski J., Parra L.C., Hansen L.K. EEG in the classroom: synchronised neural recordings during video presentation // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 43916. DOI:10.1038/srep43916
61. Redcay E., Dodell-Feder D., Pearrow M.J., Mavros P.L., Kleiner M., Gabrieli J.D.E., Saxe R. Live face-to-face interaction during fMRI: a new tool for social cognitive neuroscience // *NeuroImage*. 2010. Vol. 50. № 4. P. 1639–1647. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.01.052
62. Redcay E., Schilbach L. Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction // *Nature Reviews Neuroscience*. 2019. Vol. 20. № 8. P. 495–505. DOI:10.1038/s41583-019-0179-4
63. Renvall V., Kauramäki J., Malinen S., Hari R., Nummenmaa L. Imaging real-time tactile interaction with two-person dual-coil fMRI // *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 11. P. 279. DOI:10.3389/fpsy.2020.00279
64. Saito D.N., Tanabe H.C., Izuma K., Hayashi M.J., Morito Y., Komeda H., Uchiyama H., Kosaka H., Okazawa H., Fujibayashi Y., Sadato N. “Stay tuned”: inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2010. Vol. 4. P. 127. DOI:10.3389/fnint.2010.00127
65. Sängler J., Müller V., Lindenberger U. Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 312. DOI:10.3389/fnhum.2012.00312
66. Schilbach L., Timmermans B., Reddy V., Costall A., Bente G., Schlicht T., Vogeley K. Toward a second-person neuroscience // *Behavioral and Brain Sciences*. 2013. Vol. 36. № 4. P. 393–414. DOI:10.1017/S0140525X12000660
67. Schilbach L., Wilms M., Eickhoff S.B., Romanzetti S., Tepest R., Bente G., Shah N.J., Fink G.R., Vogeley K. Minds made for sharing: initiating joint attention recruits reward-related neurocircuitry // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2010. Vol. 22. № 12. P. 2702–2715. DOI:10.1162/jocn.2009.21401
68. Schirmer A., Fairhurst M., Hoehl S. Being ‘in sync’-is interactional synchrony the key to understanding the social brain? // *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2021. Vol. 16. № 1–2. P. 1–4. DOI:10.1093/scan/nsaa148
69. Stolk A., Noordzij M.L., Verhagen L., Volman I., Schoffelen J.-M., Oostenveld R., Hagoort P., Toni I. Cerebral coherence between communicators marks the emergence of meaning // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111. № 51. P. 18183–18188. DOI:10.1073/pnas.1414886111
70. Szymanski C., Müller V., Brick T.R., von Oertzen T., Lindenberger U. Hyper-transcranial alternating current stimulation: experimental manipulation of inter-brain synchrony // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 539. DOI:10.3389/fnhum.2017.00539
71. Szymanski C., Pesquita A., Brennan A.A., Perdakis D., Emms J.T., Brick T.R., Müller V., Lindenberger U. Teams on the same wavelength perform better: Inter-brain phase synchronization constitutes a neural substrate for social facilitation // *NeuroImage*. 2017. Vol. 152. P. 425–436. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.03.013
72. Tomlin D., Kayali M.A., King-Casas B., Anen C., Camerer C.F., Quartz S.R., Montague P.R. Agent-specific responses in the cingulate cortex during economic exchanges // *Science*. 2006. Vol. 312. № 5776. P. 1047–1050. DOI:10.1126/science.1125596
73. Toppi J., Borghini G., Petti M., He E.J., Giusti V.D., He B., Astolfi L., Babiloni F. Investigating cooperative behavior in ecological settings: an EEG hyperscanning study // *PLOS ONE*. 2016. Vol. 11. № 4. P. e0154236. DOI:10.1371/journal.pone.0154236
74. Wang C., Zhang T., Shan Z., Liu J., Yuan D., Li X. Dynamic interpersonal neural synchronization underlying pain-induced cooperation in females // *Human Brain Mapping*. 2019. Vol. 40. № 11. P. 3222–3232. DOI:10.1002/hbm.24592
75. Xu J., Slagle J.M., Banerjee A., Bracken B., Weinger M.B. Use of a portable functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) system to examine team experience during crisis event management in clinical simulations // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13. P. 85. DOI:10.3389/fnhum.2019.00085
76. Yun K., Chung D., Jeong J. Emotional interactions in human decision making using EEG hyperscanning // *Proceedings of the 6th International Conference on Cognitive Science*. 2008. P. 327–330.



77. Zhang M., Liu T., Pelowski M., Yu D. Gender difference in spontaneous deception: A hyperscanning study using functional near-infrared spectroscopy // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 7508. DOI:10.1038/s41598-017-06764-1
78. Zhang Y., Meng T., Hou Y., Pan Y., Hu Y. Interpersonal brain synchronization associated with working alliance during psychological counseling // *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2018. Vol. 282. P. 103–109. DOI:10.1016/j.psychres.2018.09.007
79. Zhdanov A., Nurminen J., Baess P., Hirvenkari L., Jousmäki V., Mäkelä J.P., Mandel A., Meronen L., Hari R., Parkkonen L. An internet-based real-time audiovisual link for dual MEG recordings // *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10. № 6. P. e0128485. DOI:10.1371/journal.pone.0128485
80. Zhou G., Bourguignon M., Parkkonen L., Hari R. Neural signatures of hand kinematics in leaders vs. followers: A dual-MEG study // *NeuroImage*. 2016. Vol. 125. P. 731–738. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.11.002

References

1. Alexandrov Yu.I. Makrostruktura deyatel'nosti i ierarhiya funktsional'nyh system [Macrostructure of activity and hierarchy of functional systems]. *Psihologicheskij Zhurnal*. 1995. Vol. 16. № 1. pp. 26–30. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Anohin P.K. Uzlovye voprosy teorii funktsional'noj sistemy [Key questions of the theory of functional systems]. P.K. Anohin, Izd-vo «Nauka». 1980. 196 P. (In Russ.).
3. Apanovich V.V., Bezdenezhnyh B.N., Znakov V.V., Sams M., Yaaskelajnen I., Aleksandrov Yu.I. Razlichiya mozgovogo obespecheniya individual'nogo, kooperativnogo i konkurentnogo povedeniya u sub"ektov s analiticheskimi i holisticheskimi kognitivnymi stilyami [Differences in the brain supply of individual, cooperative and competitive behavior in subjects with analytical and holistic cognitive styles]. *Ekspirimental'naya psihologiya*. 2016. Vol. 9. № 2. pp. 5–22. DOI:10.17759/exppsy.2016090202 DOI:10.17759/exppsy.2016090202 (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Zhuravlev A.L., Yurevich A.V. Vmesto vvedeniya: osnovnye tipy tendencij razvitiya psihologii [Instead of an introduction: the main types of trends in the development of psychology]. *Novye tendencii i perspektivy psihologicheskoy nauki* / Otv. red. A.L. Zhuravlev, A.V. Yurevich. M.: IP RAN. 2019. pp. 5–8. (In Russ.).
5. Murtazina E.P., Matyul'ko I.S., Zhuravlev B.V. Somatovegetativnye komponenty social'nyh vzaimodejstvij (obzor) [Somato-vegetative components of social interactions (review)]. *Zhurnal Mediko-Biologicheskikh Issledovanij*. 2019. Vol. 7. № 3. pp. 349–362. DOI:10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.349. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Abe M.O., Koike T., Okazaki S., Sugawara S.K., Takahashi K., Watanabe K., Sadato N. Neural correlates of online cooperation during joint force production // *NeuroImage*. 2019. Vol. 191. P. 150–161. DOI:10.1016/j.neuroimage.2019.02.003
7. Ahn S., Cho H., Kwon M., Kim K., Kwon H., Kim B.S., Chang W.S., Chang W.J., Jun S.Ch. Interbrain phase synchronization during turn-taking verbal interaction—a hyperscanning study using simultaneous EEG/MEG // *Human Brain Mapping*. 2018. Vol. 39. № 1. P. 171–188. DOI:10.1002/hbm.23834
8. Allsop J.S., Vaitkus T., Marie D., Miles L. Coordination and collective performance: cooperative goals boost interpersonal synchrony and task outcomes // *Frontiers in Psychology*. 2016. Vol. 7. P. 1462. DOI:10.3389/fpsyg.2016.01462
9. Anders S., Heinzle J., Weiskopf N., Ethofer T., John-Dylan Haynes J.-D. Flow of affective information between communicating brains // *NeuroImage*. 2011. Vol. 54. № 1. P. 439–446. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.07.004
10. Ayrolles A., Brun F., Chen P., Djalovski A., Beauxis Y., Delorme R., Bourgeron T., Dikker S., Dumas G. HyPyP: a Hyperscanning Python Pipeline for inter-brain connectivity analysis // *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2021. Vol. 16. № 1-2. P. 72-83. DOI:10.1093/scan/nsaa141
11. Babiloni F., Astolfi L. Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future // *Neuroscience and biobehavioral reviews*. 2014. Vol. 44. P. 76–93. DOI:10.1016/j.neubiorev.2012.07.006
12. Babiloni F., Astolfi L., Cincotti F., Mattia D., Tocci A., Tarantino A., Marciari M., Salinari S., Gao S., Colosimo A., De Vico Fallani F. Cortical activity and connectivity of human brain during the Prisoner's Dilemma: an EEG hyperscanning study // 2007. P. 4953–4956. DOI:10.1109/IEMBS.2007.4353452
13. Balconi M., Vanutelli M.E. Brains in competition: improved cognitive performance and inter-brain coupling by hyperscanning paradigm with functional near-infrared spectroscopy // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 163. DOI:10.3389/fnbeh.2017.00163



14. Balconi M., Vanutelli M.E. Cooperation and competition with hyperscanning methods: review and future application to emotion domain // *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 86. DOI:10.3389/fncom.2017.00086
15. Bevilacqua D., Davidesco I., Wan L., Chaloner K., Rowland J., Ding M., Poeppel D., Dikker S. Brain-to-Brain synchrony and learning outcomes vary by student–teacher dynamics: evidence from a real-world classroom electroencephalography study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2018. Vol. 31. № 3. P. 401–411. DOI:10.1162/jocn_a_01274
16. Bilek E., Ruf M., Schäfer A., Akdeniz C., Calhoun V.D., Schmahl C., Demanuele C., Tost H., Kirsch P., Meyer-Lindenberg A. Information flow between interacting human brains: Identification, validation, and relationship to social expertise // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015a. Vol. 112. № 16. P. 5207–5212. DOI:10.1073/pnas.1421831112
17. Caruana N., Brock J., Woolgar A. A frontotemporoparietal network common to initiating and responding to joint attention bids // *NeuroImage*. 2015. Vol. 108. P. 34–46. DOI:10.1016/j.neuroimage.2014.12.041
18. Ciaramidaro A., Becchio C., Colle L., Bara B.G., Walter H. Do you mean me? Communicative intentions recruit the mirror and the mentalizing system // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2014. Vol. 9. № 7. P. 909–916. DOI:10.1093/scan/nst062
19. Czeszumski A., Eustergerling S., Lang A., Menrath D., Gerstenberger M., Schuberth S., Schreiber F., Rendon Z.Z., König P. Hyperscanning: a valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 39. DOI:10.3389/fnhum.2020.00039
20. Davidesco I., Laurent E., Valk H., West T., Dikker S., Milne C., Poeppel D. Brain-to-brain synchrony between students and teachers predicts learning outcomes // *bioRxiv*. 2019. P. 644047. DOI:10.1101/644047
21. Dikker S., Wan L., Davidesco I., Kaggen L., Oostrik M., James McClintock J., Rowland J., Michalareas G., Van Bavel J.J., Ding M., Poeppel D. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom // *Current Biology*. 2017. Vol. 27. № 9. P. 1375–1380. DOI:10.1016/j.cub.2017.04.002
22. Dmochowski J.P., Sajda P., Dias J., Parra L.C. Correlated components of ongoing eeg point to emotionally laden attention — a possible marker of engagement? // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 112. DOI:10.3389/fnhum.2012.00112
23. Duane T.D., Behrendt T. Extrasensory electroencephalographic induction between identical twins // *Science* (New York, N.Y.). 1965. Vol. 150. № 3694. P. 367. DOI:10.1126/science.150.3694.367
24. Dumas G., Martinerie J., Soussignan R., Nadel J. Does the brain know who is at the origin of what in an imitative interaction? // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012a. Vol. 6. P. 128. DOI:10.3389/fnhum.2012.00128
25. Dumas G., Nadel J., Soussignan R., Martinerie J., Garnero L. Inter-brain synchronization during social interaction // *PLOS ONE*. 2010. Vol. 5. № 8. P. e12166. DOI:10.1371/journal.pone.0012166
26. Fallani F.D.V., Nicosia V., Sinatra R., Astolfi L., Cincotti F., Mattia D., Wilke C., Doud A., Latora V., He B., Babiloni F. Defecting or not defecting: how to “read” human behavior during cooperative games by EEG measurements // *PLOS ONE*. 2010. Vol. 5. № 12. P. e14187. DOI:10.1371/journal.pone.0014187
27. Funane T., Kiguchi M., Atsumori H., Sato H., Kubota K., Koizumi H. Synchronous activity of two people’s prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy // *Journal of Biomedical Optics*. 2011. Vol. 16. № 7. P. 077011. DOI:10.1117/1.3602853
28. Gebauer L., Witek M.G., Hansen N.C., Thomas J., Konvalink, I., Vuust P. Oxytocin improves synchronisation in leader-follower interaction // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. № 1. P. 38416. DOI:10.1038/srep38416
29. Hari R., Kujala M. Brain basis of human social interaction: from concepts to brain imaging // *Physiological reviews*. 2009. Vol. 89. P. 453–79. DOI:10.1152/physrev.00041.2007
30. Hasson U, Frith CD. Mirroring and beyond: coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2016. Vol. 371. P. 1693. DOI:10.1098/rstb.2015.0366
31. Hirsch J., Adam Noah J., Zhang X., Dravida S., Ono Y. A cross-brain neural mechanism for human-to-human verbal communication // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2018. Vol. 13. № 9. P. 907–920. DOI:10.1093/scan/nsy070
32. Hirsch J., Zhang X., Noah J.A., Ono Y. Frontal temporal and parietal systems synchronize within and across brains during live eye-to-eye contact // *NeuroImage*. 2017. Vol. 157. P. 314–330. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.018



33. Hu Y., Hu Y., Li X., Pan Y., Cheng X. Brain-to-brain synchronization across two persons predicts mutual prosociality // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 12. P. 1835–1844. DOI:10.1093/scan/nsx118
34. Hu Y., Pan Y., Shi X., Cai Q., Li X., Cheng X. Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making // *Biological Psychology*. 2018. Vol. 133. P. 54–62. DOI:10.1016/j.biopsycho.2017.12.005
35. Jiang J., Dai B., Peng D., Zhu C., Liu L., Lu C. Neural Synchronization during Face-to-Face Communication // *Journal of Neuroscience*. 2012. Vol. 32. № 45. P. 16064–16069. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.024
36. Josef L., Goldstein P., Maysless N., Ayalon L., Shamay-Tsoory S.G. The oxytocinergic system mediates synchronized interpersonal movement during dance // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. P. 1894. DOI:10.1038/s41598-018-37141-1
37. Kawasaki M., Yamada Y., Ushiku Y., Miyauchi E., Yamaguchi Y. Inter-brain synchronization during coordination of speech rhythm in human-to-human social interaction // *Scientific Reports*. 2013. Vol. 3. № 1. P. 1–8. DOI:10.1038/srep01692
38. Koike T., Tanabe H.C., Okazaki S., Nakagawa E., Sasaki A.T., Shimada K., Sugawara S.K., Takahashi H.K., Yoshihara K., Bosch-Bayard J., Sadato N. Neural substrates of shared attention as social memory: A hyperscanning functional magnetic resonance imaging study // *NeuroImage*. 2016. Vol. 125. P. 401–412. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.09.076
39. Kuhlen A.K., Allefeld C., Haynes J.-D. Content-specific coordination of listeners' to speakers' EEG during communication // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 266. DOI:10.3389/fnhum.2012.00266
40. Lachat F., Huguille L., Lemarechal J.-D., Conty L., George N. Oscillatory brain correlates of live joint attention: a dual-EEG study // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 156. DOI:10.3389/fnhum.2012.00156
41. Lee R.F., Dai W., Jones J. Decoupled circular-polarized dual-head volume coil pair for studying two interacting human brains with dyadic fMRI // *Magnetic Resonance in Medicine*. 2012. Vol. 68. № 4. P. 1087–1096. DOI:10.1002/mrm.23313
42. Lee S., Cho H., Kim K., Jun S.C. Simultaneous EEG acquisition system for multiple users: development and related issues // *Sensors*. 2019. Vol. 19. № 20. P. 4592. DOI:10.3390/s19204592
43. Leong V., Schilbach L. The promise of two-person neuroscience for developmental psychiatry: using interaction-based sociometrics to identify disorders of social interaction // *The British Journal of Psychiatry*. 2019. Vol. 215. № 5. P. 636–638. DOI:10.1192/bjp.2019.73.
44. Levy J., Goldstein A., Feldman R. Perception of social synchrony induces mother–child gamma coupling in the social brain // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 7. P. 1036–1046. DOI:10.1093/scan/nsx032
45. Li T., Li G., Xue T., Zhang J. Analyzing brain connectivity in the mutual regulation of emotion–movement using bidirectional granger causality // *Frontiers in Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 369. DOI:10.3389/fnins.2020.00369
46. Liu D., Liu S., Liu X., Zhang C., Li A., Jin C., Chen Y., Wang H., Zhang X. Interactive brain activity: review and progress on EEG-based hyperscanning in social interactions // *Frontiers in Psychology*. 2018a. Vol. 9. P. 1862. DOI:10.3389/fpsyg.2018.01862
47. Mandel A., Bourguignon M., Parkkonen L., Hari R. Sensorimotor activation related to speaker vs. listener role during natural conversation // *Neuroscience Letters*. 2016. Vol. 614. P. 99–104. DOI:10.1016/j.neulet.2015.12.054
48. Montague P.R., Berns G.S., Cohen J.D., King R.D., Apple N., Fisher R.E. Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions // *NeuroImage*. 2002. Vol. 16. № 4. P. 1159–1164. DOI:10.1006/nimg.2002.1150
49. Mu Y., Guo C., Han S. Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2016. Vol. 11. № 12. P. 1882–1893. DOI:10.1093/scan/nsw106
50. Müller V., Lindenberger U. Hyper-brain networks support romantic kissing in humans // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. № 11. DOI:10.1371/journal.pone.0112080.
51. Müller V., Sängler J., Lindenberger U. Intra- and inter-brain synchronization during musical improvisation on the guitar // *PloS One*. 2013. Vol. 8. № 9. P. e73852. DOI:10.1093/scan/nsw106



52. Naeem M., Prasad G., Watson D.R., Kelso J.A.S. Functional dissociation of brain rhythms in social coordination // *Clinical Neurophysiology*. 2012b. Vol. 123. № 9. P. 1789–1797. DOI:10.1016/j.clinph.2012.02.065
53. Nastase S.A., Gazzola V., Hasson U., Keysers C. Measuring shared responses across subjects using intersubject correlation // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2019. Vol. 14. № 6. P. 667–685. DOI:10.1093/scan/nsz037
54. Novembre G., Knoblich G., Dunne L., Keller P.E. Interpersonal synchrony enhanced through 20 Hz phase-coupled dual brain stimulation // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017. Vol. 12. № 4. P. 662–670. DOI:10.1093/scan/nsw172
55. Novembre G., Sammler D., Keller P.E. Neural alpha oscillations index the balance between self-other integration and segregation in real-time joint action // *Neuropsychologia*. 2016. Vol. 89. P. 414–425. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.027
56. Nozawa T., Sasaki Y., Sakaki K., Yokoyama R., Kawashima R. Interpersonal frontopolar neural synchronization in group communication: An exploration toward fNIRS hyperscanning of natural interactions // *NeuroImage*. 2016. Vol. 133. P. 484–497. DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.03.059
57. Pan Y., Cheng X. Two-person approaches to studying social interaction in psychiatry: uses and clinical relevance // *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 11. P. 301. DOI:10.3389/fpsy.2020.00301
58. Pan Y., Cheng X., Zhang Z., Li X., Hu Y. Cooperation in lovers: An fNIRS-based hyperscanning study. // *Human Brain Mapping*. 2017. Vol. 38. № 2. P. 831–841. DOI:10.1002/hbm.23421
59. Pan Y., Dikker S., Goldstein P., Zhu Y., Yang C., Hu Y. Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning // *NeuroImage*. 2020. Vol. 211. P. 116657. DOI:10.1016/j.neuroimage.2020.116657
60. Poulsen A.T., Kamronn S., Dmochowski J., Parra L.C., Hansen L.K. EEG in the classroom: synchronised neural recordings during video presentation // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 43916. DOI:10.1038/srep43916
61. Redcay E., Dodell-Feder D., Pearrow M.J., Mavros P.L., Kleiner M., Gabrieli J.D.E., Saxe R. Live face-to-face interaction during fMRI: a new tool for social cognitive neuroscience // *NeuroImage*. 2010. Vol. 50. № 4. P. 1639–1647. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.01.052
62. Redcay E., Schilbach L. Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction // *Nature Reviews Neuroscience*. 2019. Vol. 20. № 8. P. 495–505. DOI:10.1038/s41583-019-0179-4
63. Renvall V., Kauramäki J., Malinen S., Hari R., Nummenmaa L. Imaging real-time tactile interaction with two-person dual-coil fMRI // *Frontiers in Psychiatry*. 2020. Vol. 11. P. 279. DOI:10.3389/fpsy.2020.00279
64. Saito D.N., Tanabe H.C., Izuma K., Hayashi M.J., Morito Y., Komeda H., Uchiyama H., Kosaka H., Okazawa H., Fujibayashi Y., Sadato N. “Stay tuned”: inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2010. Vol. 4. P. 127. DOI:10.3389/fnint.2010.00127
65. Sänger J., Müller V., Lindenberger U. Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6. P. 312. DOI:10.3389/fnhum.2012.00312
66. Schilbach L., Timmermans B., Reddy V., Costall A., Bente G., Schlicht T., Vogeley K. Toward a second-person neuroscience // *Behavioral and Brain Sciences*. 2013. Vol. 36. № 4. P. 393–414. DOI:10.1017/S0140525X12000660
67. Schilbach L., Wilms M., Eickhoff S.B., Romanzetti S., Tepest R., Bente G., Shah N.J., Fink G.R., Vogeley K. Minds made for sharing: initiating joint attention recruits reward-related neurocircuitry // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2010. Vol. 22. № 12. P. 2702–2715. DOI:10.1162/jocn.2009.21401
68. Schirmer A, Fairhurst M, Hoehl S. Being ‘in sync’-is interactional synchrony the key to understanding the social brain? // *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2021; Vol. 16. № 1-2. P. 1-4. DOI:10.1093/scan/nsaa148
69. Stolk A., Noordzij M.L., Verhagen L., Volman I., Schoffelen J.-M., Oostenveld R., Hagoort P., Toni I. Cerebral coherence between communicators marks the emergence of meaning // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111. № 51. P. 18183–18188. DOI:10.1073/pnas.1414886111
70. Szymanski C., Müller V., Brick T.R., von Oertzen T., Lindenberger U. Hyper-transcranial alternating current stimulation: experimental manipulation of inter-brain synchrony // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 539. DOI:10.3389/fnhum.2017.00539



71. Szymanski C., Pesquita A., Brennan A.A., Perdakis D., Enns J.T., Brick T.R., Müller V., Lindenberger U. Teams on the same wavelength perform better: Inter-brain phase synchronization constitutes a neural substrate for social facilitation // *NeuroImage*. 2017. Vol. 152. P. 425–436. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.03.013
72. Tomlin D., Kayali M.A., King-Casas B., Anen C., Camerer C.F., Quartz S.R., Montague P.R. Agent-specific responses in the cingulate cortex during economic exchanges // *Science*. 2006. Vol. 312. № 5776. P. 1047–1050. DOI:10.1126/science.1125596
73. Toppi J., Borghini G., Petti M., He E.J., Giusti V.D., He B., Astolfi L., Babiloni F. Investigating cooperative behavior in ecological settings: an EEG hyperscanning study // *PLOS ONE*. 2016. Vol. 11. № 4. P. e0154236. DOI:10.1371/journal.pone.0154236
74. Wang C., Zhang T., Shan Z., Liu J., Yuan D., Li X. Dynamic interpersonal neural synchronization underlying pain-induced cooperation in females // *Human Brain Mapping*. 2019. Vol. 40. № 11. P. 3222–3232. DOI:10.1002/hbm.24592
75. Xu J., Slagle J.M., Banerjee A., Bracken B., Weinger M.B. Use of a portable functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) system to examine team experience during crisis event management in clinical simulations // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13. P. 85. DOI:10.3389/fnhum.2019.00085
76. Yun K., Chung D., Jeong J. Emotional interactions in human decision making using EEG hyperscanning // *In Proceedings of the 6th International Conference on Cognitive Science*. 2008. P. 327-330.
77. Zhang M., Liu T., Pelowski M., Yu D. Gender difference in spontaneous deception: A hyperscanning study using functional near-infrared spectroscopy // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 7508. DOI:10.1038/s41598-017-06764-1
78. Zhang Y., Meng T., Hou Y., Pan Y., Hu Y. Interpersonal brain synchronization associated with working alliance during psychological counseling // *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2018. V. 282. P. 103–109. DOI:10.1016/j.psychres.2018.09.007
79. Zhdanov A., Nurminen J., Baess P., Hirvenkari L., Jousmäki V., Mäkelä J.P., Mandel A., Meronen L., Hari R., Parkkonen L. An internet-based real-time audiovisual link for dual MEG recordings // *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10. № 6. P. e0128485. DOI:10.1371/journal.pone.0128485
80. Zhou G., Bourguignon M., Parkkonen L., Hari R. Neural signatures of hand kinematics in leaders vs. followers: A dual-MEG study // *NeuroImage*. 2016. Vol. 125. P. 731–738. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.11.002

Информация об авторах

Муртазина Елена Павловна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИ НФ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>, e-mail: e.murtazina@nphys.ru

Буянова Ирина Сергеевна, младший научный сотрудник, НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИ НФ»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9105-3172>, e-mail: irinamatulko@gmail.com

Information about the authors

Elena P. Murtazina, PhD. in Medicine, Leading Research Associate, P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>, e-mail: e.murtazina@nphys.ru

Irina S. Buyanova, MSc. in Psychology, Junior Research Associate, P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9105-3172>, e-mail: irinamatulko@gmail.com

Получена 17.08.2020

Принята в печать 01.12.2021

Received 17.08.2020

Accepted 01.12.2021