

DOI: 10.7868/S2658655X26020096  
УДК 612

Экспериментальная статья

## **Анализ показателей межсубъектной синхронизации ЭЭГ при эстетической оценке живописных произведений в условиях социального взаимодействия**

**Ж.В. Нагорнова<sup>1,\*</sup>, Н.В. Шемякина<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

*\*E-mail: nagornova\_zh@mail.ru*

*Аннотация.* Целью работы была оценка показателей межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности мозга при формировании и изменении субъективного мнения о живописном полотне во время его восприятия до и после совместного обсуждения в парах участников (16 пар участников). Исследование проводилось в естественных условиях посещения моновыставки современного художника, на которой участники взаимодействовали в парах. ЭЭГ регистрировали при помощи мобильных (носимых) электроэнцефалографов smartBCI в процессе восприятия и обсуждения картин. Рассчитывали следующие показатели: значения фазовой синхронизации (phase locking values, PLV), коэффициенты круговой корреляции (circular correlation coefficients, CCorr) и когерентности (Coherence, Coh) при первоначальном совместном просмотре картины, выбранной одним участником из пары, и просмотре этой же картины после обсуждения. Анализ проводился в тета- (4–8 Гц), альфа-1- (8–10 Гц), альфа-2- (10–13 Гц), бета-1- (13–18 Гц) и бета-2- (18–30 Гц) диапазонах ЭЭГ. После совместного обсуждения выбранной картины наблюдалось увеличение показателей межсубъектной синхронизации (PLV, CCorr и Coh) в альфа-2- и бета-2-диапазонах частот, в то время как в тета- и бета-1-диапазонах наблюдается генерализованное снижение показателей синхронизации по сравнению с состоянием до обсуждения, по всей видимости, отражая сходство эмоционального восприятия картины и различия в когнитивной оценке произведения.

*Ключевые слова:* ЭЭГ, синхронизация, гиперсканнинг, субъективное мнение, фазовая синхронизация (phase locking value, PLV), коэффициенты круговой корреляции (circular correlation coefficients, CCorr), когерентность (Coherence, Coh)

*Финансирование.* Работа выполнена при поддержке РФФ (№ 24-28-01797).

*Соблюдение этических стандартов.* Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, а также одобрены Этическим комитетом Института эволюционной физиологии

и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург (протокол № 01-02 от 02.02.2022 г. и № 04-02 от 26.02.2024 г.).

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

*Вклад авторов в публикацию.* НВШ – идея работы и планирование эксперимента; ЖВН, НВШ и коллеги – сбор данных; НВШ, ЖВН – обработка данных; НВШ, ЖВН – написание и редактирование манускрипта.

*Благодарности.* Авторы выражают благодарность д.б.н. В.А. Пономареву за разработку дополнительных возможностей в контуре программного обеспечения WinEEG под задачи проведенного исследования, аспирантам Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН Галкину В.А., Грохотовой А.В., Заводовой Е.М., участвовавшим в исследовании. Авторы также выражают благодарность руководству галереи EGGzGALLERY (Санкт-Петербург) за возможность проведения исследования на ее территории, автору выставки и художнику Ю.Г. Потапову («Мансарда художников»), предложившему это исследование.

*Ссылка для цитирования:* Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В. Анализ показателей межсубъектной синхронизации ЭЭГ при эстетической оценке живописных произведений в условиях социального взаимодействия. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова / Russian Journal of Physiology*. 2026. Т. 112. № 2. С. 565–582. <https://doi.org/10.7868/S2658655X26020096>

DOI: 10.7868/S2658655X26020096

Experimental article

## Inter-subject EEG Synchronization in the Esthetic Evaluation of a Painting in a Social Engagement Paradigm

Zh.V. Nagornova<sup>1,\*</sup>, N.V. Shemyakina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

*\*E-mail: nagornova\_zh@mail.ru*

*Abstract.* The aim of the study was to analyze the indexes of intersubject synchronization of brain bioelectrical activity during the formation of a subjective opinion about a painting, upon its perception before and during its change after a joint discussion within pairs (16 pairs of participants). The research was conducted in ecological conditions during a visit to an exhibition of a contemporary artist, where participants interacted in pairs. EEG was recorded using wearable smart-BCI amplifiers during the perception and discussion of the paintings. Intersubject synchronization indexes was calculated using: phase locking value (PLV), circular correlation coefficient (CCorr), and coherence (Coh) at the initial joint viewing of a painting selected by one participant from the pair and during the viewing of the same painting after the discussion. The analysis was performed in the theta (4–8 Hz), alpha-1 (8–10 Hz), alpha-2 (10–13 Hz), beta-1 (13–18 Hz), and beta-2 (18–30

Hz) EEG frequency bands. After the joint discussion of the selected painting, an increase in intersubject synchronization (as measured by PLV, CCorr, and Coh) was observed in the alpha-2 and beta-2 frequency bands, while a generalized decrease in synchronization indices was observed in the theta and beta-1 bands, reflecting the similarity of emotional perception of the painting and differences in the cognitive evaluation of the artwork.

*Keywords:* EEG, indexes of intersubject synchronization, hyperscanning, subjective opinion, PLV, CCorr, Coh

*Funding.* The work was supported by the Russian Science Foundation (No. 24-28-01797).

*Ethics declarations.* All studies were conducted in accordance with the principles of biomedical ethics formulated in the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent updates, and were approved by the Ethics Committee of the I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg (Minutes No. 01-02 dated February 2, 2022 and No. 04-02 dated February 26, 2024).

*Conflict of interests.* The authors declare that they have no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Authors contribution.* The idea of the work and the planning of the experiment were carried out by NVSh; data collection was carried out by ZVN, NVSh, and colleagues; data processing was carried out by NVSh and ZVN; the manuscript was written and edited by NVSh and ZVN.

*Acknowledgements.* The authors express their gratitude to Dr. V.A. Ponomarev for developing additional features in the WinEEG software for the purposes of this study, as well as to the postgraduate students of the Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, V.A. Galkin, A.V. Grokhotova, and E.M. Zavodova, who participated in the study. The authors also express their gratitude to the management of the EGGzGALLERY gallery (Saint Petersburg) for the opportunity to conduct research on its premises, and to the author of the exhibition and artist Yu.G. Potapov (“The Attic of Artists”), who suggested this research.

*For Citation:* Nagornova Zh.V., Shemyakina N.V. Inter-subject EEG Synchronization in the Esthetic Evaluation of a Painting in a Social Engagement Paradigm. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova / Russian Journal of Physiology.* 2026;112(2):565–582. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.7868/S2658655X26020096>

## ВВЕДЕНИЕ

Феномены социального влияния и конформности, при которой индивид изменяет свое мнение или поведение под влиянием группы, являются актуальным предметом исследования социальной психологии [1]. Социальное взаимодействие может приводить к изменению субъективного мнения индивида о предмете обсуждения [2, 3]. Однако нейробиологические механизмы, лежащие в основе изменения

личной оценки и мнения под влиянием другого человека или группы, остаются малоизученной областью нейробиологии.

В фМРТ-исследовании [4] индивидуальные оценки привлекательности лиц корректировались в соответствии с мнением группы. Конфликт с групповым мнением вызывал нейронный ответ в ростральной цингулярной коре и вентральном стриатуме, аналогичный сигналу «ошибки предсказания» (согласно нейробиологическим моделям обучения с подкреплением). Амплитуда сигнала, связанного с конфликтом, предсказывала последующую поведенческую корректировку мнения.

В исследовании [5] было показано, что наблюдается изменение субъективной оценки привлекательности предъявленного лица с учетом мнения группы, что сопровождается перестройкой нейронных репрезентаций привлекательности лица, выявленных при помощи анализа репрезентационного сходства (representation similarity analyses). Эти обновленные нейронные репрезентации перекрывались с ранними временными интервалами (до 400 мс), в течение которых обычно происходит восприятие лица и оценка его привлекательности.

Современные методы нейровизуализации, с использованием парадигмы гиперсканинга (hyper-scanning) позволяют исследовать мозговые корреляты изменения субъективного мнения в условиях реального взаимодействия [3]. В данном контексте анализ биоэлектрической активности между участниками взаимодействия может являться перспективным методом для выявления показателей успешной коммуникации и взаимного влияния [6]. При принятии совместного решения в исследованиях с применением технологии гиперсканинга наблюдалось увеличение дельта-, тета- и альфа-активности в лобных областях [7]. Показано, что увеличение межсубъектной синхронизации, особенно в тета- и альфа-диапазонах, коррелирует с возникновением взаимопонимания, кооперации и общих эмоций [8, 9], увеличение активности в тета-диапазоне в лобных областях в игре «Диктатор» (dictator game) коррелировало с просоциальным поведением у молодых взрослых при включении социального контекста во время принятия решения [10].

В качестве модели для оценки процессов формирования и изменения субъективных суждений в нашем исследовании используется эмоционально-эстетическая оценка живописных полотен. Восприятие и оценка творческого продукта представляет собой подходящую модель для изучения социального влияния, так как эстетическая оценка в большей степени изначально субъективна [11, 12] и редко опирается исключительно на строгие объективные критерии [13], что может сделать человека более восприимчивым к мнению других [2]. Процесс эстетической оценки задействует как когнитивные, так и эмоциональные компоненты [14], что позволяет рассматривать их вклад в процессы социального влияния. Согласно модели эстетического восприятия [14], эстетические переживания включают пять стадий: восприятие, эксплицитную классификацию, имплицитную классификацию, когнитивное освоение и оценку. В данной модели дифференцируются эстетические эмоции и эстетические суждения как два типа результатов эстетического восприятия. Мы предполагаем, что после обмена эстетическими суждениями возможно их изменение у участников диалога под влиянием мнения партнера по общению.

Целью исследования было определение динамики показателей межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности мозга в парах участников при совместном просмотре картин и художественных инсталляций до и после обсуждения, направленного на обмен мнениями о выбранной картине, и оценка изменений субъективного мнения индивида после социального взаимодействия.

Мы предполагали, что после обсуждения картины (социальной коммуникации) может происходить изменение субъективного мнения об этой картине и при ее последующем совместном молчаливом смотре — наблюдаться увеличение показателей межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности мозга у участников коммуникации, взаимодействующих в парах.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Участники.* В исследовании приняли участие 12 человек (5 мужчин, 7 женщин) в возрасте 21–27 лет (медиана 25 лет) с нормальным или скорректированным до нормального зрением, не занимающиеся профессионально живописью. Участники взаимодействовали друг с другом в парах, в анализ включены данные 16 пар.

*Процедура исследования.* Исследование проводилось при посещении испытуемыми моновыставки «Представление: цирк 5 клоунов» (22.02.25–30.03.25) современного художника (В. Загорова) в арт-галерее EGGZGALLERY (Санкт-Петербург). Картины и художественные инсталляции были выполнены в авторском стиле. Одновременно на выставке находилось 4–5 испытуемых. Участники в свободном режиме поодиночке ходили по выставке, рассматривали и оценивали эстетическую привлекательность полотен по 10-балльной шкале, где 1 — минимальная оценка (картина не понравилась), 10 — максимальная оценка (картина очень понравилась), методика оценки картин эквивалентна представленной в работе [15]. Согласно инструкции, во время свободного просмотра выставки участники выбирали три картины, которые хотели бы показать партнеру по коммуникации и обсудить с ним (партнер для общения выбирался случайным образом из участников, присутствующих на выставке).

Исследование формирования и изменения мнений состояло из нескольких этапов:

1. Совместный просмотр картины, выбранной одним из участников — испытуемые подходят к картине и некоторое время (не менее одной минуты) молча ее рассматривают.

2. Обсуждение картины — испытуемый, который не выбирал эту картину, делится своим впечатлением об этой картине. Затем испытуемый, который выбрал картину, обосновывает свой выбор и может отреагировать на мнение партнера.

3. Совместный просмотр этой же картины после ее обсуждения (не менее одной минуты). После каждого совместного просмотра картины (до и после обсуждения) участники на бланках оценивали приятие картины с 10-балльной оценкой по следующим шкалам: 1 — художественный уровень картины (общая эстетическая оценка), 2 — стиль, 3 — цвет, 4 — сюжет, 5 — композиция, 6 — уровень воображения автора, 7 — желание «повесить картину у себя дома».

Схема исследования приведена на рис. 1. Примеры картин доступны на сайте галереи (<https://www.eggzgalleries.ru/vladimirzgorov>).

*Регистрация ЭЭГ.* ЭЭГ регистрировали монополярно от 19 AgCl электродов, расположенных на поверхности головы испытуемых по системе 10–20 при помощи носимых (мобильных) электроэнцефалографов SmartBCI (ООО «Мицар», Санкт-Петербург, Россия) с частотой дискретизации 250 Гц, в программном пакете WinEEG (Пономарев В.А., Кропотов Ю.Д., № государственной регистрации 2001610516 от 08.05.2001 г.). Фильтры высоких-низких частот устанавливались на 0,53–30 Гц соответственно; режекторный фильтр 50 Гц. Объединенный референт

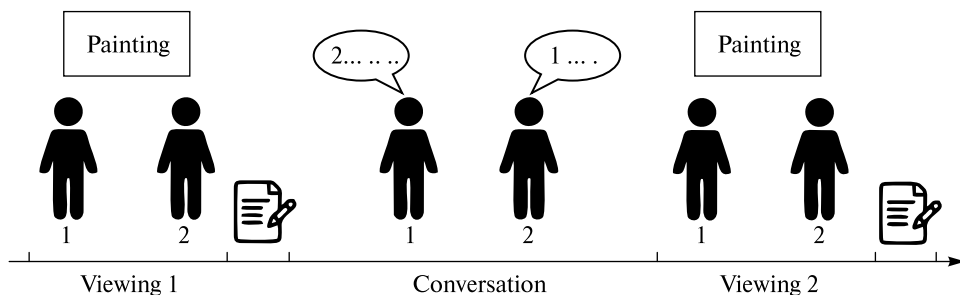


Рис. 1. Схема исследования

Fig. 1. Study design

располагался на мочках обеих ушей, электрод «земля» располагался между отведениями Fpz и Fz. Во время исследования испытуемые свободно перемещались между картинами, одиночным нажатием кнопки специального отметчика, соединенного с блоком SmartBCI, обозначали моменты начала просмотра картины, а множественными нажатиями (до 10) – свою эстетическую оценку. Регистрация данных ЭЭГ и синхронизованного видео (использовали web камеру) осуществлялась с использованием ноутбуков, которые находились в рюкзаке за плечами испытуемых. Далее с использованием синхронизованного видео и нажатий кнопки отметчика осуществлялась разметка ЭЭГ данных при анализе в парах. Для сравнения использовались фрагменты просмотра картины до и после обсуждения (Viewing 1 и Viewing 2 на рис. 1).

**Предобработка ЭЭГ.** После разметки фрагментов ЭЭГ по видео и кнопкам-отметчикам в программе WinEEG проводили удаление артефактов. Удаление глазодвигательных артефактов проводили с помощью метода пространственной фильтрации путем обнуления независимых компонент ЭЭГ, связанных с морганием и горизонтальными движениями глаз [16–18]. Далее эпохи анализа, амплитуда сигнала в которых превышала средний уровень больше, чем на три стандартных отклонения, удалялись из анализа. При исключении эпохи анализа из ЭЭГ записи одного испытуемого соответствующая по времени эпоха анализа исключалась и из записи второго испытуемого из пары.

**Анализ межсубъектной синхронизации.** Для анализа использовались безартефактные у обоих участников из пары фрагменты ЭЭГ при совместном молчаливом просмотре картин до и после обсуждения. В анализ вошли данные шестнадцати пар испытуемых.

Для оценки межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности между двумя участниками рассчитывались показатели фазовой синхронизации (*Phase Locking Value, PLV*), круговой корреляции (*Circular Correlation, CCorr*), когерентности (*Coherence, Coh*). Данные индексы были выбраны для сопоставительного анализа результатов, так как на данный момент не существует единых рекомендаций для оценки межсубъектной синхронизации в исследованиях с гиперсканнингом [19, 20], все эти показатели встречаются в различных работах [21]. Мы использовали те показатели, которые могут быть рассчитаны применительно к «спонтанной» ЭЭГ, без синхронизации с моментом предъявления стимула. Показатель фазовой синхронизации (PLV) определяет, насколько стабильна разность фаз между двумя сигналами

во времени, изменяется от 0 (разность фаз случайна) до 1 (разность фаз постоянна), не зависит от амплитуды сигнала. Коэффициент круговой корреляции (*CCorr*) — это коэффициент корреляции для циклических (круговых) данных, не зависит от амплитуды сигнала и более устойчив к «шуму» и выбросам данных по сравнению с PLV [22], измеряется от  $-1$  (отрицательная корреляция фаз) до 1 (положительная корреляция фаз), 0 — отсутствие корреляции. Когерентность (*CoH*) — показатель линейной связи двух сигналов в частотной области, зависит от согласованности фаз и амплитуд сигналов, измеряется от 0 до 1.

Расчет проводился с использованием программного модуля НуРуР для Python [21]. Данные индексы рассчитывались на безартефактных для обоих участников из пары эпохах анализа без перекрывания по 4 с в тета- (4–8 Гц), альфа-1- (8–10 Гц), альфа-2- (10–13 Гц), бета-1- (13–18 Гц), бета-2- (18–30 Гц) диапазонах частот и усреднялись для каждой пары электродов, в каждой паре испытуемых в каждом состоянии (совместный просмотр картины до/после обсуждения). В среднем по группе количество безартефактных эпох анализа было  $27 \pm 7$  ( $M \pm SD$ ). В анализ вошли данные 16 разных по составу пар испытуемых: каждый из участников исследования входил, как минимум, в состав одной пары участников. Некоторые участники входили в состав разных пар. Записи некоторых пар испытуемых были исключены из анализа из-за большого количества физиологических или технических артефактов. Далее проводили сравнение показателей синхронизации в состоянии просмотра картины после обсуждения с состоянием просмотра картины до обсуждения при помощи непараметрического критерия Манна–Уитни, рассматривались различия при  $p < 0,05$ .

*Анализ поведенческих данных.* На выставке было представлено около 40 экспонатов (картин и художественных инсталляций). Для обсуждения в паре участников использовались те из нескольких выбранных экспонатов (по инструкции каждый участник выбирал 3 объекта), которые не совпадали в паре. Различия между субъективными оценками объектов, выбранных самим участником, и объектов, выбранных партнером, анализировали при помощи критерия Манна–Уитни, различия между оценками до и после обсуждения оценивали при помощи критерия Вилкоксона. Рассчитывали медианы и межквартильный размах (25-й – 75-й квартиль) субъективных оценок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная задача исследования состояла в оценке изменений показателей межсубъектной синхронизации ЭЭГ при просмотре картины после обсуждения в парах участников по сравнению с просмотром до обсуждения. Согласно инструкции один из участников в паре выбирал картину, которая понравилась больше, чем остальные, тогда как для другого участника — эта картина первоначально (до обсуждения) не представляла большого интереса. Нас интересовало: под влиянием партнера по общению, выбравшего картину для обсуждения, изменится ли мнение и отношение к этой картине у того, кто ее не выбирал, но должен был теперь также рассмотреть и обсудить ее. Напомним, что все испытуемые в индивидуальном режиме изначально эстетически оценивали все картины и инсталляции художника.

Согласно поведенческим данным (табл. 1), оценки самостоятельно выбранных картин были значимо выше, чем картин, выбранных партнером по общению (по критерию Манна–Уитни). До обсуждения более высокие оценки самостоятельно

выбранной картины наблюдались по шкалам «художественный уровень (общая эстетическая оценка)», «стиль», «цвет», «композиция», «уровень воображения автора» и «желание повесить картину у себя». После обсуждения – по шкалам «художественный уровень (общая эстетическая оценка)» и «желание повесить картину у себя».

**Таблица 1.** Субъективные оценки картин участниками исследования

**Table 1.** Subjective evaluations of the paintings by the study participants

Показатель	До обсуждения			После обсуждения		
	Свой выбор	Выбор партнера	Различия, $Z, p <$	Свой выбор	Выбор партнера	Различия, $Z, p <$
Художественный уровень	7 (7–8)	5 (4–7)**	3,15, 0,002	7 (6–8)	6 (4–7)**	2,0, 0,05
Стиль	7 (6–7)	5 (4–6)	2,2, 0,03	6 (5–8)	5 (4–7)	<i>n.s.</i>
Цвет	8 (6–9)*	6 (5–7)	2,4, 0,02	7 (6–8)*	7 (5–8)	<i>n.s.</i>
Сюжет	7,5 (5–9)	5 (4–7)**	<i>n.s.</i>	7 (5–9)	7 (5–8)**	<i>n.s.</i>
Композиция	7 (6–8)	6 (4–6)	3,1, 0,003	6,5 (5–8)	6 (5–6)	<i>n.s.</i>
Уровень воображения автора	7 (5–8)	5 (5–6)	2,0, 0,05	6 (5–8)	6 (4–7)	<i>n.s.</i>
Желание «повесить картину у себя дома»	3,5 (2–6)	1,5 (1–3)	2,4, 0,02	3,5 (2–7)	2 (1–3)	2,5, 0,02

*Примечание.* В столбцах «Различия» приводятся значимые различия между оценками самостоятельно выбранной картины и картины, выбранной партнером, согласно критерию Манна–Уитни. \* – различия между показателями субъективной оценки самостоятельно выбранных картин до и после совместного обсуждения (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ), \*\* – различия между показателями субъективной оценки картин, выбранных партнером до и после совместного обсуждения (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ).

*Notes.* The “Differences” column presents significant differences between the ratings for the self-chosen painting and the partner-chosen painting, according to the Mann–Whitney U test. \* indicates differences in the subjective evaluation metrics for self-chosen paintings before and after the joint discussion (Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ), \*\* indicates differences in the subjective evaluation metrics for partner-chosen paintings before and after the joint discussion (Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ).

При внутригрупповом сравнении оценок самостоятельно выбранной картины (свой выбор) после обсуждения с оценками до обсуждения наблюдалось снижение оценки по шкале «цвет»:  $Z = 2,0, p < 0,05$  (по критерию Вилкоксона). При сравнении оценок картины, выбранной партнером (выбор партнера) после обсуждения, с оценками до обсуждения наблюдалось повышение оценок по шкалам «художественный уровень (общая эстетическая оценка)» ( $Z = 2,0, p < 0,04$ ) и «сюжет» ( $Z = 2,0, p < 0,04$ ).

Результаты анализа показателей межсубъектной синхронизации во время совместного просмотра картины после ее совместного обсуждения по сравнению с просмотром до обсуждения приведены на рис. 2. Значимыми признавались ( $p < 0,05$ ) те различия показателей синхронизации, изменения абсолютных величин которых были от 0,012 до 0,025. Большие показатели синхронизации ЭЭГ (положительные значения разницы) ПОСЛЕ обсуждения по сравнению с состоянием ДО обсуждения – на рисунке обозначены красными линиями, меньшие значения показателей синхронизации (отрицательные значения разницы) обозначены синими линиями. Как видно из приведенных данных, оценки, полученные при расчете разных показателей синхронизации, принципиально схожи друг с другом.

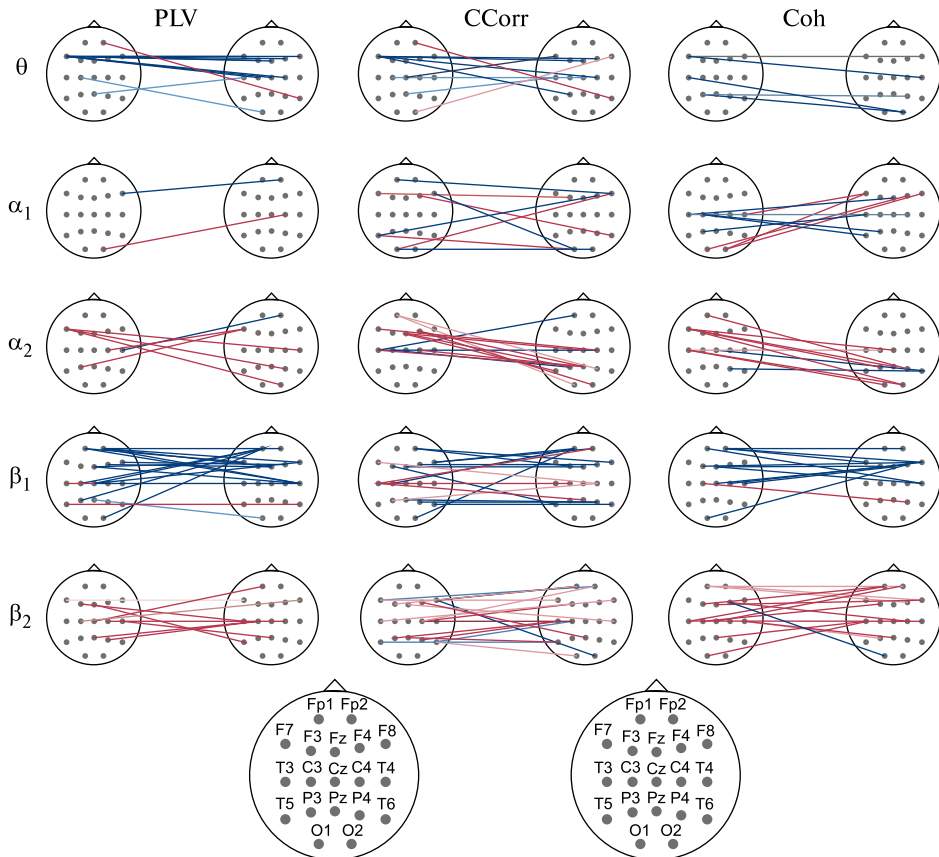
Наблюдается уменьшение межсубъектной синхронизации в тета-диапазоне ЭЭГ, увеличение межсубъектной синхронизации в альфа-2-диапазоне между лобными и теменными областями коры, снижение синхронизации в бета-1-диапазоне, преимущественно между лобными областями коры, и увеличение межсубъектной синхронизации в бета-2-диапазоне с акцентом в лобных областях. Наблюдается разнонаправленная динамика в альфа-1 диапазоне – как увеличение, так и уменьшение синхронизации между различными отведениями.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одна из гипотез исследования состояла в возможности изменения субъективного мнения участников о предмете обсуждения после диалога (социального взаимодействия) в парах. Согласно поведенческим данным, выбранные самостоятельно картины оценивались значимо выше, чем картины, выбранные партнером по общению. После обсуждения значимо повысилась оценка художественного уровня (общая эстетическая оценка) и сюжета картины (табл. 1), выбранной партнером. Это подтверждает гипотезу исследования и также согласуется с данными исследования [2], в котором было показано, что субъективная эстетическая оценка картин, выбранных партнером, значимо повышалась после восприятия его мнения о картине. Из всех шкал повысилась общая оценка художественного произведения и оценка сюжета картины, выбранной партнером. Можно предположить, что это наиболее «понятные» для непрофессионалов критерии оценки картины, на основании которых участник, выбравший картину, создавал свое мнение о ней и, соответственно, влиял на мнение партнера.

В представляемом исследовании, помимо повышения оценок картины, выбранной партнером, после обсуждения наблюдалось снижение субъективной оценки самостоятельно выбранной картины по шкале «цвет». Эта шкала отражает мнение о цветовой гамме картины, сочетании и выборе цветов. Возможно, в данном случае мнение партнера (который эту картину не выбрал) базировалось, в том числе, на общих цветовых сочетаниях картины и повлияло на первоначальные оценки участника, выбравшего картину. До обсуждения оценки по шкале «цвет» между участниками в паре различались, после обсуждения различия в оценках по этому показателю нивелировались.

Оценки по шкалам «стиль», «цвет», «композиция», «уровень воображения автора» после обсуждения не различались между своим и чужим выбором, хотя различия присутствовали до обсуждения. То есть после социального взаимодействия происходило сближение оценок обсуждаемых картин между испытуемыми в парах.



**Рис. 2.** Различия показателей межсубъектной синхронизации в состоянии при совместном просмотре картин после в сравнении с состоянием до обсуждения картины в паре. PLV – показатель фазовой синхронизации, CCorr – коэффициент круговой корреляции, Coh – когерентность.  $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  – диапазоны ЭЭГ: тета (4–8 Гц), альфа-1 (8–10 Гц), альфа-2 (10–13 Гц), бета-1 (13–18 Гц), бета-2 (18–30 Гц). Красная/синяя линии, соединяющие электроды, – значимое ( $p < 0,05$ ) увеличение/уменьшение соответствующего показателя синхронизации между соответствующими электродами в паре после обсуждения в сравнении с показателями синхронизации до обсуждения. Цвет линий (от светлого к темному) зависит от уровня синхронизации. Расположение электродов обозначено на схемах головы под рисунком

**Fig. 2.** Differences in inter-subject synchronization metrics during the joint viewing of paintings after the discussion compared to the state before the discussion within the dyad. PLV – phase locking value, CCorr – circular correlation coefficient, Coh – coherence.  $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  – EEG frequency bands: theta (4–8 Hz), alpha-1 (8–10 Hz), alpha-2 (10–13 Hz), beta-1 (13–18 Hz), beta-2 (18–30 Hz). Red/blue lines connecting electrodes represent a significant ( $p < 0.05$ ) increase/decrease in the respective synchronization metric between the corresponding electrode pairs after the discussion compared to the synchronization metrics before the discussion. The line color (from light to dark) corresponds to the synchronization level. Electrode positions are indicated on the head schematics below the figure

Результаты анализа межсубъектной синхронизации мы рассматриваем как отражение схождения нейрональных процессов, происходящих в мозге участников в паре при совместном просмотре картин. Учитывая, что после обсуждения у участников взаимодействия формируется общее представление о картине, мы предположили, что будет наблюдаться увеличение показателей межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности участников в паре при восприятии картины после социального взаимодействия.

По результатам анализа межсубъектной синхронизации гипотеза исследования об увеличении межсубъектной синхронизации после социального взаимодействия подтвердилась частично: в бета-2- и альфа-2-диапазонах ЭЭГ наблюдалось увеличение межсубъектной синхронизации, тогда как в тета- и бета-1-диапазонах выявлено уменьшение синхронизации, преимущественно в лобных областях коры. Совместное восприятие картины после обмена мнениями о ней нами рассматривается как условие про-социального поведения и активации сходных процессов анализа и оценки картины у двух участников в паре. Увеличение показателей межсубъектной синхронизации наблюдается в условиях кооперации и про-социального поведения: например, при совместной игре, заключающейся в управлении движением машины, наблюдалось увеличение межсубъектной фазовой синхронизации ЭЭГ активности (по показателю *Scorr*) в альфа-, бета- и гамма-диапазонах ЭЭГ, и большая синхронизация в альфа-диапазоне коррелировала с общей успешностью в игре [16]. Синхронизация наблюдалась в лобных, теменных и затылочных областях коры. Обсуждение картин в нашем исследовании рассматривалось как социальное взаимодействие, которое может привести к кооперации (выработке совместного «общего» мнения), активации общих (подобных) процессов восприятия картины и соответственно к увеличению межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности. В исследовании [24] в условиях совместного зрительного поиска межсубъектная синхронизация была выше у пар, продемонстрировавших лучшие результаты при совместном, чем при индивидуальном выполнении задания.

Согласно полученным данным в представляемом исследовании, мы можем предположить несколько факторов, влияющих на динамику межсубъектной синхронизации после социального взаимодействия. Во-первых, восприятие и эстетическая оценка картин включает в себя эмоциональную и когнитивную оценку. Поведенческие данные свидетельствуют о преимущественном изменении субъективной, отчасти эмоциональной, оценки воспринимаемой картины (изменяются оценки «общего художественного уровня», «сюжета» и «цвета» картины), в то время как когнитивные оценки (такие как оценки «композиции» и «стиля») остаются без изменения. Увеличение синхронизации в бета-2-диапазоне частот может быть связано с эмоциональной оценкой картины. Так, индуцированные положительные эмоции при творческой деятельности приводят к увеличению локальной и дистантной синхронизации (когерентности) в бета-2-диапазоне частот [25]. Межсубъектная синхронизация в бета-диапазоне (13,5–29,5 Гц), оцениваемая при помощи анализа взвешенного индекса фазового запаздывания (*Weighted Phase Lag Index*), наблюдалась в исследованиях эмпатии – как между диадами мать-подросток, так и между диадами взрослых незнакомых участников [26].

Синхронизация в альфа-2-диапазоне между лобными и теменными областями коры соотносится с исследованиями при восприятии театральной постановки зрителями, в котором также выявлено увеличение межсубъектной синхронизации в альфа-2-диапазоне в период кульминации представления [9]. Межсубъектная

синхронизация в альфа-диапазоне увеличивается в задании на эмпатию и модулируется условиями знакомства и близости партнеров по общению (романтические пары, друзья, незнакомые) [27], что может отражать сходные механизмы активации системы зеркальных нейронов и системы ментализации у партнеров, которые вовлечены в социальное взаимодействие. Можно предположить, что испытуемые после совместного обсуждения картины были настроены на попытку взглянуть на картину «глазами партнера», с его точки зрения. Это подтверждается и изменением субъективных оценок картины — как у участника, который не выбирал эту картину как понравившуюся (увеличение оценок общего художественного уровня картины, и сюжета), так и у участника, выбравшего эту картину для обсуждения, как понравившуюся (снижение оценки цвета картины).

Уменьшение межсубъектной синхронизации в тета- и бета-1-диапазонах ЭЭГ при совместном просмотре картин после обсуждения, с одной стороны, противоречит первоначальной гипотезе об общем увеличении синхронизации биоэлектрической активности в процессе социального взаимодействия и после него, однако дает основание предположить, что снижение показателей межсубъектной синхронизации может быть связано с различием вовлекаемых процессов, отражающихся в динамике ЭЭГ в тета- и бета-1-диапазонах. Так как синхронизация в тета-диапазоне (увеличение мощности) после предъявления стимула отражает вовлечение рабочей памяти [28] и когнитивного контроля [29], можно предположить, что эти процессы различались у участников, выбравших и не-выбравших рассматриваемую картину. У участников, которые просматривали картину, выбранную партнером (а не собой), могли в большей степени вовлекаться процессы ассоциативной, эпизодической памяти [30] и системы когнитивного контроля [31], так как у них в этот период, вероятно, изменялось мнение о картине на основе информации, полученной в обсуждении. В это время у участников, рассматривающих картину, выбранную самостоятельно, после обсуждения, возможно, в меньшей степени вовлечены процессы когнитивного контроля и рабочей памяти, так как их оценки, в основном, не меняются (кроме восприятия цвета) и оценки партнера просто соотносятся со своим впечатлением.

Уменьшение межсубъектной синхронизации в бета-1-диапазоне ЭЭГ также может свидетельствовать о различной активации процессов внимания при просмотре картины после обсуждения. Участники, выбравшие картину, могли воспринимать ее с меньшим вовлечением системы внимания, так как они выбрали ее при предварительном просмотре всех картин на выставке. В то же время участники, не выбравшие эту картину, могли сначала (до обсуждения) стараться понять, почему партнер выбрал эту картину, а при просмотре после обсуждения — обращать внимание на те особенности, которые указал партнер при взаимодействии. Увеличение мощности ЭЭГ в бета-диапазоне ЭЭГ в теменно-затылочных областях связана с большей бдительностью, готовностью к выполнению задания и лучшей реакцией на стимул [32, 33]. Также рассматривается роль бета-осцилляции в поддержании сенсомоторных и когнитивных репрезентаций, а также во временном кодировании ожиданий [34].

То есть, можно предположить, что вовлечение систем внимания и когнитивного контроля при восприятии картины было выше у участников, для которых обсуждаемая картина была новой (не выбранной изначально), и различное вовлечение рассматриваемых процессов приводило к уменьшению синхронизации в тета- и бета-1-диапазонах ЭЭГ при просмотре картины после обсуждения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием анализа межсубъектной синхронизации биоэлектрической активности были выделены ЭЭГ характеристики изменения субъективного мнения о живописном полотне после совместного обсуждения картин в паре. Наблюдалось увеличение межсубъектной синхронизации в альфа-2- (в лобных и теменных областях коры) и бета-2- (в лобных и центральных областях) частотных диапазонах, предположительно отражающих активацию системы ментализации и эмоциональной оценки объектов, обеспечивающих эмпатичное восприятие мнения партнера, в то время как уменьшение межсубъектной синхронизации в тета- и бета-1-диапазонах частот (преимущественно в лобных областях коры) отражает различную активацию произвольного внимания и ассоциативных процессов между участниками, выбравшими и не-выбравшими обсуждаемую картину для совместного рассмотрения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Capuano C., Chekroun P. A Systematic Review of Research on Conformity. *Int. Rev. Soc. Psychol.* 2024. Vol. 37. 13. <https://doi.org/10.5334/irsp.874>
2. Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В. Нейрофизиологические корреляты формирования эстетического суждения в условиях совместного просмотра произведений живописи. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2025. Т. 111. № 2. С. 333–348. <https://doi.org/10.7868/S2658655X25020104>
3. Rovelli K., Balconi M. Belief shift status in moral reasoning: evidence from EEG hyperscanning and real-time dialogic framing. *Neuroscience.* 2025. Vol. 582. Pp. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.07.030>
4. Klucharev V., Hytönen K., Rijpkema M. et al. Reinforcement learning signal predicts social conformity. *Neuron.* 2009. Vol. 61. Pp. 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.027>
5. Chen D., Yao Z., Liu J. et al. Social conformity updates the neural representation of facial attractiveness. *Commun. Biol.* 2024. Vol. 7. 1369. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06791-5>
6. Balconi M., Rovelli K., Angioletti L. Social influence in persuasion and negotiation: a hyperscanning EEG and autonomic measures study. *Front. Neurosci.* 2025. Vol. 19. 1604389. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1604389>
7. Acconito C., Rovelli K., Saquella F. et al. Cognitive and emotional engagement in negotiation: insights from EEG and fNIRS hyperscanning. *Exp. Brain Res.* 2025. Vol. 243. 151. <https://doi.org/10.1007/s00221-025-07093-w>
8. Chabin T., Gabriel D., Comte A. et al. Interbrain emotional connection during music performances is driven by physical proximity and individual traits. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2022. Vol. 1508. Pp. 178–195. <https://doi.org/10.1111/nyas.14711>
9. Заводова Е.М., Нагорнова Ж.В., Зырянов Н.А. и др. Оценка межсубъектной синхронизации у зрителей в условиях театральной постановки. Пилотное ЭЭГ-исследование в парадигме гиперсканнинга. *Физиология человека.* 2025. Т. 51. № 6. С. 7–19. <https://doi.org/10.1134/S0362119725010042>
10. Lavín C., Soto-Icaza P., López V. et al. Another in need enhances prosociality and modulates frontal theta oscillations in young adults. *Front. Psychiatry.* 2023. Vol. 14. 1160209. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1160209>

11. Chamberlain R. The interplay of objective and subjective factors in empirical aesthetics. В сб.: Ionescu B., Bainbridge W.A., Murray N. (eds.) *Human Perception of Visual Information: Psychological and Computational Perspectives*. Cham: Springer, 2022. Pp. 115–132.
12. Salgues S., Jacquot A., Makowski D. et al. Self-reference and emotional reaction drive aesthetic judgment. *Sci. Rep.* 2024. Vol. 14. 19699. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68331-9>
13. Lin F., Xu W., Li Y. et al. Exploring the influence of object, subject, and context on aesthetic evaluation through computational aesthetics and neuroaesthetics. *Appl. Sci.* 2024. Vol. 14. 7384. <https://doi.org/10.3390/app14167384>
14. Leder H., Belke B., Oeberst A. et al. A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *Br. J. Psychol.* 2004. Vol. 95. Pp. 489–508. <https://doi.org/10.1348/0007126042369811>
15. Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V., Grokhotova A.V. A study of EEG characteristics of aesthetic perception and assessment of painting works during museum visits: neuroaesthetic study. *Hum. Physiol.* 2024. Vol. 50. Pp. 345–357. <https://doi.org/10.1134/S0362119724700798>
16. Vigário R.N. Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1997. Vol. 103. Pp. 395–404. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(97)00042-8)
17. Jung T.P., Makeig S., Westerfield M. et al. Removal of eye activity artifacts from visual event-related potentials in normal and clinical subjects. *Clin. Neurophysiol.* 2000. Vol. 111. Pp. 1745–1758. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00386-2)
18. Tereshchenko E.P., Ponomarev V.A., Kropotov Yu.D. et al. Comparative efficiencies of different methods for removing blink artifacts in analyzing quantitative electroencephalogram and event-related potentials. *Hum. Physiol.* 2009. Vol. 35. No. 2. Pp. 241–247. <https://doi.org/10.1134/S0362119709020157>
19. Shemyakina N.V., Nagornova Z.V. Neurophysiological characteristics of competition in skills and cooperation in creativity task performance: a review of hyperscanning research. *Hum. Physiol.* 2021. Vol. 47. Pp. 87–103. <https://doi.org/10.1134/S0362119721010126>
20. Zamm A., Loehr J.D., Vesper C. et al. A practical guide to EEG hyperscanning in joint action research: from motivation to implementation. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2024. Vol. 19. nsae026. <https://doi.org/10.1093/scan/nsae026>
21. Ayrolles A., Brun F., Chen P. et al. HyPyP: a hyperscanning Python pipeline for inter-brain connectivity analysis. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2021. Vol. 16. Pp. 72–83. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa141>
22. Burgess A.P. On the interpretation of synchronization in EEG hyperscanning studies: a cautionary note. *Front. Hum. Neurosci.* 2013. Vol. 7. 881. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00881>
23. Wikström V., Saarikivi K., Falcon M. et al. Inter-brain synchronization occurs without physical co-presence during cooperative online gaming. *Neuropsychologia.* 2022. Vol. 174. 108316. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108316>
24. 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. Vol. 152. Pp. 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.013>

25. Shemyakina N.V., Dan'ko S.G. Changes in the power and coherence of the  $\beta 2$  EEG band in subjects performing creative tasks using emotionally significant and emotionally neutral words. *Hum. Physiol.* 2007. Vol. 33. Pp. 20–26.  
<https://doi.org/10.1134/S0362119707010033>
26. Schwartz L., Levy J., Shapira Y. et al. Empathy aligns brains in synchrony. *iScience.* 2025. Vol. 28. 112642. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112642>
27. Djalovski A., Dumas G., Kinreich S. et al. Human attachments shape interbrain synchrony toward efficient performance of social goals. *Neuroimage.* 2021. Vol. 226. 117600. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117600>
28. Herweg N.A., Solomon E.A., Kahana M.J. Theta oscillations in human memory. *Trends Cogn. Sci.* 2020. Vol. 24. Pp. 208–227.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.12.006>
29. Eisma J., Rawls E., Long S. et al. Frontal midline theta differentiates separate cognitive control strategies while still generalizing the need for cognitive control. *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11. 14641. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94162-z>
30. Crespo-Garcia M., Cantero J.L., Pomyalov A. et al. Functional neural networks underlying semantic encoding of associative memories. *Neuroimage.* 2010. Vol. 50. Pp. 1258–1270. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.01.018>
31. Sauseng P., Hoppe J., Klimesch W. et al. Dissociation of sustained attention from central executive functions: local activity and interregional connectivity in the theta range. *Eur. J. Neurosci.* 2007. Vol. 25. Pp. 587–593.  
<https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05286.x>
32. Kamiński J., Brzezicka A., Gola M. et al.  $\beta$  band oscillations engagement in human alertness process. *Int. J. Psychophysiol.* 2012. Vol. 85. Pp. 125–128.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.11.006>
33. Gola M., Magnuski M., Szumska I. et al. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *Int. J. Psychophysiol.* 2013. Vol. 89. Pp. 334–341.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.007>
34. Betti V., Della Penna S., de Pasquale F. et al. Spontaneous beta band rhythms in the predictive coding of natural stimuli. *Neuroscientist.* 2021. Vol. 27. Pp. 184–201.  
<https://doi.org/10.1177/1073858420928988>

## REFERENCES

1. Capuano C., Chekroun P. A systematic review of research on conformity. *Int. Rev. Soc. Psychol.* 2024;37:13. <https://doi.org/10.5334/irsp.874>
2. Nagornova Zh.V., Shemyakina N.V. Neyrofiziologicheskiye korrelyaty formirovaniya esteticheskogo suzheniya v usloviyakh sovmejnogo prosmotra proizvedeniy zhivopisi [Neurophysiological Correlates of the Aesthetic Judgment Formation in Conditions of Joint Paintings Perception]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova = Russian Journal of Physiology.* 2025;111(2):333–348. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.7868/S2658655X25020104>
3. Rovelli K., Balconi M. Belief shift status in moral reasoning: evidence from EEG hyperscanning and real-time dialogic framing. *Neuroscience.* 2025;582:63–71.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.07.030>

4. Klucharev V., Hytönen K., Rijpkema M. et al. Reinforcement learning signal predicts social conformity. *Neuron*. 2009;**61**:140–151. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.027>
5. Chen D., Yao Z., Liu J. et al. Social conformity updates the neural representation of facial attractiveness. *Commun. Biol.* 2024;**7**:1369. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06791-5>
6. Balconi M., Rovelli K., Angioletti L. Social influence in persuasion and negotiation: a hyperscanning EEG and autonomic measures study. *Front. Neurosci.* 2025;**19**:1604389. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1604389>
7. Acconito C., Rovelli K., Saquella F. et al. Cognitive and emotional engagement in negotiation: insights from EEG and fNIRS hyperscanning. *Exp. Brain Res.* 2025;**243**:151. <https://doi.org/10.1007/s00221-025-07093-w>
8. Chabin T., Gabriel D., Comte A. et al. Interbrain emotional connection during music performances is driven by physical proximity and individual traits. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2022;**1508**:178–195. <https://doi.org/10.1111/nyas.14711>
9. Zavodova EM, Nagornova ZhV, Zyryanov NA et al. Otsenka mezhsobyektnoy sinkhronizatsii u zriteley v usloviyakh teatral'noy postanovki. Pilotnoye EEG issledovaniye v paradigme giperskanninga [Intersubject Synchronization Among the Audience During a Theatre Rehearsal. A Pilot EEG Hyperscanning Study]. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2025;**51**(6):7–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0362119725010042>
10. Lavín C., Soto-Icaza P., López V. et al. Another in need enhances prosociality and modulates frontal theta oscillations in young adults. *Front. Psychiatry*. 2023;**14**:1160209. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1160209>
11. Chamberlain R. The interplay of objective and subjective factors in empirical aesthetics. In: Ionescu B., Bainbridge W.A., Murray N., editors. *Human Perception of Visual Information: Psychological and Computational Perspectives*. Cham: Springer; 2022. p. 115–132.
12. Salgues S., Jacquot A., Makowski D. et al. Self-reference and emotional reaction drive aesthetic judgment. *Sci. Rep.* 2024;**14**:19699. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68331-9>
13. Lin F., Xu W., Li Y. et al. Exploring the influence of object, subject, and context on aesthetic evaluation through computational aesthetics and neuroaesthetics. *Appl. Sci.* 2024;**14**:7384. <https://doi.org/10.3390/app14167384>
14. Leder H., Belke B., Oeberst A. et al. A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *Br. J. Psychol.* 2004;**95**:489–508. <https://doi.org/10.1348/0007126042369811>
15. Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V., Grokhotova A.V. A study of EEG characteristics of aesthetic perception and assessment of painting works during museum visits: neuroaesthetic study. *Hum. Physiol.* 2024;**50**:345–357. <https://doi.org/10.1134/S0362119724700798>
16. Vigário R.N. Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1997;**103**:395–404. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(97\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(97)00042-8)
17. Jung T.P., Makeig S., Westerfield M. et al. Removal of eye activity artifacts from visual event-related potentials in normal and clinical subjects. *Clin. Neurophysiol.* 2000;**111**:1745–1758. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00386-2)

18. Tereshchenko E.P., Ponomarev V.A., Kropotov Yu.D. et al. Comparative efficiencies of different methods for removing blink artifacts in analyzing quantitative electroencephalogram and event-related potentials. *Hum. Physiol.* 2009;**35**(2):241–247. <https://doi.org/10.1134/S0362119709020157>
19. Shemyakina N.V., Nagornova Z.V. Neurophysiological characteristics of competition in skills and cooperation in creativity task performance: a review of hyperscanning research. *Hum. Physiol.* 2021;**47**:87–103. <https://doi.org/10.1134/S0362119721010126>
20. Zamm A., Loehr J.D., Vesper C. et al. A practical guide to EEG hyperscanning in joint action research: from motivation to implementation. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2024;**19**:nsae026. <https://doi.org/10.1093/scan/nsae026>
21. Ayrolles A., Brun F., Chen P. et al. HyPyP: a hyperscanning Python pipeline for inter-brain connectivity analysis. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2021;**16**:72–83. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa141>
22. Burgess A.P. On the interpretation of synchronization in EEG hyperscanning studies: a cautionary note. *Front. Hum. Neurosci.* 2013;**7**:881. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00881>
23. Wikström V., Saarikivi K., Falcon M. et al. Inter-brain synchronization occurs without physical co-presence during cooperative online gaming. *Neuropsychologia.* 2022;**174**:108316. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108316>
24. 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;**152**:425–436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.013>
25. Shemyakina N.V., Dan'ko S.G. Changes in the power and coherence of the  $\beta 2$  EEG band in subjects performing creative tasks using emotionally significant and emotionally neutral words. *Hum. Physiol.* 2007;**33**:20–26. <https://doi.org/10.1134/S0362119707010033>
26. Schwartz L., Levy J., Shapira Y. et al. Empathy aligns brains in synchrony. *iScience.* 2025;**28**:112642. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112642>
27. Djalovski A., Dumas G., Kinreich S. et al. Human attachments shape interbrain synchrony toward efficient performance of social goals. *Neuroimage.* 2021;**226**:117600. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117600>
28. Herweg N.A., Solomon E.A., Kahana M.J. Theta oscillations in human memory. *Trends Cogn. Sci.* 2020;**24**:208–227. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.12.006>
29. Eisma J., Rawls E., Long S. et al. Frontal midline theta differentiates separate cognitive control strategies while still generalizing the need for cognitive control. *Sci. Rep.* 2021;**11**:14641. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94162-z>
30. Crespo-Garcia M., Cantero J.L., Pomyalov A. et al. Functional neural networks underlying semantic encoding of associative memories. *Neuroimage.* 2010;**50**:1258–1270. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.01.018>
31. Sauseng P., Hoppe J., Klimesch W. et al. Dissociation of sustained attention from central executive functions: local activity and interregional connectivity in the theta range. *Eur. J. Neurosci.* 2007;**25**:587–593. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05286.x>

32. Kamiński J., Brzezicka A., Gola M. et al.  $\beta$  band oscillations engagement in human alertness process. *Int. J. Psychophysiol.* 2012;**85**:125–128.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.11.006>
33. Gola M., Magnuski M., Szumska I. et al. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *Int. J. Psychophysiol.* 2013;**89**:334–341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.007>
34. Betti V., Della Penna S., de Pasquale F. et al. Spontaneous beta band rhythms in the predictive coding of natural stimuli. *Neuroscientist.* 2021;**27**:184–201.  
<https://doi.org/10.1177/1073858420928988>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Нагорнова Жанна Владимировна — канд. биол. наук; ст. науч. сотр., ИЭФБ РАН,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: nagornova\_zh@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6476-3141>

Шемякина Наталья Вячеславовна — канд. биол. наук; вед. науч. сотр., ИЭФБ РАН,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: shemyakina\_n@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8936-0082>

Поступила в редакцию 17.09.2025

После доработки 11.11.2025

Принята к публикации 12.11.2025

## ABOUT THE AUTHORS

Nagornova, Zhanna V. — Cand. Sc. (Biology); Senior Research Officer, Institute of  
Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, Russian Federation  
E-mail: nagornova\_zh@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6476-3141>

Shemyakina, Natalia V. — Cand. Sc. (Biology); Head Scientist Researcher, Institute of  
Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, Russian Federation  
E-mail: shemyakina\_n@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8936-0082>

Received September 17, 2025

Revised November 11, 2025

Accepted November 12, 2025