

УДК 612.821

ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖПОЛУШАРНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ РИТМОВ ЭЭГ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОМОГАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Куличенко А. М., Кайда А. И., Португальская А. А., Михайлова А. А., Павленко В. Б.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

Целью настоящего исследования являлось установление динамики межполушарной когерентности (МПК) в θ -, α - и β -частотных диапазонах электроэнцефалограммы (ЭЭГ) симметричных корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального, эмоционального и альтруистического помогающего поведения (ПП). Установлено, что при реализации ПП у участников исследования проявляются специфические для каждого из изученных частотных диапазонов изменения ЭЭГ, которые зависят от направленности предлагаемого ребенку задания. Полученные данные обсуждаются с учетом представлений о динамической природе межполушарного взаимодействия корковых зон и роли межполушарных связей в организации просоциального поведения. Выявленные особенности динамики межполушарной когерентности в θ -, α - и β -диапазонах ЭЭГ важны для понимания центральных механизмов становления ПП у детей.

Ключевые слова: дети раннего возраста, моральные оценки, когерентность ЭЭГ.

ВВЕДЕНИЕ

Моральное поведение, являясь важной частью процесса регуляции социального взаимодействия, позволяет индивиду оценивать как собственные поступки, так и поступки других людей. Некоторые базовые представления о морали и нравственности, а также определенные паттерны социального поведения формируются в раннем детстве. Для изучения психофизиологических коррелятов морального поведения применяют игровые методики, в которых испытуемые проявляют индивидуальные особенности развития просоциального поведения (помогают другим людям, подавая предметы; утешая; делясь своими ресурсами). Использование таких методик позволило выявить возрастные, межкультурные, гендерные особенности морального развития детей [1, 2].

Однако лишь единичные работы посвящены изучению мозговых механизмов формирования морального и просоциального поведения у детей раннего возраста. В недавней работе Паулуса и соавторов (2013) выявлена связь выполнения детьми действий, имеющих просоциальный характер с активностью разных областей неокортекса [3]. В нашей лаборатории показано, что мощность сенсомоторных ритмов ЭЭГ детей раннего возраста в период наблюдения за про- и антисоциальным действием кукольных персонажей и в период принятия решения об их

вознаграждении зависит от уровня сформированности моральных оценок и возможности отождествления себя с персонажем, совершающим социально значимые действия [4, 5].

В контексте этого направления исследований особый интерес представляет оценка процесса формирования взаимодействия и интеграции функционально специфических областей мозга в распределенную систему, обеспечивающую реализацию всех форм деятельности, включая когнитивную [6]. Имеются основания полагать, что одним из важнейших механизмов, лежащих в основе такой координации, является система дистантной (пространственной) синхронизации нейрональной активности [7], которая, проявляется в когерентности ритмов ЭЭГ [8]. Следует отметить, что показатели когерентности ЭЭГ отражают особенности протекания когнитивных процессов в восходящем онтогенезе [9] и специфику нарушений развития у детей [10].

Для успешного выполнения когнитивных и моторных функций жизненно важны связь и интеграция отдельных областей мозга [11]. Показателем интенсивности интегративных процессов между гомологичными участками коры является межполушарная когерентность (МПК) [12]. МПК связывают с когнитивными процессами, обеспечивающими формирование гибкого и адаптивного целенаправленного поведения и когнитивным контролем [13]. Имеются сведения, что высокий уровень межполушарного взаимодействия является необходимым условием работы эпизодической памяти [14]. Уровень α -когерентности отражает степень внимания, связанного с выполнением когнитивных задач, а уровень β -когерентности указывает на степень умственных усилий, связанных с их выполнением [15].

Появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что изменения межполушарных связей являются определяющей характеристикой таких заболеваний, как болезнь Паркинсона, расстройство аутистического спектра, тревожное расстройство личности, обсессивно-компульсивное расстройство и синдром дефицита внимания/гиперактивности. Патологические процессы в мозге, как правило, сопровождаются снижением МПК, которое сочетается с нарушениями когнитивного и эмоционального функционирования [16].

В связи с этим нами предполагается, что анализ МПК в θ -, α - и β -диапазонах даёт возможность судить о работе функциональных систем интеграции мозговой активности, включая кортико-гиппокампальную и фронто-таламическую, участвующих в формировании морального поведения. Как известно, фронто-таламическая система преимущественно связана с активацией передних отделов коры, а через систему θ -ритма, как предполагается, осуществляется синхронизация активности между гиппокампом и отдельными областями неокортекса, что создает условия для облегчения взаимодействия этих мозговых структур [17].

Гипотеза исследования: процесс ПП отражается в особенностях МПК ЭЭГ.

В связи с этим, целью нашего исследования явилось установление динамики МПК в θ -, α - и β -диапазонах ЭЭГ симметричных корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального ПП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 24 ребенка (16 мальчиков и 8 девочек) в возрасте 4–7 лет. Средний возраст исследуемых детей составил $70,8 \pm 14,0$ месяцев. Критерии включения детей в исследование: масса тела при рождении не менее 2,5 кг; отсутствие записей в медицинской карточке о генетических заболеваниях и заболеваниях ЦНС. Перед проведением исследования проводили оценку интеллектуального развития детей по тесту Векслера [18, 19]. В выборку были включены дети с уровнем общего интеллекта выше 80 баллов (сниженная норма). В исследуемой группе детей среднее значение по шкале теста Векслера «общий интеллект» составило $112,0 \pm 16,2$ балла (при крайних значениях от 85 до 145 баллов).

Методика изучения просоциального поведения. Для изучения психофизиологических коррелятов ПП использовались четыре экспериментальные ситуации:

1. Задание на реализацию инструментального помогающего поведения (ИПП) по методике, предложенной F. Warneken, M. Tomasello [20] с изменениями [21]. На стол перед ребенком устанавливалась специальная коробка, в которой есть небольшое отверстие сверху и полностью открыта грань, направленная к ребенку. Таким образом ребенок может видеть, что лежит в коробке и может достать что-то оттуда. Затем экспериментатор ставил на коробку кружку и как-бы помешивая в ней «чай» случайно ронял ложку в верхнее отверстие коробки. Ожидалось, что ребенок поможет достать ложку и отдаст ее экспериментатору. Фиксировался результат поведения ребенка и время, через которое ребенок отдавал ложку. После того как ребенок отдал ложку, экспериментатор говорил «теперь я могу помешать чай» и переходил к следующей экспериментальной ситуации. Если ребенок не дал ложку в течении 50 секунд, экспериментатор молча убирал коробку и переходил к следующей экспериментальной ситуации.

2. Задание на реализацию эмоционального помогающего поведения (ЭПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами, с изменениями [22]. Согласно оригинальной методике экспериментатор демонстрирует, что испытывает боль от удара коленом о край низкого стола. В настоящем исследовании ситуация с коленом заменена на ситуацию с планшетом с зажимом. Экспериментатор кладет на стол планшет для бумаг с зажимом и как бы случайно придавливает палец зажимом с возгласом «Ой!». Затем экспериментатор демонстрирует, что ему больно (делает грустное лицо, потирает палец, вздыхает и постанывает). Анализируется, успокаивал ли ребенок экспериментатора в течении 50 секунд (дотрагивался до руки экспериментатора, озвучивал беспокойство об экспериментаторе, направлял внимание родителя на экспериментатора, чтобы тот помог ему и т.д.).

3. Задание на реализацию альтруистического помогающего поведения (АПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами – «неравное угощение» [22]. Экспериментатор достает два прозрачных контейнера, один для себя, другой для ребенка и говорит: «Посмотри, что у меня есть». При этом контейнер экспериментатора пустой, в то время как у ребенка – четыре печенья. Экспериментатор различными способами показывает, что у него нет печенья, а у

ребенка есть, делает грустное лицо, протягивает руку ладонью вверх в требовательном жесте. Задание заканчивается, когда ребенок делится печеньем, либо не проявляет помощи в течении 50 с.

4. Задание на реализацию комплекса альтруистического и эмоционального помогающего поведения (АЭПП) по методике, предложенной D. Bischof-Köhler [23] и J. Kärtner с соавторами [24]. Экспериментатор сначала играет с ребенком, используя двух плюшевых мишек, у одного из которых лапа прикреплена на застежке-липучке. После нескольких минут игры лапа у игрушки экспериментатора отпадает, и он демонстрирует грустное лицо. Затем сигналы о необходимости помощи становятся все более явными, например, экспериментатор произносит: «Лапа отпала! Моим мишкой теперь не поиграть!». Оценивается в какой степени на протяжении 50 секунд ребенок демонстрирует просоциальное поведение пытаясь починить мишку, либо успокаивая, либо предлагая свою игрушку.

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (Иваново, «Нейрософт», год выпуска 2016). ЭЭГ регистрировали монополярно от 19 отведений по стандартной схеме 10–20 % (референт – объединенные ушные электроды) в полосе пропускания сигнала 0,5–30,0 Гц при частоте дискретизации 250 Гц.

Запись фоновой ЭЭГ проводили при открытых глазах в условиях устойчивого зрительного внимания (УЗВ) при просмотре видеозаписи вращающегося мяча. Длительность фоновой записи составляла 50 с. Для анализа динамики ЭЭГ при реализации просоциального поведения были использованы четыре экспериментальные ситуации ПП. Видеозапись во время предъявления всех тестов была синхронизирована с записью ЭЭГ в программе Нейрон-Спектр.NET. Длительность записей ЭЭГ в экспериментальных ситуациях зависела от времени, через которое ребенок оказывал помощь.

Обработку данных ЭЭГ проводили с помощью программы WinEEG («Мицар», Россия). Артефакты удаляли с помощью встроенного в программу метода независимых компонент с дополнительным зрительным контролем качества записи. Записи ЭЭГ трех детей содержали большое количество артефактов из-за чрезмерной двигательной активности ребенка и были исключены из дальнейшей статистической обработки.

Полученные безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 2 с. Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с взаимным перекрытием эпох 50 %.

Показатели когерентности ЭЭГ рассчитывали в индивидуальных, для каждого испытуемого, частотных диапазонах. На основе анализа различий спектров мощности ЭЭГ в отведении С3 в состоянии двигательного покоя ребенка и при выполнении им движений (феномены синхронизации и десинхронизации ЭЭГ) находили границы индивидуального частотного диапазона варианта α -ритма – μ -ритма [25].

В исследуемой группе детей среднее значение нижней границы частотного диапазона μ -ритма составило $7,1 \pm 0,7$ Гц, а верхней границы – $10,5 \pm 0,9$ Гц. Диапазон бета-ритма был выбран 15–25 Гц. В соответствии с литературными данными при

выполнении действий в этом диапазоне частот в сенсомоторных областях наблюдается подавление амплитуды β -колебаний [26].

Межполушарную когерентность биопотенциалов рассчитывали для 6 пар симметричных отведений ($F_{p1}-F_{p2}$, F_7-F_8 , F_3-F_4 , C_3-C_4 , P_3-P_4 , O_1-O_2).

Поскольку ряд отведений находятся в корковых областях, где отсутствуют генераторы сенсомоторного μ -ритма (расположенные, главным образом, в центральном регионе неокортекса), в дальнейшем, описывая когерентность ЭЭГ-осцилляций в соответствующем частотном диапазоне, мы будем употреблять термин «когерентность α -ритма». Значения коэффициентов когерентности для каждой из описанных выше четырех ситуаций и частотных диапазонов θ -, α -, и β -ритмов ЭЭГ преобразовали с применением функции натурального логарифма.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы STATISTICA v.10. Значения когерентности ЭЭГ подвергали дисперсионному анализу ANOVA с повторными измерениями (repeated measures) с внутрисубъектными факторами СИТУАЦИЯ (ситуации ФОН и ИПП, ФОН и ЭПП, ФОН и АПП, ФОН и АЭПП). Для оценки изменений когерентности ЭЭГ в каждом из 6 пар использовали метод линейных контрастов. Статистически значимыми считали различия и корреляции при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как указано выше (в разделе «МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ») нами анализировалась когерентность ЭЭГ-сигналов, зарегистрированных симметрично от двух полушарий в периоды, когда испытуемым ($n=21$) предлагались четыре задания на реализацию ПП.

Когерентность тета-ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время наблюдения за просоциальными действиями по сравнению с исходной ситуацией УЗВ анализировали с учетом влияния фактора СИТУАЦИЯ.

Во время реализации детьми инструментального и эмоционального видов ПП по сравнению с ситуацией УЗВ для МПК ЭЭГ в θ -диапазоне (рис. 1, А, Б) статистически значимого влияния исследуемых фактора СИТУАЦИЯ выявлено не было. Однако, при анализе МПК ЭЭГ в ситуациях АПП и АЭПП обнаружено значимое влияние фактора СИТУАЦИЯ на рост МПК в θ -диапазоне. Для оценки эффектов изменения когерентности в θ -диапазоне в каждой исследуемой паре отведений проведен post-hoc анализ методом контрастов. В результате выявлено статистически значимое увеличение когерентности θ -диапазона в паре $F3-F4$ ($p=0,022$, $p=0,024$ соответственно) (рис. 1, В, Г).

В частотном диапазоне α -ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время наблюдения за просоциальными действиями по сравнению с исходной ситуацией УЗВ отмечен ряд особенностей влияния фактора СИТУАЦИЯ.

Во время реализации детьми инструментального и совокупности альтруистического и эмоционального поведения по сравнению с ситуацией УЗВ для когерентности ЭЭГ α -диапазона (рис. 2, А, Г) статистически значимого влияния исследуемых факторов выявлено не было.

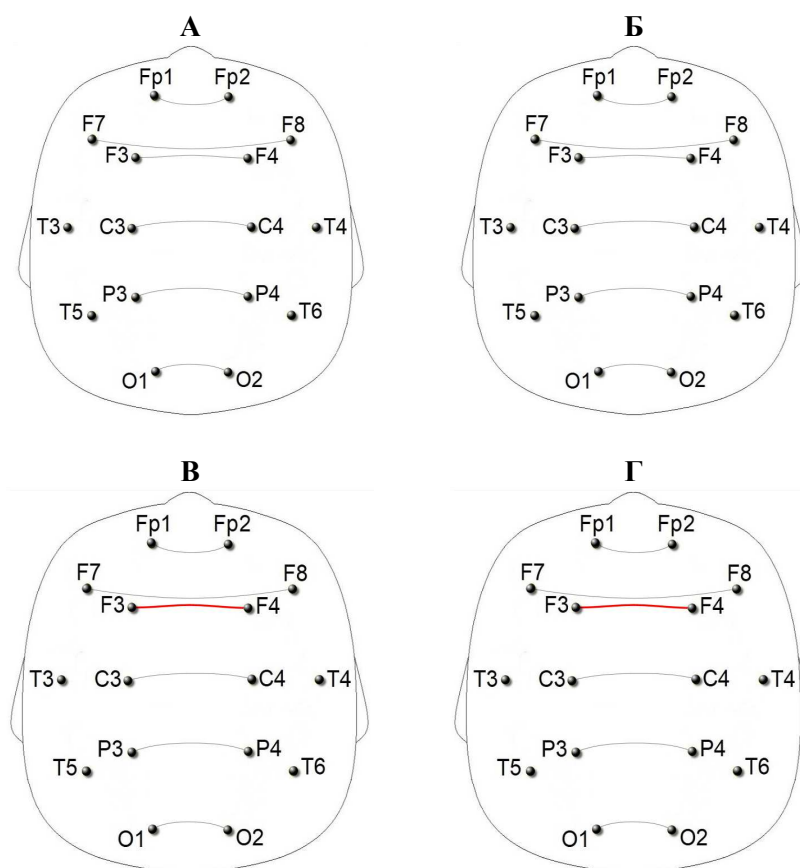


Рис. 1. Карты различий когерентности в θ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием.

Здесь и далее – тонкими линиями отмечены пары отведений, которые включены в анализ. Жирными сплошными линиями соединены пары отведений, для которых увеличение когерентности в установочных ситуациях по сравнению с исходным состоянием являлось значимым ($p < 0,05$).

В ситуации ЭПП обнаружено статистически значимое снижение МПК α -диапазона в паре Fp_1 - Fp_2 ($p=0,028$) (рис. 2, Б). В ситуации АПП обнаружено статистически значимое увеличение МПК α -диапазона в паре F_7 - F_8 ($p = 0,048$) (рис. 2, В).

Анализ МПК ЭЭГ в частотном диапазоне β -ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время реализации детьми эмоционального и альтруистического поведения (рис. 3, А, Б, Г) статистически значимого влияния фактора СИТУАЦИЯ не выявил.

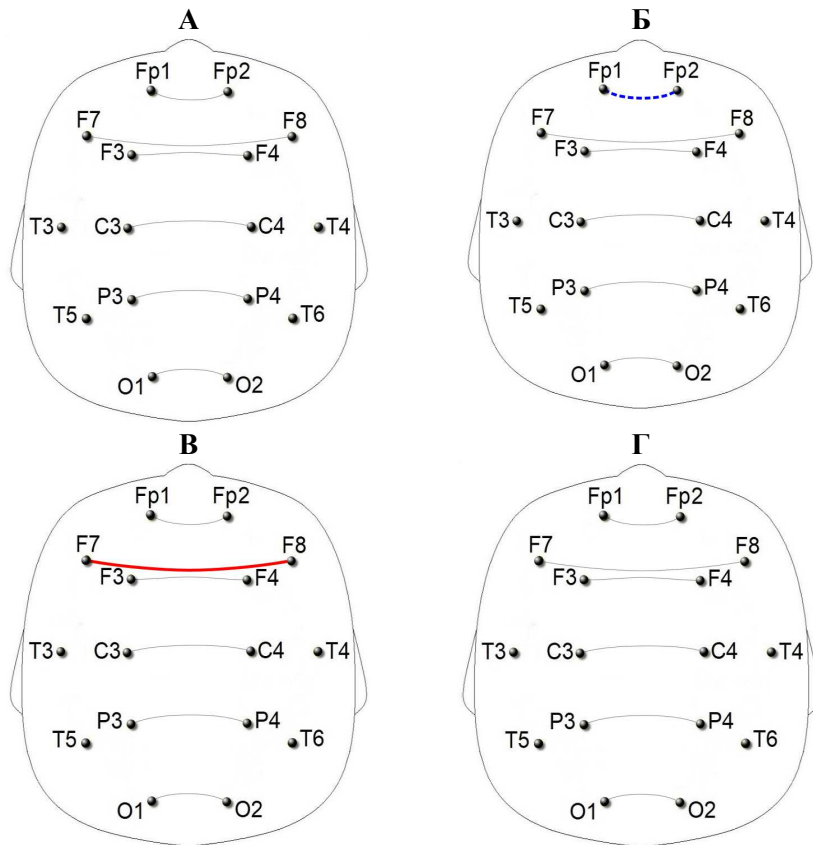


Рис. 2. Карты различий когерентности в α -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием. Жирными штриховыми линиями соединены пары отведений, для которых снижение когерентности в установочных ситуациях по сравнению с исходным состоянием являлось значимым ($p < 0,05$). Остальные обозначения как на рис. 1.

При анализе МПК в ситуациях ИПП и АЭПП обнаружено увеличение когерентности β -диапазона в паре F3-F4 ($p = 0,042$ и $p = 0,043$ соответственно) (рис. 3, А, Г).

Таким образом, установлено, что при реализации ПП у участников исследования проявляются специфические для каждого из изученных частотных диапазонов изменения МПК ЭЭГ, которые зависят от направленности предлагаемого ребенку задания.

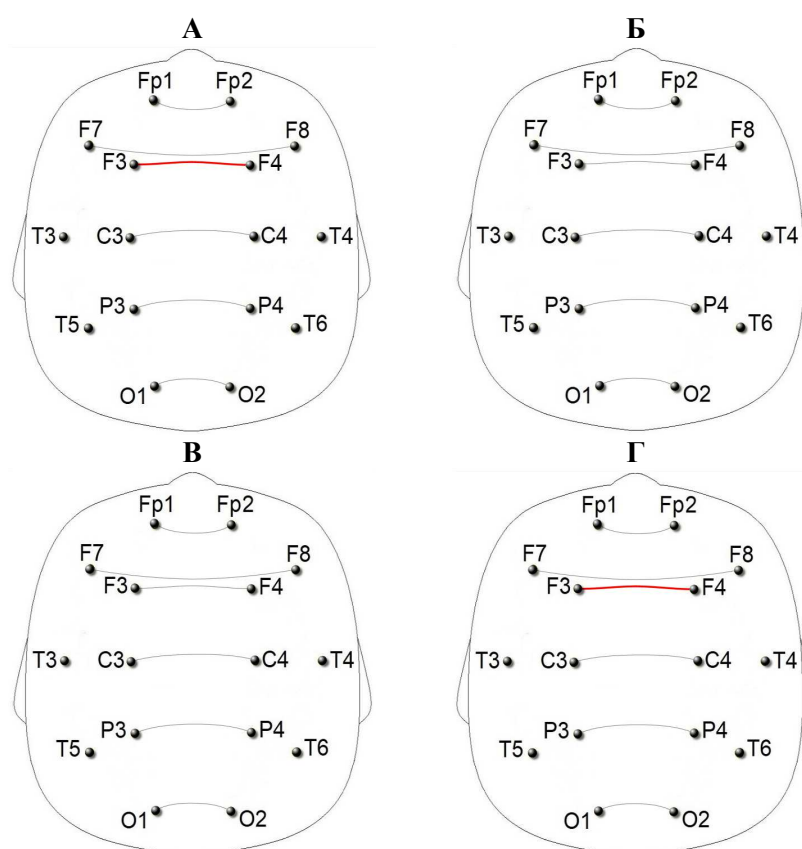


Рис. 3. Карты различий когерентности в сенсомоторном β -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального эмоционального, альтруистического и совокупности альтруистического и эмоционального поведения с исходным состоянием. Обозначения как на рис. 1.

В контексте анализа наблюдаемых изменений МПК изученных диапазонов ЭЭГ детей следует рассмотреть перестройки комиссуральных путей, происходящие в данном возрасте. Возраст детей, принявших участие в исследовании, был, как указано в разделе «МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ», в пределах от 4 до 7 лет. Основной тенденцией в формировании межполушарного взаимодействия у детей является выступающая на первый план активизация межгиппокампальных комиссуральных систем, которые играют ведущую роль в организации межполушарного обеспечения полисенсорной, межмодальной, эмоционально-мотивационной интеграции. На этом этапе развития начинают функционировать механизмы межполушарного переноса, стабилизируются взаимоотношения двигательных и сенсорных асимметрий между гемисферами, устанавливается ведущая роль левого полушария в моторных функциях [27].

Полагая, что полушарная координация отражается в показателе когерентности ЭЭГ, мы исследовали различия в межполушарной когерентности в четырех уникальных по эмоциональной и когнитивной нагрузке экспериментальных ситуациях.

Как показали результаты настоящего исследования, наблюдаемые изменения межполушарных взаимодействий зависели от типа ситуации, в которой ребенок реализовывал ПП. Анализ изменений МПК позволил выявить увеличение ее уровня во всех анализируемых нами частотных диапазонах, исключая случай снижения МПК в α -диапазоне в паре Fr_1 - Fr_2 . Эти изменения указывают на повышение внутрислошарной интеграции, возможно, необходимой для реализации ПП.

Увеличение МПК в паре F3-F4, наблюдаемое в θ -диапазоне в ситуациях АПП и АЭПП и в β -диапазоне в ситуациях ИПП и АЭПП свидетельствует об особой роли межполушарного взаимодействия фронтальных областей коры при реализации ПП. Известно, что лобные доли являются центрами нейронных сетей, поддерживающих мышление, планирование, исполнительные функции, контроль настроения и двигательную активность [28]. Усиление межполушарных взаимодействий, сопровождающее когнитивные задачи может отражать оптимизацию функциональных систем интеграции мозговой активности, способствующие реализации ПП. ПП в условиях нашей экспериментальной ситуации требует от испытуемых повышения когнитивных усилий, индикатором которых является рост МПК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие результаты могут указывать на важность концептуализации межполушарной коммуникации как динамического процесса, а не фиксированной передачи информации. Поведенческие исследования межполушарного взаимодействия уже давно подчеркивают его динамическую природу. Например, исследователи рассматривали мозолистое тело как избирательный фильтр, который может адаптивно контролировать поток информации между полушариями [29].

Наши результаты согласуются с точкой зрения о том, что мозолистое тело представляет собой избирательный фильтр, который участвует в обработке информации способами, на которые влияют эмоциональные составляющие и содержание стимула. Будущие исследования могут изучить взаимосвязь между межполушарным обменом и другими физиологическими коррелятами ПП, чтобы проверить возможность того, что модификация межполушарной коммуникации может оказывать влияние на стратегии ПП в норме и аномальном развитии детей.

Рост МПК в диапазонах θ -, α - и β -ритмов, зафиксированный в экспериментальных ситуациях инструментального альтруистического и эмоционального поведения дает основания полагать, что эти условия могут влиять на усиление связи между полушариями, что является проявлением нейропластичности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/> с использованием оборудования ЦКП

“Экспериментальная физиология и биофизика” и НКЦ “Технологии здоровья и реабилитации”.

Список литературы

1. Li J. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study / J. Li, W. Hou, L. Zhu, M. Tomasello // *Int. J. Behav. Dev.* – 2020. – Vol. 44, No 6. – P. 525–533.
2. Decety J. The neurodevelopment of social preferences in early childhood / J. Decety, N. Steinbeis, J. M. Cowell // *Curr. Opin. Neurobiol.* – 2021. – Vol. 68. – P. 23–28.
3. Paulus M. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting / M. Paulus, N. Kuhn-Popp, M. Licata, B. Sodian, J. Meinhardt // *Neuroimage.* – 2013. – Vol. 66. – P. 522.
4. Orekhova L. S. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “bad” or “good” Actors / L. S. Orekhova, S. A. Makhin, A. A. Mikhailova, V. B. Pavlenko // *Psychol. Russ.* – 2020. – Vol. 13, No 2. – P. 84.
5. Михайлова А. А. Реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ при наблюдении за про- и антисоциальными действиями у детей в раннем возрасте / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, С. А. Махин, В. Б. Павленко // *Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова.* – 2022. – Т. 72, № 2. – С. 217–226.
6. Курганский А. В. Оценка управляющих функций у детей 3–6 лет: состояние, проблемы и перспективы / А. В. Курганский // *Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова.* – 2021. – Т. 71, № 4. – С. 468–484.
7. Мачинская Р. И. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7–8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский // *Физиология человека.* – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 5–19.
8. Schneider M. A mechanism for inter-areal coherence through communication based on connectivity and oscillatory power / M. Schneider, A. C. Broggin, B. Dann, A. Tzanou, C. Uran, S. Sheshadri, H. Scherberger, M. Vinck // *Neuron.* – 2021. – Vol. 109, No 24. – P. 4050–4067.
9. Мачинская Р. И. Возрастные изменения функциональной организации корковых звеньев регуляторных систем мозга у подростков. Анализ нейронных сетей покоя в пространстве источников ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский, Д. И. Ломакин // *Физиология человека.* – 2019. – Т. 45, № 5. – С. 5–19.
10. Лушекина Е. А. Исследование когерентности ЭЭГ у детей с расстройствами аутистического спектра: неоднородность группы / Лушекина Е. А., Лушекин В. С., Стрелец В. Б. // *Физиология человека.* – 2021. – Т. 47, № 5. – С. 17–27.
11. Rubinov M. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations / M. Rubinov, O. Sporns // *NeuroImage.* – 2010. – Vol. 52, No 3. – P. 1059–1069.
12. Jin X. Functional integration between the two brain hemispheres: evidence from the homotopic functional connectivity under resting state / X. Jin, X. Liang, G. Gong // *Front Neurosci.* – 2020. – Vol. 14. – 9 p.
13. Basharpour S. EEG coherence in theta, alpha, and beta bands in frontal regions and executive functions / S. Basharpour, F. Heidari, P. Molavi // *Appl. Neuropsychol. Adult.* – 2021. – Vol. 28, No 3. – P. 310–317.
14. Christman S. D. Mixed-handedness advantages in episodic memory obtained under conditions of intentional learning extend to incidental learning / Christman S. D., Butler M. // *Brain and Cognition.* – 2011. – Vol. 77, No 1. – P. 17–22.
15. Garcia A. EEG and autonomic responses during performance of matching and non-matching to sample working memory tasks with emotional content / A. Garcia, C. E. Uribe, M. C. Tavares, C. Tomaz // *Frontiers in Behavioral Neuroscience.* – 2011. – Vol. 5. – 9 p.
16. Saunders A. Hemispheric coherence in ASD with and without comorbid ADHD and anxiety / A. Saunders, I. J. Kirk, K. E. Waldie // *Biomed Res Int.* – 2016. – Vol. 2016. – 12 p.
17. Кичигина В. Ф. Нарушения тета- и гамма-осцилляций в мозге с патологиями, характерными для болезни Альцгеймера и височной эпилепсии / В. Ф. Кичигина // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова.* – 2019. – Т. 69, № 4. – С. 33–60.

18. Ильина М. Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М. Н. Ильина. – П.: Питер, 2006. – 368 с.
19. Филимонок Ю. И. Тест Д. Векслера. Диагностика структуры интеллекта (детский вариант): методическое руководство / Филимонок Ю. И. . СПб. : ИМАТОН, 2016. – 106 с.
20. Warneken F. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees / F. Warneken, M. Tomasello // Science. – 2006. Vol. 311. No 5765. – P. 1301–1303.
21. Kochukhova O. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers / O. Kochukhova, Yu. Dyagileva, A. Mikhailova, L. Orekhova, S. Makhin, V. Pavlenko // Psychol. Russia: State of the Art. – 2021. – Vol. 14, No 4. – P. 79–94.
22. Dunfield K. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy / K. A. Dunfield, V. A. Kuhlmeier, L. J. O’Connell, E. A. Kelley // Infancy. – 2011. – Vol. 16. – P. 227–247.
23. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), Infant development: Perspectives from German-speaking countries / D. Bischof-Köhler // Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1991. – P. 245–273.
24. Kärtner J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year / J. Kärtner, N. Schuhmacher, J. Collard // Infant Behavior & Development. – 2014. – Vol. 37. – P. 665–675.
25. Михайлова А. А. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и выполнении действий у детей раннего возраста, имеющих разный уровень развития рецептивной речи / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, Ю. О. Дягилева, Т. И. Мухтаримова, В. Б. Павленко // Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова. – 2020. – Т. 70, № 3. – С. 422–432.
26. Simon S. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions / S. Simon, R. Mukamel // Brain Behav. – 2016. – Vol. 6, № 8. – 11 p.
27. Александров С. Г. Функциональная асимметрия и межполушарные взаимодействия головного мозга : учебное пособие для студентов / С. Г. Александров. – Иркутск : ИГМУ, 2014. – 62 с.
28. Alvarez J. A. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review / J. A. Alvarez, E. Emory // Neuropsychology Review. – 2006. – Vol. 16, No 1. – P. 17–42.
29. Mikels J. A. Neural gate keeping: the role of interhemispheric interactions in resource allocation and selective filtering / J. A. Mikels, P. A. Reuter-Lorenz // Neuropsychology. – 2004. – Vol. 18, No 2. – P. 328–339.

CHANGES IN INTERHEMISPHERIC COHERENT RELATIONSHIPS OF EEG RHYTHMS DURING THE IMPLEMENTATION OF HELPING BEHAVIOR IN PRESCHOOL CHILDREN

Kulichenko A. M., Kaida A. I., Portugal'skaya A. A., Mikhailova A. A., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

The aim of this study was to establish the dynamics of interhemispheric coherence (IPC) in the θ -, α -, and sensorimotor β -frequency ranges of the electroencephalogram (EEG) in symmetrical cortical zones in young children during the implementation of instrumental, emotional, and altruistic helping behavior (HB). The study involved 24 children (16 boys and 8 girls) aged 4–7 years. The average age of the studied children was 70.8 ± 14.0 months. The sample included children with a general intelligence level above 80 points (reduced norm). In the study group of children, the average value on the Wechsler test scale "general intelligence" was 112.0 ± 16.2 points (with extreme values from 85 to 145 points). EEG coherence indices were calculated in individual frequency

ranges for each subject. Interhemispheric coherence of biopotentials was calculated for symmetrical leads (Fp₁–Fp₂, F₇–F₈, F₃–F₄, C₃–C₄, P₃–P₄, O₁–O₂). Strengthening of interhemispheric interactions that accompanies cognitive tasks may reflect the optimization of functional systems for the integration of brain activity, which contribute to the implementation of SP. HB in our experimental situation, requires the subjects to increase their cognitive efforts, the indicator of which is the growth of the interhemispheric EEG coherence (IHC).

Our results are consistent with the view that the *corpus callosum* is a selective filter that is involved in information processing in ways that are influenced by emotional components and stimulus content. Future studies may explore the relationship between interhemispheric turnover and other physiological correlates of HB to test the possibility that modification of interhemispheric communication may have an impact on HB strategies in normal and abnormal development of children. The growth of the IHC in the ranges of θ -, α - and β -rhythms, recorded in experimental situations of instrumental altruistic and emotional behavior, suggests that these conditions can affect the strengthening of the connection between the hemispheres, which is a manifestation of neuroplasticity. The revealed features of the dynamics of IHC in the θ -, α -, and sensorimotor β -ranges of the EEG are important for understanding the central mechanisms of the formation of moral judgments in young children.

Keywords: young children, moral assessments, inter-hemispheric coherence.

References

1. Li J., Hou W., Zhu L. and Tomasello M. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study. *Int. J. Behavior Dev.*, **44**, 525 (2020).
2. Decety J., Steinbeis N. and Cowell J. M. The neurodevelopment of social preferences in early childhood. *Curr. Opin. Neurobiol.*, **68**, 23 (2021).
3. Paulus M., Kuhn-Popp N., Licata M., Sodian B. and Meinhardt J. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting. *Neuroimage*, **66**, 522 (2013).
4. Orekhova L. S., Makhin S. A., Mikhailova A. A. and Pavlenko V. B. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “bad” or “good” actors. *Psychol. Russ.* **13**, 84 (2020).
5. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Makhin S. A. and Pavlenko V. B. Reactivity of EEG sensorimotor rhythms during observation of pro- and antisocial actions in children at an early age. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.* **72**, 217 (2022).
6. Kurgansky A. V. Assessment of executive functions in children 3–6 years old: current state, problems and future directions. *Neurosci. Behav. Physiol.*, **71**, 468 (2021).
7. Machinskaya R. I. and Kurgansky A. V. A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children of 7-8 years old. An analysis of coherence of EEG rhythms. *Fiziologiya Cheloveka*, **38**, 5 (2012).
8. Schneider M., Brogini A. C., Dann B., Tzanou A., Uran C., Sheshadri S., Scherberger H. and Vinck M. A mechanism for inter-areal coherence through communication based on connectivity and oscillatory power. *Neuron*, **109**, 4050 (2021).
9. Machinskaya R. I., Kurgansky A. V. and Lomakin D. I. Age-Related Trends in the Functional Organization of Cortical Parts of Regulatory Brain Systems in Adolescents: Analysis of Resting State Networks in the EEG Source Space. *Fiziologiya Cheloveka*, **45**, 5 (2019).
10. Lushchekina E. A., Lushchekin V. S. and Strelets V. B. EEG Spectral Power in Children with Autistic Spectrum Disorders: Heterogeneity of the Group. *Human Physiology*, **45**, 242 (2019).

11. Rubinov M., and Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. *NeuroImage*, **52**, 1059 (2010).
12. Jin X., Liang X. and Gong G. Functional integration between the two brain hemispheres: evidence from the homotopic functional connectivity under resting state, *Front Neurosci.*, e-print doi: 10.3389/fnins.2020.00932 (2020).
13. Basharpour S., Heidari F. and Molavi P. EEG coherence in theta, alpha, and beta bands in frontal regions and executive functions. *Appl. Neuropsychol. Adult.* **28**, 310 (2021).
14. Christman S. D. and Butler M. Mixed-handedness advantages in episodic memory obtained under conditions of intentional learning extend to incidental learning. *Brain and Cognition*. **77**, 17 (2011).
15. Garcia A., Uribe C. E., Tavares M. C. and Tomaz C. EEG and autonomic responses during performance of matching and non-matching to sample working memory tasks with emotional content. *Front. Behav. Neurosci.*, e-print doi: 10.3389/fnbeh.2011.00082 (2011).
16. Saunders A., Kirk I. J. and Waldie K. E. Hemispheric coherence in ASD with and without comorbid ADHD and anxiety. *Biomed. Res. Int.* e-print doi: 10.1155/2016/4267842 (2016).
17. Kitchigina V. F. Alterations of coherent theta and gamma network oscillations as an early biomarker of temporal lobe epilepsy and Alzheimer's disease. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **69**, 33 (2019).
18. Il'ina M. N. *Psichologicheskaya ocenka intellekta u detej* (Piter, 2006).
19. Filimonenko Yu. I. Test D. Vekslera. *Diagnostika struktury intellekta (detskij variant): metodicheskoe rukovodstvo* (Imaton, 2016).
20. Warneken F., Tomasello M. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science*, **311**, 1301 (2006).
21. Kochukhova O., Dyagileva Yu., Mikhailova A., Orekhova L., Makhin S. and Pavlenko V. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers. *Psychol. Russia: State of the Art*, **14**, 79 (2021).
22. Dunfield K. A., Kuhlmeier V. A., O'Connell L. J., Kelley E. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy. *Infancy*, **16**, 227 (2011).
23. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), *Infant development. Perspectives from Germanspeaking countries* (Lawrence Erlbaum Associates Inc, 1991).
24. Kärtner J., Schuhmacher N. and Collard J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year. *Infant Behavior & Development*, **37**, 665 (2014).
25. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Dyagileva Yu. O., Mukhtarimova T. I. and Pavlenko V. B. Reactivity of the EEG μ rhythm on observing and performing actions in young children with different levels of receptive speech development. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **72**, 217 (2020).
26. Simon S. and Mukamel R. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions. *Brain Behav.* e-print doi: 10.1002/brb3.494 (2016).
27. Aleksandrov S. G. *Funkcional'naya asimetriya i mezhpolusharnye vzaimodejstviya golovnogo mozga : uchebnoe posobie dlya studentov.* (IGMU, 2014).
28. Alvarez J. A. and Emory E. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, **16**, 17 (2006).
29. Míkels J. A. and Reuter-Lorenz P. A. Neural gate keeping: the role of interhemispheric interactions in resource allocation and selective filtering, *Neuropsychology*. **18**, 328 (2004).