

На правах рукописи



Светлик Михаил Васильевич

**РОЛЬ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА –
ГАММА-РИТМА В ПРОЦЕССАХ ВОСПРИЯТИЯ ВРЕМЕНИ**

03.00.13 – физиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Томск – 2009

Работа выполнена на кафедре физиологии человека и животных ГОУ ВПО «Томский государственный университет» и на кафедре медицинской и биологической кибернетики ГОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, старший научный сотрудник
Бушов Юрий Валентинович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Замощина Татьяна Алексеевна
доктор биологических наук, доцент
Литвинова Надежда Алексеевна

Ведущая организация: ГУ НИИ физиологии СО РАМН (г. Новосибирск)

Защита состоится « 10 » июня 2009 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.10 при ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 34а.

Автореферат разослан « ___ » мая 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Е.Ю. Просекина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Ориентация во времени является важной функцией мозга и играет особую роль в трудовой и познавательной деятельности современного человека. Это связано с тем, что усиливающаяся компьютеризация и широкое внедрение в образование, науку и производство новых информационных технологий предъявляют повышенные требования к способности человека ориентироваться во времени. Поэтому изучение индивидуальных особенностей и механизмов восприятия времени является актуальной проблемой современной психофизиологии.

Несмотря на значительный прогресс в этой области, особенно в последние годы, в рамках этой проблемы имеется ряд нерешенных вопросов. Одним из таких нерешенных вопросов является выяснение роли эндогенных биоритмов и, в частности, высокочастотной (от 30 до 500 Гц) электрической активности мозга – гамма-ритма в механизмах восприятия времени.

В последние годы получен ряд новых данных, свидетельствующих о связи высокочастотной электрической активности мозга – гамма-ритма с процессами восприятия [Singer W., 1991], внимания [Данилова Н.Н., Астафьев С.В., 2000], сознания [Crick F., Koch C., 1995] и обработки семантической информации [Николаев А.П., Анохин А.П., 1997]. Имеются данные о том, что амплитуда и частота этого ритма зависят от состояния человека и вида выполняемой когнитивной задачи [Banquet J.P., 1973, Spidel J.D., Ford M.R., Sheer D.E., 1979]. Поскольку частотные параметры гамма-ритма близки к нейронной активности, полагают, что он отражает активность нейронных сетей. Считают, что именно на частоте гамма-ритма происходит синхронизация активности и функциональное объединение пространственно удаленных популяций нейронов при осуществлении сознательной деятельности [Crick F., Koch C., 1995]. Все это позволяет думать, что гамма-ритм может играть очень важную роль и в процессах восприятия времени. В частности, при организации корковых взаимодействий на разных этапах процесса восприятия времени. Вместе с тем, анализ литературы показал, что специальные исследования в этом направлении фактически не проводились.

Цель работы:

Изучение роли гамма-ритма в процессах, связанных с восприятием времени.

Задачи:

- изучить зависимость корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма от пола и состояния человека, от частотного диапазона, вида и этапа выполняемой деятельности, связанной с восприятием коротких интервалов времени;
- методом дипольной локализации изучить динамику численности и координат источников гамма-ритма на разных этапах процесса восприятия времени;
- изучить особенности связанных с событиями осцилляций электрических потенциалов мозга в диапазоне гамма-ритма при восприятии человеком коротких интервалов времени;
- изучить взаимосвязь показателей интеллекта и точности восприятия коротких интервалов времени с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма и индексом этого ритма;
- изучить фазовые соотношения между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ в зависимости от зоны отведения, вида и этапа выполняемой деятельности;
- изучить взаимосвязь указанных фазовых соотношений с уровнем интеллекта и точностью восприятия времени.

Научная новизна работы

Впервые обнаружены преимущественно на частотах гамма-ритма субпериодические колебания уровня синхронизации электрической активности мозга в состоянии спокойного бодрствования и при восприятии времени. Периоды высокой и низкой синхронизации

электрической активности мозга в большинстве случаев не связаны с конкретными этапами выполняемой деятельности.

Обнаружены межполушарные различия в динамике связанных с событиями гамма-осцилляций потенциалов мозга, в частности, амплитуда гамма-ритма в левом полушарии в 2–3 раза ниже, чем в правом.

Показано, что на разных этапах деятельности, связанной с репродукцией коротких интервалов времени, численность источников гамма-ритма и их координаты изменяются. Обнаруженные изменения носят вероятностный характер.

Установлено, что уровень корковых взаимодействий в разных частотных диапазонах гамма-ритма зависит от пола и состояния человека, способа шкалирования интервалов времени и этапа выполняемой деятельности.

Впервые обнаружена связь уровня корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма с показателями интеллекта и точностью восприятия времени. В частности, обнаружена положительная корреляция вербального и невербального интеллекта с уровнем внутри- и межполушарной когерентности на частотах гамма-ритма. Характер указанных связей зависит от состояния человека, способа шкалирования интервалов времени и частотного диапазона гамма-ритма и отличается у юношей и девушек.

Впервые обнаружено наличие фазовых связей между гамма-ритмом и низкочастотными ритмами ЭЭГ при восприятии коротких интервалов времени.

Выявлены статистически значимые корреляции показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем фазовых взаимодействий между высоко- и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Уровень, общая численность и даже знак этих корреляций отличаются у юношей и девушек, зависят от места отведения, вида и этапа выполняемой деятельности.

Научно-практическое значение работы

Результаты исследования имеют важное значение для понимания роли, функционального значения гамма-ритма в процессах восприятия времени и других когнитивных процессах.

Результаты работы внедрены в учебный процесс и используются при чтении лекционных курсов «Физиология высшей нервной деятельности», «Физиология сенсорных систем» для студентов Биологического института и факультета психологии Томского государственного университета. Результаты исследования включены в учебное пособие «Высокочастотная электрическая активность мозга и когнитивные процессы» для студентов и преподавателей, специализирующихся в области физиологии высшей нервной деятельности, нейробиологии и психофизиологии.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В состоянии спокойного бодрствования и при восприятии времени биоэлектрическая активность мозга характеризуется чередованием кратковременных периодов (продолжительностью 50–150 мс) высокой и низкой синхронизации этой активности преимущественно на частоте гамма-ритма. В большинстве случаев указанные периоды высокой и низкой синхронизации этой активности не связаны с конкретными этапами выполняемой деятельности.

2. Показатели интеллекта и точности восприятия времени статистически значимо связаны с уровнем пространственной синхронизации электрической активности мозга на частоте гамма-ритма и фазовыми взаимодействиями между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Характер этих связей отличается у юношей и девушек, зависит от частотного диапазона гамма-ритма, вида и этапа выполняемой деятельности.

Апробация работы

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на XIX Съезде физиологического общества им. И.П. Павлова (Екатеринбург, 2004), на IV Сибирском физиологическом съезде (Томск, 2005), на Всероссийской научной конференции «Механизмы индивидуальной адаптации», посвященной памяти и 100-летию со дня

рождения профессора В.А. Пегеля (Томск, 2006), на XX Съезде физиологического общества им. И.П. Павлова (Москва, 2007), на V Сибирском физиологическом съезде (Барнаул, 2008). Работа поддержана грантами КЦФЕ № E02-0.6-340 и РГНФ № 07-06-00167а.

Публикации

Основные положения диссертации изложены в 12 печатных работах, из которых 1 монография и 1 статья, опубликованная в журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 161 страницах машинописного текста, иллюстрирована 14 таблицами и 21 рисунком, состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 70 отечественных и 120 зарубежных источников и приложения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования

Исследовали биоэлектрическую активность мозга (ЭЭГ) у практически здоровых юношей (27 человек) и девушек (29 человек), правшей в возрасте от 18 до 22 лет, учащихся томских вузов.

Регистрация ЭЭГ проводилась в состоянии спокойного бодрствования и при восприятии времени. Регистрировали ЭЭГ у испытуемых, монополярно в отведениях: Cz, Fz, Pz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2 по международной системе «10–20 %». Земляной электрод устанавливался на запястье левой руки, референтные – на мочки ушей, при наложении электродов использовалась стандартная электродная паста. Запись ЭЭГ производилась на энцефалографе-анализаторе ЭЭГА 21/26 «Энцефалан 131–03» модификация 09, фирмы НКПФ «Медиком МТД», Россия. Частота дискретизации составляла 250 Гц, полоса пропускания – 1,5–70 Гц, режекторный фильтр – 50 Гц. Для исключения артефактов, связанных с движением глаз, регистрировали ЭОГ.

Эксперимент состоял из двух этапов. Длительность каждого этапа составляла около двух часов.

На первом этапе проводилось предварительное психологическое обследование испытуемых с помощью графического, лингвистического и математического тестов Г. Айзенка для оценки уровня вербального и невербального интеллекта. С помощью батареи стандартных тестов определяли ведущую руку, ногу, глаз, ухо.

На втором этапе исследовали восприятие времени с регистрацией ЭЭГ и других показателей. Программа исследования включала:

1. Опрос о самочувствии испытуемого. Наложение электродов и датчиков для регистрации ЭЭГ и ЭОГ.
2. Исследование функционального состояния испытуемого с помощью анкеты самооценки функционального состояния (АСФС) и теста М. Люшера.
3. Фоновая запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми и затем с закрытыми глазами (не менее 20 сек).
4. Исследование восприятия времени при разных способах шкалирования длительности. Во время выполнения заданий взор испытуемого фиксируется в центре монитора.
5. Повторное исследование функционального состояния испытуемого с помощью АСФС и теста М. Люшера.
6. Снятие электродов и датчиков.
7. Опрос о самочувствии испытуемого.

Методы исследования восприятия времени

Восприятие времени исследовали в режимах репродукции и отмеривании коротких интервалов времени в следующей последовательности:

1. Воспроизведение интервалов времени без обратной связи о результатах деятельности.
2. Отмеривание интервалов времени без обратной связи о результатах деятельности.

3. Воспроизведение интервалов времени с обратной связью о результатах деятельности.

4. Отмеривание интервалов времени с обратной связью о результатах деятельности.

Интервалы времени (200 и 800 мс) в одном случае задавались невербальными стимулами (светлый квадрат со стороной 2 см, появляющийся в центре затемненного экрана монитора) в другом – цифрами (при отмеривании длительности). В качестве сигнала обратной связи использовали выраженную в процентах относительную ошибку репродукции или отмеривания заданного интервала времени. Сигнал ошибки появлялся на 1 секунду на экране монитора, спустя секунду после воспроизведения или отмеривания каждого интервала времени. При этом размер цифр, характеризующих величину и знак относительной ошибки воспроизведения (отмеривания), соответствовал шрифту 16 в редакторе Word. О точности репродукции или отмеривания интервалов времени судили по величине и модулю относительной ошибки воспроизведения (отмеривания). Интервалы времени предъявлялись многократно и в случайном порядке. Их длительность воспроизводилась и отмеривалась двойным нажатием на клавишу пробел.

Методы обработки экспериментальных данных

Статистическая обработка данных выполнялась в приложении Statistica 6.0. Математические преобразования и формирование массива данных, а также фильтрация проводились в математическом приложении MatLab v6.5.R13.

При статистической обработке результатов применяли: непараметрические критерии (Манна-Утни, критерий знаков), корреляционный, регрессионный, кросскорреляционный, дисперсионный анализы. Для обработки исходной ЭЭГ применяли методы цифровой фильтрации, Фурье преобразование и вейвлетный анализ.

Связанные с событиями потенциалы мозга (ССПМ и ССОПМ) выделяли методом суммации. Эпоха анализа, включая фоновый фрагмент, составляла 600 мс. В обработку включали отрезки ЭЭГ, лишённые артефактов.

При определении внутримозговых источников гамма-ритма использовали метод дипольной локализации. Для анализа выбирали лишённые артефактов предварительно отфильтрованные участки ЭЭГ (из ЭЭГ были удалены составляющие частотой 50 Гц и ниже 30 Гц).

С помощью вейвлет-преобразования исходной ЭЭГ, а также усреднённых ССПМ и ССОПМ исследовали синхронизацию биоэлектрической активности мозга в разных частотных диапазонах ЭЭГ и на разных этапах выполняемой деятельности. В качестве материнского вейвлета использовали вейвлет типа Morlet. О степени синхронизации ЭА мозга на определенной частоте и в разные моменты времени судили по величине коэффициента корреляции Спирмена, который подсчитывался между значениями вейвлет-кривых, описывающих динамику ЭЭГ и ССПМ, зарегистрированных в разных отведениях ЭЭГ. При выявлении периодов, различающихся уровнем синхронизации биоэлектрической активности мозга, использовали факторный анализ, метод главных компонент. При анализе фазовых соотношений между гамма-осцилляциями и другими частотными составляющими ЭЭГ использовали бикогерентный вейвлетный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Изучение особенностей связанных с событиями гамма-осцилляций электрических потенциалов мозга при восприятии человеком коротких интервалов времени

В задачу данного этапа исследований входило сравнение ССПМ, зарегистрированных в обычном частотном диапазоне ЭЭГ (1,5–30 Гц), и связанных с событиями осцилляций потенциалов мозга (ССОПМ), зарегистрированных в диапазоне гамма-ритма (30–70 Гц). Нами было обнаружено, что эти потенциалы существенно отличаются амплитудой, формой и частотой. В частности изучение особенностей ССОПМ позволило обнаружить в большинстве отведений кратковременное повышение амплитуды гамма-ритма спустя 100 мс после начала стимула (рис. 1). Сходные данные были получены в работе С. Pantev [Pantev С.,

Brain T., 1995]. Авторы обнаружили вызванную гамма-активность, которая регистрировалась в течение первых 100 мс после предъявления стимула. Судя по латентности, можно предположить, что наблюдаемое увеличение амплитуды гамма-ритма отражает этап информационного синтеза, который осуществляется при активном участии нейронов зрительной проекционной коры.

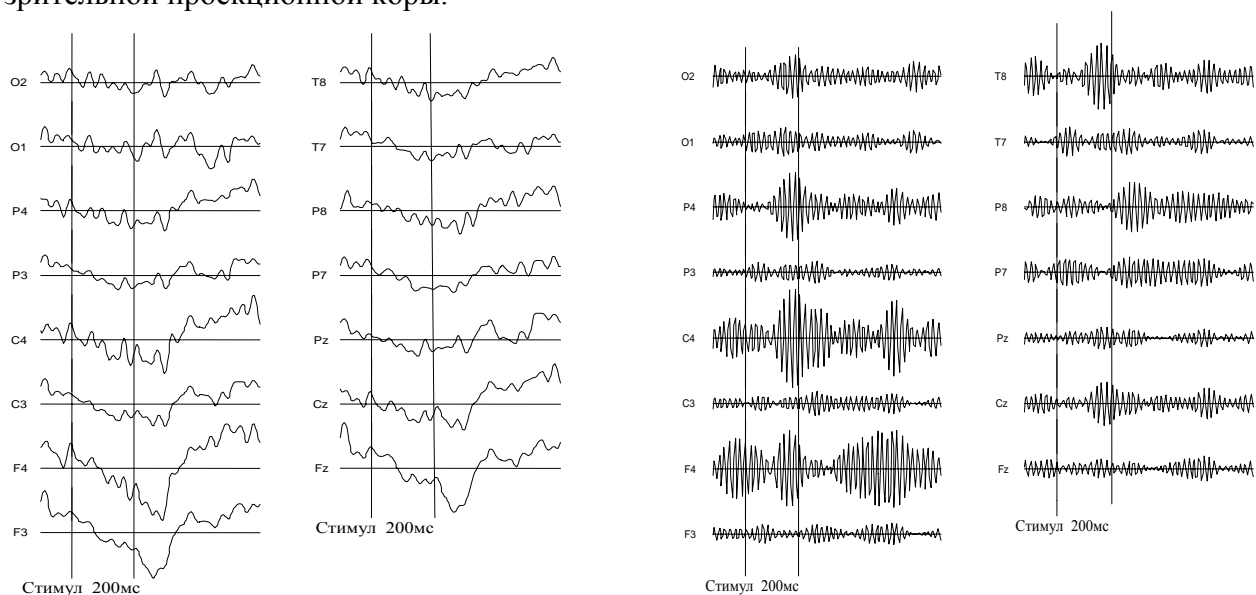


Рис. 1. Усредненные ССПМ при репродукции сигналов длительностью 200 мс в частотном диапазоне 1,5–30 Гц (слева) и 30–70 Гц (справа).

Кроме того, анализ исследуемых ССОПМ выявил отчетливые межполушарные различия в амплитуде этих потенциалов: в левом полушарии амплитуда гамма-ритма оказалась в 2–3 раза ниже. Обнаруженные межполушарные различия, вероятно, отражают преимущественное участие правого полушария в обработке информации, связанной с восприятием и анализом длительности невербальных зрительных сигналов. Важно отметить, что в ССПМ, которые были зарегистрированы в обычном частотном диапазоне ЭЭГ, указанные межполушарные различия практически отсутствуют. Полученные результаты подтверждают имеющиеся литературные данные о том, что гамма-ритм является характерным коррелятом перцептивных процессов [Hermann C.S., Demiralp T., 2005].

Результаты картирования ЭА мозга и локализации источников гамма-ритма на разных этапах процесса восприятия времени

С целью изучения закономерностей динамики пространственных координат и численность источников гамма-ритма на разных этапах процесса восприятия времени был использован метод дипольной локализации. Для анализа были выбраны 10 отрезков записи ЭЭГ длительностью 320 мс, лишенные артефактов и зарегистрированные у одного и того же испытуемого при репродукции длительности зрительных стимулов с обратной связью о результатах деятельности. Каждый отрезок включал запись ЭЭГ на участке за 20 мс до предъявления зрительного стимула длительностью 200 мс и в течение последующих 300 мс после начала стимула (рис 2).

Полагали, что если гамма-ритм обеспечивает функциональное объединение различных зон коры для их совместной деятельности, то различные этапы восприятия и анализа стимула могут проявляться в характерных изменениях пространственного распределения амплитуды гамма-ритма, а также положения и численности источников этого ритма. Результаты дипольной локализации источников гамма-ритма на коротких отрезках ЭЭГ и на разных этапах выполняемой деятельности показали, что на каждом анализируемом отрезке длительностью 20 мс, как правило, локализуются несколько источников гамма-ритма (от 1 до 6). В подавляющем числе случаев эти источники находятся в коре и подкорковых

структурах. На разных этапах выполняемой деятельности (до предъявления стимула, при действии стимула и после окончания стимула) число источников и их положение меняется.

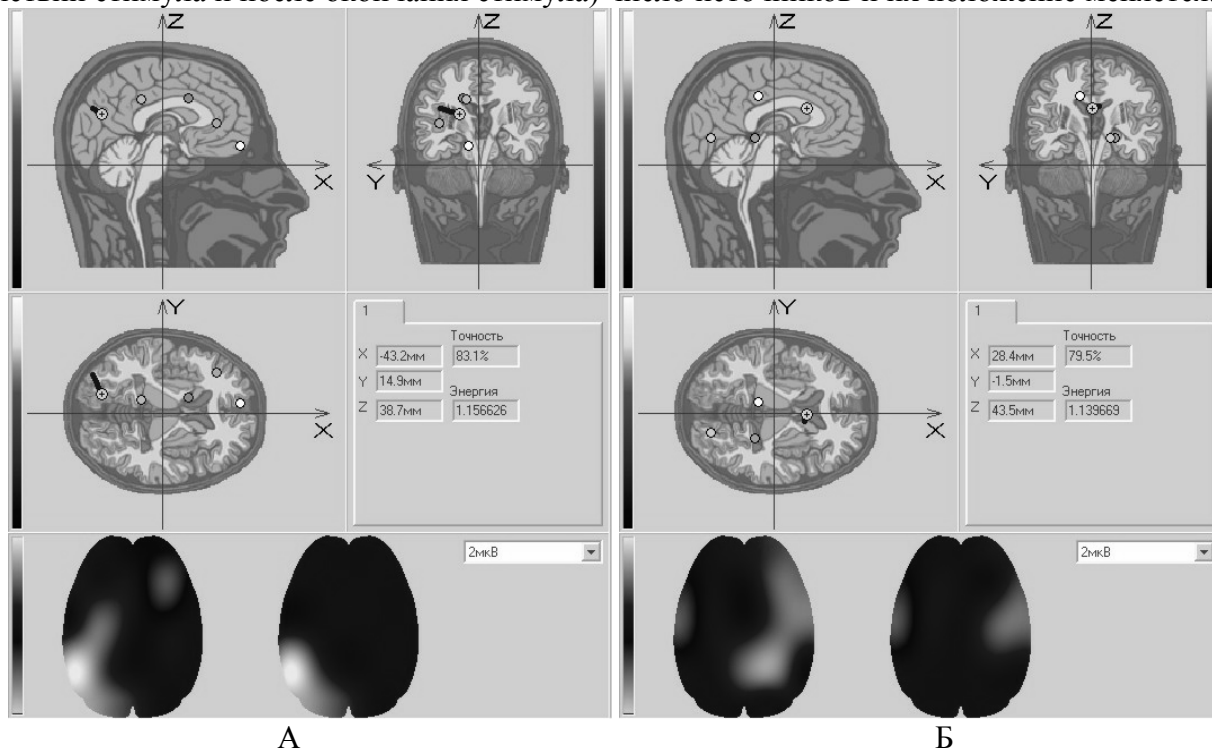


Рис. 2 Пространственное распределение амплитуды и источников гамма-ритма у испытуемого 8 при репродукции длительности зрительных сигналов на участке 40–60 мс (А) на участке 260–280 мс, (Б) после начала зрительного стимула длительностью 200 мс

Картирование ЭА мозга, выполненное на тех же отрезках ЭЭГ показало, что пространственное распределение амплитуды гамма-ритма существенно изменяется на разных этапах выполняемой деятельности. Однако нам не удалось обнаружить какую-либо закономерность в характере этих изменений. Возможно, это связано с тем, что функциональное объединение и вовлечение различных зон коры в выполнение исследуемой деятельности является динамичным и вероятностным процессом.

Результаты изучения быстрых перестроек корковых взаимодействий на разных этапах процесса восприятия времени

В задачу данного этапа исследований входил сравнительный анализ быстрых перестроек корковых взаимодействий при восприятии времени в обычном частотном диапазоне ЭЭГ (1,5–30 Гц) и на частотах гамма-ритма. Поскольку традиционные методы анализа (спектральный Фурье анализ, когерентный анализ) оказались непригодными для решения этой задачи, для этих целей был использован вейвлетный анализ. Этот метод позволяет разложить исследуемый ЭЭГ-сигнал на множество вейвлетов, причем каждый вейвлет характеризует изменение энергии сигнала на выбранном отрезке времени и на определенной частоте. О степени общей синхронизации ЭА мозга на разных частотах судили по числу совпадений знака первой производной соответствующих вейвлетов. При выявлении периодов высокой и низкой синхронизации биоэлектрической активности мозга использовали критерий знаков. Синхронизация считалась высокой и статистически значимой, если число совпадений знака первой производной соответствующих вейвлетов было статистически значимым (при $p < 0,01$) и низкой, если это условие не выполнялось. О степени синхронизации ЭА мозга на какой-то определенной частоте судили по величине коэффициента корреляции Спирмена, который подсчитывался между вейвлетами одной и той же частоты, которые были зарегистрированы у разных испытуемых и описывали динамику ЭЭГ в разных отведениях. Проведенный анализ показал, что в большинстве случаев синхронизация ЭА мозга наблюдается одновременно на разных частотах, но

наиболее выражена на частотах гамма-ритма. При этом периоды высокой синхронизации ЭА мозга продолжительностью 50–150 мс сменяются кратковременными периодами низкой синхронизации этой активности Рис. 3 (А). В частности, оказалось, что в ответ на предъявление зрительного стимула чаще всего наблюдается кратковременная десинхронизация этой активности, затем уровень синхронизации вновь повышается. Вместе с тем более детальный анализ показал, что чередование периодов высокой и низкой синхронизации биоэлектрической активности мозга наблюдается не только при выполнении предлагаемой деятельности, но и в состоянии спокойного бодрствования. Это позволяет думать, что наблюдаемые колебания уровня синхронизации биоэлектрической активности мозга не связаны с конкретными этапами выполняемой деятельности. Возможно, обнаруженные колебания уровня синхронизации этой активности связаны с деятельностью таламических релейных механизмов, которые, в соответствии с теорией «пржектора» Ф.Ф. Крика, обеспечивают переключение сенсорных входов через каждые 100 мс.

Анализ динамики коэффициента корреляции Спирмена (ККС) выявил значительные колебания этого показателя на разных этапах восприятия времени и на разных частотах ЭЭГ Рис. 3 (Б). В частности на частотах 40 и 60 Гц спустя 100 мс после начала стимула ККС, характеризующий уровень корковых связей между центральными зонами коры левого и правого полушарий, снижается до нуля и даже меняет свой знак. Возможно, обнаруженное снижение ККС отражает переход от сенсорного этапа обработки информации мозгом к этапу информационного синтеза [А.М. Иваницкий, 1999].

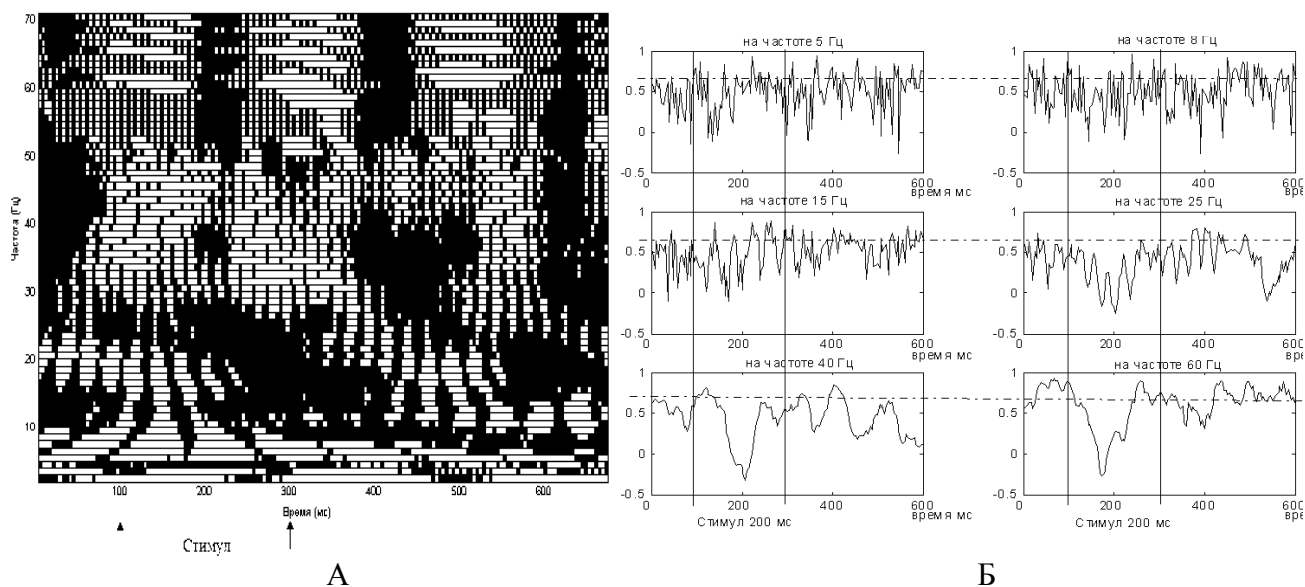


Рис. 3. (А) Динамика синхронизации электрической активности мозга при репродукции длительности зрительных сигналов, до, во время и после окончания стимула длительностью 200 мс. (Испытуемый 8). Примечание: светлые участки – высокая синхронизация, темные – низкая.

(Б) Динамика коэффициента корреляции Спирмена между отведениями С3-С4 на различных частотах при репродукции сигналов длительностью 200 мс. Горизонтальной пунктирной линией указан статистически значимый (при $p < 0,05$) уровень ККС.

Факторный анализ позволил выявить 5 характерных компонентов в динамике ККС. Первый компонент достигает максимума в интервале 225–235 мс после начала стимула. Второй компонент достигает максимума на предстимульном отрезке записи ЭЭГ. Третий компонент достигает максимума в интервале 90–110 мс после начала стимула. Четвертый компонент достигает максимума в интервале 300–320 мс. Пятый компонент достигает максимума в интервале 430–450 мс после начала стимула. В соответствии с концепцией информационного синтеза А.М. Иваницкого (1999) первый, третий и четвертый компоненты вероятно, отражают основные этапы обработки сенсорного стимула (сенсорный этап, этап

информационного синтеза, этап категоризации стимула), а второй и пятый компоненты – ожидание стимула и подготовку моторного ответа.

Изучение взаимосвязи показателей интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма

В ходе предварительного анализа было установлено, что исследуемый частотный диапазон гамма-ритма по существу включает 4 поддиапазона ЭЭГ: 30–40 Гц, 40–49, 51–60 и 60–70 Гц, которые отчетливо различаются между собой.

Кроме того, дисперсионный анализ показал, что на уровень корковых связей существенное влияние оказывают такие факторы, как пол, частотный диапазон, режим восприятия времени. Поэтому дальнейшую обработку полученных результатов проводили с учетом половых различий, частотного диапазона ЭЭГ и способа шкалирования интервалов времени.

В состоянии спокойного бодрствования характер корреляций невербального интеллекта (НИ), который оценивался с помощью графического теста, с уровнем корковых связей на частоте гамма-ритма у юношей и девушек не одинаков. У юношей значимые корреляции этих показателей обнаружены практически во всех исследуемых частотных диапазонах ЭЭГ. При этом у юношей в диапазоне 30–40 Гц НИ положительно коррелирует с уровнем правополушарной когерентности и когерентными связями между областью вертекса и областями правого полушария, а в диапазоне 60–70 Гц – с межполушарной когерентностью и когерентными связями между зоной вертекса и областями правого полушария. В диапазоне 40–49 Гц и 51–60 Гц преобладают отрицательные корреляции НИ с уровнем когерентности в левом полушарии. Отрицательные корреляции НИ обнаружены также с когерентными связями между областью вертекса и левым полушарием (Рис. 4).

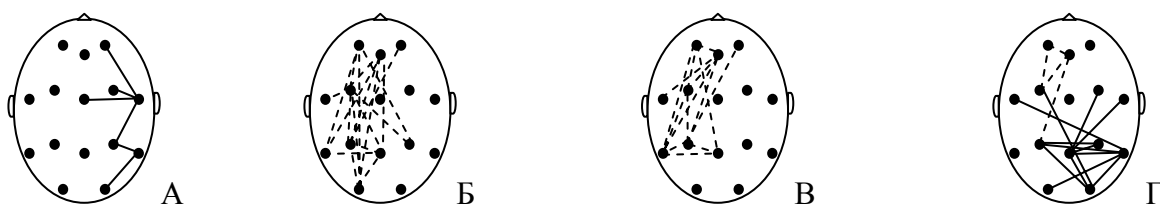


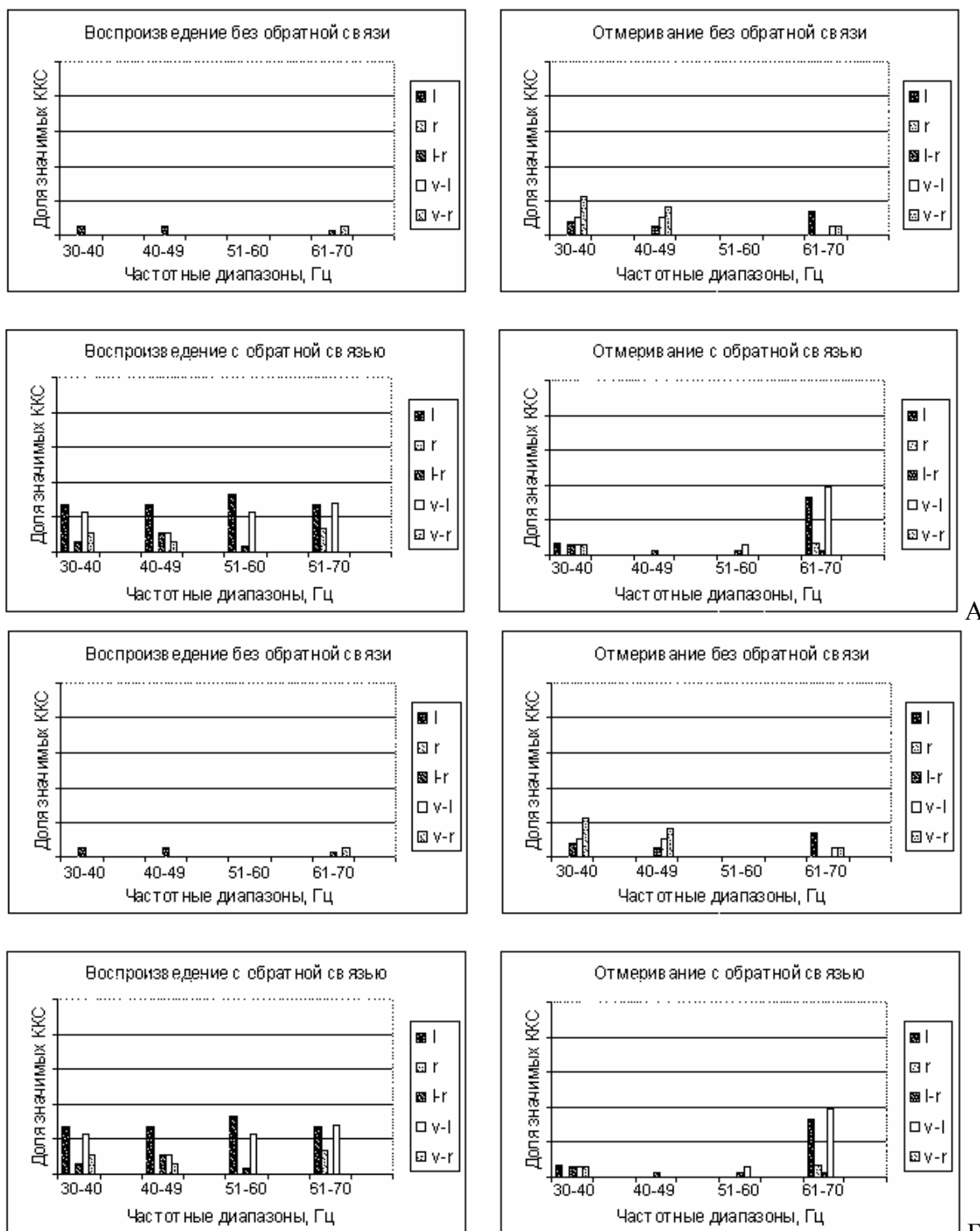
Рис. 4. Корреляция невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частоте гамма-ритма в состоянии спокойного бодрствования у юношей в частотном диапазоне А) 30–40 Гц, Б) 40–49 Гц, В) 51–60 Гц, Г) 60–70 Гц

Примечание: сплошной линией показаны корковые связи, с которыми обнаружены статистически значимые положительные корреляции невербального интеллекта, пунктирными – отрицательные корреляции.

У девушек в состоянии спокойного бодрствования значимые корреляции НИ с уровнем когерентности обнаружены только в двух диапазонах: 30–40 Гц и 40–49 Гц. По сравнению с юношами эти корреляции немногочисленны (4), в основном положительные и касаются связей между областью вертекса и правым полушарием.

При восприятии времени у юношей обнаружена преимущественно положительная корреляция НИ с уровнем корковых связей на частоте гамма-ритма. Для всех режимов восприятия времени характерно заметное увеличение числа значимых корреляций с повышением частоты гамма-ритма до 51–60 Гц.

В диапазоне 60–70 Гц наблюдается некоторое снижение числа значимых корреляций между изучаемыми показателями. Во всех исследованных режимах восприятия времени наибольшее количество корреляций обнаружено между НИ и уровнями межполушарной и правополушарной когерентности. Сравнение различных режимов восприятия времени показало, что максимальное число значимых корреляций между НИ и показателями когерентности наблюдается при репродукции интервалов времени в отсутствие и при наличии обратной связи о результатах деятельности, а минимальное – при отмеривании длительности тех же интервалов без обратной связи (Рис. 5 (А)).



А

Б

Рис. 5. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у юношей (А), Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у девушек (Б)

Примечание:

На оси ординат отложена доля значимых коэффициентов корреляции Спирмена в процентах от максимально возможного их числа. Горизонтальные линии на рисунках соответствуют уровням 20, 40, 60, 80 и 100%.

l – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем левополушарных связей

r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем правополушарных связей

l-r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем межполушарных связей

v-l – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем связей между областью вертекса и областями левого полушария

v-r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем связей между областью вертекса и областями правого полушария.

У девушек, так же, как и у юношей, корреляции между НИ и показателями когерентности в основном положительные, но количество этих корреляций значительно меньше. В частности оказалось, что при восприятии времени без обратной связи о результатах деятельности количество корреляций меньше, чем при ее наличии (Рис. 5 (Б)).

Значимые корреляции между ВИ1, который оценивался по результатам лингвистического теста, и показателями когерентности в состоянии спокойного бодрствования, как у юношей, так и у девушек единичны – их значительно меньше, чем с НИ.

При восприятии времени характер корреляций ВИ1, с показателями когерентности у юношей и девушек отличается. У юношей во всех исследованных режимах восприятия времени наибольшее количество значимых корреляций наблюдается в диапазоне 60–70 Гц, а при отмеривании длительности с обратной связью, еще и в диапазоне 51–60 Гц.

В состоянии спокойного бодрствования количество значимых корреляций между ВИ2, который оценивался по результатам математического теста, и показателями когерентности, как у юношей, так и у девушек, не велико. Однако у юношей в диапазоне 60–70 Гц наблюдается большее количество значимых корреляций, особенно с межполушарными связями. У девушек значимые корреляции между ВИ2 и показателями межполушарной когерентности наблюдаются, как и у юношей, в диапазонах 60–70 Гц, а также в диапазоне 40–50 Гц.

Как у юношей, так и у девушек количество значимых корреляций между ВИ2 и уровнем когерентности при восприятии времени, не велико.

У юношей относительно большое количество значимых корреляций между ВИ2 и уровнем когерентности наблюдается при воспроизведении длительности с обратной связью в частотном диапазоне 60–70 Гц.

У девушек больше значимых корреляций между ВИ2 и показателями межполушарной когерентности в диапазоне 51–60 Гц. У них же больше корреляций ВИ2 с когерентными связями между разными областями коры в диапазоне 60–70 Гц.

Таким образом, проведенные исследования позволили обнаружить наличие статистически значимых корреляций показателей вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма. Оказалось, что характер указанных связей отличается в состоянии спокойного бодрствования и при восприятии времени, зависит от пола, вида выполняемой деятельности и частотного диапазона гамма-ритма.

Изучение взаимосвязи показателей интеллекта с индексом гамма-ритма

Между значениями индекса гамма-ритма и уровнем вербального и невербального интеллекта в состоянии спокойного бодрствования обнаружены единичные значимые корреляции и у юношей и у девушек.

Так, например, у юношей между уровнем НИ и индексом гама-ритма во фронтальных областях обоих полушарий и правой центральной области обнаружена значимая корреляция в частотном диапазоне (ЧД) 30–40 Гц, в остальных ЧД значимые корреляции отсутствуют. В группе юношей обнаружена положительная корреляция между ВИ1 и индексом гамма-ритма в правой затылочно-теменной области в ЧД 60–70 Гц, и между ВИ2 и индексом гамма-ритма в правой височной области (отведение Т4) в ЧД 40–49 Гц, и центральной области коры (отведения С3, Сz) в ЧД 51–60 Гц.

У девушек корреляция индекса гамма-ритма обнаружена только с ВИ2. При этом значимые ККС имеются в трех ЧД: 40–49 Гц (отведения Р3, Рz), 51–60 Гц (отведения Р4, F3, Fz), и 60–70 Гц (отведение Сz).

При восприятии времени наблюдается следующее. Между уровнем НИ и индексом гамма-ритма при восприятии времени наблюдаются единичные корреляции. Исключение составляет режим отмеривания интервалов времени с обратной связью у девушек, у которых значимые положительные корреляции между указанными показателями обнаружены во всех ЧД кроме 30–40 Гц. При этом в ЧД 40–49 Гц НИ связан с индексом гама-ритма в левом полушарии (теменная, центральная и нижняя височная области). В ЧД 51–60 Гц НИ связан с

индексом гамма-ритма в левой затылочной области, теменной и центральной областями правого полушария и областью вертекса. Наибольшее число значимых корреляций выявлено в ЧД 60–70 Гц, где НИ связан с индексом гамма-ритма в левом полушарии (кроме фронтальной области), в теменной и височной областях правого полушария, и в области вертекса (отведения Pz, Fz) (Рис. 6).

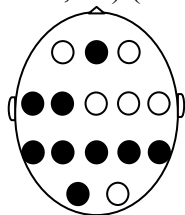


Рис. 6. Отведения, индекс гамма-ритма в которых связан с НИ при отмеривании длительности с обратной связью у девушек (все корреляции положительные)

Примечание: значимые связи показаны черным цветом

наблюдаются в трех из четырех исследованных ЧД (исключение ЧД 30–40 Гц). В диапазоне 40–49 Гц с ВИ1 связан индекс гамма-ритма в правой затылочной, левой височной областях (отведение T5) и области вертекса (Рис. 7 (А)). В ЧД 51–60 Гц обнаружены значимые корреляции ВИ1 с индексом гамма-ритма в правой теменно-затылочной области, и в теменной, центральной и височной областях правого полушария и области вертекса (отведение Pz). В ЧД 60–70 число корреляций между данными показателями максимально: с ВИ1 связан индекс гамма-ритма в области вертекса (отведения Pz, Cz, Fz), в затылочной и центральной областях левого полушария, и в правом полушарии (кроме фронтальной области) (Рис. 7 (Б)).

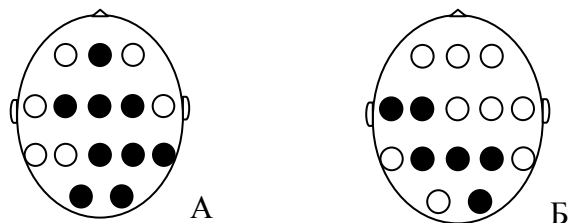


Рис. 7. Отведения, индекс гамма-ритма в которых связан с ВИ1 при отмеривании длительности с обратной связью у девушек (все корреляции положительные)

А) ЧД 51–60 Гц, Б) ЧД 60–70 Гц

Корреляционный анализ показал, что точность восприятия интервалов времени длительностью 200 и 800 мс статистически значимо связана с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма. Так, например, у юношей, значимые положительные корреляции уровня корковых связей с модулем относительной ошибки репродукции интервала 200 мс наблюдаются в трех частотных диапазонах ЭЭГ (30–40 Гц, 40–49 Гц и 51–60 Гц) и только при воспроизведении длительности этого интервала без обратной связи о результатах деятельности (Рис. 8). При этом в диапазоне 30–40 Гц количество корреляций наибольшее во всех исследуемых областях коры, а в диапазоне 40–49 Гц наблюдается корреляция модуля относительной ошибки репродукции указанного интервала с уровнем левополушарной когерентности (Рис. 8.).

Установлено, что наибольшее число корреляций вербального интеллекта (ВИ1) с индексом гамма-ритма, как у юношей, так и у девушек, наблюдается при отмеривании интервалов времени с обратной связью о результатах деятельности, при этом у юношей все корреляции отрицательны, и наблюдаются только в ЧД 60–70 Гц в правой затылочной области, и височных областях обоих полушарий (отведения T5, T6), в то время как у девушек все значимые корреляции положительны и

Таким образом, проведенные исследования выявили наличие статистически значимых положительных корреляций показателей интеллекта с индексом гамма-ритма. Характер этих связей отличается у юношей и девушек и зависит от вида выполняемой деятельности и частотного диапазона гамма-ритма.

Изучение взаимосвязи показателей точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма

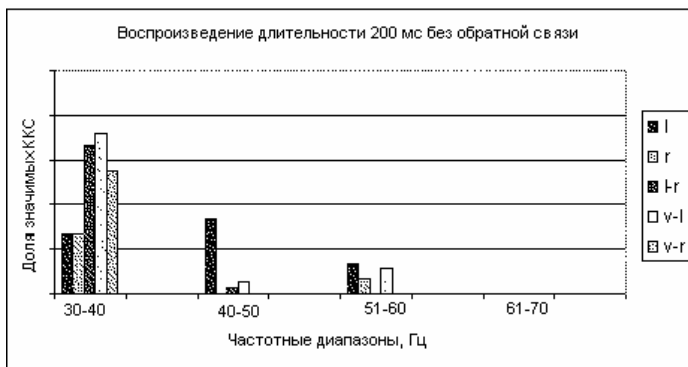


Рис. 8. Корреляция модуля относительной ошибки репродукции интервала 200 мс с показателями когерентности у юношей. Обозначения те же, что и на Рис. 5.

связь. При воспроизведении длительности этого интервала без обратной связи с модулем относительной ошибки связан индекс гамма-ритма в затылочной и височной (отведение Т5) области правого полушария в частотных диапазонах 30–40 Гц и 40–49 Гц, в области вертекса (отведения Pz, Fz) в частотном диапазоне (ЧД) 40–49 Гц и в правой височной области (отведение Т6) в ЧД 51–60 Гц. При воспроизведении длительности того же интервала с обратной связью о результатах деятельности количество корреляций между модулем относительной ошибки (МОО) и индексом гамма-ритма наибольшее. Эти корреляции наблюдаются в следующих областях коры: область вертекса во всех исследуемых ЧД, правая лобная область 40–49 Гц и 51–60 Гц, левая центральная область 30–40 Гц, 51–60 Гц, 60–70 Гц, левая лобная область ЧД 30–40 Гц, правая теменная и правая центральная области ЧД 40–49 Гц. При отмеривании длительности интервала 200 мс без обратной связи значимые корреляции между МОО и индексом гамма-ритма были найдены в правой височной (отведение Т4, ЧД 30–40 Гц), правой центральной и области вертекса (отведение Cz, ЧД 40–49 Гц), левой теменной и левой центральной областями (60–70 Гц). При отмеривании длительности того же интервала с обратной связью значимых корреляций не обнаружено.

У юношей взаимосвязь между индексом гамма-ритма и МОО при восприятии интервалов длительностью 800 мс обнаружена только при отмеривании интервалов времени с обратной связью, причем все найденные корреляции отрицательны. С МОО отмеривания связан индекс гамма-ритма в правой теменной области (ЧД 30–40 Гц) и правой височной области (ЧД 51–60 Гц (отведение Т6)).

У девушек между МОО отмеривания (воспроизведения) интервала 200 мс и индексом гамма-ритма обнаружены только единичные корреляции. Причем максимальное количество отрицательных корреляций обнаружено при воспроизведении длительности без обратной связи в области вертекса (отведения Cz, Fz) в ЧД 60–70 Гц, а в правой теменной области обнаружены положительные корреляции. Наибольшее количество значимых корреляций у девушек обнаружено между МОО и индексом гамма-ритма при отмеривании интервалов времени с обратной связью. Все ККС между данными показателями положительны. С МОО связан индекс гамма-ритма в области вертекса (ЧД 30–40 Гц и 40–49 Гц), в левой центральной области (ЧД 30–40 Гц) и правой теменной (ЧД 40–49 Гц).

Изучения фазовых соотношений между гамма-ритмом и другими частотными составляющими ЭЭГ

Поскольку функциональное объединение нейронов для их совместной деятельности может осуществляться не только путем синхронизации их электрической активности на определенной частоте, но также путем формирования определенных фазовых соотношений между различными ритмами ЭЭГ в задачу данного этапа исследований входило изучение фазовых соотношений между гамма-ритмом и другими частотными составляющими ЭЭГ.

Корреляционный анализ показал, что характер связей между точностью восприятия времени и уровнем корковых взаимодействий отличается у юношей и девушек, зависит от частотного диапазона гамма-ритма и вида выполняемой деятельности.

Изучение взаимосвязи точности восприятия времени с индексом гамма-ритма

Корреляционный анализ показал, что у юношей между точностью восприятия интервала длительностью 200 мс и индексом гамма-ритма существует статистически значимая

Предполагалось, что указанные фазовые соотношения играют существенную роль в организации мозговой деятельности, в процессах восприятия времени.

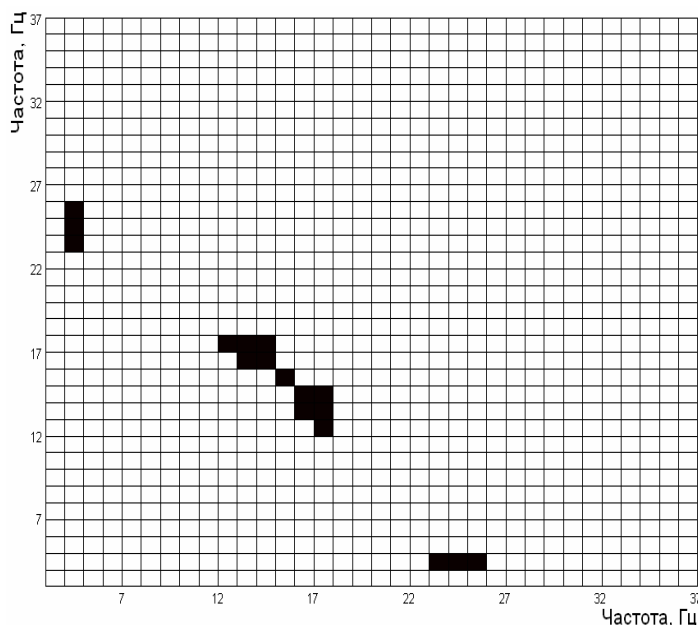


Рис. 9. Значения функции бикогерентности в отведении С4 у одного из испытуемых при репродукции зрительных сигналов длительностью 200 мс

Примечание. На темных участках функция бикогерентности $\geq 0,8$, на светлых – близка к нулю.

этапа выполняемой деятельности (до стимула, при действии стимула и после его окончания) и индивидуальных особенностей человека (пол). С этой целью был использован дисперсионный анализ, в качестве интегральной количественной характеристики уровня фазовых взаимодействий между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ использовали полусумму значений функции бикогерентности в исследуемом частотном диапазоне ЭЭГ.

Из результатов, представленных в таблице 1, видно, что при репродукции длительности сигналов без обратной связи о результатах деятельности факторы «пол» и «этап деятельности» оказывают статистически значимое влияние на исследуемые фазовые соотношения в отведениях С4 и Т3. В остальных отведениях ЭЭГ влияние указанных факторов на фазовые соотношения не значимо.

Таблица 1

Результаты оценки влияния факторов «пол» и «этап деятельности» на фазовые соотношения между ритмами ЭЭГ при репродукции длительности сигналов без обратной связи.

Фактор	t	p	Отведения
пол	2,53	0,02	С4
этап деятельности	2,22	0,03	Т3

При отмеривании интервалов времени без обратной связи о результатах деятельности обнаружено статистически значимое влияние фактора «этап деятельности» на исследуемые фазовые соотношения и только в отведениях С3, Т6 и Т5. Влияние фактора «пол» на те же показатели оказалось не значимым во всех используемых отведениях ЭЭГ (таблица 2).

Проведенный анализ показал, что у разных испытуемых, при разных режимах восприятия времени и в разных отведениях ЭЭГ между гамма-ритмом и другими ритмами ЭЭГ и, прежде всего, с альфа-активностью мозга имеется фазовая связь, хотя конкретные частоты, на которых осуществляется эта связь, могут отличаться. Значения функции бикогерентности в отведении С4, найденные у одного из испытуемых при репродукции зрительных сигналов длительностью 200 мс представлены на Рис. 9.

Из рисунка видно, что между гамма-ритмом на частотах 46–49 Гц и альфа-ритмом на частотах 8–10 Гц существует фазовая связь. Значения функции бикогерентности на этих частотах превышают 0,8.

В ходе последующего анализа была предпринята попытка изучения зависимости фазовых соотношений между гамма-ритмом и другими частотными составляющими ЭЭГ от

Таблица 2

Результаты оценки влияния исследуемых факторов на фазовые соотношения между ритмами ЭЭГ при отмеривании интервалов времени без обратной связи о результатах деятельности.

Фактор	t	p	Отведения
этап деятельности	-2,72	0,01	C3
этап деятельности	-2,35	0,02	T6
этап деятельности	-3,03	0,01	T5

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, факторы «пол» и «этап деятельности» оказывают статистически значимое влияние на характер фазовых соотношений между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ, эффект влияния этих факторов зависит от места отведения и вида выполняемой деятельности.

Кроме того, проведенный анализ позволил обнаружить статистически значимые корреляции вербального и невербального интеллекта с показателем фазовых взаимодействий между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Наибольшее количество значимых корреляций обнаружено на этапе «начало стимула» при репродукции длительности зрительных сигналов без обратной связи о результатах деятельности. У девушек все корреляции (6) оказались отрицательными, а у юношей в основном положительные (3 из 4). В ряде случаев величина найденных ККС достигает 0,98 ($p=0,003$).

Обнаружены также статистически значимые положительные и отрицательные корреляции относительной ошибки репродукции и отмеривания коротких интервалов времени с уровнем фазовых взаимодействий между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Установлено, что и общая численность и уровень этих корреляций отличаются у юношей и девушек, зависят от места отведения, вида и этапа выполняемой деятельности. Причем уровень найденных корреляций варьировал от 0,56 до 0,94.

В результате проведенные исследования показали, что характеристики интеллекта и точности восприятия времени статистически значимо связаны с уровнем фазовых взаимодействий между гамма-ритмом и низкочастотными ритмами ЭЭГ. Характер этих корреляций отличается у юношей и девушек, зависит от места отведения, вида и этапа выполняемой деятельности.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что высокочастотная электрическая активность мозга, обозначаемая как гамма-ритм частотой от 30 до 80 Гц, играет важную роль в процессах восприятия времени. Это подтверждают обнаруженные связи этого ритма с уровнем интеллекта и точностью восприятия времени. На это указывают обнаруженные фазовые взаимодействия между гамма-ритмом и другими низкочастотными ритмами ЭЭГ, а так же найденные корреляции показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем этих фазовых взаимодействий. Характер обнаруженных связей, в частности, свидетельствует о том, чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на частоте гамма-ритма и тем больше величина гамма-индекса. Полученные данные свидетельствуют о том, что гамма-ритм выполняет роль интегрирующего фактора в организации мозговой деятельности и позволяют предположить, что индивидуальные различия уровня интеллекта и точности восприятия времени могут быть связаны с разной способностью нервных клеток к функциональному объединению путем синхронизации их активности на частоте гамма-ритма, путем формирования определенных фазовых соотношений между гамма-ритмом и другими частотными составляющими ЭЭГ. В пользу этой гипотезы свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности известно, что при различных дегенеративных заболеваниях мозга и старении, которые сопровождаются снижением умственных способностей, наблюдается снижение мощности гамма-ритма.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены межполушарные различия в динамике связанных с событиями осцилляций потенциалов мозга, зарегистрированных при восприятии времени в частотном диапазоне ЭЭГ от 30 до 70 Гц: в левом полушарии амплитуда гамма-ритма в 2–3 ниже, чем в правом.

2. Численность источников гамма-ритма и их координаты изменяются на разных этапах деятельности, связанной с восприятием коротких интервалов времени. Эти изменения носят вероятностный характер.

3. В состоянии спокойного бодрствования и при восприятии времени биоэлектрическая активность мозга характеризуется чередованием кратковременных периодов (продолжительностью 50–150 мс) высокой и низкой синхронизации этой активности преимущественно на частоте гамма-ритма. В большинстве случаев указанные периоды высокой и низкой синхронизации этой активности не связаны с конкретными этапами выполняемой деятельности.

4. Уровень корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма зависит от частотного диапазона гамма-ритма, пола и состояния человека, от способа шкалирования интервалов времени и этапа выполняемой деятельности.

5. Между индексом гамма-ритма, уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма и показателями интеллекта и точности восприятия времени существуют статистически значимые связи. Характер этих связей отличается у девушек и юношей, зависит от состояния человека, способа шкалирования интервалов времени и частотного диапазона гамма-ритма.

6. При восприятии времени обнаружена положительная корреляция вербального и невербального интеллекта с индексом гамма-ритма и уровнем внутри- и межполушарной когерентности на частотах гамма-ритма.

7. Между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ имеются фазовые связи. На характер этих связей влияют факторы «пол» и «этап деятельности». Результат влияния этих факторов зависит от места отведения и вида выполняемой деятельности.

8. Обнаружены статистически значимые корреляции показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем фазовых взаимодействий между высоко- и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Общая численность, уровень и даже знак этих корреляций отличаются у юношей и девушек, зависят от места отведения, вида и этапа выполняемой деятельности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статья в издании, рекомендованном ВАК для опубликования основных результатов диссертаций:

1. Бушов, Ю.В. Связь гамма-колебаний с уровнем интеллекта и точностью восприятия времени [Текст] / Ю.В. Бушов, **М.В. Светлик**, Е.П. Крутенкова // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 321. – С. 177–183. (0,55 печ. л.)

Монография:

2. Бушов Ю.В., Системные механизмы восприятия времени [Текст] / Ю.В. Бушов, М.Ю. Ходанович, А.С. Иванов, **М.В. Светлик**. – Томск : Изд-во Том. гос. ун-та. 2007. – 150 с. (10 печ. л.)

Публикации в других научных изданиях:

3. Бушов Ю.В. Анализ динамики корковых взаимодействий при репродукции длительности коротких зрительных сигналов [Текст] / Ю.В. Бушов, А.С. Иванов, **М.В. Светлик** // Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90, № 8 (приложение: тезисы докладов XIX съезда физиологического общества им. И.П. Павлова). – С. 4–5. (0,05 печ. л.)

4. Бушов Ю.В. Роль гамма-колебаний в процессах восприятия времени [Электронный ресурс] / Ю.В. Бушов, А.С. Иванов, **М.В. Светлик**, Я.С. Пеккер // Исследовано в России : Электрон. журнал. – 2005. – № 58. – С. 645–654. – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/058.pdf> (дата размещения: 04.02.2005) (0,55 печ. л.)

5. Бушов Ю.В. О роли гамма осцилляции в процессах восприятия времени [Текст] / Бушов Ю.В., Иванов А.С., **Светлик М.В.**, Пеккер Я.С. // Бюллетень сибирской медицины. – 2005. – Т. 5, прил. 1. – С. 66. (0,05 печ. л.)

6. Светлик М.В. Применение вейвлет анализа к обработке ЭЭГ [Текст] / **М.В. Светлик**, Ю.В. Бушов // Бюллетень сибирской медицины. – 2005. – Т. 5, прил. 1. – С. 189–190. (0,05 печ. л.)

7. Бушов Ю.В. О функциональном значении высокочастотной электрической активности мозга в процессах восприятия времени [Текст] / Ю.В. Бушов **М.В. Светлик**, М.Ю. Ходанович // Вестник Томского государственного ун-та. Биология. – 2007. – № 1. – С. 87–95. (0,5 печ. л.)

8. Светлик М.В. Исследование параметров электроэнцефалограммы (ЭЭГ), на примере вызванных потенциалов методами частотно-временного анализа [Текст] / **М.В. Светлик** // XI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии»: сб. трудов : в 3 т. – Томск : Изд-во Том. политех. ун-та, 2005. – Т. 1. – С. 99. (0,05 печ. л.)

9. Светлик М.В. Высокочастотная электрическая активность мозга и восприятие времени [Текст] / **М.В. Светлик**, Ю.В. Бушов, Я.С. Пеккер, А.С. Иванов // Вестник Томского государственного университета. Материалы международных, всероссийских, региональных научных конференций, семинаров, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ. – 2006. – № 21, прил. 1 – С. 131–132. (0,05 печ. л.)

10. Светлик М.В. Анализ фазовых соотношений между гамма-ритмом и другими составляющими ЭЭГ [Текст] / **М.В. Светлик**, Ю.В. Бушов // VI Сибирский физиологический съезд : тез. докл. – Барнаул, 2008. – Т. 1. – С. 182–183. (0,05 печ. л.)

11. Светлик М.В. Связь интеллекта с корковыми взаимодействиями [Текст] / **М.В. Светлик**, Е.П. Крутенкова, Ю.В. Бушов // VI Сибирский физиологический съезд : тез. докл. – Барнаул, 2008. – Т. 1. – С. 196–197. (0,05 печ. л.)

12. Ходанович М.Ю. Электрофизиологическое исследование восприятия человеком коротких зрительных стимулов [Текст] / М.Ю. Ходанович, Е.А. Есипенко, **М.В. Светлик**, Е.П. Крутенкова // Нейронаука для медицины и психологии : IV Международный междисциплинарный конгресс. – Судак, 2008. – С. 315–316. (0,1 печ. л.)

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ВИ1 – показатели вербального интеллекта (лингвистический тест)
- ВИ2 – показатели вербального интеллекта (математический тест)
- ККС – коэффициент корреляции Спирмена
- МОО – модуль относительной ошибки
- НИ – показатели невербального интеллекта
- ССПМ – связанные с событиями потенциалы мозга
- ССОПМ – связанные с событиями осцилляции потенциалов мозга
- ЧД – частотный диапазон
- ЭА – электрическая активность.
- ЭОГ – электроокулограмма
- ЭЭГ – электроэнцефалограмма

Тираж 100 экз.
Отпечатано в КЦ «Позитив»
634050 г. Томск, пр. Ленина 34а