

ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ВОСПРИЯТИИ КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ

Ю.В. БУШОВ, М.В. СВЕТЛИК

У учащихся вузов, юношей и девушек в возрасте 18–22 лет, исследовали электроэнцефалографические корреляты интеллекта при восприятии коротких интервалов времени. Обнаружены преимущественно положительные корреляции вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Характер этих корреляций различается у юношей и девушек, зависит от частотного диапазона гамма-ритма и вида выполняемой деятельности. Найдены тесные корреляции показателей интеллекта с уровнем фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ. Установлена зависимость этих корреляций от пола испытуемых, вида и этапа выполняемой деятельности. Предполагается, что высокая точность восприятия времени у лиц с высоким интеллектом обеспечивается не только более высокой скоростью передачи сигналов в ЦНС, но также большей эффективностью процессов внутримозговой интеграции, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений в мозге.

Ключевые слова: восприятие времени, корреляты интеллекта, корковые и фазовые взаимодействия, ритмы ЭЭГ.

В настоящее время отсутствует единое общепринятое определение интеллекта. Одни авторы под интеллектом понимают общую способность человека и животного приспосабливаться к новым жизненным условиям (Дружинин, 1994), другие – потенциальную способность формировать упорядоченные когнитивные структуры, на которых осуществляется обработка текущей информации (Чуприкова, 2007). Однако чаще всего под интеллектом понимают относительно устойчивую структуру умственных способностей человека. Что собой представляет интеллект? Какие свойства мозга определяют высокий интеллект? Эти вопросы издавна привлекали внимание исследователей.

Изучению интеллекта посвящено значительное количество работ, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом. Одно из наиболее важных и перспективных направлений исследований интеллекта

связано с поиском электроэнцефалографических (ЭЭГ) коррелятов интеллекта и изучением связанных с ними особенностей обработки информации мозгом. Проведенные в этом направлении исследования позволили, в частности, обнаружить отрицательную корреляцию интеллекта с латентными периодами вызванных потенциалов (ВП). Эти данные послужили основанием для популярной в настоящее время гипотезы о том, что интеллект связан со скоростью передачи сигналов в мозге: чем выше интеллект, тем больше эта скорость (Deary, Stough, 1999). Вместе с тем многочисленные исследования, направленные на проверку этой гипотезы, дали противоречивые результаты: были обнаружены как положительные корреляции между уровнем интеллекта и латентными периодами ВП, так и отрицательные, и даже их отсутствие (Caryl, 1994; Neubauer, 2000). Возможно, эти расхождения обусловлены тем, что связь между интеллектом и латентными периодами ВП носит нелинейный характер. Поэтому при анализе таких связей необходимо

использовать нелинейные методы анализа, например, метод нелинейного оценивания, реализованный в пакете Statistica 6.0. Кроме того, такой упрощенный взгляд на природу интеллекта, который связывает интеллект только со скоростью передачи сигналов в ЦНС, вызывает справедливую критику. В частности, Н.И. Чуприкова (Чуприкова, 1995, 2007, 2010), основываясь на системно-структурном подходе к изучению интеллектуальных способностей человека и данных о зависимости скорости реакции выбора от уровня интеллекта, приходит к выводу о том, что в основе индивидуальных различий уровня интеллекта могут лежать не только различия скорости передачи сигналов в ЦНС, но также различия в способности мозга к дифференцированию сложных ансамблей возбуждения, вызванных разными сигналами, требующими разных ответов. По мнению автора, интеллект тесно связан со способностью мозга к формированию сложноорганизованных объединений нейронов, которые обеспечивают обработку текущей информации, выделение наиболее существенных и значимых сигналов.

Вместе с тем в последние годы пристальное внимание исследователей привлекает высокочастотная электрическая активность мозга, так называемый гамма-ритм. Частота этого ритма, по данным разных авторов (Данилова, Астафьев, 2000; Neumann, Demiralp, 2005; Сорокина, Селицкий, Косицин, 2006) варьирует от 30 до 80, 200 и более Гц, а амплитуда не превосходит 5–10 мкВ. Присутствие этого ритма обнаружено не только у человека, но и у животных (Думенко, 2006). Согласно популярной в настоящее время гипотезе гамма-ритм у человека играет ключевую роль в обеспечении когнитивных процессов. Считается (Crick, Koch, 1995), что именно на частоте гамма-ритма происходит синхронизация активности и функциональное объединение пространственно удаленных популяций нейронов при осуществлении сознательной деятельности.

Кроме того, в последнее время получены новые данные, свидетельствующие о том, что фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ могут обеспечивать функциональное объединение нейронов (Freeman, 2000), а также кодирование, сжатие и координацию нейронных сообщений в мозге (Цукерман, 2006). Эти данные свидетельствуют о том, что гамма-активность мозга и фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ отражают процессы внутримозговой интеграции, процессы обработки информации мозгом при выполнении когнитивной деятельности. Однако в настоящее время фактически отсутствуют данные о том, каким образом интеллект связан с гамма-активностью мозга и фазовыми взаимодействиями между ритмами ЭЭГ, что имеет важное значение для понимания природы интеллекта.

Настоящее исследование имело целью изучить взаимосвязи между уровнем интеллекта, корковыми взаимодействиями на частоте гамма-ритма, фазовыми взаимодействиями между ритмами ЭЭГ и точностью восприятия времени. Рабочая гипотеза исследования состояла в следующем. Предполагалось, что между интеллектом и указанными показателями существуют тесные корреляционные связи. Эти корреляции отражают связь интеллекта с процессами функционального объединения нейронов, кодирования сжатия и координации нейронных сообщений в мозге, от которых зависит точность восприятия времени.

МЕТОДИКА И ИСПЫТУЕМЫЕ

В исследованиях участвовали добровольцы, практически здоровые юноши (27 человек) и девушки (29 человек) в возрасте от 18 до 22 лет, учащиеся томских вузов. Все обследуемые дали информированное согласие на участие в настоящем исследовании. В ходе предварительного обследования с помощью тестов Г. Айзенка (Айзенк, 1991, 2001) исследовали вер-

бальный (ВИ) и невербальный интеллект (НИ), а также уровни экстраверсии и нейротизма. С помощью батареи стандартных тестов исследовали особенности латеральной организации мозга с определением ведущей руки и речевого полушария (Леутин, Николаева, 1988; Кок, Кочергина, Якушева, 1971). В качестве когнитивной деятельности испытуемым предлагали воспроизводить и отмеривать короткие интервалы времени длительностью 200 и 800 мс при наличии и в отсутствие обратной связи о результатах деятельности. Интервалы времени при репродукции их длительности задавались невербальными стимулами (светлый квадрат со стороной 2 см, появляющийся в центре затемненного экрана монитора), а при отмеривании — цифрами. Испытуемые воспроизводили и отмеривали интервалы времени двойным нажатием на клавишу «пробел». В качестве сигнала обратной связи использовали выраженную в процентах относительную ошибку репродукции или отмеривания заданного интервала времени. Сигнал ошибки появлялся на 1 с на экране монитора спустя секунду после воспроизведения или отмеривания каждого интервала времени. Угловые размеры предъявляемых стимулов составили 2–2,3 град. в случае предъявления квадрата и 0,75–0,76 град. в случае предъявления цифр. При предъявлении цифр применялся стандартный шрифт DOS, его размер соответствовал 16 pt Word. Стимулы длительностью 200 и 800 мс предъявлялись в случайном порядке, согласно RND функции, с корректировкой многократного выкидывания одного значения, стимул каждой длительности предъявлялся не менее 50 раз.

ЭЭГ записывали монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан–131-03» в следующих отведениях: Cz, Fz, Pz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2 по системе «10–20%». Объединенный референтный электрод устанавливался на мочки левого и правого уха

испытуемого, а заземляющий фиксировался на запястье правой руки. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз, регистрировали ЭОГ (электроокулограмму). Электроды для записи ЭОГ устанавливали на верхнее и нижнее веко левого глаза испытуемого. Запись ЭЭГ и ЭОГ проводилась в фоне при открытых и закрытых глазах (в течение 20 с) и при восприятии времени. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц. Короткие взаимодействия на частотах гамма-ритма исследовали в следующих частотных диапазонах ЭЭГ: 30–40 Гц, 40–49 Гц, 51–60 Гц и 60–70 Гц.

С целью выделения интересующего частотного диапазона ЭЭГ ее предварительно фильтровали с помощью фильтра Чебышева второго порядка с величиной подавления не менее 60 дБ. Эпоха анализа составляла 4 с. Выбранный участок ЭЭГ обязательно включал этап предъявление стимула, этап отмеривания или воспроизведения заданного интервала времени, а, в случае режимов с обратной связью, также этап предъявление сигнала ошибки. При исследовании пространственной синхронизации электрической активности мозга на частоте гамма-ритма в каждом частотном диапазоне ЭЭГ (30–40 Гц, 40–49 Гц, 51–60 Гц, 61–70 Гц) подсчитывали среднее значение функции когерентности. Для контроля мозгового происхождения гамма-ритма и картирования этой активности использовали метод дипольной локализации (Гнездицкий, 2004) и модель одиночного подвижного эквивалентного диполя. Для анализа выбирались короткие отрезки записи ЭЭГ длительностью 20 мс, на разных этапах предлагаемой деятельности. Предварительно с помощью цифровой фильтрации ЭЭГ из нее удаляли составляющие частотой 50 Гц и ниже 30 Гц. При изучении фазовых взаимодействий между высоко- (30–70 Гц) и низкочастотными (0,5–30 Гц) составляющими ЭЭГ использовали вейвлетный биспектральный анализ

(Короновский, Храмов, 2003). В качестве материнского вейвлета использовался вейвлет типа Morlet. В ходе обработки подсчитывали функцию бикогерентности (Короновский, Храмов, 2003). Эта функция принимает значения от 0 до 1 и является мерой фазовой связи на интервале времени T между частотными составляющими сигнала f_1, f_2, f_3 , которые удовлетворяют условию $f_3 = f_1 + f_2$. Если фазы одного из трех компонентов являются суммой или разностью двух других, то функция бикогерентности значимо отличается от нуля, и это свидетельствует о том, что фазы трех частот связаны. При изучении внутрислоушарных фазовых связей значения функции бикогерентности подсчитывались между разными частотными составляющими одного и того же ЭЭГ-сигнала, а при изучении межполушарных фазовых связей — между разными частотными составляющими двух ЭЭГ-сигналов, записанных синхронно у одного и того же испытуемого в левополушарном и правополушарном отведениях. В качестве интегральной характеристики уровня фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ использовали полусумму значений этой функции в исследуемом частотном диапазоне ЭЭГ (0,5–70 Гц). Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов прикладных программ R-3.0.1 и MatLab-6.5. При изучении корреляционных связей между исследуемыми показателями подсчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

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

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 одного до шести). 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.

Картирование электрической активности мозга на тех же отрезках ЭЭГ показало, что пространственное распределение амплитуды гамма-ритма также существенно изменяется на разных этапах выполняемой деятельности. Обнаруженные изменения числа источников гамма-ритма и пространственного распределения его амплитуды, вероятно, отражают связанные с восприятием времени различные этапы обработки информации мозгом. Сходные данные об изменении количества источников гамма-ритма при различении интервалов времени были получены в исследованиях Н.Н. Даниловой и А.А. Ханкевич (Данилова, Ханкевич, 2001).

Результаты картирования электрической активности мозга и локализации источников гамма-ритма, полученные у одного из испытуемых, представлены на рис.1, рис. 2.

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

При восприятии времени у мужчин обнаружена преимущественно положительная корреляция НИ с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма. Для всех режимов восприятия времени характерно заметное увеличение числа значимых корреляций с повышением частоты гамма-ритма до 51–60 Гц. В диапазоне 61–70 Гц наблюдается некоторое снижение числа значимых корреляций между изучаемыми показателями. Во всех режимах восприятия времени наибольшее количество

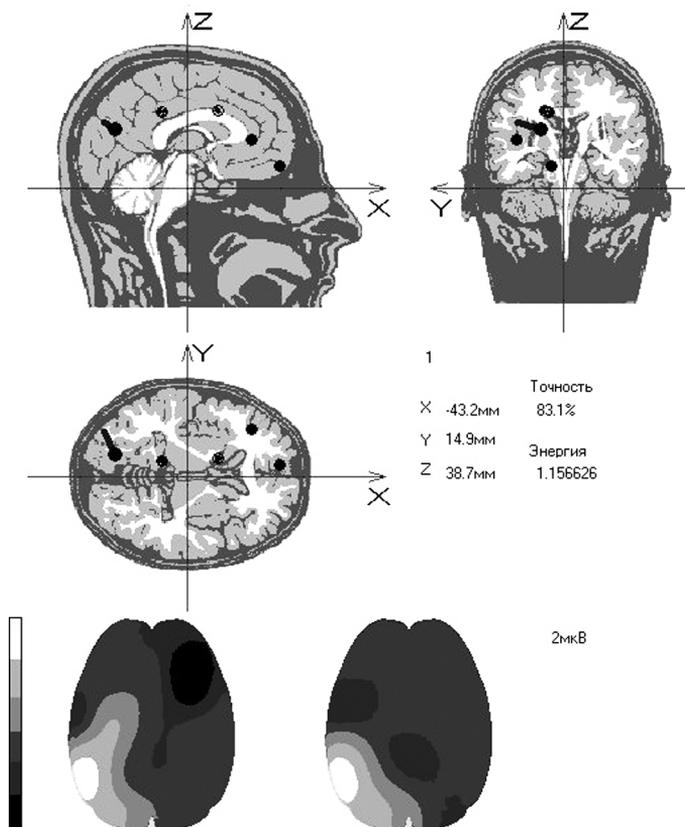


Рис. 1. Пространственное распределение амплитуды и источников гамма-ритма у испытуемого № 8 при репродукции длительности зрительных сигналов на участке 40–60 мс после начала зрительного стимула длительностью 200 мс.

Максимальные значения амплитуды гамма-ритма показаны **желтым** цветом, минимальные – **синим**.

значимых 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. 3).

У женщин, как и у мужчин, 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. 4).

При восприятии времени характер корреляций ВИ с показателями когерентности у мужчин и женщин различается. У мужчин во всех исследованных режимах восприятия времени наибольшее количество значимых корреляций наблюдается в диапазоне 61–70 Гц, а при отмеривании длительности с обратной связью еще и в диапазоне 51–60 Гц (рис. 5).

У женщин при воспроизведении длительности без обратной связи в трех из четырех исследованных частотных диапазонах (исключение – диапазон 40–49 Гц) обнаружены значимые корреляции между ВИ и показателями когерентности.

При воспроизведении длительности с обратной связью наибольшее количество значимых корреляций наблюдается в частотных диапазонах 40–50 Гц и 51–60 Гц. Это характерно для всех исследуемых корковых областей. При отмеривании длительности без обратной связи наблюдается та же картина, что и при воспроизведении длительности с обратной связью, но количество значимых корреляций в диапазоне 40–50 Гц несколько выше, а в диапазоне 30–40 Гц, наоборот, ниже. При отмеривании длительности с обратной связью о результатах деятельности наибольшее количество значимых корреляций

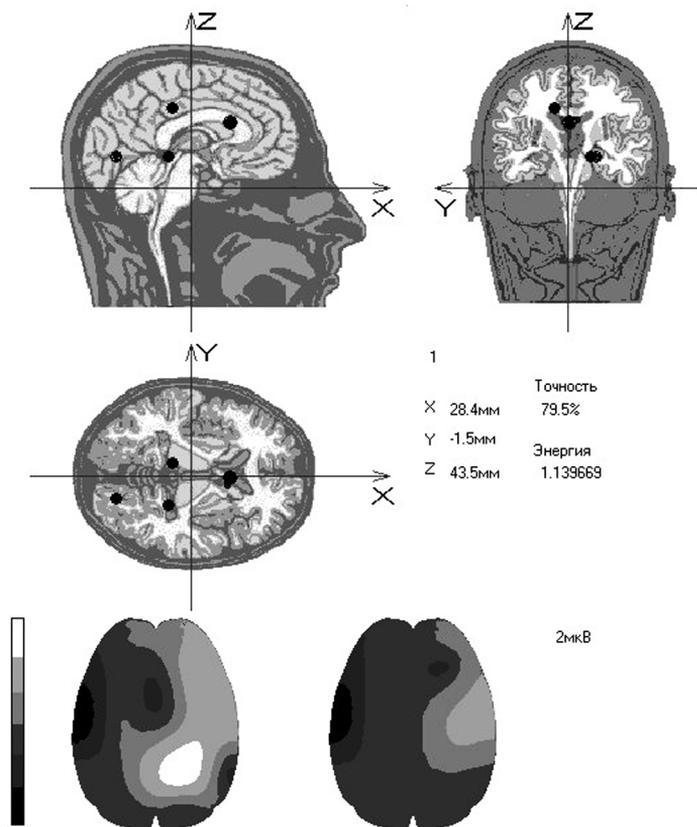


Рис. 2. Пространственное распределение амплитуды и источников гамма-ритма у испытуемого № 8 при репродукции длительности зрительных сигналов на участке 260–280 мс после начала зрительного стимула длительностью 200 мс.

Обозначения те же, что и на рис.1.

обнаружено в диапазонах 61–70 Гц и 40–49 Гц, причем чем выше ВИ, тем выше уровень когерентности в левом полушарии и выше уровень связей между вертексом и корковыми областями левого полушария (рис. 6).

Кроме того, корреляционный анализ позволил обнаружить наличие статистически значимых корреляций между точностью восприятия времени и уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Характер этих корреляций зависит от частотного диапазона гамма-ритма, способа шкалирования интервалов времени, а также от наличия или отсутствия

обратной связи о результатах деятельности. Так, например, у мужчин значимые корреляции уровня корковых связей с модулем относительной ошибки репродукции интервала 200 мс наблюдаются в трех частотных диапазонах ЭГ (30–40 Гц, 40–49 Гц и 51–60 Гц); при этом в диапазоне 30–40 Гц количество корреляций наибольшее во всех исследуемых областях коры (рис. 7).

Проведенный анализ также показал, что на разных частотах гамма-ритма и в разных режимах восприятия времени могут наблюдаться как положительные, так и отрицательные корреляции между уровнем корковых связей на частоте гамма-ритма и точностью восприятия времени. Возможно, это обусловлено разной функциональной значимостью отдельных частотных диапазонов гамма-ритма.

Изучение корреляций показателей интеллекта с уровнем фазовых взаимодействий между ритмами ЭГ

Проведенные исследования позволили обнаружить и в фоне и при восприятии времени тесные внутрислошарные и межполушарные фазовые связи между ритмами ЭГ. Оказалось, что чаще всего (примерно в 60–70% случаев) фазовые связи наблюдаются между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭГ (0,5–30 Гц), а также между разными частотами гамма-ритма. Значения функции бикогерентности на указанных частотах достигают 0,8 и более.

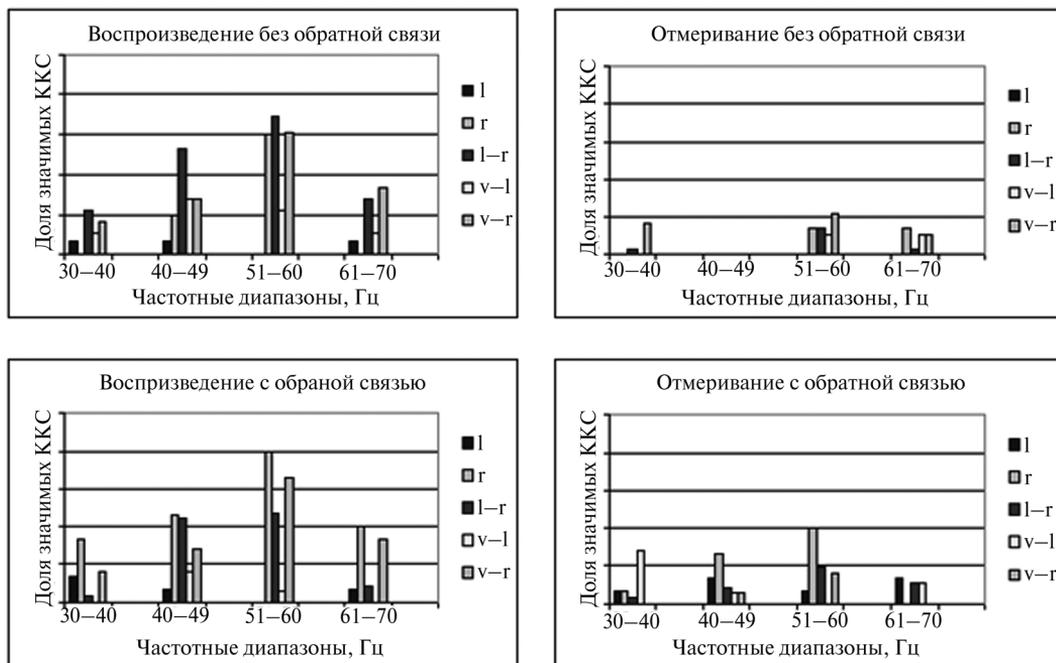


Рис.3. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин.

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

Среднегрупповые значения функции бигерентности между отведениями Т4 и Т5 у юношей при воспроизведении зрительных сигналов длительностью 200 мс без обратной связи представлены на рис. 8.

Как следует из рисунка, наиболее тесные фазовые связи наблюдаются между низкочастотными составляющими ЭЭГ (0,5–20 Гц), между гамма-ритмом 40–60 Гц и ритмами частотой 5–20 Гц, а также между разными частотами гамма-ритма (30–36, 38–44 Гц).

Наряду с этим проведенные исследования позволили обнаружить наличие статистически значимых корреляций уровня фазовых взаимодействий с показателями вербального и невербального интеллекта,

экстраверсии и нейротизма, особенно с латеральной организацией мозга и точностью восприятия времени. Величина найденных коэффициентов корреляции Спирмена по абсолютной величине варьировала от 0,56 до 0,98 ($p = 0,05-0,003$).

Установлено, что характер указанных корреляций **различается** у юношей и девушек, зависит от вида и этапа выполняемой деятельности. Например, у девушек при репродукции длительности стимулов с обратной связью на этапе за 100 мс до начала стимула обнаружены отрицательные корреляции уровня межполушарных фазовых связей с показателями экстраверсии ($r = -0,63 \div -0,84, p < 0,01$) и нейротизма ($r = -0,59 \div -0,63, p < 0,01$), и положи-

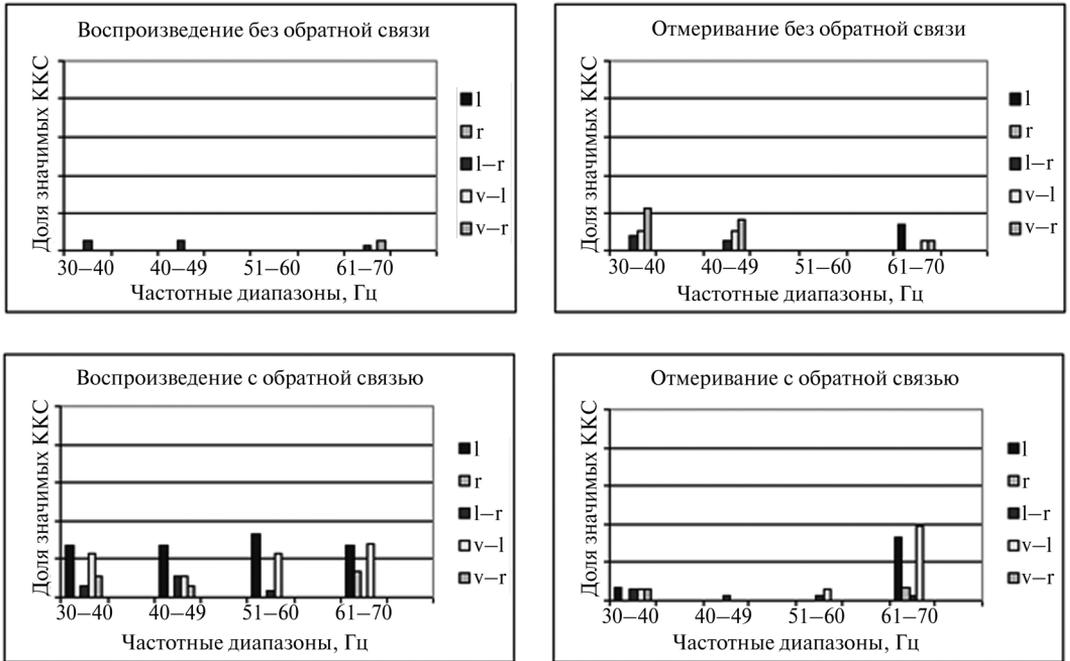


Рис. 4. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у женщин. Обозначения те же, что и на рис. 3.

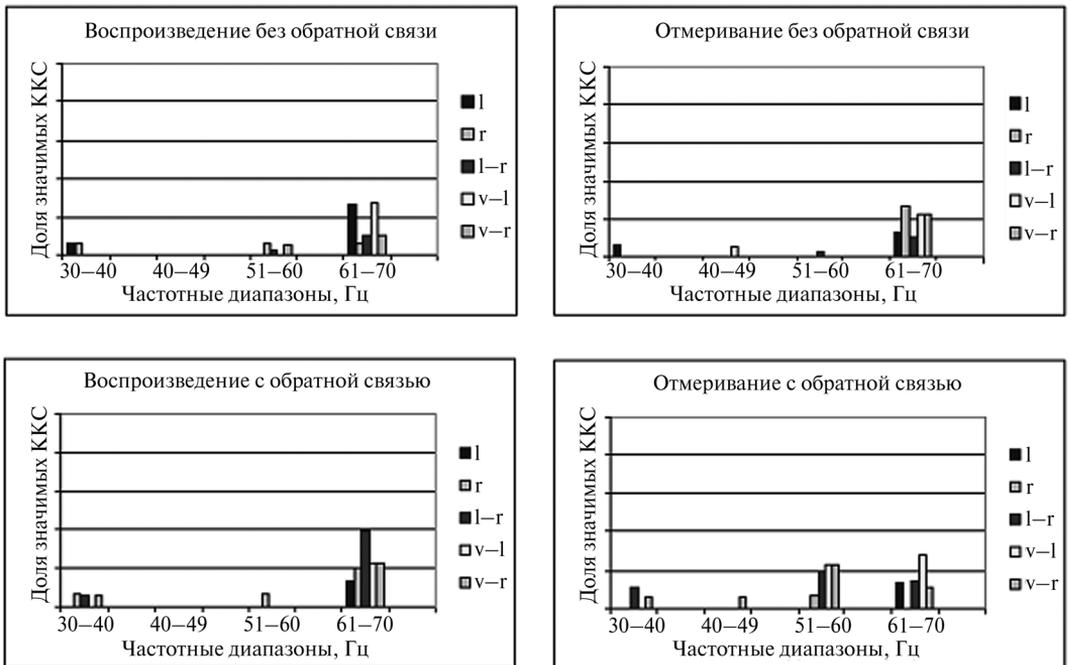


Рис. 5. Корреляция вербального интеллекта (лингвистический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин. Обозначения те же, что и на рис. 3.

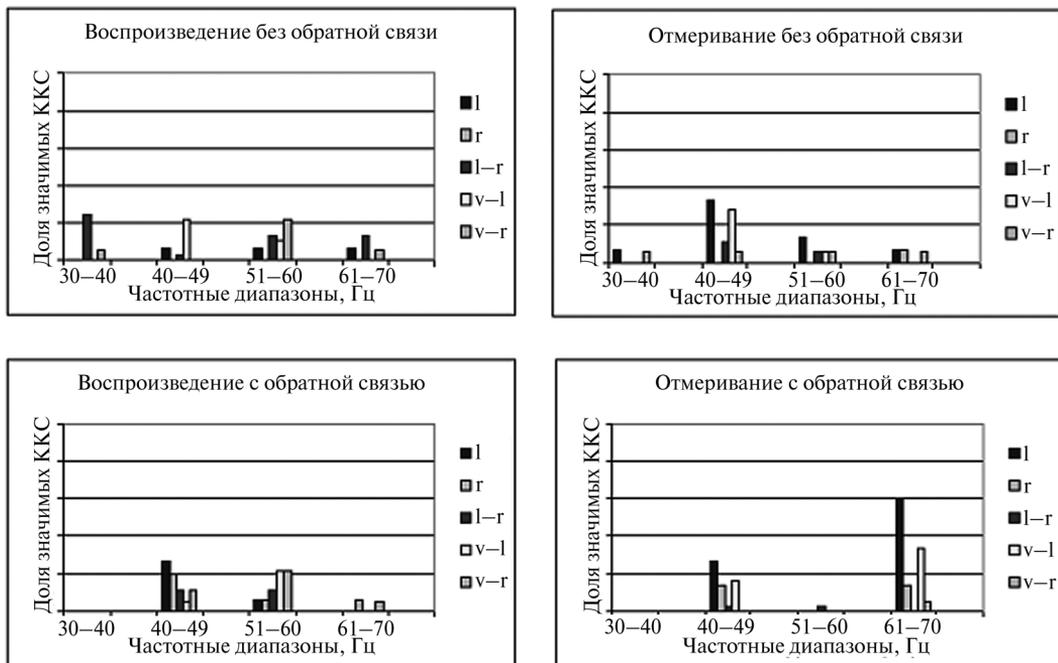


Рис. 6. Корреляция вербального интеллекта (лингвистический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у женщин. Обозначения те же, что и на рис. 3.

тельные – с коэффициентом правого уха ($r = 0,55, p < 0,05$). У юношей в тот же период деятельности обнаружены положительные корреляции уровня межполушарных фазовых связей с показателями интеллекта ($r = 0,76 \div 0,90, p < 0,01$), мануального предпочтения ($r = 0,78, p < 0,03$) и коэффициентом правого уха ($r = 0,82, p < 0,02$).

В целом полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о существовании корреляций между интеллектом, уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма, фазовыми связями между электрическими потенциалами мозга и точностью восприятия времени.

В частности, проведенные исследования позволили обнаружить преимущественно положительные корреляции вербального и невербального интеллекта с уровнем внутри- и межполушарных корковых связей на частоте гамма-ритма. Характер обнаруженных корреляций различается у юношей и девушек, зависит от вида выполняемой деятельности и частотного диапазона гамма-ритма. Эти корреляции свидетельствуют о том, что чем выше уровень интеллекта,



Рис. 7. Корреляция уровня корковых связей с модулем относительной ошибки репродукции интервала 200 мс у мужчин. Обозначения те же, что и на рис. 3.

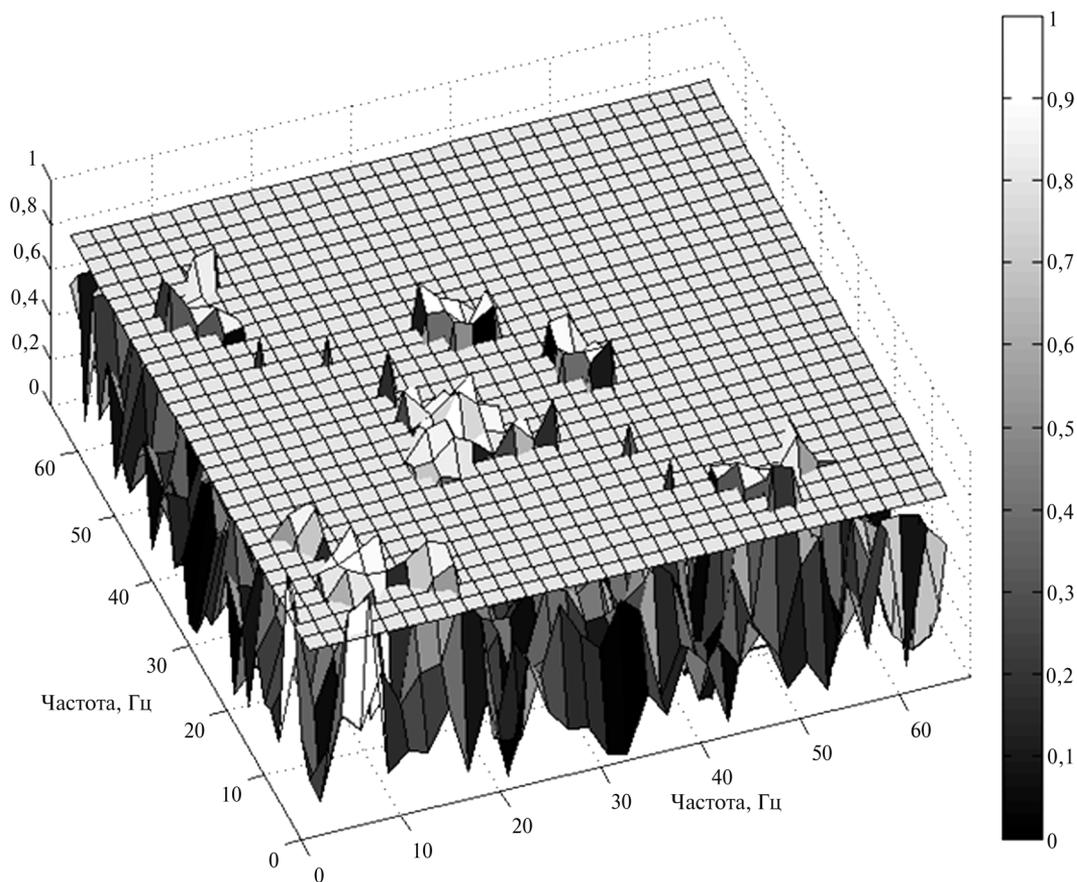


Рис. 8. Среднегрупповые значения функции бикогерентности между отведениями Т4 и Т5 у юношей при воспроизведении зрительных сигналов длительностью 200 мс без обратной связи.

Примечание. Этап деятельности – спустя 400 мс после предъявления стимула; горизонтальная плоскость «отсекает» малозначимые (менее 0,8) значения функции бикогерентности.

тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на частотах гамма-ритма. Возможно, это объясняется тем, что на частоте гамма-ритма происходит синхронизация активности и функциональное объединение нейронов (Crick, Koch, 1995) и этот процесс протекает более эффективно у лиц с высоким интеллектом.

Особый интерес представляют обнаруженные корреляции показателей интеллекта с уровнем фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ, так как эти взаимодействия могут обеспечивать функциональное объединение нейронов (Freeman,

2000), а также кодирование, сжатие и координацию нейронных сообщений в мозге (Цукерман, 2006). Вероятно, эти корреляции свидетельствуют о том, что с интеллектом связаны не только скорость передачи сигналов в ЦНС (Deary, Stough, 1996), но также процессы функционального объединения нейронов, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений в мозге. Это предположение хорошо согласуется с современными представлениями об онтологической природе интеллекта, которые сформировались в рамках системно-структурного подхода к изучению интеллектуальных способностей человека

(Чуприкова, 1997, 2010, Холодная, 2009). В частности, по мнению Н.И. Чуприковой (Чуприкова, 2010), интеллект тесно связан со способностью мозга к формированию сложноорганизованных когнитивных структур, которые обеспечивают обработку текущей информации, селекцию наиболее существенных и значимых сигналов. По-видимому, этим, в частности, и объясняется зависимость точности восприятия времени (Цуканов, 1991; Бушов и др., 2007) и других видов когнитивной деятельности от уровня интеллекта (Разумникова, 2005). В свою очередь обнаруженные различия корреляций интеллекта с уровнями корковых связей и фазовых взаимодействий у юношей и девушек могут быть обусловлены, связанными с полом особенностями латеральной организации мозга, которые наиболее ярко проявляются в межполушарных взаимодействиях (Вольф, 2000). В пользу высказанного предположения свидетельствуют обнаруженные нами положительные корреляции уровня межполушарных фазовых связей с показателем мануального предпочтения и коэффициентом правого уха, которые различаются у мужчин и женщин.

Определенный интерес представляют результаты картирования и локализации источников гамма-ритма, свидетельствующие о том, что пространственное распределение амплитуды гамма-ритма и количество его источников существенно изменяется на разных этапах процесса восприятия времени. Вероятно, эти изменения отражают динамику кооперативной деятельности нейронов, существенную роль в которой, играет гамма-ритм (Crick, Koch, 1995).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что между интеллектом и уровнем корковых связей на частоте гамма-ритма существуют тесные преимущественно

положительные корреляции. Характер этих корреляций различается у юношей и девушек, зависит от частотного диапазона гамма-ритма и вида выполняемой деятельности. Обнаружены также тесные корреляции интеллекта с уровнем фазовых связей между ритмами ЭЭГ. Установлена зависимость этих корреляций от пола испытуемых, вида и этапа выполняемой деятельности. Полученные результаты и некоторые литературные данные позволяют думать, что высокая точность восприятия времени у лиц с высоким интеллектом обеспечивается не только более высокой скоростью передачи сигналов в ЦНС, но также большей эффективностью процессов внутримозговой интеграции, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений в мозге.

1. Айзенк Г. Структура личности. СПб. : Ювента; М.: КСП+, 1999. 464 с.
2. Айзенк Г.Ю. Классические IQ тесты. М.: ЭКСМО-Пресс, 2001. 192 с.
3. Бушов Ю.В. и др. Системные механизмы восприятия времени / Бушов Ю.В., Ходанович М.Ю., Иванов А.С., Светлик М.В. Томск: Изд-во ТГУ, 2007. 150 с.
4. Вольф Н.В. Половые различия функциональной организации процессов полушарной обработки речевой информации. Ростов на/Д: Изд-во ООО «ЦВВР», 2000. 240 с.
5. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. М.: МЕДпресс-информ, 2004. 624 с.
6. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма// Журн. высш. нерви. деят. 2000. Т. 50. Вып. 5. С. 791–803.
7. Данилова Н.Н., Ханкевич А.А. Гамма-ритм в условиях различения временных интервалов// Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2001. № 1. С. 51–62.
7. Дружинин В.Н. Психология и психодиагностика общих способностей. М.: Наука, 1994. 343 с.
8. Думенко В.Н. Высокочастотные компоненты ЭЭГ и инструментальное обучение. М.: Наука. 2006. 151 с.
9. Кок Е.П., Кочергина В.С. Якушева Л.В. Определение доминантности полушария при помощи

- дихотического прослушивания речи // Журн. высш. нервн. деят. 1971. Т. 21. № 5. С. 59–72.
10. *Короновский А.А., Храмов А.Е.* Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматгиз, 2003. 176 с.
 11. *Леутин В.П., Николаева Е.И.* Психофизиологические механизмы адаптации и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: Наука, 1988. 193 с.
 12. *Разумникова О.М.* Отражение личностных свойств в функциональной активности мозга. Новосибирск: Наука, 2005. 135 с.
 13. *Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Косицин Н.С.* Нейробиологические исследования биоэлектрической активности мозга в диапазоне гамма-ритма у человека // Успехи физиол. наук. 2006. Т. 17. № 3. С. 3–10.
 14. *Холодная М.А.* Структурно-интегративная методология в исследованиях интеллекта // Теория развития: дифференционно-интеграционная парадигма. Сост. Н.И. Чуприкова. М.: Языки славянских культур, 2009. С. 195–204.
 15. *Цуканов Б.И.* Качество «внутренних часов» и проблема интеллекта // Психол. журн. 1991. Т. 12. № 3. С. 38–44.
 16. *Цукерман В.Д.* Математическая модель фазового кодирования событий в мозге // Мат. биология и биоинформатика. 2006. Т. 1. № 1. С. 97.
 17. *Чуприкова Н.И.* Время реакций и интеллект: почему они связаны // Вопр. психол. 1995. № 4. С. 65–81.
 18. *Чуприкова Н.И.* Психология умственного развития: Принцип дифференциации. М.: АО «СТОЛЕТИЕ», 1997. 480 с.
 19. *Чуприкова Н.И.* Умственное развитие: Принцип дифференциации. СПб.: Питер. 2007. 448 с.
 20. *Чуприкова Н.И.* Об онтологической природе интеллекта: системно-структурный подход // Психология интеллекта и творчества: традиции и инновации: Мат-лы конф., посвященной памяти Я.А. Пономарева и В.Д. Дружинина. 7–8 октября 2010 г. М.: ИИ РАН. 2010. С. 92–100.
 21. *Caryl P.G.* Event-related potentials correlate with inspection time and intelligence // *Intelligence*. 1994. V. 18. P. 15–46.
 22. *Crick F., Koch Ch.* Are we aware of neural activity in primary visual cortex? // *Nature*. 1995. V. 375. N 11. P. 121–123.
 23. *Deary I.J., Stough C.* Intelligence and inspection time: Achievements, prospects and problem // *Am. Psychol*. 1996. V. 51. P. 599–608.
 24. *Freeman W.J.* Mesoscopic neurodynamics: From neuron to brain // *J. physiol. (France)*. 2000. V. 94. N 5/6. P. 303–322.
 25. *Hermann C.S., Demiralp T.* Human EEG gamma oscillations in neuropsychiatric disorders // *Clin. Neurophysiol*. 2005. V. 116. P. 2719–2733.
 26. *Neubauer A.C.* Physiological approaches to human intelligence: A review // *Psychol. Beitrage*. 2000. V. 42. P. 161–173.

Поступила в редакцию 21. I 2014 г.