

БИОЛОГИЯ

УДК 612. 821.3:51-76

*Ю.В. Бушов, М.В. Светлик, Е.П. Крутенкова***СВЯЗЬ ГАММА-КОЛЕБАНИЙ С УРОВНЕМ ИНТЕЛЛЕКТА И ТОЧНОСТЬЮ ВОСПРИЯТИЯ ВРЕМЕНИ***Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РГНФ №07-06-00167а.*

Обнаружена связь показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма. Установлено, что характер этих связей отличается у юношей и девушек, зависит от состояния человека, частотного диапазона гамма-ритма и способа шкалирования интервалов времени. Полученные данные позволяют предположить, что индивидуальные различия уровня интеллекта и точности восприятия времени могут быть связаны с разной способностью нейронов к функциональному объединению путем синхронизации их активности на частоте гамма-ритма.

Ключевые слова: интеллект; гамма-ритм; корковые взаимодействия; восприятие времени.

Изучение нейрофизиологических основ интеллекта является серьезной фундаментальной проблемой. Ее решение имеет важное значение для понимания самой природы интеллекта и формирования на этой основе новых методов повышения интеллектуальных способностей человека, создания искусственного интеллекта.

В то же время однозначного ответа на вопрос о том, какие нейрофизиологические механизмы и какие особенности ЭЭГ связаны с интеллектом, нет. Кроме того, значительная часть исследований в этой области направлена на изучение взаимосвязи интеллекта с основными ритмами ЭЭГ частотой от 0,5 до 30 Гц. Вместе с тем известно, что когнитивные процессы (внимание, память, мышление и др.), непосредственно связанные с интеллектом, сопровождаются усилением электрической активности мозга в диапазоне гамма-ритма [1–4]. Поскольку частотные характеристики гамма-ритма близки к импульсной активности нейронов, многие исследователи считают, что пространственная синхронизация их активности на частоте гамма-ритма отражает взаимодействие между нейронными популяциями, включение их в совместную деятельность.

Все это позволяет предположить наличие определенной связи между активностью головного мозга на частоте гамма-ритма, с одной стороны, и показателями интеллекта и успешностью выполнения различных видов интеллектуальной деятельности – с другой. Вместе с тем анализ литературы свидетельствует о том, что специальные исследования в этом направлении фактически не проводились. В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение взаимосвязи показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма.

В задачу исследования входило:

– изучить взаимосвязь показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий в частотных диапазонах ЭЭГ 30–40 Гц, 40–49 Гц, 51–60 Гц и 61–70 Гц.

– изучить зависимость указанных связей от состояния и индивидуальных особенностей человека, способа шкалирования интервалов времени и частоты гамма-ритма.

Методика

В качестве модели интеллектуальной деятельности испытуемым предлагали деятельность, связанную с

восприятием коротких интервалов времени. Для решения поставленных задач проведены 2 серии наблюдений с репродукцией и отмериванием коротких интервалов времени (200 и 800 мс) при наличии и в отсутствии обратной связи о результатах деятельности. В исследованиях участвовали добровольцы, практически здоровые юноши (11 человек) и девушки (7 человек) в возрасте от 18 до 22 лет, учащиеся томских вузов. ЭЭГ записывали монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» в 15 отведениях по системе 10–20%: F3, F4, Fz, C3, C4, C5, C6, Cz, P3, P4, P5, P6, Pz, O1, O2. Объединенный референтный электрод устанавливался на мочки левого и правого уха испытуемого, а земляной фиксировался на запястье правой руки. Запись ЭЭГ осуществлялась в покое при закрытых и открытых глазах (не менее 20 с) в начале и в конце опыта, а также при восприятии времени. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз, регистрировали электроокулограмму. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц.

Интервалы времени в одной серии задавались невербальными стимулами (светлый квадрат со стороной 2 см, появляющийся в центре затемненного экрана монитора), в другой – 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 с 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.

В ходе предварительного обследования с помощью графического, математического и лингвистического тестов Г. Айзенка исследовали вербальный (ВИ) и невербальный интеллект (НИ) [5].

Для анализа выбирали 4-секундные отрезки записи ЭЭГ, лишенные артефактов. 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. О пространственной синхронизации электрической активности мозга на различных частотах гамма-ритма судили по результатам когерентного анализа. При этом подсчитывали средние значения функций когерентности в частотных диапазонах ЭЭГ 30–40 Гц, 40–49 Гц, 51–60 Гц и 61–70 Гц. При анализе связей между уровнем корковых взаимодействий, показателями интеллекта и точности восприятия времени подсчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (ККС). Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ «Statistica-6.0».

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты изучения взаимосвязи показателей интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма. В состоянии спокойного бодрствования характер корреляций НИ, который оценивался

с помощью графического теста, с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма у мужчин и женщин не одинаков. У мужчин значимые корреляции этих показателей обнаружены практически во всех исследуемых частотных диапазонах ЭЭГ. При этом у мужчин в диапазоне 30–40 Гц НИ положительно коррелирует с уровнем правополушарной когерентности и когерентными связями между областью вертекса и областями коры правого полушария, а в диапазоне 61–70 Гц – с межполушарной когерентностью и когерентными связями между областью вертекса и корковыми 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 различными зонами коры левого полушария (рис. 1).

У женщин 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 мужчинами, эти корреляции немногочисленны (4), в основном положительные и касаются связей между областью вертекса и различными корковыми областями правого полушария.

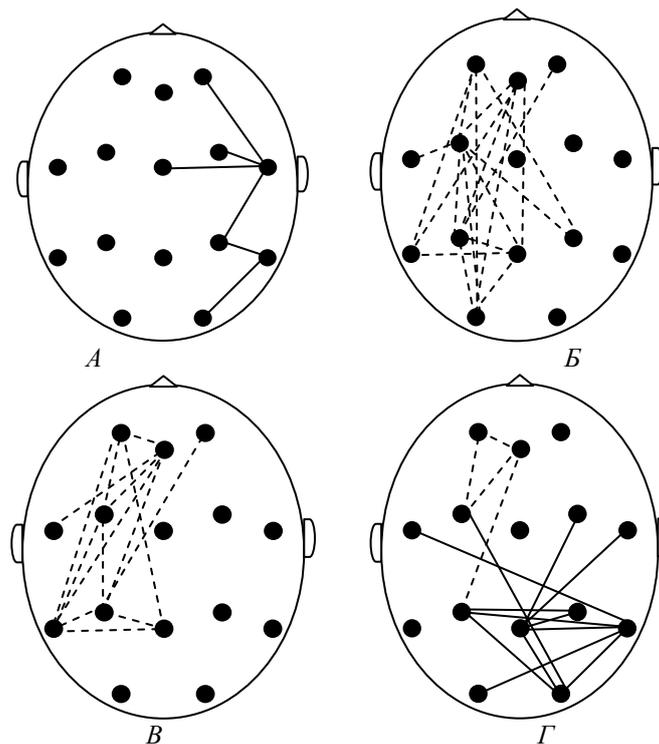


Рис. 1. Корреляция невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма в состоянии спокойного бодрствования у мужчин: А – в частотном диапазоне 30–40 Гц; Б – 40–49 Гц; В – 51–60 Гц; Г – 61–70 Гц. Сплошной линией показаны корковые связи, с которыми обнаружены статистически значимые положительные корреляции невербального интеллекта, пунктирными – отрицательные корреляции

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 режи-

мах восприятия времени наибольшее количество 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 отсутствии и при наличии обратной связи о результатах деятельности,

а минимальное – при отмеривании длительности тех же интервалов без обратной связи (рис. 2).

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. 3).

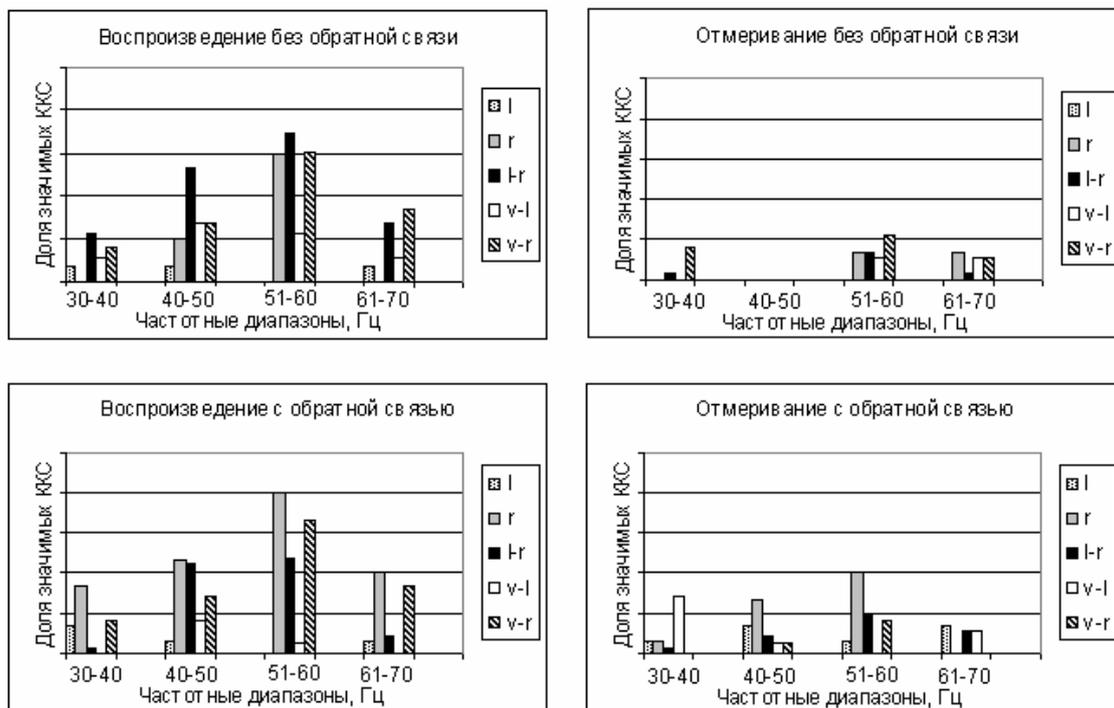


Рис. 2. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин. На оси ординат отложена доля значимых коэффициентов корреляции Спирмена в процентах от максимально возможного их числа.

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

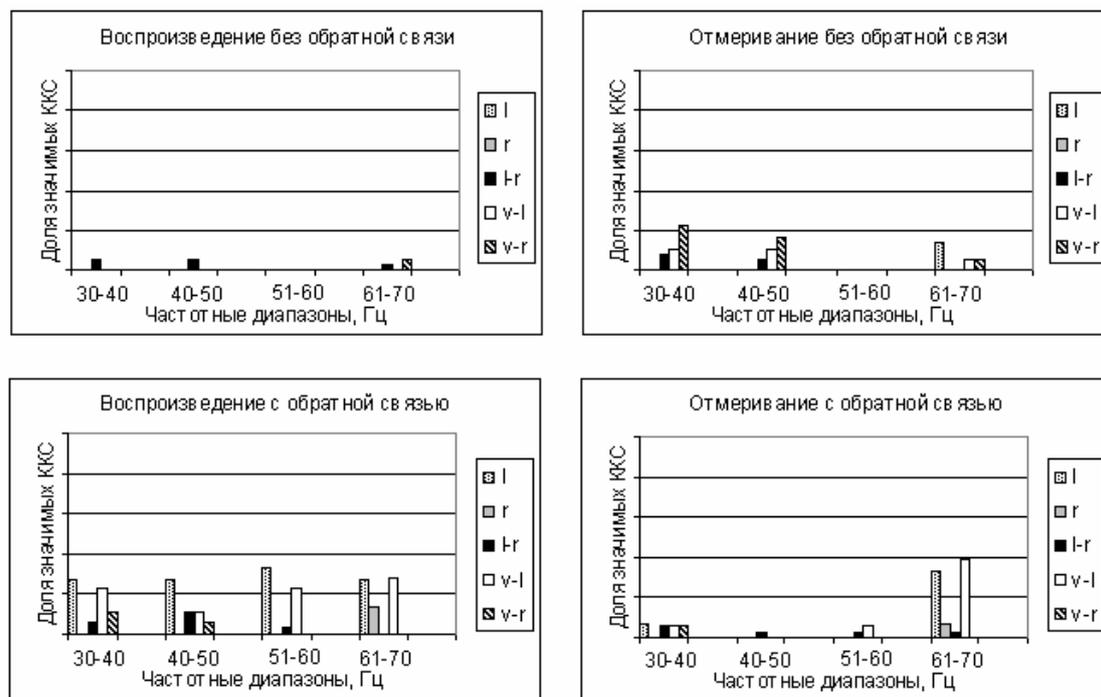


Рис. 3. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у женщин (условные обозначения – на рис. 2)

Значимые корреляции между VI_1 , который оценивался по результатам лингвистического теста, и показателями когерентности в состоянии спокойного бодрствования как у мужчин, так и у женщин единичны – их значительно меньше, чем с НИ.

При восприятии времени характер корреляций VI_1 с показателями когерентности у мужчин и женщин отличается. 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. 4).

У женщин при воспроизведении длительности без обратной связи в трех из четырех исследованных частотных диапазонах (исключение – диапазон 40–49 Гц) обнаружены значимые корреляции между VI_1 и пока-

зателями 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 по результатам деятельности наибольшее количество значимых корреляций обнаружено в диапазонах 61–70 Гц и 40–49 Гц. Причем, чем выше VI_1 , тем выше уровень когерентности в левом полушарии и выше уровень связей между вертексом и корковыми областями левого полушария (рис. 5).

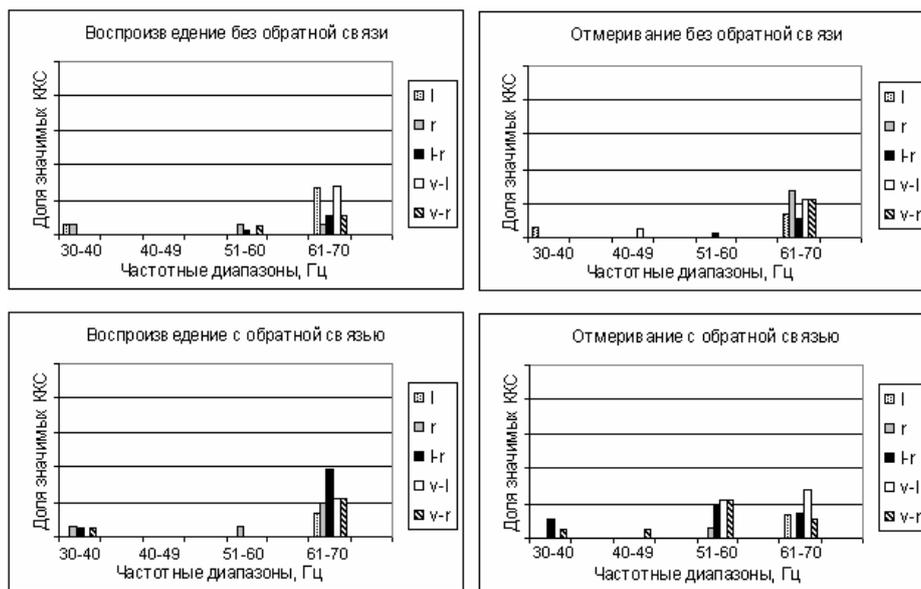


Рис. 4. Корреляция вербального интеллекта (лингвистический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин (условные обозначения – на рис. 2)

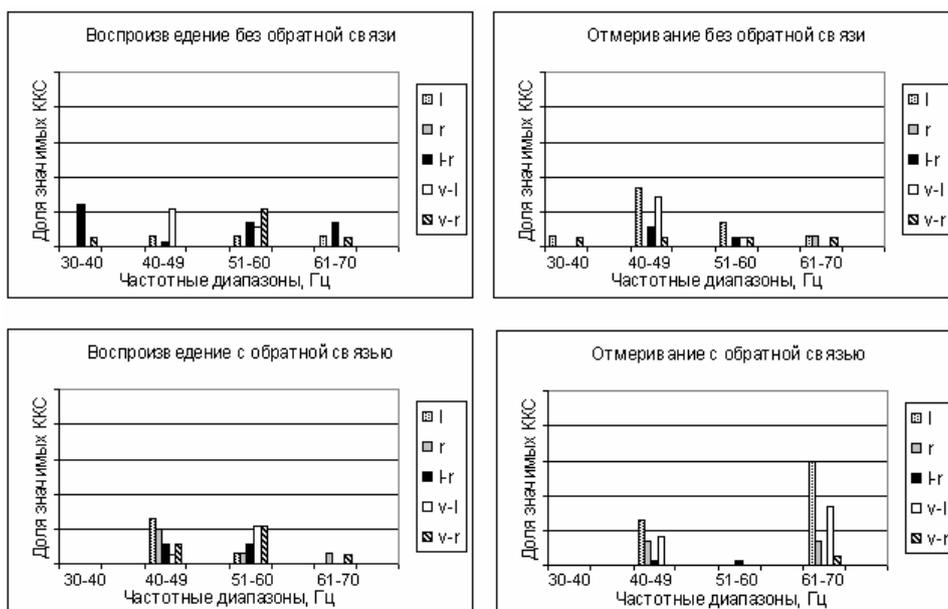


Рис. 5. Корреляция вербального интеллекта (лингвистический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у женщин (условные обозначения – на рис. 2)

В состоянии спокойного бодрствования количество значимых корреляций между VI_2 , который оценивался по результатам математического теста, и показателями когерентности как у мужчин, так и у женщин невелико.

Однако у мужчин в диапазоне 60–70 Гц наблюдается большее количество значимых корреляций, особенно с межполушарными связями. У женщин значимые корреляции между VI_2 и показателями межполушарной когерентности наблюдаются, как и у мужчин, в диапазонах 61–70 Гц, а также в диапазоне 40–50 Гц.

Как у мужчин, так и у женщин количество значимых корреляций между VI_2 и уровнем когерентности при восприятии времени невелико (рис. 6, 7).

У мужчин относительно большое количество значимых корреляций между VI_2 и уровнем когерентности наблюдается при воспроизведении длительности с обратной связью в частотном диапазоне 61–70 Гц (рис. 6).

У женщин больше значимых корреляций между VI_2 и показателями межполушарной когерентности в диапазоне 51–60 Гц. У них же больше корреляций VI_2 с когерентными связями между разными областями коры в диапазоне 61–70 Гц (рис. 7).

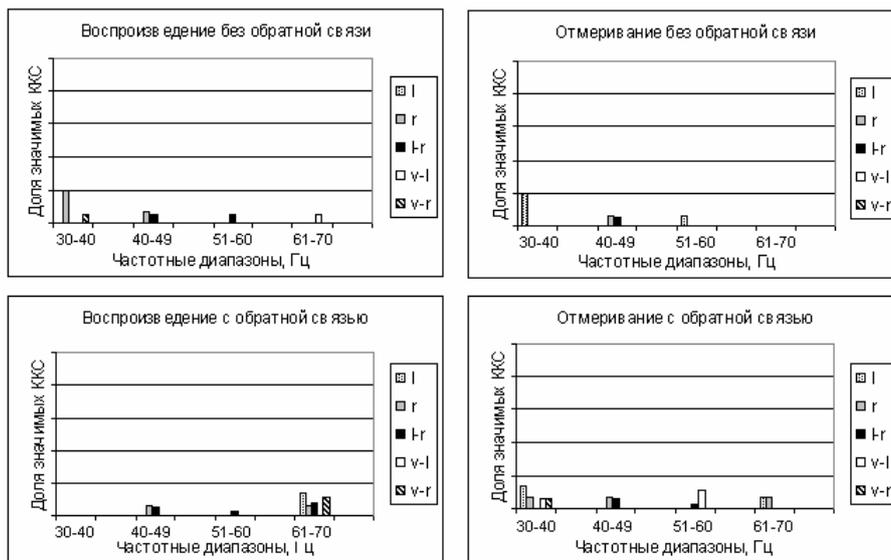


Рис. 6. Корреляция вербального интеллекта (математический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин (условные обозначения – на рис. 2)

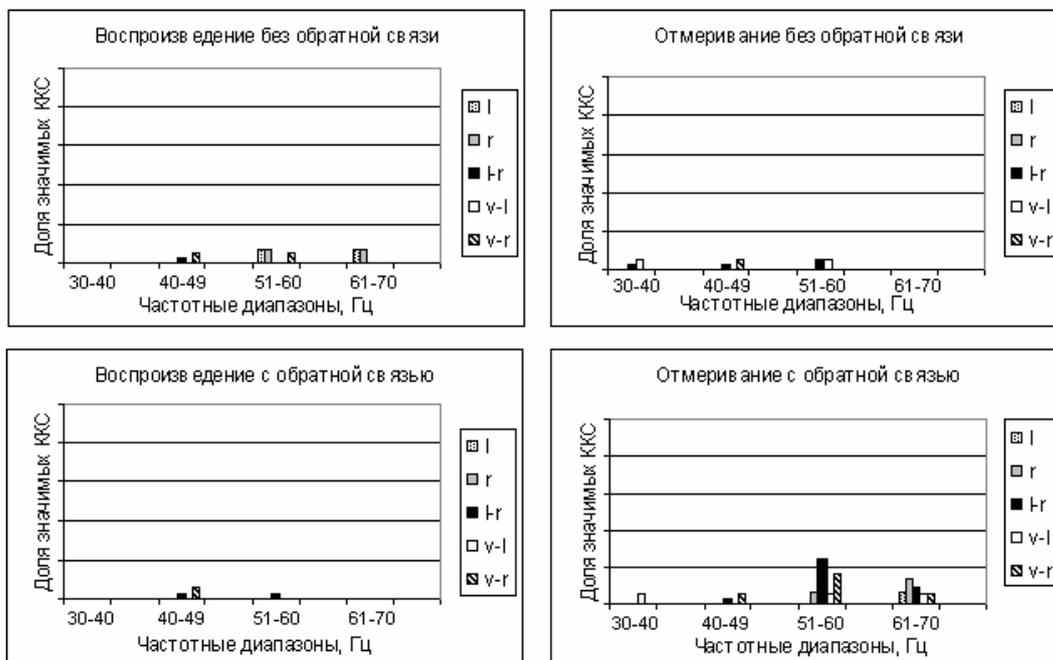


Рис. 7. Корреляция вербального интеллекта (математический тест) с показателями когерентности при восприятии времени у женщин (условные обозначения – на рис. 2)

Таким образом, проведенные исследования позволили обнаружить наличие статистически значимых

корреляций между показателями вербального и невербального интеллекта и 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. Полученные данные хорошо согласуются с работами ряда авторов [6–9], в которых обнаружена зависимость корковых взаимодействий от состояния и индивидуальных особенностей человека, от вида и этапа выполняемой деятельности в частотном диапазоне ЭЭГ от 0,5 до 30 Гц. Однако в отличие от ранее полученных данных [9], при восприятии времени нами обнаружена преимущественно положительная корреляция вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма. Характер обнаруженных корреляций свидетельствует о том, чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на этих частотах. Полученные данные указывают на особую роль гамма-ритма в формировании интеллектуальных способностей человека.

Изучение взаимосвязи точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма. Проведенный анализ показал, что точность восприятия интервалов времени длительностью 200 и 800 мс статистически значимо связана с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Характер

этих связей зависит от частотного диапазона гамма-ритма, от способа шкалирования интервалов времени, а также от наличия или отсутствия обратной связи о результатах деятельности. Так, например, у мужчин 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 40–50 Гц наблюдается корреляция модуля относительной ошибки репродукции указанного интервала с уровнем левополушарной когерентности.

Корреляционный анализ в частности 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 и точностью восприятия времени. Эти результаты не совпадают с ранее полученными данными о преимущественно положительной корреляции указанных показателей в частотном диапазоне ЭЭГ от 0,5 до 30 Гц [9]. Возможно, эти отличия обусловлены разной функциональной значимостью высокочастотных и низкочастотных составляющих ЭЭГ.



Рис. 8. Корреляция модуля относительной ошибки репродукции интервала 200 мс с показателями когерентности у мужчин (условные обозначения – на рис. 2)

Таким образом, проведенные исследования выявили отчетливые связи показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма.

Установлено, что характер этих связей отличается у юношей и девушек, зависит от состояния человека, частотного диапазона гамма-ритма и способа шкалирования интервалов времени.

Важно отметить, что при разных режимах восприятия времени обнаружена преимущественно положительная корреляция показателей вербального и невербального интеллекта с уровнем внутри- и межполушарной когерентности на частотах гамма-ритма. Эти данные свиде-

тельствуют о том, чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на частотах гамма-ритма.

Полученные данные позволяют предположить, что индивидуальные различия уровня интеллекта и точности восприятия времени могут быть связаны с разной способностью нейронов к функциональному объединению путем синхронизации их активности на частоте гамма-ритма. В пользу этого свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности, при различных дегенеративных заболеваниях и старении, которые сопровождаются снижением умственных способностей, наблюдается снижение мощности гамма-ритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма // Журнал высшей нервной деятельности. 2000. Т. 50, вып. 5. С. 791–803.
2. Singer W. Response synchronization of cortical neurons: an epiphenomenon or solution to the binding problem? // *Ibro News*. 1991. Vol. 19, № 1. P. 6–7.
3. Crick F., Koch Ch. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? // *Nature*. 1995. Vol. 375, № 11. P. 121–123.
4. Pulvermuller F., Priessl H., Lutzenberger W. Spectral responses in the gamma-band: physiological signs of higher cognitive processes? // *Neuro Report*. 1995. Vol. 6. P. 2057–2064.
5. Айзенк Г.Ю. Классические IQ тесты. М.: ЭКСМО-Пресс, 2001. 192 с.
6. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. М.: Наука, 1987. 156 с.
7. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Влияние свойств нервной системы и темперамента на пространственную организацию ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46, № 5. С. 849–858.
8. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Пространственная организация ЭЭГ и индивидуальные психологические характеристики // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46, № 4. С. 689–698.
9. Бушов Ю.В., Ходанович М.Ю., Иванов А.С., Светлик М.В. Системные механизмы восприятия времени. Томск: Изд-во ТГУ, 2007. 150 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 18 ноября 2008 г.