

По типу интеграции экспертной системы с программными продуктами других типов различают:

– **Автономные ЭС** работают непосредственно в режиме консультаций с пользователем для специфически «экспертных» задач, для решения которых не требуется привлекать традиционные методы обработки данных (расчеты, моделирование и т. д.).

– **Гибридные ЭС** представляют программный комплекс, агрегирующий стандартные пакеты прикладных программ (например, математическую статистику, линейное программирование или системы управления базами данных) и средства манипулирования знаниями. Это может быть интеллектуальная надстройка над ППП или интегрированная среда для решения сложной задачи с элементами экспертных знаний [3].

Нашу экспертную систему можно типизировать следующим образом. По решаемой задаче – это система интерпретации данных, потому как в основе ле-

жит интерпретация данных о результатах тестирования на основании статистических моделей. Система является квазидинамической, так как база данных результатов тестирования (матрица тестирования) периодически заполняется (во время каждого сеанса тестирования). По степени интеграции с другими программами система является гибридной, так как помимо выработки рекомендаций по тестам необходимо в рамках поставленной задачи определять множество параметров по различным моделям анализа результатов тестирований. Следовательно, конечный продукт предполагает совместную работу ЭС, математического блока расчета параметров и средства управления базами данных.

Такая ЭС позволит преподавателям без дополнительных знаний тестологии создавать качественные тесты на основе рекомендаций, генерируемых в автоматическом режиме.

Литература

1. Минин М. Г. Диагностика качества знаний и компьютерные технологии обучения. Томск: Изд-во ТГПУ, 2000. 216 с.
2. Маслак А. А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах. Славянск-на-Кубани: Изд-во СГПИ, 2006. 333 с.
3. Экспертные системы: структура и классификация. <http://www.ssti.ru/>

Поступила в редакцию 25.12.2008

УДК 612. 821.3: 51-76

Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, Е. П. Крутенкова

КОРРЕЛЯЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТА И ТОЧНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ВРЕМЕНИ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ МОЗГА

Томский государственный университет

В последние годы пристальное внимание исследователей привлекает высокочастотная электрическая активность мозга, так называемый гамма-ритм. Частота этого ритма варьирует по данным разных авторов [1–3] от 30 до 80, 200 Гц и более, а амплитуда не превосходит 5–10 мкВ. Присутствие этого ритма обнаружено не только у человека, но и у животных [4]. Имеются данные о том, что основную роль в электрогенезе гамма-ритма частотой от 30 до 80 Гц играют постсинаптические потенциалы, а колебания более высокой частоты являются отражением суммарной синхронизированной импульсной активности нейронов [4]. Согласно популярной в настоящее время гипотезе, гамма-ритм у человека играет ключевую роль в обеспечении когнитивных процессов. Это подтверждают полученные в последнее время данные о связи гамма-ритма с процессами восприятия [5], внимания [1], сознания [6] и обработки семантической информации [7]. Имеются данные о том, что ампли-

туда и частота этого ритма зависят от состояния человека и вида выполняемой когнитивной задачи [8, 9]. Поскольку частотные параметры гамма-ритма близки к нейронной активности, полагают, что он отражает активность нейронных сетей. Считают [6], что именно на частоте гамма-ритма происходит синхронизация активности и функциональное объединение пространственно удаленных популяций нейронов при осуществлении сознательной деятельности. 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 показал, 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

высокочастотной электрической активностью мозга – гамма-ритмом.

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 интервалов времени длительностью 200 и 800 мс при наличии и в отсутствие обратной связи о результатах деятельности. В исследованиях участвовали добровольцы, практически здоровые юноши (27 человек) и девушки (29 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 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 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 [10] исследовали вербальный (ВИ) и невербальный интеллект (НИ). С целью выделения интересующего частотного диапазона (30–40, 40–49, 51–60 и 60–70 Гц) ЭЭГ предварительно фильтровали. Эпоха анализа составляла 4 с. Выбранный участок ЭЭГ обязательно включал этап предъявления стимула, этап отмеривания или воспроизведения заданного интервала времени, а в случае режимов с об-

ратной связью также этап предъявления сигнала ошибки. При исследовании пространственной синхронизации электрической активности мозга на частоте гамма-ритма в каждом частотном диапазоне ЭЭГ (30–40, 40–49, 51–60, 61–70 Гц) подсчитывали среднее значение функции когерентности. С целью контроля мозгового происхождения гамма-ритма использовали метод дипольной локализации [11]. При изучении фазовых взаимодействий между гамма-колебаниями и низкочастотными составляющими ЭЭГ использовали вейвлетный биспектральный анализ [12]. В качестве интегральной характеристики уровня фазовых взаимодействий между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ (0,5–30 Гц) использовали полусумму значений функции бикогерентности в исследуемом частотном диапазоне ЭЭГ. При анализе корреляционных связей между исследуемыми показателями подсчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (ККС). Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов прикладных программ «Statistica-5.5» и «MatLab-6.5».

Результаты исследования и их обсуждение

1) Изучение взаимосвязи показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма. При восприятии времени у мужчин 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 61–70 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 (см. рис. 1).

На оси ординат отложена доля значимых ККС 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;
- г – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем правополушарных связей;
- г-1 – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем межполушарных связей;

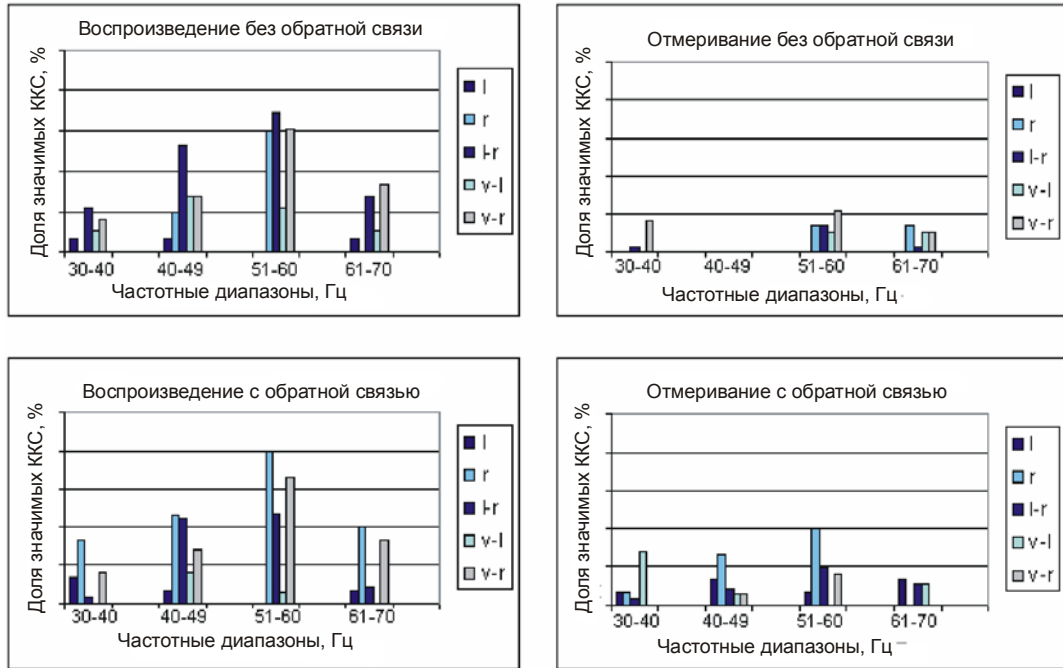


Рис. 1. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин

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 женщин, так же 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. 2).

Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

При восприятии времени характер корреляций ВИ1, который оценивался по результатам лингвистического теста, с показателями когерентности у мужчин и женщин отличается. У мужчин во всех исследованных режимах восприятия времени наибольшее количество значимых корреляций наблюдается в диапазо-

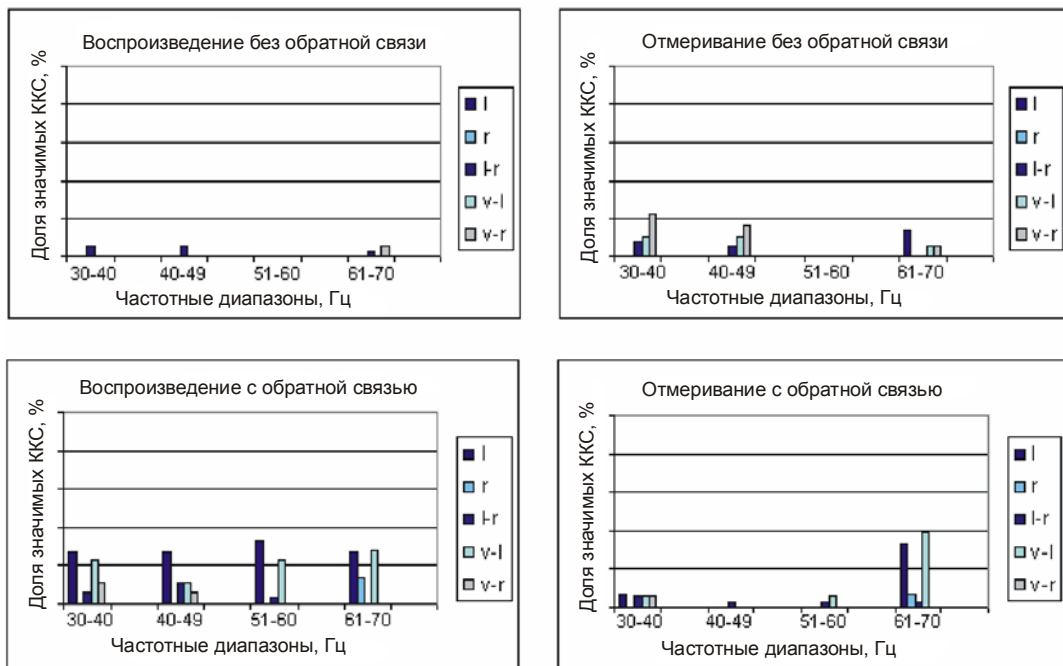


Рис. 2. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у женщин

не 61–70 Гц, а при отмеривании длительности с обратной связью еще и в диапазоне 51–60 Гц. У женщин при воспроизведении длительности без обратной связи в трех из четырех исследованных частотных диапазонах (исключение – диапазон 40–49 Гц) обнаружены значимые корреляции между ВИ1 и показателями когерентности. При воспроизведении длительности с обратной связью наибольшее количество значимых корреляций наблюдается в частотных диапазонах 40–50 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 обнаружено в диапазонах 61–70 и 40–49 Гц. Причем, чем выше ВИ1, тем выше уровень когерентности в левом полушарии и выше уровень связей между вертексом и левым полушарием. Как у мужчин, так и у женщин количество значимых корреляций между ВИ2, который оценивался по результатам математического теста, и уровнем когерентности при восприятии времени, невелико. У мужчин относительно большое количество значимых корреляций между ВИ2 и уровнем когерентности наблюдается при воспроизведении длительности с обратной связью в частотном диапазоне 61–70 Гц. У женщин 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 61–70 Гц.

Таким образом, проведенные исследования позволили обнаружить статистически значимые корреляции вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма. Характер обнаруженных корреляций отличается у юношей и девушек, что, вероятно, обусловлено связанными с полом особенностями латеральной организации мозга [13]. Он также зависит от вида выполняемой деятельности и частотного диапазона гамма-ритма. Полученные данные хорошо согласуются с работами ряда авторов [14–17], в которых обнаружена зависимость корковых взаимодействий от состояния и индивидуальных особенностей человека, от вида и этапа выполняемой деятельности в низкочастотном диапазоне ЭЭГ. Однако наши исследования показали, что при восприятии времени на частотах гамма-ритма наблюдается не отрицательная, а преимущественно положительная корреляция вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых связей. Характер обнаруженных корреляций свидетельствует о том, что чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на частотах гамма-ритма.

Кроме того, проведенный анализ показал, что точность восприятия времени статистически значимо связана с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Оказалось, что 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, 40–49 и 51–60 Гц) и только при воспроизведении длительности этого интервала без обратной связи о результатах деятельности. 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 [17]. Возможно, эти отличия обусловлены разной функциональной значимостью высокочастотных и низкочастотных составляющих ЭЭГ.

2) Изучение фазовых взаимодействий между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Проведенный анализ позволил обнаружить статистически значимые корреляции вербального и невербального интеллекта с уровнем 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 мужчин в основном положительные (3 из 4). В ряде случаев величина найденных ККС достигает по абсолютной величине 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. Так, например, на этапе «начало стимула» при отмеривании интервалов времени без обратной связи у девушек

обнаружены 8 значимых ККС (из них 7 отрицательные), а у юношей только 2 и оба отрицательные. При этом уровень найденных корреляций по абсолютной величине варьировал от 0,56 до 0,94.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что высокочастотная электрическая активность мозга, так называемый 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 корреляции показателей интеллекта и точности восприятия времени с уровнем фазовых взаимодействий между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ. Характер обнаруженных связей, в частности, свидетельствует

о том, что чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на частотах гамма-ритма. Полученные результаты 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 этого свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности, известно, что при различных дегенеративных заболеваниях и старении, которые сопровождаются снижением умственных способностей, наблюдается снижение мощности гамма-ритма.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РГНФ № 07-06-00167а.

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. Hermann C. S., Demiralp T. Human EEG gamma oscillations in neuropsychiatric disorders // Clin. Neurophysiol. 2005. V. 116. P. 2719–2733.
3. Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Косицин Н.С. Нейробиологические исследования биоэлектрической активности мозга в диапазоне гамма-ритма у человека // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 17. № 3. С. 3–10.
4. Думенко В.Н. Высокочастотные компоненты ЭЭГ и инструментальное обучение. М.: Наука, 2006. 151 с.
5. Singer W. Response synchronization of cortical neurons: an epiphenomenon or solution to the binding problem? // Ibro News. 1991. V. 19. No. 1. P. 6–7.
6. Crick F., Koch Ch. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? // Nature. 1995. V. 375. No. 11. P. 121–123.
7. Pu1vermu11er F., Priesl H., Lutzenberger W. etc. Spectral responses in the gamma-band: physiological signs of higher cognitive processes? // Neuro Report. 1995. V. 6. P. 2057–2064.
8. Vanquet J. P. Spectral analysis of the EEG meditations // EEC and Clin. Neurophysiol. 1973. V. 35. P. 143.
9. Spidel J. D., Ford M. R., Sheer D. E. Task dependent cerebral lateralization of the 40 Hz EEG rhythm // Psychophysiology. 1979. V. 16. P. 347–350.
10. Айзенк Г. Ю. Классические IQ тесты. М.: ЭКСМО-Пресс, 2001. 192 с.
11. Коптелов Ю.М., Гнездицкий В.В. Анализ скальповых потенциальных полей и трехмерная локализация источников эпилептической активности мозга человека // Журн. невропатологии и психиатрии. 1989. Т. 89. № 6. С. 11.
12. Короновский А. А., Храмов А. Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматгиз, 2003. 176 с.
13. Вольф Н. В. Половые различия функциональной организации процессов полушарной обработки речевой информации. Ростов на/Д: Изд-во ООО «ЦВВР», 2000. 240 с.
14. Свидерская Н. Е. Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. М.: Наука, 1987. 156 с.
15. 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.
16. Свидерская Н. Е., Королькова Т. А. Пространственная организация ЭЭГ и индивидуальные психологические характеристики // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46. № 4. С. 689–698.
17. Бушов Ю. В., Ходанович М. Ю., Иванов А. С., Светлик М. В. Системные механизмы восприятия времени. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. 150 с.

Поступила в редакцию 19.01.2009