УДК 612.8

ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ВРЕМЯ РЕАКЦИИ

Станкова Е.П. [1], Мышкин И.Ю. [1]

[1]*ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», Ярославль, Россия (150057, г.Ярославль, пр-д Матросова, 9), stankova-katia@yandex.ru*

Исследовано влияние параметров электроэнцефалограммы и психологических особенностей испытуемого, таких как уровень внимания, тревожность, нейротизм на время реакции испытуемого. Показано, что время реакции выбора связано с параметрами электрической активности мозга, в то время как скорость простой сенсомоторной реакции больше связана с психологическим состоянием на момент обследования. Испытуемые с высоким уровнем реактивной тревожности и нейротизма дольше реагировали на стимул в случае простой сенсомоторной реакции. Время реакции выбора тем быстрее, чем меньше амплитуда и больше частота альфа-ритма. Разнообразие периодических режимов мозга увеличивает время реакции выбора и в то же время обеспечивает его стабильность. Также показано, что чем выше частота альфа-ритма на электроэнцефалограмме испытуемого и выше его уровень внимания, тем более точным является значение скорости реакции в нескольких вариантах опыта.

Ключевые слова: время простой сенсомоторной реакции, время реакции двуальтернативного выбора, корреляционная размерность ЭЭГ, частота альфа-ритма, внимание, тревожность, нейротизм.

THE INFLUENCE THE INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF EEG AND PSYCHO PHYSIOLOGICAL FEATURES ON REACTION TIME

Stankova E.P. [1], Mishkin I.Y. [1]

[1]*Yaroslavl State University n.a. P.G. Demidov, Yaroslavl, Russia (150057, Yaroslavl, tr. Matrosov, 9), stankova-katia@yandex.ru*

We have studied the influence the individual characteristics of the electroencephalogram and psychological characteristics of the subjects, such as the level of attention, anxiety, neuroticism on the reaction time. It has shown that the choice reaction time associated with the parameters of the electrical activity of the brain, while the time of simple sensorimotor reaction more associated with the psychological state of the subject at the time of the observation. The subjects, who had higher levels of neuroticism and level of reactive anxiety, longer reacted to the stimulus in the case of simple sensorimotor reaction. Choice reaction time is the less, if the frequency of the alpha rhythm is the more and amplitude of the alpha rhythm is the smaller. High diversity of periodic regimes of brain increases choice reaction time and , at the same time ensures its stability. It has also shown that reaction time is more accurate and stable in several variants of the experiment, if the frequency of the alpha rhythm in the electroencephalogram and the level of attention of the subject were higher.

Keywords: reaction time, choice reaction time, correlation dimension of the EEG, the frequency of the alpha rhythm, attention, anxiety, neuroticism.

Введение

Индивидуальные характеристики электрической активности мозга, оцениваемые по электроэнцефалограмме (ЭЭГ), по данным ряда исследователей, являются устойчивыми показателями индивидуальных различий человека. В качестве критериев используют частотные и амплитудные характеристики основных ритмов ЭЭГ, в основном альфа-ритма, соотношения спектральных мощностей, уровни синхронизации ритмов. Таким образом, использование характеристик ЭЭГ как объективных показателей интеллекта представляется обоснованным, хотя гипотеза скорости переработки информации мозгом не имеет пока серьезных нейрофизиологических аргументов.

По некоторым представлениям, определенная часть индивидуальных различий в уровне интеллекта объясняется тем, насколько быстро индивид может обрабатывать информацию, причем независимо от приобретенных знаний и навыков. Поэтому времени как фактору, обеспечивающему эффективность умственной деятельности, и в настоящее время придается довольно большое значение [7]. В параметрах электроэнцефалограммы содержатся информативные признаки, обеспечивающие прогноз характера ответа на стимул в психомоторном тесте; признаки, обеспечивающие прогноз характера ответа на стимул, индивидуальны; признаки, обеспечивающие прогноз характера ответа на стимул, устойчивы и сохраняются при изменении функционального состояния [1; 8].

Цель работы состояла в исследовании связи скоростных характеристик деятельности с индивидуальными параметрами ЭЭГ и психофизиологическими особенностями испытуемых.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 55 человек (мужчины и женщины) в возрасте от 20 до 23 лет. Регистрация ЭЭГ проводилась в стандартных условиях, в положении сидя, с закрытыми глазами, в состоянии спокойного бодрствования. Запись проводилась в течение 5-6 минут. Применялся монополярный способ регистрации ЭЭГ с объединенным ушным референтным электродом. 3 пары активных электродов располагались в соответствии с международной системой «10-20», в точках, соответствующих корковым зонам: затылочным, центральным и лобным (O1, O2, C3, C4, F3, F4).

Запись проводилась при помощи компьютерного энцефалографа «КЭЭГ-21» фирмы Астел (Россия). Сопротивление электродов не превышало 20 кОм. Анализ ЭЭГ осуществлялся с помощью программного комплекса BrainGraph. Корреляционную размерность (CD) ЭЭГ рассчитывали с помощью программного обеспечения, разработанного в ЯрГУ.

Испытуемым было предложено пройти несколько тестов.

Первый - тест на время простой сенсомоторной реакции. Этот тест являлся элементарной моделью скоростных характеристик деятельности. Он состоял в том, что испытуемому компьютерная программа предъявляла на экране монитора геометрическую фигуру (квадрат) красного цвета. При ее предъявлении испытуемый должен был нажать определенную клавишу на клавиатуре. Длительность экспозиции составляла 100 миллисекунд, кол-во предъявлений – 20, интервал между предъявлениями – случайный, в пределах 3-7 секунд.

Второй тест - тест на время реакции выбора - являлся моделью принятия решения. Во время этого теста программа предъявляла на экране монитора геометрическую фигуру

(квадрат) двух цветов: красного и зеленого. После предъявления красного квадрата требовалось нажать клавишу M, зеленого - клавишу Z. Длительность предъявления составляла 100 миллисекунд, кол-во предъявлений – 20, интервал между предъявлениями – случайный, в пределах 3-7 секунд.

Третий тест – корректурная проба Бурдона.

Предварительно, в начале исследования у всех испытуемых был оценен уровень ситуативной и личностной тревожности с помощью опросника Спилберга-Ханина и уровень нейротизма по тесту Г. Айзенка.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи пакета программ Statistica. В качестве количественной оценки зависимости применялся ранговый коэффициент корреляции Спирмена.

Результаты исследования их обсуждение

Опираясь на литературные данные, мы планировали получить положительную зависимость между временем реакции и параметрами, характеризующими выраженность альфа-ритма, такими как амплитуда, мощность и индекс ритма, и отрицательную зависимость между частотой альфа-ритма и временными параметрами реакции. Большинство испытуемых были правшами. Мы ожидали получить наибольшие корреляции для реакции левой рукой, потому что альфа-ритм у правшей обычно лучше выражен в правом затылочном отведении. В таблицах 1 и 2 представлены коэффициенты корреляции между спектральными характеристиками альфа-ритма и параметрами времени реакции. Из таблицы 1 видно, что время реакции двуальтернативного выбора левой рукой отрицательно связано с частотой альфа-ритма. То есть чем выше у испытуемого была частота альфа-ритма, тем меньше у него было время реакции, иными словами, тем быстрее он реагировал на стимул.

Таблица 1

Связь между частотой альфа-ритма и скоростью реакции

Параметр	Коэффициент корреляции с частотой альфа-ритма в отведениях					
	O1	O2	C3	C4	F3	F4
ВР	-0,141	-0,110	-0,041	-0,072	-0,052	-0,023
Дисп ВР	**-0,284***	-0,218	-0,217	-0,250	**-0,291***	**-0,309***
ВРВ	-0,188	-0,194	-0,076	-0,154	-0,137	-0,092
Дисп ВРВ	-0,259	-0,228	-0,136	-0,239	-0,190	-0,186
ВРВ левая	**-0,289***	**-0,284***	-0,205	**-0,299***	-0,228	-0,187
Дисп ВРВ	-0,207	-0,161	-0,048	-0,158	-0,127	-0,115
ВРВ правая	-0,220	-0,224	-0,199	-0,173	-0,204	-0,157

Дисп ВРВ	-0,212	-0,196	**-0,277***	**-0,276***	-0,250	-0,235

* - достоверная корреляция на уровне значимости p<0,05.

ВР – время простой сенсомоторной реакции; дисп ВР – дисперсия показателя времени простой сенсомоторной реакции; ВРВ – время реакции выбора; дисп ВРВ – дисперсия показателя времени реакции выбора.

По данным ряда исследователей, считается, что большая динамичность нервных процессов сочетается с высокой частотой альфа-ритма, малой его амплитудой и низким индексом [1]. Частота альфа-ритма отражает смену процессов возбуждения и торможения в нейронах коры, которые, в свою очередь, могут быть связаны с квантованием информации. Чем быстрее и чаще информация разбивается на отдельные инварианты, тем быстрее она обрабатывается.

Мы получили, что дисперсия времени реакции отрицательно связана с частотой альфа-ритма. Чем выше была частота альфа-ритма, тем более стабильным было значение скорости реакции в нескольких вариантах опыта. Можно полагать, что стандартное отклонение реакции выбора отражает устойчивость внимания. Отрицательная корреляция значения стандартного отклонения ЛП реакции выбора со значениями спектральной мощности высокочастотных ритмов ЭЭГ была отмечена также в работе [3]. Коэффициент корреляции дисперсии скорости реакции двуальтернативного выбора и коэффициента продуктивности в корректурной пробе равен -0,46. В то же время значимой связи коэффициента продуктивности с частотой альфа-ритма не обнаружено. Существуют данные о том, что пиковая частота альфа-ритма положительно коррелирует с эффективностью выполнения когнитивных заданий [9]. Можно предположить, что частота средняя альфа-ритма и уровень внимания испытуемого - это два независимых параметра, влияющих на стабильность реакции.

Слабая взаимосвязь между исследуемыми показателями, если судить по абсолютным величинам коэффициентов корреляции, может быть объяснена тем, что измеренные параметры реагирования являются, как минимум, суммой двух различных составляющих времени реакции. Одна из них связана с процессами решения, выполняемыми ЦНС и направленными на принятие решения в то время, когда предъявляется тестовый сигнал. Другая составляющая касается времени, которое требуется для преобразования и передачи сенсорной информации мозгу, и времени, которое требуется ЦНС для посылки эфферентных команд к рабочим органам. С другой стороны, как было показано в работе [6], интегральным показателем альфа-активности является ее индивидуальная частота, которая у взрослых людей 25—40 лет составляет 10 ± 0,5 Гц. Исследователи отмечают, что для лиц,

отличающихся по показателю частоты альфа-активности, характерны разные поведенческие стратегии. Однако наряду с этим выявлена обширная группа разнородных факторов, влияющих на частоту альфа-ритма: внутрииндивидуальная вариабельность частоты максимального пика альфа-ритма в зависимости от факторов возраста, нейрогуморального статуса, характера психофармакологического воздействия, выраженности процессов утомления. При этом беглость выполнения когнитивных и психомоторных заданий, а также степень владения профессиональными навыками выше у лиц с высокой (> 10 Гц), чем с низкой (< 10 Гц) альфа-частотой (цит. по: Базанова, 2009).

Таблица 2 иллюстрирует положительную связь времени реакции двуальтернативного выбора и амплитуды альфа-ритма.

Таблица 2

Связь времени реакции с амплитудой альфа-ритма

Параметр	Коэффициент корреляции с амплитудой альфа-ритма в отведениях					
	O1	O2	C3	C4	F3	F4
ВР	0,024	0,093	0,174	0,229	0,240	0,264
Дисп ВР	0,040	0,120	-0,053	0,028	-0,097	-0,021
ВРВ	0,061	0,139	0,124	0,202	0,194	0,252
Дисп ВРВ	-0,173	-0,114	-0,169	-0,058	-0,131	-0,058
ВРВ левая	-0,008	0,146	0,152	0,251	0,232	**0,305***
Дисп ВРВ	-0,194	-0,104	-0,158	-0,052	-0,124	-0,074
ВРВ правая	-0,009	0,012	0,152	0,086	0,116	0,145
Дисп ВРВ	-0,019	-0,041	-0,076	-0,124	-0,155	-0,110

* - достоверная корреляция на уровне значимости $p<0,05$.

ВР – время простой сенсомоторной реакции; дисп ВР – дисперсия показателя времени простой сенсомоторной реакции; ВРВ – время реакции выбора; дисп ВРВ – дисперсия показателя времени реакции выбора.

Чем больше была амплитуда альфа-ритма на ЭЭГ испытуемого, тем медленнее он реагировал на стимул. Альфа-ритм часто называют ритмом покоя, или ритмом холостого хода ЭЭГ. Видимо, большая выраженность этого ритма (о которой можно косвенно судить по амплитуде) накладывает определенные ограничения на скорость обработки информации. Статистически значимая взаимосвязь была выявлена между ЛП ВР и амплитудой альфа-ритма лобной области и объясняется тем, что по общепринятой точке зрения корковые лобные области мозга выполняют программирующие, контролирующие и интегративные функции при обеспечении различных видов деятельности. Можно полагать, что повышение частоты доминирующих ритмов способствует увеличению скорости обработки информации.

Об этом косвенно свидетельствуют данные, приведенные в работе [3], где было отмечено, что средние значения ЛП простой сенсомоторной реакции достоверно отрицательно коррелировали со значениями увеличения спектральной мощности ЭЭГ в β-1- и β-2-поддиапазонах, а средние значения ЛП сенсомоторной реакции двуальтернативного выбора достоверно отрицательно коррелировали со значениями возрастания спектральной мощности ЭЭГ в α-3-поддиапазоне. В ситуации, когда у здоровых испытуемых регистрировали ЭЭГ и время реакции в ночное время, было обнаружено, что замедление ритмов и увеличение спектральной мощности медленной ритмики приводит к значительному увеличению латентного периода простой реакции и реакции выбора [10].

Из таблиц 1 и 2 видно, что с параметрами альфа-ритма связана лишь скорость/время реакции выбора, а значимых корреляций между временем простой сенсомоторной реакции и спектральными характеристиками альфа-ритма обнаружено не было. В то же время наши исследования показали, что время простой сенсомоторной реакции положительно связано с такими личностными свойствами, как нейротизм и реактивная (ситуативная) тревожность, притом в равной степени. Коэффициенты корреляции с обоими параметрами равны 0,36. Таким образом, чем больше у испытуемого был уровень нейротизма, и чем выше реактивная тревожность, тем дольше он реагировал на стимул в случае простой сенсомоторной реакции. В то же время ни уровень нейротизма, ни уровень тревожности значимо не связаны с временем реакции выбора. Скорость реакции выбора мы рассматриваем как модель принятия решения. Можно предположить, что этот параметр характеризует базовые процессы обработки информации головным мозгом. Примечательно, что время реакции выбора связано с параметрами электрической активности мозга, в то время как время простой сенсомоторной реакции больше связано с психологическим состоянием испытуемого на момент обследования.

Помимо спектральных характеристик альфа-ритма, при анализе ЭЭГ мы использовали корреляционную размерность ЭЭГ. Коэффициенты корреляции между этим параметром и скоростью реакции представлены в таблице 3.

Таблица 3

Связь времени реакции с корреляционной размерностью ЭЭГ

Параметр	Коэффициент корреляции с CD ЭЭГ в отведениях					
	O1	O2	C3	C4	F3	F4
ВР	0,011	0,092	**0,275***	0,144	0,140	0,090
Дисп ВР	-0,253	0,157	0,084	0,099	0,074	0,082
ВРВ	-0,020	0,134	0,159	0,200	**0,290***	0,096
Дисп ВРВ	**-0,381***	0,260	-0,118	0,039	0,061	0,017

ВРВ левая	0,005	0,163	0,132	0,112	**0,286***	0,093
Дисп ВРВ	**-0,312***	**0,285***	-0,081	0,081	0,051	0,108
ВРВ правая	-0,105	0,048	0,124	0,187	**0,302***	0,193
Дисп ВРВ	-0,259	0,152	-0,034	0,028	0,130	-0,117

* - достоверная корреляция на уровне значимости $p<0,05$.

ВР – время простой сенсомоторной реакции; дисп ВР – дисперсия показателя времени простой сенсомоторной реакции; ВРВ – время реакции выбора; дисп ВРВ – дисперсия показателя времени реакции выбора.

Величина корреляционной размерности (CD) служит показателем разнообразия периодических режимов мозга. Ранее нами была предложена гипотеза о том, что определенный уровень разнообразия электрических периодических процессов мозга связан с его информационными возможностями, в частности, мы показали, что величина корреляционной размерности ЭЭГ положительно коррелирует с объемом кратковременной памяти [5].

Получена достоверная положительная корреляция между ВРВ- и CD-размерностью в левом лобном отведении. Дисперсия ВРВ отрицательно связана с CD-размерностью в F3-отведении. Факт положительной зависимости между величиной корреляционной размерности ЭЭГ и временем простой сенсомоторной реакции ($r=0,56$) был выявлен в работе [15]. Таким образом, возрастание разнообразия ритмов ЭЭГ увеличивает как время реагирования, так и время принятия решения, но повышает точность реагирования.

Результаты, касающиеся как дисперсии времени простой сенсомоторной реакции, так и времени реакции выбора, более однозначны. Возрастание числа активированных нейронных ансамблей ведет к замедлению скорости обработки информации, но одновременно увеличивает стабильность реагирования. Существуют исследования, в которых говориться о том, что высокая корреляционная размерность по-разному влияет на различные виды деятельности. Кануников И.Е. с соавторами [4] отмечает, что испытуемые, имеющие высокую корреляционную размерность, дольше выполняли стереотипную деятельность, чем индивиды с низкой CD-размерностью, но лучше справлялись со сложными заданиями. В нашем случае тест на время реакции двуальтернативного выбора является моделью принятия решения, но в то же время достаточно прост. Поэтому такой тест можно рассмотреть как стереотипную деятельность, успешность выполнения которой, по данным Кануникова, связана с CD-размерностью отрицательно. С нейрофизической точки зрения корреляционная размерность представляет собой количество активированных нейронных ансамблей, которые одновременно вовлечены в деятельность. Высокая корреляционная размерность при выполнении сложной деятельности дает больше адаптационных возможностей. Тесты на

время реакции, где испытуемому приходилось реагировать на квадраты определенного цвета, являются элементарной деятельностью. При этом высокая CD-размерность дает больше вариантов путей распространения возбуждения, и тем самым усложняет выбор.

Заключение

Время реакции двуальтернативного выбора положительно связано с амплитудой альфа-ритма (r = +0,3) и отрицательно связано с частотой альфа-ритма (r = от -0,28 до -0,30). Реакция тем быстрее, чем меньше амплитуда и больше частота альфа-ритма.

Время реакции двуальтернативного выбора имеет положительную связь с разнообразием периодических режимов ЭЭГ (r = от 0.29 до 0.30). Чем больше была корреляционная размерность ЭЭГ испытуемого, тем больше времени ему требовалось для принятия решения, но тем более точным и постоянным оно было. Высокая корреляционная размерность увеличивает время реагирования и в то же время обеспечивает его стабильность.

Время простой сенсомоторной реакции положительно зависит от таких показателей, как уровень нейротизма и уровень реактивной (ситуативной) тревожности, притом в равной степени (r = +0,36). Чем больше у испытуемого был уровень нейротизма, и чем выше реактивная тревожность, тем дольше он реагировал на стимул в случае простой сенсомоторной реакции. Скорость реакции выбора связана с параметрами электрической активности мозга, в то время как скорость простой сенсомоторной реакции больше связана с психологическим состоянием испытуемого на момент обследования.

Дисперсия времени реакции отрицательно связана с частотой альфа-ритма (r = от -0, 28 до -0,31) и с уровнем внимания испытуемого (r= -0,46). Чем выше частота альфа-ритма на электроэнцефалограмме испытуемого и выше его уровень внимания, тем более стабильным является время реакции в нескольких вариантах опыта. Дисперсия времени реакции двуальтернативного выбора также связана с коэффициентом продуктивности в корректурной пробе (r = -0,46).

Список литературы

1. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Успехи физиологических наук. - 2009. - № 3. - С. 32-53.
2. Бороздина О.С. с соавт. Электроэнцефалограмма и когнитивные процессы // XXI съезд физиологического общества имени И.П. Павлова : тезисы докладов. - Калуга, 2010. - С. 80.
3. Изнак А.Ф., Изнак Е.В., Сорокин С.А. Изменения ЭЭГ и времени реакции в процессе терапии апатической депрессии // Журн. невропатологии и психиатрии. – 2011. - № 7. - С. 49-53.

4. Кануников И.Е., Антонова Е.В. Отражение в ЭЭГ человека типа и успешности когнитивной деятельности: применение нелинейных методов в психологии // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. - 2000. - № 8. – С. 953-960.
5. Майоров В.В., Мышкин И.Ю. Корреляционная размерность ЭЭГ и ее связь с объемом кратковременной памяти // Психологический журнал. - 1993. - № 2. - С. 96-104.
6. Тумялис А.В. с соавт. Индивидуальная частота альфа-активности и переживание положительных и отрицательных эмоций // Бюллетень СО РАМН. – 2010. - № 4. - С. 32-42.
7. Чуприкова Н.И. Об онтологической природе интеллекта: системно-структурный подход // Психология интеллекта и творчества: традиции и инновации : материалы научной конференции, посвященной памяти Я.А. Пономарева и В.Д. Дружинина. – М., 2010. - С. 92–101.
8. Щукин Т.Н., Дорохов В.Б., Лебедев А.Н., Луценко Е.В. ЭЭГ прогноз успешности выполнения психомоторного теста при снижении уровня бодрствования: постановка задачи // Научный журнал КубГАУ. - 2004. - № 4. - 1 веб-страница. - URL http://ej.kubagro.ru/2004/04/22/p22.asp/.
9. Angelakis E., Lubar J.F., Stathopoulou S. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness // Clinical Neurophysiology. - 2004. – V. 115. - P. 887–897.
10. Dorokhov V.B. et al. EEG and reaction time: performance analyses at nigtime experiments // Psychopharmacol. Biol. Narcol. - 2005. - Vol. 5, № 2. - P. 892—893.

Рецензенты:

Маслюков П.М., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии с биофизикой ГБОУ ВПО «Ярославская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Ярославль.

Фатеев М.М., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской физики ГБОУ ВПО «Ярославская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Ярославль.