

ISSN 2218–2268

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия образования
Южный научный центр Российской академии наук
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
“ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”
Южное отделение Российской академии образования
Учебно-научно-исследовательский институт валеологии «Южного федерального университета»
Ассоциация центров валеологии вузов России

ВАЛЕОЛОГИЯ

№ 4

2011

27. *Watson R.T. Valenstein E. Heilman K.M. Thalamic neglect. Possible role of the medial thalamus and nucleus reticularis in behavior // Arch. Neurol. 1981. Vol. 38. P. 501–556.*

28. *Winters W.D. Epilipse or anesthesia with ketamin // Anesthesia. 1972. Vol. 18. P. 57.*

29. *Wolfgang Heinke, Stefan Koelsch. The effects of anesthetics on brain activity and cognitive function //*

Current Opinion Anesthesiology. 2010. Vol. 18. № 6. P. 625–631.

Кафедра физиологии человека и животных
Южного федерального университета;
Научно-исследовательский институт
нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного
федерального университета.

УДК 612.821.8, 591.185

Е.К. АЙДАРКИН, М.А. ПАВЛОВСКАЯ, А.Н. СТАРОСТИН

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Исследовано несколько уровней активации организма: вегетативных систем, общей и локальной активации мозга, а также эффективности и качества выполняемой когнитивной деятельности.

Показано, что сокращение межстимульного интервала (МСИ) приводит к повышению эффективности и «цены» деятельности (уровень психо-эмоционального напряжения), что связано с односторонним взаимодействием всех систем организма, обеспечивающих сохранение оптимального уровня МСИ на весь период деятельности. Увеличение МСИ от 4 до 16 секунд проявляется формированием двух самостоятельных состояний, связанных с выполнением задания и с пассивным ожиданием в паузах между стимулами. Локальная активация мозга связана с взаимодействием передней и задней систем внимания, динамика которого определяет лобно-затылочную и межполушарную асимметрию

Ключевые слова: функциональное состояние, уровни активации, сенсомоторная интеграция, внимание, фокус максимальной активности

E.K.AYDARKIN, M.A.PAVLOVSKAYA, A.N.STAROSTIN

IMPACT ON THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONAL STATE OF INTEGRATION SENSORIMOTOR

This article study several levels of activation of the human: autonomic systems, general and local activation of the brain, and efficiency and quality of the cognition.

It is shown that the reduction interstimulation interval (ISI) leads to improved performance and 'value' of activity, which is associated with one-way interaction of all human systems. Increasing the ISI from 4 to 16 seconds shows the formation of two independent states, associated with an assignment and a passive waiting in the intervals between stimuli. Local activation of the brain associated with the interaction between the lateral and medial frontal and the posterior parietal systems of attention, which determines the dynamics of the fronto-occipital and interhemispheric asymmetry

Key words: functional state, levels of activation, the sensorimotor integration, attention, the focus of maximum activity

Наряду с физическими параметрами и значимостью сенсорного стимула важнейшим фактором, влияющим на эффективность реализации сенсомоторных реакций является функциональное состояние (ФС) [1–3], которое представляет собой прогностический показатель для оценки работоспособности человека и определяется степенью активации всех систем организма, задействованных в исследуемом виде деятельности [9]). Интерес к данной проблематике, кото-

рая получила активное развитие в 80–90-х гг. прошлого века, возрос в последние время с развитием направлений, связанных с методами саморегуляции, биообратной связи, созданием человеко-машинного интерфейса, основанного, в частности, на анализе электрических сигналов мозга.

Можно выделить несколько уровней, определяющих степень активации обследуемого:

– уровень активации организма, характеризующийся показателями активности вегетатив-

ных систем (сердечно-сосудистая, дыхательная и т.д.) [6, 7];

- уровень общей активации мозга, связанный с активацией его неспецифических систем и оценивающийся по спектральным характеристикам ЭЭГ (Шаповальников, 1987);

- уровень локальной активации мозга, зависящий от деятельности систем произвольного и непроизвольного внимания, характеризующийся параметрами связанных с событием потенциалов (ССП) [9];

- уровень эффективности и качества деятельности, определяемый временными параметрами, точностью, своевременностью, безошибочностью, надежностью выполнения конкретной сенсомоторной реакции и связанный с психическими и, в первую очередь, с когнитивными процессами [11].

Роль каждого из уровней довольно подробно исследовалась рядом авторов, однако исследования, направленные на изучение их взаимодействия, в современной литературе немногочисленны.

Одна из важнейших проблем в исследованиях подобного рода – это создание методических условий, обеспечивающих формирование широкого диапазона стабильных дискретных состояний. Было показано [3], что к таким экспериментальным парадигмам могут быть отнесены тестовые процедуры с выполнением серий сенсомоторных реакций (СМР) при различных межстимульных интервалах (МСИ) (от 1 до 16 с), увеличение (или уменьшение) которых сохраняет неизменными тестовые условия реализации СМР, снижая (или повышая) степень интеграции необходимых когнитивных процессов при реализации последовательных проб, вводя дополнительные механизмы обеспечения требуемой эффективности деятельности обследуемого, которые, в первую очередь, связаны с изменением степени активации всех уровней, формирующих текущее ФС.

Важным механизмом в поддержании и модуляции ФС является функциональная межполушарная и лобно-затылочная асимметрии, особенности которых были описаны ранее при изучении когнитивных процессов (фронтальной и париетальной систем внимания), сопровождающих стадии сенсомоторной интеграции (СМИ) [4, 14]. Межполушарные характеристики меняются при значимых сдвигах ФС, однако направление изменений зависит от предшествующего уровня межполушарных отношений [8]. Остается открытым вопрос о вкладе горизонтальной и вертикальной асимметризации процессов СМИ в формирование ФС различных активационных уровней.

В настоящее время достаточно глубоко изучен каждый из вышеуказанных механизмов, но отсутствуют публикации об особенностях их взаимодействия в процессе реализации СМИ. Последовательная смена стадий СМИ приводит к изменению баланса лобно-затылочной и билатеральной асимметрии, которая эффективно может быть оценена при анализе динамики изопотенциальных карт ССП в условиях изменения физических параметров и значимости стимулов.

В связи с этим целью настоящей работы было исследование динамики общей активации организма и мозга, локальной активации корковых структур и эффективности реализации сенсомоторной интеграции при варьировании межстимульного интервала.

Методика

В ходе исследования обследуемый располагался в удобном кресле, в освещенной и звукоизолированной комнате и выполнял ряд тестовых процедур (добровольное письменное согласие в соответствии с принципами Хельсинской декларации). В качестве зрительных стимулов применялись вспышки красного светодиода яркостью свечения 9 Кд. Расстояние от источника стимуляции до поверхности глаза составляло 70 см. Слуховыми стимулами служили щелчки (тональные послышки – при ССМР 30–50 мс) длительностью 1 мс и интенсивностью 60 дБ, которые предъявлялись одновременно двумя динамиками, располагающимися в 5 см от каждого уха, соответственно.

Регистрация ЭЭГ, времени реакции (ВР) и режим стимуляции осуществлялись при помощи компьютерного энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (изготовитель НПКФ «Медиком-ЛТД», г. Таганрог). При этом регистрировались ЭЭГ-активность головного мозга в 21 стандартном отведении (система 10–20) с шагом дискретизации 4 мс и частотой пропуска 0,5–70 Гц относительно объединенных ушных электродов. Индифферентный электрод располагался на лбу. Оцифрованная ЭЭГ и ВР экспортировались в MATLAB, где проводилась их дальнейшая обработка.

Для анализа использовались ВР и суммарные ССП (эпоха анализа 1000 мс – 100 мс до момента предъявления первого стимула и 900 мс после). Статистическую оценку полученных результатов проводили посредством дисперсионного анализа ANOVA (уровень значимости различий $p < 0,001$).

При расчете гистограммы частотного распределения RR интервалов использовался класс шириной 20 мс, значения классов откладыва-

лись в значениях, нормированных относительно общего числа кардиоинтервалов. Мощность в диапазоне высоких частот, выраженная в нормализованных единицах HFnu, вычисляется по формуле: $HFnu = HF/(TP-VLF)$, где HF – мощность спектра в диапазоне 0,15–0,4 Гц, TP – общая мощность спектра или полный спектр частот, характеризующих вариабельность сердечного ритма (0,003–0,4 Гц), VLF – сверхнизкочастотные колебания (0,003–0,04 Гц).

Исследования проводились на 48 обследуемых (студенты и сотрудники ЮФУ в возрасте 18–45 лет). При реализации сенсомоторных реакций в зависимости от вида задания испытуемый должен был нажимать соответствующей рукой на клавиши манипулятора типа «мышь». Каждый испытуемый проходил обследование в нескольких тестовых процедурах с использованием зрительных и слуховых стимулов:

- пассивное восприятие сенсорных стимулов;
- простая сенсомоторная реакция;
- сложная СМР различения зрительных и слуховых стимулов (choice reaction);
- тестовая процедура «oddball reaction» использовалась для активации непроизвольного внимания, где в качестве редких и

частых использовались пары разномодальных стимулов (зрительные и слуховые), вероятность которых принимала ряд фиксированных значений (1 и 0; 0,85 и 0,15; 0,5 и 0,5; 0,15 и 0,85; 0 и 1).

В каждой серии предъявлялось 60–120 зрительных и слуховых стимулов при средней частоте стимуляции 0,5; 1; 2; 4; 8 и 16 с и девиацией от средней частоты 20 %, интервал между сериями составлял 30–40 с.

Результаты исследования

Анализ полученных данных показал, что изменение МСИ влияет на степень активации сердечно-сосудистой, дыхательной, двигательной и центральной нервной систем организма.

Из рис. 1 видно, что увеличение МСИ от 1 до 16 с приводило к логарифмическому увеличению ВР с преобладанием ответов правой руки и снижению частоты дыхательных движений. Для сердечно-сосудистой системы наблюдалась U-образная зависимость с минимумом ЧСС при МСИ 4 с. Анализируемые вегетативные параметры при выполнении СМР были выше фоновых значений.

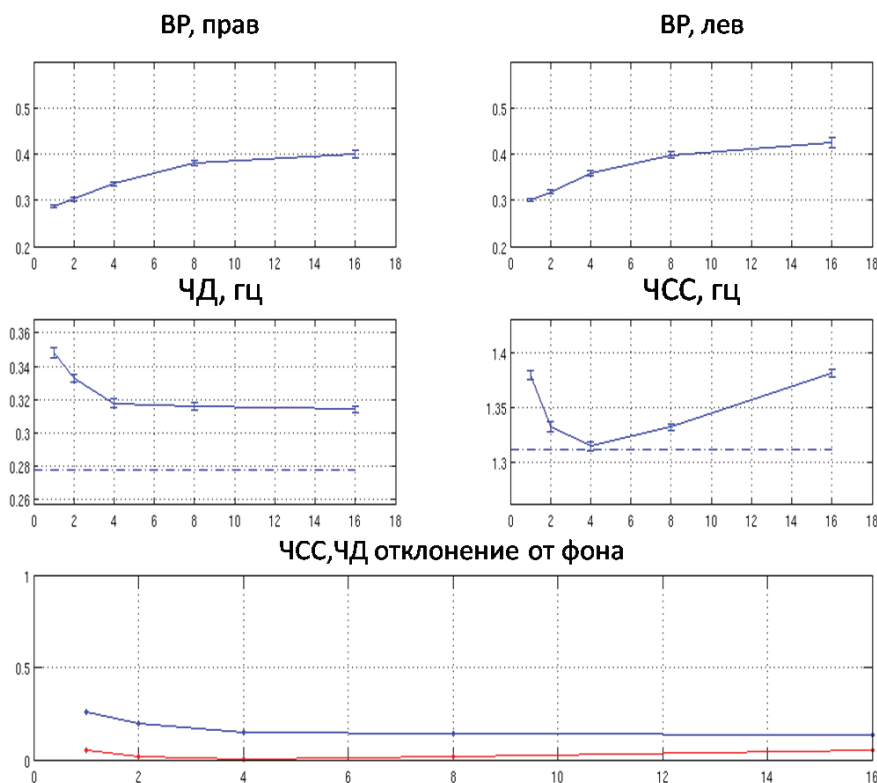


Рис. 1. Зависимость времени реакции (ВР), частоты дыхания (ЧД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) от межстимульного интервала

По оси абсцисс – МСИ, по оси ординат – секунды для ВР и количество колебаний в секунду для ЧД и ЧСС.

Для более детального анализа нами были рассмотрены частотные гистограммы RR-интервалов, представленные на рис. 2, где показано, что увеличение МСИ приводило к росту среднего значения ЧСС и изменению формы гистограммы от нормального симметричного распределения при коротких МСИ к асимметричному при средних МСИ и далее к бимодальному двухвершинному – при длительных МСИ.

Для выявления характера аритмии был проведен спектральный анализ (рис. 4), который показал, что максимальное значение мощности в HF диапазоне наблюдалось в тесте с МСИ 4 с.

Анализ стандартного отклонения (рис. 3) для простой сенсомоторной реакции показал достоверный рост его величины при МСИ 8 и 16 с.

Исследование влияния МСИ на спектральные характеристики ЭЭГ (рис. 5 и 6) выявило, что в фоне по всем ритмическим диапазонам можно выделить несколько фокусов максимальной выраженности (ФМВ). При этом дельта колебания были одинаково выражены в лобных и теменных отведениях, тета- – в лобных, альфа- – в теменных. Бета-колебания имели два ФМВ с преобладанием бета-1 активности в теменно-затылочных отведениях и бета-2 в лобных.

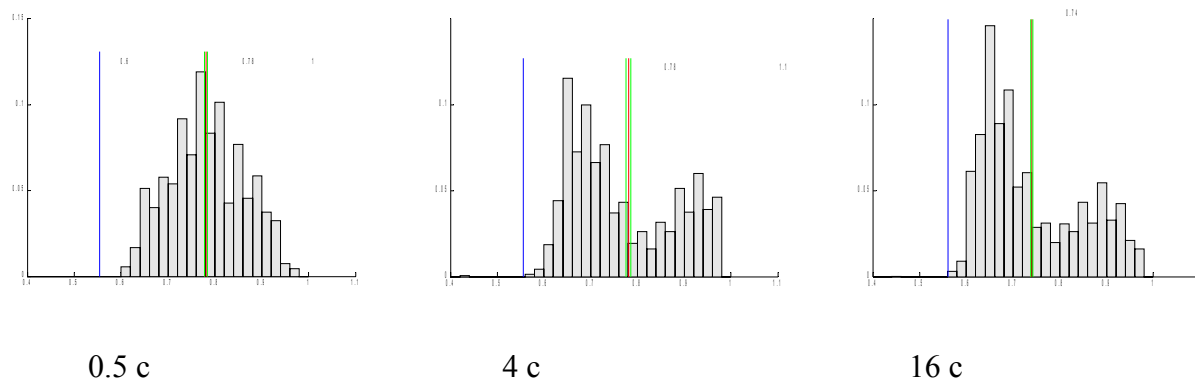


Рис. 2. Гистограммы частотного распределения RR-интервалов в зависимости от МСИ

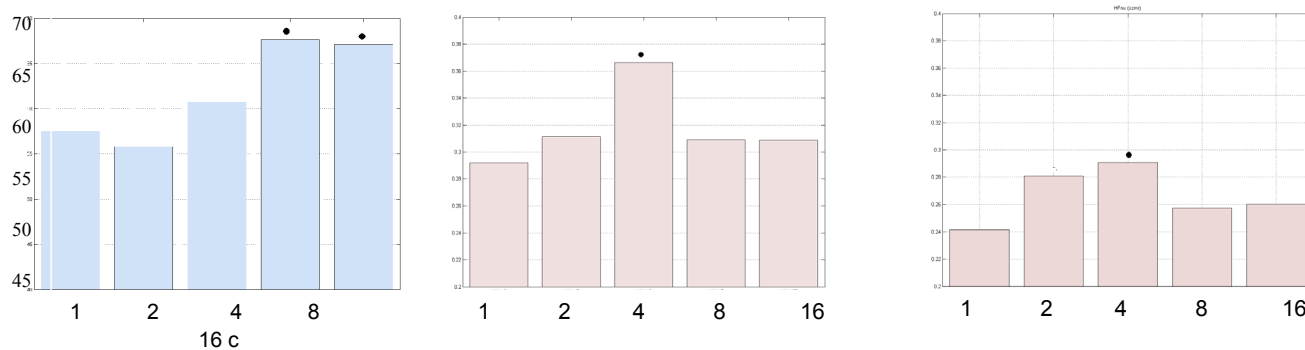


Рис. 3. Динамика стандартного отклонения RR-интервалов в зависимости от МСИ в тесте ПАМР

По оси абсцисс – МСИ, по оси ординат – величина стандартного отклонения, мс

Рис. 4. Динамика высокочастотной составляющей спектра сердечного ритма в зависимости от МСИ в тесте А – ПАМР и Б – СЗМР.

По оси абсцисс – МСИ, по оси ординат – нормализованного значения HFpu

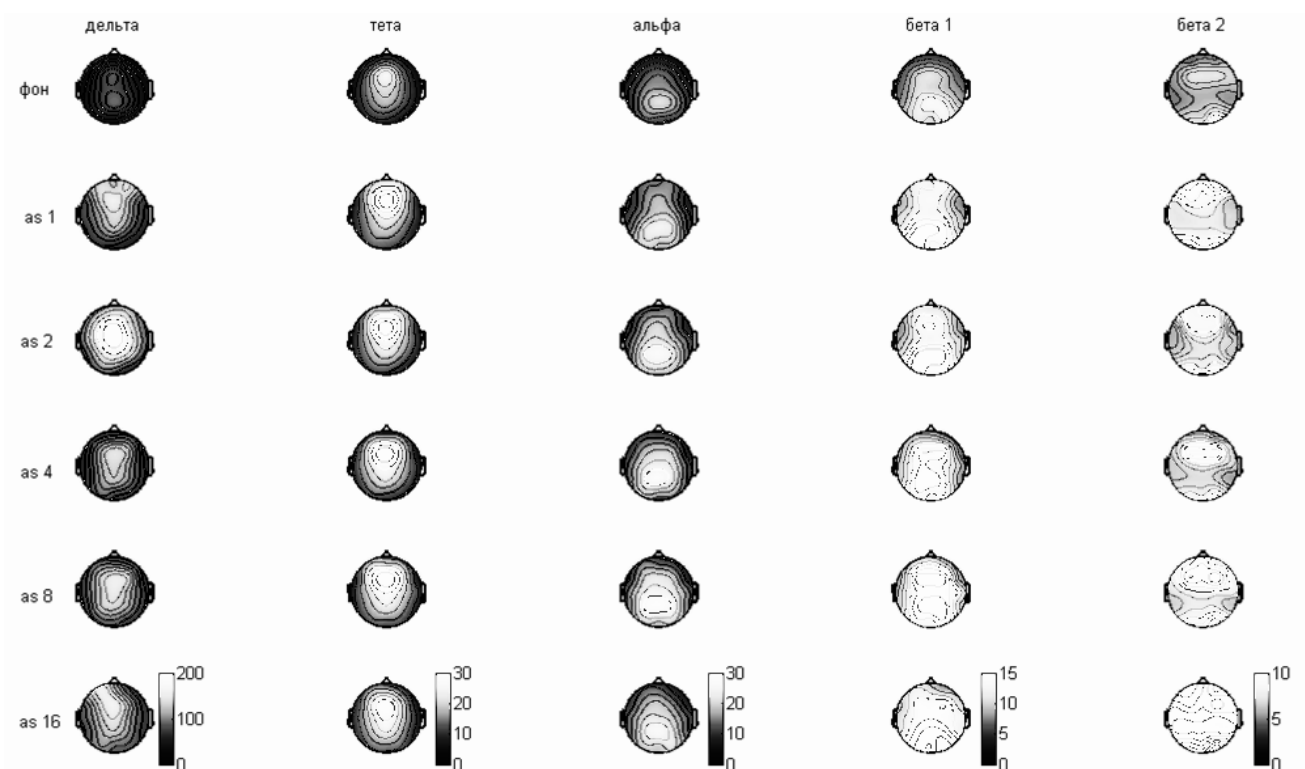


Рис. 5. Динамика спектров мощности ЭЭГ в зависимости от фонового состояния и слуховой стимуляции при различных МСИ: as – аудиальная СМР; 1, 2, 4, 8 и 16 – МСИ, с.

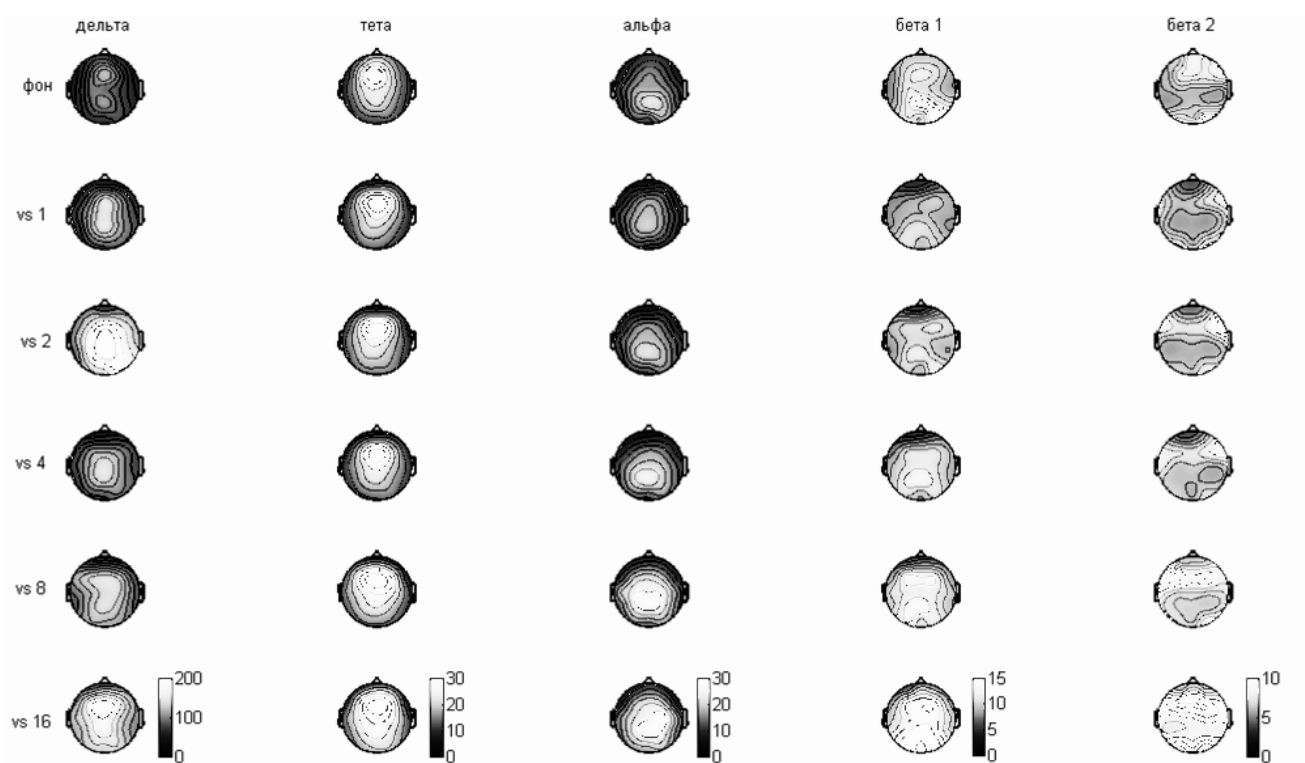


Рис. 6. Динамика спектров мощности ЭЭГ в зависимости от фонового состояния и зрительной стимуляции при различных МСИ: vs – зрительная СМР; 1, 2, 4, 8 и 16 – МСИ, с

Выполнение тестовых процедур приводило к изменению мощности всех основных колебаний ЭЭГ (рис. 5). При увеличении МСИ для дельта-активности было характерным слияние двух ФМВ с доминированием лобного фокуса, для тета- и альфа-колебаний – монотонный рост выраженности лобного и теменного фокусов, соответственно. Для бета-активности также сохранялись фоновые соотношения с монотонным ростом выраженности ФМВ. Влияние модальности стимула на спектральные характеристики было связано с преобладанием теменных фоку-

сов на зрительную стимуляцию, а лобных – на слуховую, что особенно проявилось в дельта- и бета-1 диапазонах ЭЭГ.

Анализ динамики изопотенциальных карт ССП совпадал с проведенными ранее исследованиями [3] и показал, что она зависит от модальности стимула, МСИ и сложности тестовой процедуры.

В условиях простой сенсомоторной реакции (ПСМР) на зрительный стимул (МСИ 1 с) (рис. 7) в центральных областях коры формировалась волна ожидания с билатерально-симметричным

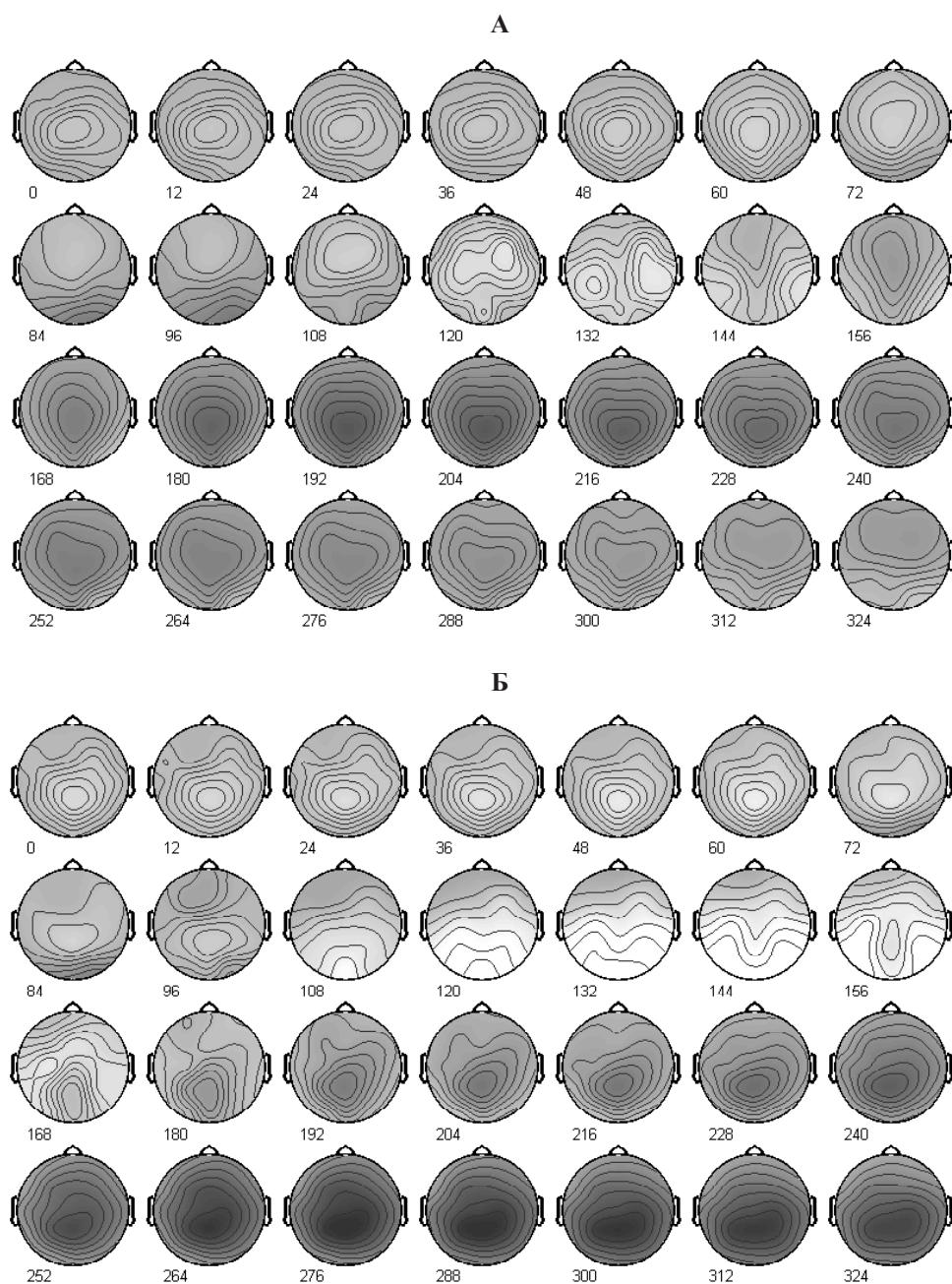


Рис. 7. Динамика изопотенциальных карт ССП в условиях зрительной простой сенсомоторной интеграции при А - МСИ 2 с и Б - МСИ 16 с. Белым цветом отражена негативность, черным – позитивность. Шаг картирования – 12 мс.

ФМВ в сагиттальном отведении, который усиливался при возникновении компонента С1 с латентным периодом 40–60 мс. Затем на 80-й мс в затылочной области с ФМВ в правом полушарии возникал компонент Р1 с одновременным формированием переднего фронта N1, что было связано с ослаблением и расширением ФМВ компонента С1 и смещением его в сагиттальном направлении в лобно-центральную область, часто с локализацией ФМВ в левом полушарии. Формирование заднего фронта компонента N1 было связано с расщеплением лобно-центрального ФМВ (латентный период в интервале 120–140 мс) на два ФМВ, которые постепенно мигрировали через центральные и теменные области в затылочные и исчезали на 155-й мс. При этом более мощным на раннем этапе был левополушарный фокус, на позднем – правополушарный. Одновременно в этот период возникал компонент Р2 с ФМВ в лобном сагиттальном отведении, который мигрировал в каудальном направлении, превращаясь на интервале 180–200 мс в компонент Р3б. Компонент Р3б ССП мигрировал в обратном лобном направлении, модифицируясь на последующие 200 мс в компонент Р3а.

Увеличение МСИ от 1 до 16 с сохраняло общие тенденции трансформации основных компонентов ССП, однако наблюдался ряд изменений их динамики (рис. 7 Б):

- смещение ФМВ волны ожидания из центральной области в теменную;

- ослабление и исчезновение компонента Р1 и смещение компонента С1 в лобную область, что начиная с МСИ 8 с приводило к сохранению компонента С1 около 100-й мс и миграции его в затылочные области, формируя передний фронт компонента N1;

- амплитуда, пиковая латентность и длительность заднего фронта компонента N1 увеличивалась пропорционально МСИ, при этом расщепление сагиттального ФМВ начиналось в затылочных отведениях и было связано с миграцией двух возникающих симметричных фокусов из зрительной коры в теменную, а затем в центральную с последующим их слиянием в лобно-центральных отведениях;

- указанная выше трансформация маскировала формирование и миграцию компонента Р2 и сразу, наряду с исчезновением компонента N1,

наблюдалось развитие компонента Р3б, длительность которого возрастала пропорционально величине МСИ с последующим ее расщеплением, начиная с 360-й мс, на два симметричных позитивных ФМВ;

- возникновение двух позитивных симметричных фокусов было связано с появлением медленной негативной волны с сагиттальным ФМВ в лобных отведениях на интервале 370–400 мс, которая постепенно мигрировала в сагиттальном направлении, формируя негативный ФМВ в теменно-затылочных отведениях, при больших МСИ (8–16 с) лобный и затылочный ФМВ могли существовать одновременно.

В условиях ПСМР на слуховой стимул (МСИ 1 с) (рис. 8) в достимульный период формировалась волна ожидания с сагиттальным ФМВ в центрально-теменной области, который на 60-й мс увеличивался по амплитуде и мигрировал в сагиттальном направлении в лобно-центральную область, формируя передний фронт компонента N1. Развитие заднего фронта N1 было связано с ослаблением лобно-центрального ФМВ и расщеплением его на два ФМВ, которые перемещались в симметричные височные области. Формирование компонента Р2 ССП наблюдалось на интервале 110–120 мс с сагиттальным ФМВ в лобно-центральных отведениях, который мигрировал в центральную область, расщепляясь на два симметричных ФМВ. Начиная с 210 мс формировался компонент N2 в виде сагиттального лобного ФМВ.

Увеличение МСИ от 1 до 16 с сохраняло общие тенденции трансформации основных компонентов ССП, однако наблюдался ряд изменений их динамики (рис. 8 Б):

- смещение ФМВ волны ожидания из центрально-теменной в теменную область с одновременным формированием, начиная с МСИ 4 с, позитивного колебания с сагиттальным ФМВ в лобном отведении;

- амплитуда, пиковая латентность и длительность переднего и заднего фронта компонента N1 увеличивались пропорционально МСИ;

- латентный периоды Р2 и его длительность увеличивались, и по мере смещения его в каудальном направлении формировались компоненты Р3б и N2, мощности которых увеличивались по мере роста МСИ, при этом задний фронт компонентов Р3б был связан с миграцией данного

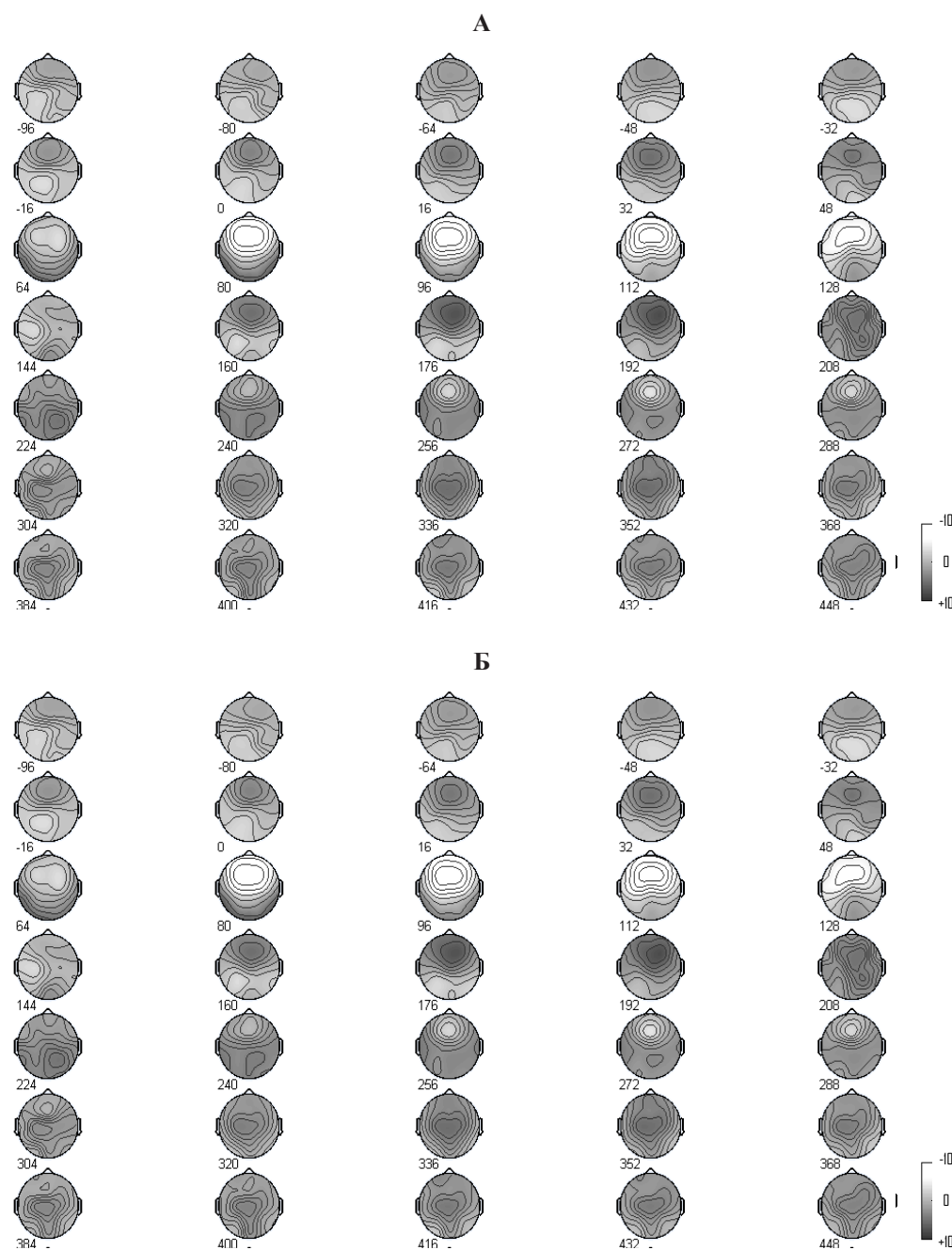


Рис. 8. Динамика изопотенциальных карт ССП в условиях слуховой простой сенсомоторной интеграции при А – МСИ 1 с и Б – МСИ 16 с. Обозначения – как на рис. 7.

колебания в центральную область и расщеплением его там на два симметричных ФМВ;

– при МСИ 8 и 16 с наблюдалось ослабление компонента N2 и усиление поздней негативной волны.

Моторный ССП, как правило, маскировался сенсорными компонентами ССП и представлял собой довольно сложный процесс, зависящий от латерализации двигательной реакции [5]. В связи с этим моторные ССП представляли собой суперпозицию on- и off-ответов, каждый из ко-

торых состоял из асимметричного тонического негативного потенциала готовности, асимметричного фазического негативного моторного компонента, симметричного позитивного референтационного компонента и симметричного позднего компонента, которые регистрировались в лобно-центральных областях. Анализ динамики ФМВ характеризовался развитием противофазных компонентов в теменно-затылочных областях [5].

Исследование влияния значимости пускового стимула (пассивное восприятие, ПСМР, ССМР, odd ball reaction) выявило ряд тенденций в изменении конфигурации ССП.

При переходе от ПСМР к ССМР сохранялась динамика зависимости начальных компонентов (волна ожидания, N1, P2) от МСИ для обеих модальностей. При этом поздние компоненты (N2, P3б, поздняя негативная волна) не зависели от МСИ и имели сходство с трансформациями, наблюдавшимися при ПСМР с МСИ 8 и 16 с.

В условиях «odd ball» парадигмы трансформации начальных компонентов ССП на частый стимул напоминали таковые для ПСМР при малых МСИ, а поздних – как при ССМР. Трансформации ранних и поздних компонентов ССП на редкий стимул напоминали таковые для ССМР при больших МСИ, но выражены были сильнее.

Трансформация компонентов при пассивном восприятии зрительных и слуховых стимулов была сходной с таковыми при ПСМР, но при этом отсутствовала волна ожидания и выраженность компонентов была слабее.

Таким образом, увеличение МСИ является эффективным способом снижения уровня ФС обследуемого, что отражалось на вегетативных показателях, уровне локальной, общей активации мозга и ВР. Для зрительной системы наиболее эффективные трансформации начальных ССП связаны с изменениями в теменно-затылочных областях, для слуховой – лобно-центральных и характеризовались возникновением билатеральных симметричных и асимметричных фокусов на заднем фронте компонента N1. Снижение уровня ФС связано с изменением последовательной трансформации начальных и поздних компонентов ССП. Усложнение тестовой процедуры в основном отражалось на трансформации поздних компонентов ССП, сходную с таковой при больших МСИ.

Обсуждение

В предыдущих исследованиях было показано, что эффективность СМР зависит от физических параметров и значимости стимула [2, 4].

В реальных условиях различия между механизмами анализа зрительных и слуховых стимулов, которые исследовались в настоящей работе,

маскируются сложностью тестовой процедуры (значимость) и динамикой ФС.

ФС можно, с одной стороны, рассматривать как различные уровни активации центральной нервной системы [9, 17], а с другой – как изменение совокупности механизмов, включенных в конкретный адаптационный механизм (в данном случае сенсорный анализ слуховых и зрительных раздражений, формирование и реализация СМИ).

Изменение текущего ФС обследуемого с помощью варьирования МСИ позволило сделать ряд предположений по поводу влияния ФС на характер сенсомоторной интеграции (СМИ), что проявлялось в изменении вегетативных параметров, общей и локальной активации, а также эффективности реализации СМИ.

1. Уровень активации организма. Процедура изменения МСИ подтверждает теорию «фракционирования» [20], в рамках которой предполагается, что механизмы, обеспечивающие реализацию адаптивной функции, могут работать как однонаправленно, так и разнонаправленно.

Выполнение СМИ с МСИ 4 с является оптимальным для длительной деятельности и отмечено балансированием функциональных систем организма. При этом МСИ наблюдается наилучшее соотношение «эффективность – уровень напряжения» (оптимальная функциональная система достаточно эффективна, разрушающие ее процессы фракционирования не выявлены).

Сокращение МСИ от 4 до 1 с приводит к активации дыхательной, сердечно-сосудистой и когнитивной (концентрация внимания), сокращению ВР и возникновению значительного числа ложных тревог т.д. Следовательно, короткие МСИ приводят к повышению эффективности и «цены» деятельности (уровень психоэмоционального напряжения), что связано с однонаправленным взаимодействием всех систем организма, обеспечивающих сохранение оптимального уровня СМИ на весь период деятельности.

Увеличение МСИ от 4 до 16 с характеризуется снижением уровня активности дыхательной, активации сердечно-сосудистой систем организма, увеличением ВР (рост поздних реакций), что, вероятно, связано с разрушением исходной СМИ, усилением ориентировочной составляющей, которая необходима как дополнительный механизм текущего восстановления СМИ. Такой

процесс при длительных МСИ можно объяснить включением механизма фракционирования исходной функциональной системы и СМИ, и, как следствие, появлением дополнительных активационных механизмов для ее периодического восстановления, активацией ориентировочной реакции.

Исследование особенностей реагирования дыхательной и сердечно-сосудистой систем организма при изменении ФС выявило ряд особенностей [13, 16, 21].

На рис. 2в видно, что двухвершинная гистограмма RR-интервалов представлена двумя множествами, одно из которых имеет вид эксцессивного распределения, свидетельствующего о малой изменчивости RR-интервалов и психоэмоциональном напряжении.

Возникновение асимметричного распределения гистограмм RR интервалов свидетельствует о формировании переходных нестационарных функциональных состояний. Двухвершинное распределение может отражать наличие, по крайней мере, двух самостоятельных состояний, связанных с выполнением задания и с пассивным ожиданием в паузах между стимулами. Данный вывод подтверждается достоверным ростом величины стандартного отклонения при МСИ 8 и 16 с. Рост стандартного отклонения при высоких значениях МСИ может свидетельствовать о наличии дыхательной аритмии.

Вероятно, можно говорить о том, что максимально выраженная дыхательная аритмия отражает рост парасимпатической регуляции при оптимальной сенсорной стимуляции при МСИ 4 с. Сокращение МСИ вызывает состояние напряжения при когнитивных нагрузках и росту ЧСС, которая может быть связана с регуляцией текущего ФС со стороны симпатической системы [9, 11]. Увеличение МСИ приводит к сосуществованию двух ФС, отражающих, с одной стороны, выполнение тестовой задачи, приводящего к росту ЧСС и, в свою очередь, проявляющегося в эксцессивной форме гистограммы RR-интервалов, и, с другой стороны, сохранение текущего ФС за счет стабилизации ЧСС и появлению второй вершины в гистограмме RR-интервалов, росту высокочастотной составляющей спектра сердечного ритма, регулируемого со стороны парасимпатической системы. Пара-

доксальное увеличение ЧСС при парасимпатической регуляции описано в работе [12].

2. Уровень общей активации мозга. Спектральный анализ ЭЭГ суммарно на всех этапах СМИ демонстрирует, что для ее реализации преимущественно активируются две системы внимания – передняя фронтальная и задняя париетальная. В фоновых состояниях в дельта- и бета-1 диапазонах ЭЭГ активированы обе системы [15]. При увеличении МСИ наблюдается тенденция к смещению выраженности спектральных характеристик в каудальном направлении, особенно это характерно для дельта- и бета-1 диапазонов и преобладает при зрительных стимулах. Следовательно, при малых МСИ доминирует активация фронтальной системы внимания, которая связана с формированием функциональной системы для реализации СМИ, активации двигательных реакций. При больших МСИ стратегия формирования функциональной системы несколько изменяется, доминирует париетальная система внимания, что связано с активацией ориентировочных реакций и сенсорным анализом.

3. Уровень локальной активации мозга. Анализ изопотенциальных карт ССП, позволяющий оценить динамику последовательной активации («луч» внимания [19]) заинтересованных корковых структур на различных этапах реализации СМИ, показывает существенные различия в алгоритмах реализации СМИ при различных МСИ, и имеет свои различия для стимулов различной модальности.

Наиболее важной для подготовки СМИ является волна ожидания, которая в условиях зрительной стимуляции при малых МСИ имеет сагиттальный ФМВ в центральной области, что, свидетельствует о том, что для реализации СМИ в данных условиях необходима достимульная активация моторных областей со стороны произвольного внимания. Увеличение МСИ приводит к миграции данного ФМВ в париетальную систему внимания, что вероятно, связано с изменением алгоритма активации. В функциональной системе при этом доминирует сенсорный анализ и ориентировочный компонент, что контролируется достимульной активацией париетальной системы внимания. Для слуховых стимулов характерна аналогичная картина, которая имеет ряд отличий:

– достимульная активация, связанная с волной ожидания, при минимальных МСИ локализуется немного каудальнее – в центрально-теменных областях;

– миграция данного ФМВ в теменную область связана с формированием при МСИ 4 с сагиттального лобного позитивного ФМВ.

Вероятно, при слуховом раздражении роль ориентировочных и сенсорных компонентов возрастает, что также связано с притормаживанием фронтальной системы внимания при больших МСИ.

На этапе восприятия для слуховой стимуляции характерно перемещение негативного сагиттального ФМВ в лобном направлении, что вероятно связано с активацией передней системы внимания, которая запускает и контролирует механизмы СМИ, сформированные на этапе ожидания стимула и сопровождает сенсорный анализ (передний фронт N1). При коротких МСИ требуется незначительная фазическая активация (начальные компоненты ССП) в связи с тем, что СМИ не успевает разрушаться от стимула к стимулу и поддерживается на высоком уровне. При больших МСИ СМИ в интервалах между пусковыми стимулами успевает разрушиться. В связи с этим по мере увеличения интервала между соседними пусковыми стимулами требуется все более мощная фазическая активация для восстановления требуемой СМИ, что частично обеспечивается ростом амплитуды волны ожидания.

Для зрительной стимуляции этап восприятия при малых МСИ характеризуется также небольшой активацией фронтальной системы внимания и зрительных областей. Отличия связаны с тем, что при увеличении МСИ, наряду с ростом фазической активации, начиная с 4 с, ФМВ смещается из лобных в теменно-затылочные области, что свидетельствует о доминировании парietальной системы внимания.

На этапе принятия сенсорного решения (задний фронт N1, негативность рассогласования) наблюдается расщепление исходного сагиттального фокуса на двусимметрично-асимметричных системы, что, вероятно, связано с периодическим изменением баланса произвольного и непроизвольного внимания, нейрофизиологические механизмы обеспечения которых латерализованы. Затем эти фокусы в зависимости от модальности перемещаются в соответствующие анали-

заторные структуры – слуховые в височные, а зрительные – в затылочные. Вероятно, данная процедура связана с несколькими процессами: активацией ориентировочных процессов; формированием требуемой СМИ; формированием сенсорного образа в соответствии с циклической теорией восприятия стимула [10].

Параллельно с этими процессами возникает тормозная позитивная волна (P2), притормаживающая активность фронтальной системы, переключая внимания на процессы, контролируемые парietальной системой внимания. Постепенно данная волна смещается в каудальном направлении, формируя теменной компонент P3б.

При увеличении МСИ появляется и усиливается компонент N2, который дублирует компонент N1 (вызванная тета-ритмическая активность) и активирует фронтальную систему внимания, с параллельным выключением теменной системы – тормозный позитивный компонент P3б. Данное представление совпадает с современными данными [18], демонстрирующими, что компонент P3б является коррелятом сложности СМИ и уровня активации произвольного внимания. При увеличении МСИ он существенно увеличивается независимо от модальности и значимости стимула, при этом наблюдается формирование двух симметрично-асимметричных ФМВ в теменных областях коры.

При больших МСИ возникающая после P3б поздняя негативная волна также соответствует этапу активации фронтальной системы, с последующей активацией парietальной системы. При максимальных МСИ одновременно активируются передняя и задняя системы внимания, что, вероятно, связано с оценкой эффективности выполнения СМИ.

Начальные изменения локальной активации в передней и задней системах внимания (P1, N1, P2, N2) обусловлены активацией тета-ритмических компонентов ССП и, соответственно, специфическим анализом стимулов с участием гиппокампа и носят экзогенный характер. Поздние компоненты (негативность рассогласования, P3а, P3б, поздняя негативная волна), а также волна ожидания, вызваны дельта-ритмическими колебаниями ЭЭГ и отражают процессы локальной активации, которые обеспечиваются транскортекстальным взаимодействием и связаны с эндогенными процессами.

Следовательно, снижение уровня ФС приводит к усилению локальной активации, на начальных этапах СМИ и появлению и увеличению поздних компонентов. Поздние компоненты также определяются значимостью стимулов, что связано с их возникновением при коротких интервалах в условиях сложных тестовых процедур.

Таким образом, выполнение СМИ при предъявлении серий последовательных аритмических стимулов зависит от ФС обследуемого, физических параметров и значимости стимулов. Реализация СМИ связана с взаимодействием передней и задней систем внимания, динамика которого определяет лобно-затылочную и межполушарную асимметрию. При этом в простых СМИ преобладает последовательная динамика ФМВ в сагиттальном направлении, отражая лобно-затылочные градиенты. Усложнение сенсорной задачи, инструкции, двигательной реакции способствует дополнительному возникновению билатеральных фокусов, которые часто являются результатом расщепления сагиттальных ФМВ. Наибольшая билатеральная асимметрия выражена на этапах принятия решения и ожидания стимула. Снижение уровня ФС приводит к изменению комплекса процессов, лежащих в основе СМИ. При малых МСИ СМИ интеграция сохраняется в период предъявления всей серии стимулов и определяется приоритетной подготовкой двигательных систем, необходимые в условиях реакции обнаружения и контролируемой со стороны фронтальной системы внимания. Увеличение МСИ, усложнение СМИ приводит к усилению и формированию поздних компонентов ССП с приоритетом париетальной системы внимания. Это связано с активацией механизмов различения, ориентировочных реакций. Данные процессы связаны с динамикой лобно-затылочной (взаимодействие двух систем внимания) и межполушарной (баланс произвольного и непроизвольного внимания) асимметрии на различных этапах подготовки и реализации СМИ. Часть этих процессов (тета-ритмические компоненты ССП) связана с экзогенными процессами, которые формируются в большей степени лобно-затылочным градиентом, а часть (дельта-ритмические компоненты ССП) эндогенными механизмами, динамика которых в

большей степени определяется механизмами межполушарных взаимоотношений.

Литература

1. Айдаркин Е.К. Функциональное состояние – теоретический аспект // Валеология. 2004. № 1. С. 12–16
2. Айдаркин Е.К. Нейрофизиологические механизмы непроизвольного внимания в условиях сенсомоторной интеграции // Валеология. 2006. № 2. С. 39–51.
3. Айдаркин Е. К. Исследование нейрофизиологических механизмов взаимодействия произвольного и непроизвольного внимания в условиях сенсомоторной интеграции // Валеология. 2007. № 3. С. 85–103.
4. Айдаркин Е.К., Павловская М.А. Исследование ритмических составляющих связанных с событием потенциалов в условиях сенсомоторной интеграции // Валеология. № 4. 2008. С.3–11.
5. Айдаркин Е.К., Айдаркина Е.С. Соотношение сенсорных и моторных компонентов связанных с событием потенциалов и их роль в организации механизмов произвольного внимания в условиях сенсомоторной интеграции // Валеология. 2007. № 2. С. 70–82.
6. Анализ сердечного ритма / Д.И. Жемайтис, И. Каукенас, В. Кусас [и др.]. Вильнюс, 1982. 130 с.
7. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний. М., 1997. 265 с.
8. Борисов С.В., Каплан А.Я. Межполушарная асимметрия альфа-активности ЭЭГ при асимметричном предъявлении арифметических задач // Актуальные вопросы функциональной межполушарной асимметрии / Российская академия медицинских наук, медико-биологическое отделение; Научно-исследовательский институт мозга. М., 2001. С. 42–44.
9. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма // Журн. высш. нервн. деят. 2000. Т. 50. Вып. 5. С. 791–804.
10. Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А. Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М., 1984. 512с.
11. Леонова А.Б., Медведев В.И. Функциональное состояние человека в трудовой деятельности. М., 1981. 112 с.
12. Михалов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново, 2000. 200 с.
13. Ройтбак А.И., Дедабришвили Ц.М., Гоциридзе И.К. Изменение скрытого периода двигательной реакции в связи с фазами дыхания // Конференция

по вопросам физиологии спорта. Тбилиси, 1960. Т. 1. С. 176

14. Фокин В.Ф. Динамическая функциональная асимметрия как отражение функциональных состояний // Асимметрия. 2007. Т. 1. № 1.

15. Цицерошин М.Н., Шеповальников А.Н., Погосян А.А. О некоторых принципах интеграции биоэлектрической активности пространственно-распределенных отделов неокортекса в целостную динамическую систему // Физиол. человека. 1995. Т. 21, № 5. С. 36–50.

16. Koepchen H.P. Respiratori and cardioevascular «centres» functional entirety or separate structures // Central neurone enviroment and the control systems of breathing and circulation. Berlin, 1983. P. 221.

17. Lacey J. I. Somatic response and stress: some revisions of activation theory / Psychological stress // H. Applay and R. Trumbull. (Eds.). N. Y., 1967.

18. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b // Clinical Neurophysiology. 2007. Vol. 118. P. 2128–2148.

19. Posner M.I., Petersen S.E. The attention system of the human brain. Annu Rev Neurosci. 1990. Vol. 13. P. 25–42.

20. Tursky B., Schwarts G.E., Grider A. Differential patterns of heart rate and resistance during a digit transformation task // J. Exp. Psychol. 1970. Vol. 83. P. 451–457.

21. Weiss T. Speed of a simple psychometric reaction and respiration // Ceskoslovenska Psychologie. 1960. № 4. P. 153–160.

Кафедра физиологии человека и животных
Южного федерального университета;
Научно-исследовательский институт
нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного
федерального университета.

УДК 612.821.8,591.185

Е. К. АЙДАРКИН, Е.С. КИРПАЧ

СООТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ УДЕРЖАНИЯ КНОПКИ В УСЛОВИЯХ СЕНСОМОТОРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

В работе рассматривается соотношение времени реакции (ВР) и длительности удержания (ДУ) а также зависимость конфигурации связанных с событиями потенциалов (ССП) от ДУ при произвольных движениях и при выполнении простых и сложных сенсомоторных реакций. Показано, что при увеличении ДУ снижается эффективность восприятия стимула и отжатие кнопки становится самостоятельным двигательным событием, влияющим на перераспределение ресурсов произвольного внимания.

Ключевые слова: время реакции (ВР), длительность нажатия, моторное внимание, дополнительная моторная область, моторный тайминг.

E.K. AYDARKIN, E.S. KIRPACH

RELATION BETWEEN REACTION TIME AND DURATION OF BUTTON PRESSING IN CONDITIONS OF SENSORIMOTOR INTEGRATION

Relation between reaction time and button pressing duration and the relationship between event-related potentials configuration and button pressing in voluntary movements, simple and choice sensorimotor tasks is studied. It is shown that increasing of button pressing duration is associated with decreasing in the efficiency of stimulus perception, thus button unpressing becomes a separate motor event influencing voluntary attention allocation.

Key words: reaction time (RT), duration of button pressing, motor intention, SMA, motor timing