

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ С УРОВНЕМ РАЗВИТИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ 12-13 ЛЕТ

Поступила 23.02.06

Изучали связь спектральных характеристик электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с показателями внимания у 60 детей 12–13 лет. Показатели произвольного внимания определяли с использованием комплекса психологических тестов, включающих в себя тест Бурдона (корректирующая проба), двустимульный go/no-go-тест, компьютерный тест, представляющий собой модификацию теста Бурдона для определения концентрации и устойчивости внимания, а также таблицы Шульте. Дети, отличающиеся хорошей работоспособностью согласно результатам выполнения go/no-go-теста и корректирующей пробы, характеризовались высокими значениями отношения спектральных мощностей (СМ) бета₁- и тета-ритмов. Соотношения СМ указанных ритмов были выше в правом полушарии, что, возможно, указывает на больший вклад нейронных механизмов данного полушария в обеспечение бдительности и устойчивости внимания. Для детей, отличавшихся повышенной импульсивностью по результатам выполнения go/no-go-теста, были характерны низкие значения модальной частоты альфа-ритма в затылочных областях головного мозга, в то время как дети с высокими значениями частоты в альфа-диапазоне в различных областях головного мозга обладали хорошими показателями внимательности и скорости когнитивных процессов. Наряду с этим дети, выполнявшие задания с особенно высокой точностью, отличались высокими значениями отношения СМ низкочастотного бета-ритма и тета-ритма (преимущественно в центральных и теменных областях обоих полушарий). Примененный подход может быть использован для получения объективных показателей, характеризующих состояние сферы внимания у детей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроэнцефалограмма, спектральные характеристики, внимание, дети.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость исследования когнитивной сферы у детей среднего школьного возраста обусловлена проблемами, которые нередко возникают при работе с данным контингентом, – специфическими для этого возраста трудностями обучения, недостаточным уровнем развития произвольного внимания и различными нарушениями последнего [1, 2]. Для своевременного выявления подобных нарушений, а также их коррекции необходимы объективная оценка уровня развития внимания и его разносторонняя диагностика. Одним из объективных

методов исследования механизмов когнитивной деятельности человека, применимым, в частности, для диагностики некоторых психоневрологических расстройств и получения критериев созревания мозга, является спектральный анализ ЭЭГ, получивший широкое распространение [3–7]. Показатели спектральной мощности (СМ) отдельных частотных диапазонов ЭЭГ могут в определенной степени служить индикаторами различных функциональных состояний и индивидуальных особенностей церебральных механизмов [8, 9].

Изучению и выявлению электроэнцефалографических коррелятов внимания у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) было посвящено значительное количество работ [10, 11]. Результаты таких исследований показали, что у детей с СДВГ отношения амплитуды бета₁-ритма к амплитуде тета-ритма (преимущественно в лобных областях) значительно ниже, чем у здо-

¹ Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь (АР Крым, Украина).

Эл. почта: biofeedback@bk.ru (Н. В. Луцук);

jane@crimea.edu (Е. В. Эйсмонт);

pavlenkovb@crimea.edu (В. Б. Павленко).

ровых детей [12, 13]. Кроме того, в исследованиях вызванной ЭЭГ-активности также были обнаружены определенные отличия паттернов вызванных потенциалов (ВП) у детей с СДВГ от таковых у здоровых испытуемых [12, 14]. В наших предыдущих работах изучалась связь характеристик вызванных ЭЭГ-потенциалов, регистрируемых в различных экспериментальных парадигмах, с особенностями произвольного внимания у здоровых детей [15–17]. Результаты проведенных исследований, в том числе и наших собственных, позволили выявить определенные корреляции параметров компонентов ВП с показателями внимания у здоровых детей. Однако данные о взаимосвязи амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ с различными показателями произвольного внимания у здоровых детей пока остаются явно недостаточными.

В настоящей работе мы исследовали связь спектральных характеристик ритмов ЭЭГ с показателями произвольного внимания у здоровых детей. Выявление таких корреляционных зависимостей и установление их характера являются особенно актуальными, в частности для дальнейшего развития метода обратной связи по характеристикам ЭЭГ (neurofeedback, нейроОС), что позволит оценить эффективность применения данного подхода в аспекте развития внимания у здоровых детей, а также определить те характеристики произвольного внимания, на которые влияет тот или иной вид психофизиологического тренинга.

МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 60 практически здоровых детей 12–13 лет (по 30 мальчиков и девочек).

Отведение ЭЭГ осуществлялось по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа, лабораторного интерфейса и компьютера. Рабочей программой была «EEG Mapping 3» (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно во фронтальных (F3, F4), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4), височных (T3, T4) и затылочных (O1, O2) зонах мозга согласно системе 10–20. Референтным электродом служили объединенные контакты над сосцевидными отростками черепа. Частоты срезов фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1.5 и 35.0 Гц, частота оцифровки сигнала – 250 с⁻¹.

ЭЭГ-сигналы обрабатывали с помощью быстрого преобразования Фурье с использованием сглаживания по методу Блекмена. Эпохи анализа для быстрых преобразований Фурье составляли 2.56 с.

Исследование включало в себя регистрацию фоновой ЭЭГ при закрытых глазах, при открытых глазах и при решении арифметической задачи (обратный счет в уме). Определяли усредненные значения СМ в следующих диапазонах: тета-ритм (4–8 Гц), альфа-ритм (8–13 Гц), так называемый сенсомоторный ритм [18] (12–15 Гц), бета₁-ритм (16–20 Гц) и бета₂-ритм (21–30 Гц). Поскольку ЭЭГ отводили не только от центральных областей, где обычно преобладает сенсомоторный ритм, то вслед за Эгнером активность в диапазоне 12–15 Гц мы далее будем называть низкочастотным бета-ритмом [18]. Модальная частота альфа-ритма определялась как среднее арифметическое значение частот колебаний, имеющих максимальную СМ в диапазоне альфа-ритма на всех анализируемых отрезках записи длительностью 2.56 с. Рассчитывали также отношения СМ альфа-ритма к СМ тета-ритма, СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма и СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма. Степень десинхронизации, или коэффициент реактивности (КР), рассчитывали как отношение СМ альфа-ритма при закрытых глазах к аналогичному показателю при открытых глазах.

Спектры ЭЭГ были рассчитаны отдельно для трех условий регистрации (записи ЭЭГ с закрытыми глазами, с открытыми глазами и при решении арифметической задачи). Длительности каждой записи составляли по 60 с.

Оценки показателей внимания получали с помощью следующих методик. Показатели скорости когнитивных процессов, степени невнимательности и импульсивности оценивали с помощью двустимульного go/no-go-теста с использованием пар акустических тональных стимулов; подробности проведения данного теста были описаны ранее [16]. Рассчитывали следующие показатели внимания: «эффективность внимания» – количество правильных и достаточно быстрых реакций при предъявлении значимых сочетаний (пар) стимулов («низкий–низкий» или «высокий–высокий» тоны) и «импульсивность» – количество неправильных реакций при предъявлении незначимых сочетаний, не требующих реализации сенсо-моторной реакции – нажатия кнопки («низкий–высокий» или «высокий–низкий»).

Для определения концентрации и устойчивости внимания была разработана компьютерная про-

грамма, представляющая собой модификацию теста Бурдона. Детям необходимо было набирать последовательности символов на клавиатуре в соответствии с образцом. Символы представляли собой набор цифр от нуля до девяти, размещенных в случайном порядке и объединенных между собой в блоки по пять–семь цифр, которые отделялись друг от друга запятыми. Всего необходимо было набрать 420 символов. По окончании тестирования подсчитывались следующие показатели: «устойчивость внимания» – отношение всех правильно набранных сочетаний символов к количеству символов, которые необходимо набрать; «концентрация внимания» – количество правильно набранных символов до появления первой ошибки.

Показатель «эффективность работы» определяли с использованием таблиц Шульте. Согласно данной системе тестирования [19], чем ниже получаемый индекс, тем более развитым является внимание. Для определения показателей «продуктивность внимания» и «точность внимания» применяли буквенный вариант корректурной пробы Бурдона [20, 21]. Подробности расчета показателей внимания с использованием таблиц Шульте и корректурной пробы Бурдона были описаны ранее [15, 16].

Данные электрофизиологического исследования и показатели психологических тестов количественно обрабатывались с применением стандартных методов вариационной статистики. Для характеристики связей между определяемыми показателями использовали коэффициент корреляции Пирсона, для определения достоверности межгрупповых различий – *t*-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее значимые корреляции «эффективности внимания» – показателя, характеризующего скорость когнитивных процессов, а также правильность выполнения задания, – выявлялись с частотой альфа-ритма (рис. 1).

В литературе приводятся данные, в соответствии с которыми модальная частота альфа-ритма положительно коррелирует с показателями произвольного внимания [8]. Кроме того, полагают, что повышение частоты альфа-ритма свидетельствует об увеличении, а снижение – о снижении общего уровня активации церебральных механизмов [8, 22]. Следовательно, возрастание частоты альфа-ритма при различных функциональных нагрузках можно

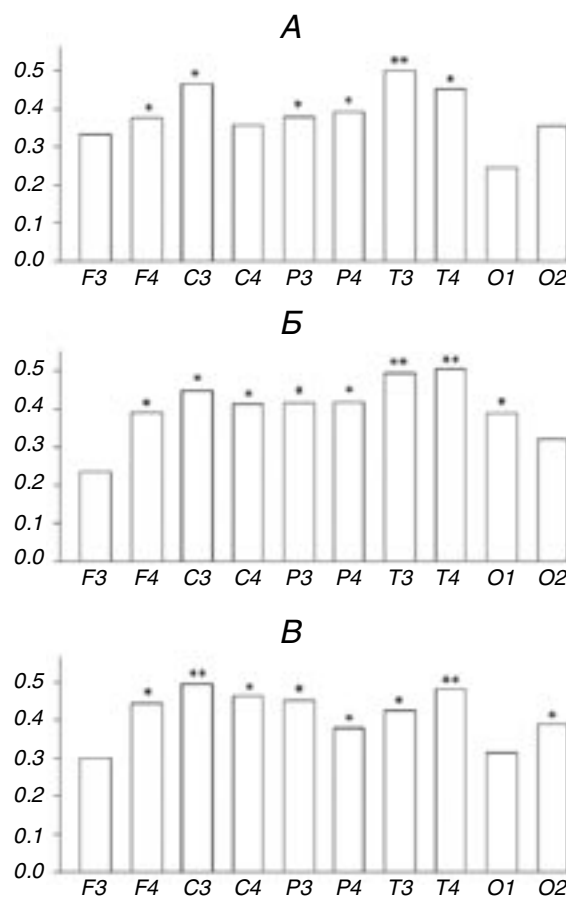
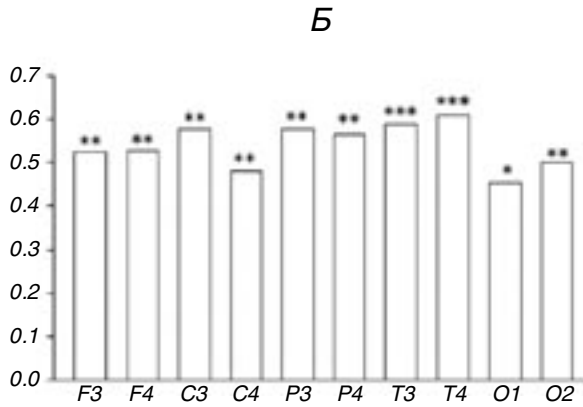
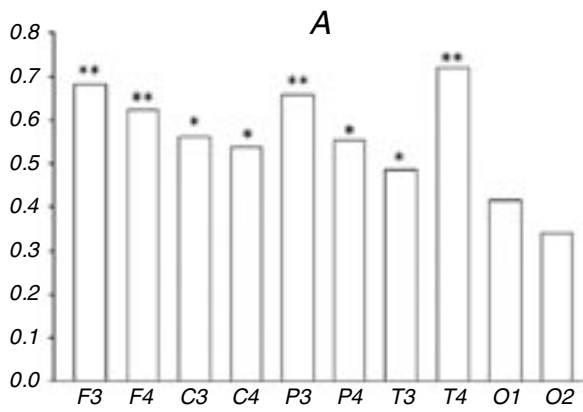


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляции между показателем «эффективность внимания» и модальной частотой альфа-ритма при отведениях ЭЭГ от различных локусов в состояниях с закрытыми глазами (А), открытыми глазами (Б) и при решении арифметической задачи (Б) у 30 детей 12–13 лет.

Внизу указаны точки отведения. По вертикали – величины коэффициента корреляции. Звездочками отмечены случаи значимости корреляционной зависимости: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Рис. 1. Значення коефіцієнтів кореляції між показником «ефективність уваги» і модальною частотою альфа-ритму при відведеннях ЕЕГ від різних локусів у станах із заплещеними очима (А), відкритими очима (Б) і при вирішенні арифметичного завдання (Б) у 30 дітей 12–13 років.

рассматривать как соответствующее сдвигу функционального состояния мозга в сторону возбуждения. Кроме того, сообщалось [23], что умственная деятельность, связанная со сложными заданиями, приводит к увеличению частоты альфа-ритма. Результаты, полученные в клинике, также подтверждают точку зрения, согласно которой результаты выполнения когнитивного задания могут быть связаны со сдвигами альфа-частоты. Имеются сведения о том, что частота альфа-ритма уменьшается с



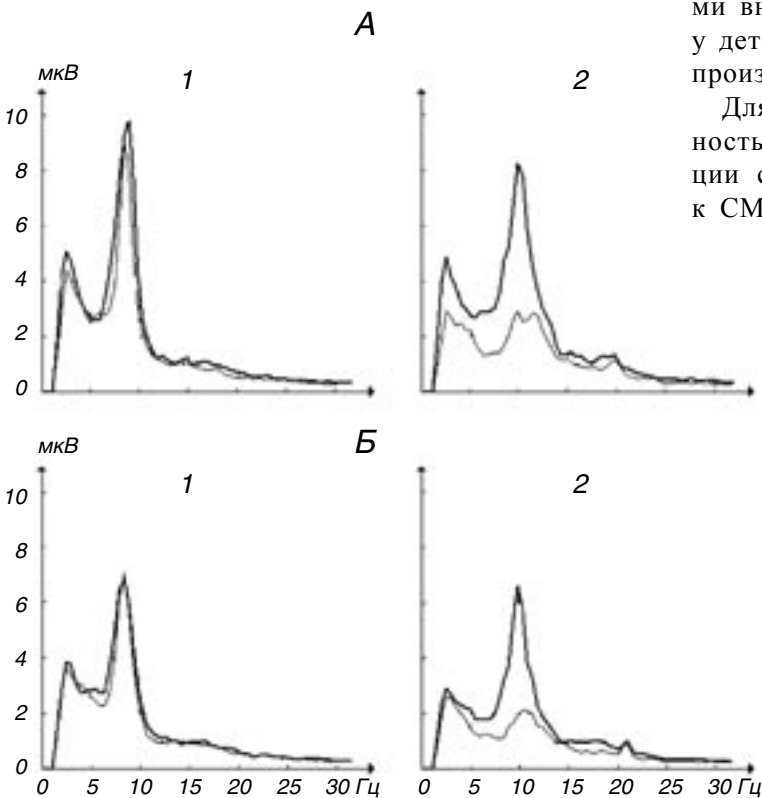
Р и с. 2. Значения коэффициентов корреляции между показателями «концентрация внимания» (А) и «эффективность внимания» (Б) и коэффициентом реактивности ЭЭГ у 30 детей 12–13 лет. *** $P < 0.001$. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Р и с. 2. Значения коефіцієнтів кореляції між показниками «концентрація уваги» (А) та «ефективність уваги» (Б) і коефіцієнтом реактивності ЕЕГ у 30 дітей 12–13 років.

возрастом [24] и что данная величина у пациентов с деменциями меньше, чем у здоровых людей того же возраста [25].

Значимые корреляции были также обнаружены между величиной КР и такими показателями, как «концентрация внимания» и «эффективность внимания» (рис. 2). Положительные корреляции свидетельствуют о том, что для испытуемых с лучшими показателями «концентрация внимания» характерны бóльшие значения КР, чем для детей с низкими значениями данного показателя. На рис. 3 представлены спектральные характеристики ЭЭГ двух детей, значительно отличающихся друг от друга степенью концентрации внимания. Результаты нашего исследования указывают на то, что десинхронизация альфа-ритма у детей с хорошими ресурсами внимания выражена значительно больше, чем у детей с низкими показателями уровня развития произвольного внимания.

Для показателя, характеризующего импульсивность, были обнаружены отрицательные корреляции со значениями отношения СМ альфа-ритма к СМ тета-ритма в затылочных областях при за-



Р и с. 3. Усредненные спектры ЭЭГ при отведениях от затылочных областей правого (А) и левого (Б) полушарий головного мозга у двух детей с низким (1) и высоким (2) значениями показателя «концентрация внимания». Жирные линии на графиках соответствуют спектру ЭЭГ при закрытых глазах, тонкие – при открытых. По оси абсцисс – частота, Гц; по оси ординат – амплитуда, мкВ.

Р и с. 3. Усереднені спектри ЕЕГ при відведеннях від потиличних ділянок правої (А) та лівої (Б) півкуль головного мозку у двох дітей з низьким (1) та високим (2) значеннями показника «концентрація уваги».

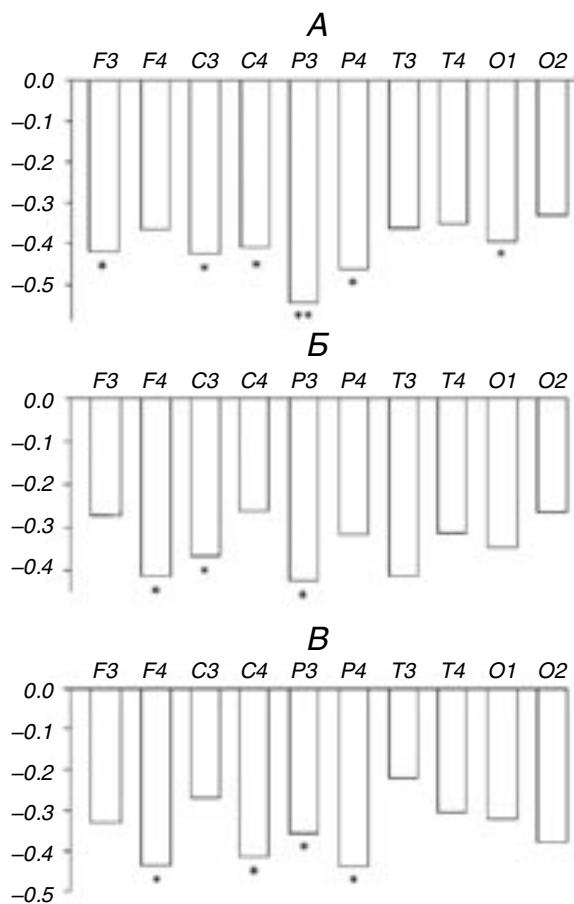


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции между показателем «эффективность работы» и отношением спектральной мощности (СМ) низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма при отведениях ЭЭГ от различных локусов в состояниях с закрытыми глазами (А), открытыми глазами (Б) и при решении арифметической задачи (В) у 30 детей 12–13 лет. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции между показателем «эффективность работы» и отношением спектральной мощности (СП) низкочастотного бета-ритма до СП тета-ритма при отведениях ЭЭГ от различных локусов у станях із заплющеними очима (А), відкритими очима (Б) та при вирішенні арифметичного завдання (В) у 30 дітей 12–13 років.

крытых глазах (для О1 $r = -0.40$, $P < 0.05$, а для О2 $r = -0.43$, $P < 0.05$), с частотой альфа-ритма в затылочной области левого полушария (для О1 $r = -0.38$, $P < 0.05$) при открытых глазах, а также с величиной отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (для Р4 $r = -0.38$, $P < 0.05$, а для О1 $r = -0.42$, $P < 0.05$) и с частотой альфа-ритма (для Р4 $r = -0.46$, $P < 0.05$, для О1 $r = -0.39$, $P < 0.05$, а для О2 $r = -0.40$, $P < 0.05$) в условиях решения арифметической задачи. Таким образом, полученные резуль-

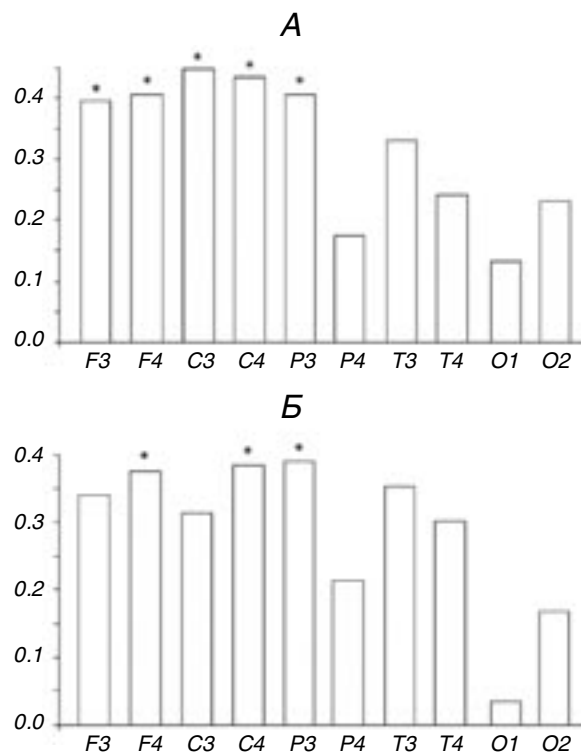


Рис. 5. Значения коэффициентов корреляции между показателем «устойчивость внимания» и отношением спектральной мощности (СМ) бета-ритма к СМ тета-ритма при отведениях ЭЭГ в состоянии с открытыми глазами (А) и при решении арифметической задачи (Б) у 30 детей 12–13 лет. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Рис. 5. Значения коэффициентов корреляции между показателем «стойкость uwagi» и отношением спектральной мощности (СП) бета-ритма до СП тета-ритма при отведениях ЭЭГ у стані з відкритими очима (А) та при вирішенні арифметичного завдання (Б) у 30 дітей 12–13 років.

таты свидетельствуют о том, что дети, имеющие относительно низкую частоту альфа-ритма в затылочных областях и низкие значения отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма в теменной области правого полушария и затылочной области левого полушария, характеризуются, как правило, повышенной импульсивностью.

При проведении сеансов нейроОС (по характеристикам ЭЭГ) протокол, ориентированный на увеличение амплитуды низкочастотного бета-ритма и подавление тета-ритма, применяется для снижения импульсивности и гиперактивности ребенка [26, 27]. Однако следует учитывать, что, помимо обнаруженной связи соотношения СМ данных ритмов с импульсивностью у здоровых детей, этот индекс связан также с некоторыми характеристиками

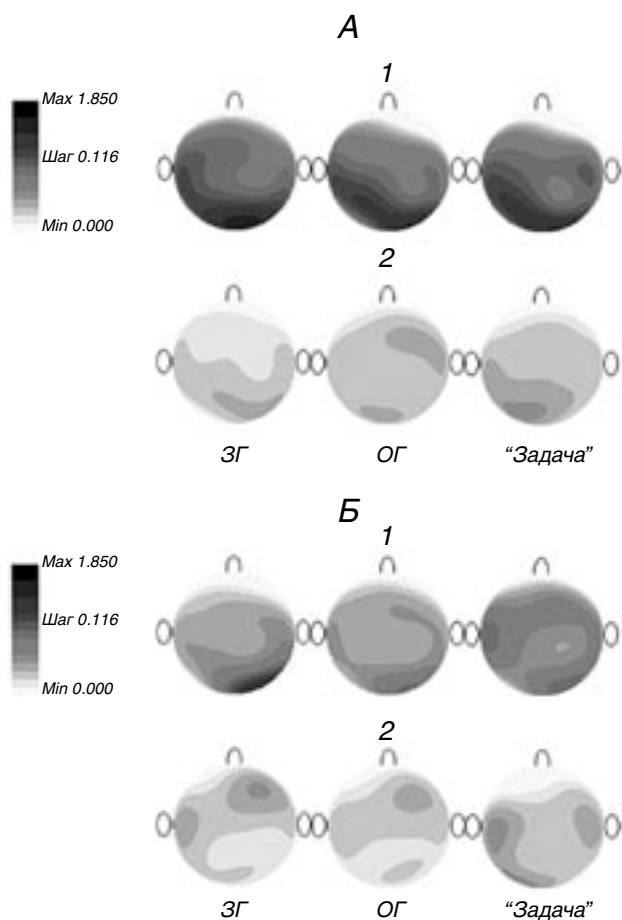


Рис. 6. Топография изменений отношения спектральной мощности (СМ) низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (А) и СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (Б) у двух детей с высоким (1) и низким (2) значениями устойчивости и концентрации внимания при отведениях ЭЭГ в состояниях с закрытыми глазами (ЗГ), открытыми глазами (ОГ) и при выполнении когнитивной задачи («Задача»). Шкалы слева – калибровки отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (А) и отношения СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (Б), усл. ед. Каждая топограмма соответствует отрезку записи длительностью 16 с.

Рис. 6. Топографія змін відношення спектральної потужності (СП) низькочастотного бета-ритму до СП тета-ритму (А) та СП бета₁-ритму до СП тета-ритму (Б) у двох дітей з високим (1) та низьким (2) значеннями стійкості та концентрації уваги при відведеннях ЕЕГ у станах із заплющеними очима, відкритими очима та при виконанні когнітивного завдання.

произвольного внимания. Так, показатель «эффективность работы» был отрицательно связан с отношением СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма. Следует учесть, что чем меньше величина упомянутого показателя, тем более развитым является внимание. Результаты анализа взаимосвя-

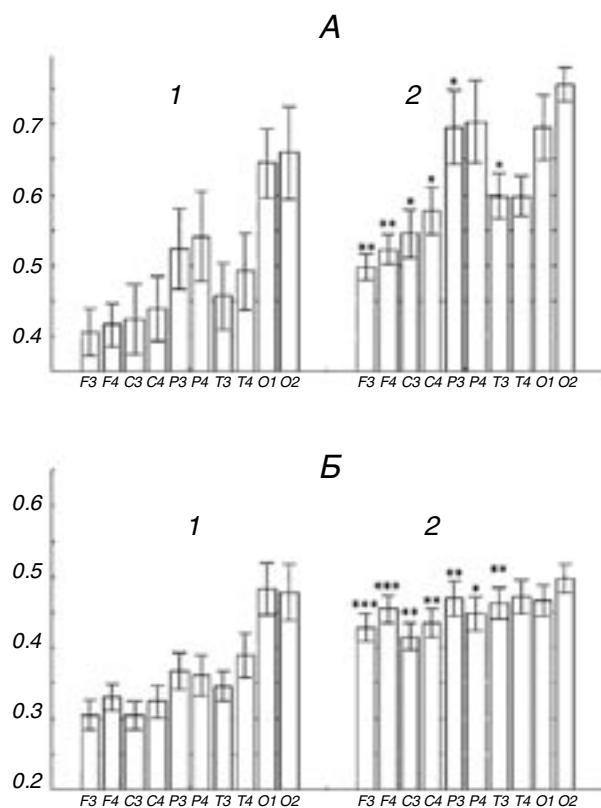
зи показателя «эффективность работы» с величиной отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма представлены на рис. 4.

Показатель «точность внимания» положительно коррелировал с величиной отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма при записи ЭЭГ с закрытыми глазами (для F3 $r = 0.40$, $P < 0.05$, для F4 $r = 0.43$, $P < 0.05$, для C3 $r = 0.38$, $P < 0.05$, а для C4 $r = 0.46$, $P < 0.05$) и при решении арифметической задачи (для P4 $r = 0.43$, $P < 0.05$). Кроме того, показатель «точность внимания» был также положительно связан с СМ низкочастотного бета-ритма (для F4 $r = 0.38$, $P < 0.05$, а для C4 $r = 0.39$, $P < 0.05$). Таким образом, выявленные взаимосвязи указывают на то, что дети с максимальными значениями данного соотношения способны весьма точно выполнять поставленную задачу и для них характерна хорошая скорость когнитивных процессов.

Конкретный характер взаимосвязи ритмики в диапазоне 12–15 Гц («сенсомоторной активности») и эффективности обработки информации пока не установлен. Стерман указывал, что моторная активность, с которой связано подавление данного компонента ЭЭГ (низкочастотного бета-ритма), может интерферировать с перцептивными и интегративными компонентами процессов обработки информации [28]. Следовательно, возрастание активности в диапазоне низкочастотного бета-ритма может соответствовать облегчению обработки информации за счет уменьшения этой интерференции.

Значения СМ бета₁-ритма были положительно связаны с показателем «продуктивность внимания» при записи ЭЭГ с открытыми глазами (для C4 $r = 0.41$, $P < 0.05$, а для P3 $r = 0.42$, $P < 0.05$) и при записи ЭЭГ во время выполнения арифметической задачи (для P3 $r = 0.39$, $P < 0.05$). Считают, что СМ бета-активности связана с интенсивностью когнитивных процессов, в частности с процессами обработки стимулов во фронтальных зонах коры [29, 30].

Результаты анализа взаимосвязи отношения СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма с устойчивостью внимания представлены на рис. 5. Были также обнаружены положительные корреляции данного отношения с таким показателем, как «продуктивность внимания» при записи ЭЭГ с открытыми глазами (для F3 $r = 0.37$, $P < 0.05$, для C4 $r = 0.39$, $P < 0.05$, а для P3 $r = 0.38$, $P < 0.05$). Упомянутый индекс, наряду с устойчивостью внимания, характеризует



Р и с. 7. Диаграммы значений отношения спектральной мощности (СМ) низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (А) и СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (Б) в подгруппах детей с относительно низкими (1; n = 29) и высокими (2; n = 31) показателями развития произвольного внимания. Отведение ЭЭГ в состоянии с открытыми глазами. Приведены значения средних ± ошибка среднего по подгруппе. Внизу указаны точки отведения. По вертикали – величина отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (А) и СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (Б). Остальные обозначения те же, что и на рис. 1 и 2.

Р и с. 7. Діаграми значень відношення спектральної потужності (СП) низькочастотного бета-ритму до СП тета-ритму (А) та СП бета₁-ритму до СП тета-ритму (Б) у підгрупах дітей з відносно низькими (1; n = 29) і високими (2; n = 31) показниками розвитку довільної уваги.

способность человека удерживать внимание на каком-либо объекте в течение длительного времени.

На рис. 6 приведены топограммы отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (А) и СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (Б), зарегистрированные у двух детей с высокими (1) и низкими (2) индексами устойчивости и концентрации внимания при решении арифметической задачи. В ходе выполнения задания у ребенка с высокими показателями развития произвольного внимания (в отличие от ребенка с низкими значениями данных показателей) происходила перестройка активности различных зон коры, отражающаяся в увеличении СМ

высокочастотных и снижении СМ низкочастотных компонентов активности в этих областях. Подавление медленноволновой активности рассматривается рядом исследователей как один из наиболее характерных признаков повышения функциональной активности мозга [31–33].

В нашей работе было установлено, что СМ тета-ритма была положительно связана с показателем «эффективность работы» при записи ЭЭГ с закрытыми глазами (для С3 $r = 0.37, P < 0.05$), при записи ЭЭГ с открытыми глазами (для С3 $r = 0.43, P < 0.05$, для С4 $r = 0.39, P < 0.05$, а для Т4 $r = 0.41, P < 0.05$) и при записи ЭЭГ во время решения арифметической задачи (для С3 $r = 0.38, P < 0.05$, для С4 $r = 0.39, P < 0.05$, а для Т4 $r = 0.39, P < 0.05$). Полученные результаты свидетельствуют о том, что низкие значения СМ тета-диапазона, преимущественно в центральных отведениях, связаны со способностью индивидуума точно выполнять поставленную задачу.

Результаты психологического тестирования сопоставлялись с соответствующими нормативными возрастными данными [1]. В результате этого все испытуемые были разделены на две подгруппы в

Показатели произвольного внимания у детей 12–13 лет
Показники довільної уваги у дітей 12–13 років

Показатели внимания	Исследованная группа в целом (n = 60)	Подгруппа 1 (n = 29)	Подгруппа 2 (n = 31)
«Эффективность внимания», %	96.90 ± 0.51	95.40 ± 0.70	98.70 ± 0.71
«Импulsивность», %	6.56 ± 1.52	9.26 ± 2.50	5.10 ± 1.85
Продуктивность внимания, количество знаков	825.96 ± 24.79	729.80 ± 28.80	876.57 ± 28.80
«Точность внимания», %	96.70 ± 0.48	94.10 ± 0.52	97.70 ± 0.41
«Эффективность работы», с	43.30 ± 1.26	46.50 ± 1.62	41.60 ± 1.63

Пр и м е ч а н и е. Приведены средние значения ± ошибка среднего.

зависимости от того, были ли показатели внимания выше либо ниже средних нормативных значений. Подгруппу 1 ($n = 29$) составили испытуемые с относительно низкими показателями внимания, а подгруппу 2 ($n = 31$) – испытуемые с лучшими показателями внимания. Средние значения изучаемых показателей произвольного внимания для всей исследованной группы, а также для каждой подгруппы представлены в таблице. Рис. 7 иллюстрирует средние значения отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (*A*) и отношения СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма (*B*) в подгруппах 1 и 2. Различия между подгруппами по данным индексам были в большей степени выражены во фронтальных, центральных и теменных областях головного мозга. Следует обратить внимание на то, что рассматриваемые отношения СМ ритмов ЭЭГ у детей обеих подгрупп имели большие значения в правом полушарии. Указанный факт, возможно, говорит о большем вкладе нейронных механизмов этого полушария в обеспечение произвольного внимания. Из данных литературы известно, что правое полушарие в основном обеспечивает общую мобилизационную готовность человека, поддержание необходимого уровня бодрствования, но его активность сравнительно мало связана с особенностями конкретной деятельности. Левое же полушарие в большей степени отвечает за специализированную организацию внимания в соответствии с особенностями задачи [34].

Таким образом, обнаруженные корреляции спектральных характеристик ЭЭГ с показателями произвольного внимания (рис. 1; 2; 4; 5) указывают на то, что увеличение уровня ЭЭГ-активности практически во всех зонах мозга связано с активацией механизмов произвольного внимания. Данные наших исследований позволили выявить следующие взаимосвязи показателей произвольного внимания и амплитудно-частотных характеристик ритмов ЭЭГ. Дети, отличающиеся хорошей работоспособностью по результатам выполнения go/no-go-теста и корректурной пробы, характеризовались высокими значениями отношения СМ бета₁-ритма к СМ тета-ритма. При этом величины отношения СМ данных ритмов были выше в правом полушарии, что, возможно, свидетельствует о большем вкладе указанного полушария в обеспечение бдительности и устойчивости внимания. Для детей с повышенной импульсивностью (по результатам выполнения go/no-go-теста) были характерны низкие значения

модальной частоты альфа-ритма в затылочных областях головного мозга, в то время как дети с высокими значениями данной частоты в альфа-диапазоне в различных областях головного мозга характеризовались хорошей внимательностью и высокой скоростью когнитивных процессов. Наряду с этим дети, особенно точно выполнявшие задания, имели высокие значения отношения СМ низкочастотного бета-ритма к СМ тета-ритма (преимущественно в центральных и теменных областях обоих полушарий).

Примененный подход может быть использован для получения объективных показателей, характеризующих сферы внимания у детей.

М. В. Луцюк¹, С. В. Ейсмонт¹, В. Б. Павленко¹

ЗВ'ЯЗОК ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕГ-ПОТЕНЦІАЛІВ З РІВНЕМ РОЗВИТКУ ПОКАЗНИКІВ УВАГИ У ДІТЕЙ 12–13 РОКІВ

¹Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

Резюме

Вивчали зв'язок спектральних характеристик електроенцефалограми (ЕЕГ) з показниками уваги у 60 дітей 12–13 років. Показники довільної уваги визначали з використанням комплексу психологічних тестів, що включали тест Бурдона (коректурна проба), двостимульний go/no-go-тест, комп'ютерний тест, що являє собою модифікацію тесту Бурдона для визначення концентрації та стійкості уваги, а також таблиці Шульте. Діти, котрі вирізнялися гарною працездатністю згідно з результатами виконання go/no-go-тесту й коректурної проби, характеризувалися високими значеннями відношення спектральних потужностей (СП) бета₁- і тета-ритмів. Співвідношення СП зазначених ритмів були вищими в правій півкулі, що, можливо, вказує на більший внесок нейронних механізмів даної півкулі в забезпечення пильності та стійкості уваги. Для дітей, які відрізнялися підвищеною імпульсивністю згідно з результатами виконання go/no-go-тесту, були характерні низькі значення модальної частоти альфа-ритму в потиличних ділянках головного мозку, в той час як діти з високими значеннями частоти в альфа-діапазоні в різних ділянках головного мозку мали гарні показники уважності та швидкості когнітивних процесів. Поряд з цим діти, які виконували завдання з особливою високою точністю, відрізнялися високими значеннями відношення СП низкочастотного бета-ритму та тета-ритму (переважно в центральных і тім'яних ділянках обох півкуль). Застосований підхід може бути використаний для отримання об'єктивних показників, що характеризують стан сфери уваги у дітей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е. В. Касатикова, Н. П. Ларионов, И. П. Брызгунов, "Исследование распространенности, показателей внимания и факторов риска для развития синдрома дефицита внимания с гиперактивностью у школьников", *Педиатрия*, **1**, № 5, 73-75 (1999).
2. Е. Д. Белоусова, М. Ю. Никанорова, "Синдром дефицита внимания/гиперактивности", *Рос. вестн. перинатологии и педиатрии*, **45**, № 3, 39-42 (2000).
3. A. S. Gevins, G. M. Zeitlin, and J. C. Doyle, "Electroencephalogram correlates of higher cortical functions," *Science*, **203**, No. 2, 665-667 (1979).
4. A. S. Gevins, G. M. Zeitlin, C. D. Yinglin, and J. C. Doyle, "EEG patterns during "cognitive" tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **47**, No. 6, 693-703 (1979).
5. F. Schober, R. Schellenberg, and W. Dimpfel, "Reflection of mental exercise in the dynamic quantitative topographical EEG," *Pharmacoelectroencephalography*, **31**, No. 2, 98-112 (1995).
6. T. Harmony, T. Fernandez, J. Silva, and J. Bernal, "EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks," *Int. J. Psychophysiol.*, **24**, Nos. 1/2, 161-171 (1996).
7. W. Klimesch, H. Schimke, and G. Pfurtscheller, "Alpha frequency, cognitive load and memory performance," *Brain Tomography*, **5**, No. 3, 1-11 (1993).
8. И. М. Русалов, *Биологические основы индивидуально-психических различий*, Наука, Москва (1979).
9. G. F. Wilson and F. Fisher, "Cognitive task classification based upon topographic EEG data," *Biol. Psychol.*, **40**, Nos. 1/2, 239-250 (1995).
10. A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy, et al., "EEG activity in girls with attention-deficit/hyperactivity disorder," *Clin. Neurophysiol.*, **114**, 319-328 (2003).
11. R. J. Barry, A. R. Clarke, and S. J. Johnstone, "A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography," *Clin. Neurophysiol.*, **114**, 171-183 (2003).
12. R. J. Barry, S. J. Johnstone, and A. R. Clarke, "A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials," *Clin. Neurophysiol.*, **114**, 184-198 (2003).
13. Д. Ф. Любар, "Биоуправление, дефицит внимания и гиперактивность", в кн.: *Биоуправление - 3: теория и практика*, под ред. М. Б. Шгарка, А. Б. Скока, Наука, Новосибирск (1998), с. 142-162.
14. S. J. Johnstone, R. J. Barry, and J. W. Anderson, "Topographic distribution and developmental time-course of event-related potentials in two subtypes of attention hyperactivity disorder," *Int. J. Psychophysiol.*, **42**, No. 1, 73-94 (2001).
15. В. Б. Павленко, Н. В. Луцюк, М. В. Борисова, "Связь характеристик вызванных ЭЭГ-потенциалов с индивидуальными особенностями внимания у детей", *Нейрофизиология/Neurophysiology*, **36**, № 4, 313-321 (2004).
16. Н. В. Луцюк, Е. В. Эйсмонт, В. Б. Павленко, "Связь характеристик вызванных ЭЭГ-потенциалов, зарегистрированных в условиях парадигмы GO/NO-GO с показателями внимания у детей", *Нейрофизиология/Neurophysiology*, **37**, № 5/6, 452-458 (2005).
17. М. В. Цикалова, В. Б. Павленко, Н. В. Луцюк, "Когнитивные вызванные потенциалы у детей 10-12 лет: связь с индивидуальными особенностями внимания", *Таврич. медико-биол. вестн.*, **5**, № 4, 89-92 (2002).
18. T. Egner, T.F. Zech, and J.H. Gruzelier, "The effects of neurofeedback training on the spectral topography of the electroencephalogram," *Clin. Neurophysiol.*, **115**, 2452-2460 (2004).
19. Л. Н. Кулешова, *Внимание. Практикум по общей, экспериментальной и прикладной психологии*, Питер, СПб. (2000).
20. Е. И. Рогов, *Настольная книга практического психолога в образовании*, ВЛАДОС, Москва (1995).
21. Е. А. Умрюхин, Т. Д. Джебраилова, И. И. Коробейникова, "Индивидуальные особенности достижения результатов целенаправленной деятельности и спектральные характеристики ЭЭГ студентов в предэкзаменационной ситуации", *Психол. журн.*, **26**, № 4, 57-65 (2005).
22. М. Г. Князева, В. Ю. Вильдавский, "Соотношение спектральных характеристик ЭЭГ и регионального кровотока детей 9-14 лет", *Физиология человека*, **12**, № 3, 387-394 (1986).
23. M. Osaka, "Peak alpha frequency of EEG during a mental task: Task difficulty and hemispheric differences," *Psychophysiology*, **24**, No. 1, 101-105 (1984).
24. B. Saletu and J. Grunberger, "Memory dysfunction and vigilance: neurophysiological and psychopharmacological aspects," *Ann. New York Acad. Sci.*, **444**, No. 1, 406-427 (1985).
25. L. A. Coben, W. Danziger, and M. Storandt, "A longitudinal EEG study of mild senile dementia of Alzheimer type: Changes at 1 year and at 2.5 years," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **61**, No. 2, 101-112 (1985).
26. M. Tansey and R. Bruner, "EMG and EEG biofeedback training in the treatment of a 10 year old hyperactive boy with a developmental reading disorder," *Biofeedback and self-regulation*, **8**, No. 1, 25-37 (1983).
27. Ю. Д. Кропотов, В. А. Гринь-Яценко, Л. С. Чутко и др., "Лечение детей с синдромом нарушения внимания с гиперактивностью при помощи метода ЭЭГ-биологической обратной связи", *Рос. вестн. перинатологии и педиатрии*, **47**, № 3, 37-40 (2002).
28. M. V. Serman, "Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: Implications for self-regulation," *Biofeedback Self-Regulation*, **21**, No. 1, 3-33 (1996).
29. C. M. Gomez, M. Vazquez, and E. Vaquero, "Frequency analysis of the EEG during spatial selective attention," *Int. J. Neurosci.*, **95**, Nos. 1/2, 17-32 (1998).
30. O. Jensen, P. Goel, N. Kopell, et al., "On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: Sources and modeling," *NeuroImage*, **26**, No. 2, 347-355 (2005).
31. В. С. Русинов, *Функциональное значение процессов головного мозга*, Наука, Москва (1977).
32. В. С. Русинов, О. М. Гриндель, Г. Н. Болдырева, Е. М. Ваккар, *Биопотенциалы мозга человека: математический анализ*, Медицина, Москва (1987).
33. В. И. Гусельников, *Электрофизиология головного мозга*, Высш. шк., Москва (1976).
34. M. I. Posner and S. E. Peterson, "The attention systems of the human brain," *Annu. Rev. Neurosci.*, **13**, No. 3, 25-42 (1990).