

ИЗМЕНЕНИЕ УЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЭГ-ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ АРИФМЕТИЧЕСКОМ СЧЕТЕ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

© 2003 г. Г. Г. Аракелов*, А. В. Фефилов**

*Доктор психол. наук, профессор кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ, Москва

**Заведующий лабораторией психофизиологии и экспериментальной психологии факультета психологии и педагогики Удмуртского государственного университета, Ижевск

Исследованы и проанализированы показатели спектральной плотности в одногерцовых поддиапазонах ЭЭГ (между 3 и 12 Гц) у учащихся 1–4 классов средних школ в возрасте от 7 до 11 лет. Во время эксперимента испытуемые решали арифметические задания на сложение. При решении наряду с десинхронизацией тета- и альфа- ритмов по сравнению с фоном наблюдалось относительное повышение веса низкочастотного (4–5 Гц) компонента в тета-диапазоне и высокочастотного (10–12 Гц) – в альфа-диапазоне.

Ключевые слова: младшие школьники, возрастные изменения, арифметический счет, спектральные составляющие ЭЭГ, десинхронизация ритма, межполушарная асимметрия.

Любая квалифицированная психологическая помощь должна начинаться с надежной и точной диагностики свойств индивида с учетом половых, возрастных и иных существенных факторов различий.

Опубликовано достаточно большое количество работ, авторы которых нашли статистически значимые корреляции между показателями умственного развития детей, с одной стороны, нейропсихологическими параметрами – с другой, возрастом и полом – с третьей, и электрофизиологическими показателями – с четвертой. Последние считаются весьма информативными, особенно это касается амплитуды и спектральной плотности в узких поддиапазонах частот (шириной в 0.5–1.5 Гц) электроэнцефалограммы [3, 4, 6, 9].

Объектом нашего исследования явились возрастные и половые особенности ЭЭГ у младших школьников в возрасте 7–11 лет.

Цель исследования: выявить связь умственной активности в процессе арифметического счета с дифференцированными характеристиками ЭЭГ.

В соответствии с этим поставлена задача: проанализировать динамику узкочастотных ЭЭГ-показателей в процессе решения арифметических задач младшими школьниками.

Гипотеза исследования: умственная активность при счете приводит к десинхронизации ЭЭГ-составляющих в тета- и альфа-диапазонах, специфическому перераспределению между низко- и высоко-частотными составляющими ритмов, а также к сдвигу функциональной межполушарной асимметрии в сторону повышения удельного веса левого полушария.

МЕТОДИКА

Испытуемые и критерии их отбора. Исследованы и проанализированы показатели тета- и альфа- составляющих ЭЭГ у 152 учащихся 1–4 классов средних школ в возрасте от 7 до 11 лет. 14 мальчиков и 20 девочек в возрасте 7–8 лет, 33 мальчика и 31 девочка – 8–9 лет, 21 мальчик и 22 девочки – 9–10 лет и 11 мальчиков в возрасте 10–11 лет.

Для обработки ЭЭГ отбирались результаты исследования детей, показавших скорость выполнения модифицированного теста Тулуз-Пьерона, не ниже “слабой” (2–5 баллов по нормам Л.А. Яскоковой [15, с. 74–75]). Эта методика предназначена для диагностики наличия минимальных мозговых дисфункций (ММД) и, в более общем случае, степени развития когнитивной сферы школьников.

Вторым критерием отбора были значения амплитуд спектральных составляющих ЭЭГ в поддиапазонах между 3 и 7 Гц по всем отведениям. Они не должны были превышать уровень в 0.65 от максимального при картировании в программе “CONAN”.

Методы исследования. Эксперименты были проведены в 1999–2001 гг. в лаборатории психофизиологии и экспериментальной психологии факультета психологии и педагогики Удмуртского ГУ.

Записи ЭЭГ и ЭКГ получены при следующих экспериментальных условиях:

А. В “фоне”, когда испытуемый сидел в кресле с закрытыми глазами.

Таблица 1. Различия между возрастными группами по спектральной плотности в поддиапазонах ЭЭГ

Испытуемые и отведения	Сравниваемые возрастные диапазоны и серии эксперимента					
	8–9 лет отн. 7–8		9–10 лет отн. 8–9		10–11 лет отн. 9–10	
Мальчики	Фон	Арифмет.	Фон	Арифмет.	Фон	Арифмет.
Лобные	4↓(8–10)	1↓(9–10)	2↑(9–10)	2↑(9–10)	0	1↑(10–12)
Височные	2↓(3–5)	2↓(3–4)9–10)	1↓(3–4)	1↑(10–12)	3↓(4–5)8–10)	0
Теменные	16↓(3–12)	10↓(4–12)	1↑(9–10)	0	0	3↓(3–4)9–10)
Затылочные	16↓(3–12)	16↓(3–12)	1↑(10–12)	0	0	0
Все	67↓10↑		1↓7↑		6↓11↑	

Испытуемые и отведения	Сравниваемые возрастные диапазоны и серии эксперимента			
	8–9 лет отн. 7–8		9–10 лет отн. 8–9	
Девочки	Фон	Арифмет.	Фон	Арифмет.
Лобные	1↓(8–9)	4↑(3–6)	2↓(3–5)6↑(8–12)	2↓(3–4)7↑(7–12)
Височные	1↓(9–10)2↑(3–5)	1↓(9–10)2↑(3–5)	4↑(9–12)	6↑(6–7)8–12)
Теменные	2↓(9–12)	1↑(4–5)	7↑(7–12)	2↓(4–5)5↑(8–12)
Затылочные	0	0	1↓(3–4)2↑(10–12)	2↓(4–5)2↑(10–12)
Все	5↓9↑		9↓39↑	

Фон – показатели во время спокойного бодрствования. Арифмет. – показатели во время арифметических операций. Первое число перед скобкой – количество значимых различий ($p < 0.05$). В скобках – поддиапазоны частот в Гц, где есть значимые изменения. Стрелка указывает направление значимого изменения ($p < 0.05$) спектральной плотности ЭЭГ более старших испытуемых по сравнению с младшими: ↓ – уменьшение (десинхронизация), ↑ – увеличение (синхронизация).

Б. При решении арифметических заданий на сложение, в основном соответствующих по уровню сложности своей возрастной группе, также с закрытыми глазами.

Примеры у детей разного возраста отличались порядком суммы, например, испытуемые 7–8 лет складывали числа, получая сумму до 10, в 8–9 лет – от 12 до 20 и так далее.

Аппаратурное обеспечение: 8-канальный прибор комплексного психофизиологического обследования и компьютер с пакетом программ "CONAN-2.0" А.П. Кулаичева.

ЭЭГ регистрировалась от 8 симметричных отведений: лобных (F3, F4), передне-височных (F7, F8), теменных (P3, P4) и затылочных (O1, O2), с ушным референтным электродом. Electroды располагались по системе 10–20. Частота оцифровки 128 Гц, полоса пропускания от 0.5 до 30 Гц. Анализировались безартефактные участки записи общей длиной от 50 до 64 секунд.

Методы обработки. Обработка ЭЭГ включала следующие этапы:

1. Удаление артефактов в ручном режиме.

2. Картирование с вычислением амплитуды и спектральной плотности (СП) внутри каждой записи ЭЭГ. Границы частотных поддиапазонов: дельта-3 (3–4 Гц), тета-1 (4–5 Гц), тета-2 (5–6 Гц), тета-3 (6–7 Гц), альфа-1 (7–8 Гц), альфа-2 (8–9 Гц), альфа-3 (9–10 Гц), альфа-4 (10–12 Гц).

3. Вычисление вторичных показателей: коэффициентов соотношения СП в поддиапазонах 6–7 Гц к 4–5 Гц и 10–12 Гц к 7–8 Гц, а также коэффициентов асимметрии по формулам, заложенным в программу Excel.

4. Вычисление статистики в программе SPSS 10.0. Для оценки значимости различий между показателями ЭЭГ и ЭКГ в разных сериях эксперимента был использован критерий Вилкоксона [10, с. 87–94]. Для оценки значимости различий между разными группами испытуемых использовался критерий Манна-Уитни [10, с. 49–54].

РЕЗУЛЬТАТЫ

А. Возрастные изменения параметров ЭЭГ у мальчиков и девочек (по данным статистики Манна-Уитни)

Возрастные изменения по показателям спектральной плотности (СП) ЭЭГ указывают на то, что формирование электрической активности мозга в низко- и среднечастотных диапазонах у мальчиков и девочек различается (табл. 1). Существенные изменения у мальчиков наблюдались между периодами 7–8 и 8–9 лет и были максимально выражены в теменно-затылочных отведениях, в виде уменьшения амплитуды в широком диапазоне (от 3 до 12 Гц). В лобных областях уменьшение СП отмечалось в полосе 8–10 Гц. Изменения значений СП детей 9–10 лет по сравнению с предыдущим возрастом проявлялись в их

Таблица 2. Изменения при арифметическом счете по спектральной плотности в поддиапазонах ЭЭГ

Испытуемые и отведения	Возрастной диапазон			
	7–8 лет	8–9 лет	9–10 лет	10–11 лет
Мальчики				
Лобные	3↓(8–10)	5↓(6–9)1↑(3–4)	4↓(6–10)1↑(3–4)	5↑(3–7)
Височные	3↓(7–9)	7↓(6–12)	5↓(7–10)	2↑(3–5)
Теменные	10↓(4–10)	9↓(5–10)	7↓(7–12)	5↓(6–12)
Затылочные	7↓(4–9)	11↓(4–10)	10↓(5–12)	5↓(6–9)
Все	23↓	32↓1↑	26↓1↑	10↓7↑
Девочки				
Лобные	3↓(7–9)	3↓(7–10)2↑(3–4)	2↓(8–10)1↑(3–4)	
Височные	7↓(7–12)	9↓(6–12)	6↓(7–12)	
Теменные	12↓(4–12)	9↓(5–12)	13↓(4–12)	
Затылочные	10↓(4–10)	9↓(4–10)	12↓(4–10)	
Все	32↓	30↓2↑	33↓1↑	

увеличении преимущественно в полосе 9–12 Гц в теменно-затылочных и лобных зонах коры.

Можно отметить, что у мальчиков есть тенденция уменьшения амплитуд составляющих ЭЭГ в широкой полосе к 8–9 годам по сравнению с 7–8 годами, более выраженная по теменным и затылочным областям мозга. У девочек ярче проявляются повышения компонентов 8–12 Гц к 9–10 годам по отношению к 8–9 годам в лобных и теменных областях.

Б. Изменения параметров ЭЭГ во время счета (по данным статистики Вилкоксона)

Изменения СП составляющих ЭЭГ (табл. 2) и у мальчиков и у девочек выражаются в снижении амплитуды в диапазоне от 4–5 до 11–12 Гц в теменных и затылочных и от 6–7 до 11–12 Гц в височных и лобных областях. В поддиапазонах 3–4 и в меньшей степени 4–5 Гц в лобных и височных отведениях наблюдается повышение СП, что может быть связано с активацией глазодвигательной реакции при арифметическом счете.

В возрасте 7–8, 9–10 лет у мальчиков уровень десинхронизации ЭЭГ при решении задач значительно меньше, чем у девочек аналогичных возрастных групп. У девочек 9–10 лет реакция в теменно-затылочных областях носит даже несколько более генерализованный характер, чем в младшем возрасте, задевая частоты 4–6 Гц. Исключение составляет возраст 8–9 лет, когда особых различий между полами при счете не наблюдается.

Итак, во время счета изменения наблюдались практически во всех областях мозга и во многих поддиапазонах частот, но максимальные различия отмечались в диапазоне 6–10 Гц в теменных и затылочных отведениях.

Из табл. 3 видно, что при счете происходит перераспределение между средне- и высокочастотными ритмами. Особенно заметно оно у мальчиков 8–9 лет в тета-диапазоне: уменьшается удельный вес 6–7 Гц относительно 4–5 Гц. Интересно, что все 9 значимых изменений при арифметическом счете по сравнению с фоном в тета-диапазоне

Таблица 3. Изменения при арифметическом счете по коэффициентам соотношения частот ЭЭГ (КСС)

Испытуемые и отведения	КСС	Возрастной диапазон		
		7–8 лет	8–9 лет	9–10 лет
Мальчики				
Лобные и	Тета	–	2↓	↓
Височные	Альфа	↑	–	–
Теменные и	Тета	–	2↓	↓
Затылочные	Альфа	–	↑	2↑
Девочки		7–8 лет	8–9 лет	9–10 лет
Лобные и	Тета	–	↓	–
Височные	Альфа	–	–	–
Теменные и	Тета	↓	↓	↓
Затылочные	Альфа	2↑	↑	↑

Примечания к вышеприведенным таблицам:

“Тета” и “Альфа” – коэффициенты соотношения амплитуд составляющих 6–7 Гц к 4–5 Гц и 10–12 Гц к 7–8 Гц соответственно. Первое число перед скобкой – количество значимых различий ($p < 0.05$). В скобках – поддиапазоны частот в Гц, где есть значимые изменения. Стрелка указывает направление значимого изменения ($p < 0.05$) спектральной плотности ЭЭГ испытуемых при арифметическом счете по сравнению с фоном (табл. 2): ↓ – уменьшение (десинхронизация), ↑ – увеличение (синхронизация) коэффициентов соотношения спектральных составляющих (КСС) при арифметическом счете по сравнению с фоном (табл. 3): ↓ – уменьшение удельного веса более высокочастотного компонента, ↑ – увеличение удельного веса более высокочастотного компонента.

Таблица 4. Изменения при арифметическом счете по коэффициентам межполушарной асимметрии (КМА)

Испытуемые и отведения	Возрастной диапазон			
	7–8 лет	8–9 лет	9–10 лет	10–11 лет
Мальчики				
Лобные	0	1↓(6–7)1↑(3–4)	1↑(8–9)	1↓(3–4)
Височные	0	0	1↓(7–8)	1↓(3–4)
Теменные	0	0	1↑(10–12)	3↓(6–7, 8–10)
Затылочные	0	0	0	1↑(8–9)
Все	0	1↓1↑	1↓2↑	5↓1↑
Девочки				
Лобные	1↑(8–9)	1↓(9–10)	1↓(6–7)	
Височные	0	1↑(8–9)	1↓(4–5)	
Теменные	1↓(10–12)	0	0	
Затылочные	0	1↓(4–5)	0	
Все	1↓1↑	2↓1↑	2↓	

Первое число перед скобками – количество значимых различий ($p < 0.05$).

наблюдаются в сторону повышения веса 4–5 Гц составляющей, а все 8 значимых изменений в альфа-диапазоне – в сторону увеличения веса 10–12 Гц компонента. Сопоставление тенденций изменения показателей в таблицах 2 и 3 указывает на то, что общая десинхронизация ритмов, связанная с выполнением математических операций, происходит в большей степени за счет подавления среднечастотных компонентов и в тета-, и в альфа-диапазонах, особенно 6–8 Гц.

Изменения межполушарной асимметрии при счете достаточно разнонаправлены (табл. 4). В частотных диапазонах 3–8 и 9–10 Гц чаще наблюдается относительное повышение амплитуды в левом полушарии, а в полосе 8–9 Гц – наоборот, в правом.

При сопоставлении количеств значимых изменений у мальчиков в возрасте 8–10 лет прослеживается такая тенденция: чем старше испытуемый и, соответственно, сложнее примеры на сложение, тем меньше случаев десинхронизации ритмов, больше случаев синхронизации и чаще происходят значимые относительные повышения амплитуды в левом полушарии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

А. Возрастные и половые особенности ЭЭГ-реакции на счет

У мальчиков разных возрастов арифметический счет вызывает различную по количеству задействованных диапазонов и отведений десинхронизацию ритмов (в отличие от девочек). Для объяснения этого следует обратить внимание на то, что для каждой возрастной группы в эксперименте примеры различались порядком слагаемых и

суммы (например, дети 8–9 лет оперировали суммами от 12 до 20, то есть при сложении приходили за 10). Поскольку операции в пределах десятка совершаются с использованием готовых числовых групп, а операция с переходом через десяток представляет собой сложную цепь взаимосвязанных промежуточных операций [14, с. 29] можно сделать вывод, что мальчики чувствительны к порядку чисел в значительно большей степени, чем девочки. У девочек 8–9 лет количество значимых десинхронизаций не превышает среднее по всем возрастам значение.

Сравнивая количество значимых изменений на ЭЭГ, обусловленных как возрастным фактором, так и влиянием самого арифметического счета (табл. 1 и 2), можно заключить, что исследованные мальчики 8–9 лет по крайней мере не менее реактивны, чем девочки этого же возраста. В то время как в других возрастных группах счет у девочек вызывает заметно большую десинхронизацию ритмов.

Только у мальчиков между 8 и 10 годами реакция на операции сложения проявляется более заметно в затылочных областях, чем в теменных. С одной стороны, это может быть связано с большей активацией “визуальных” зон коры, которые контролируют “пространственные” способности, помогающие эффективнее считать. На наличие такой связи указывает Л.С. Цветкова [14, с. 25]. С другой стороны, это подчеркивает указанную высокую специфичность числового мышления у мальчиков. Половые различия в реакции на арифметический счет находятся в одной плоскости с полученными Л. Вормэком [8, с. 278] результатами, в которых основные факторы способностей мужчин более дифференцированы и автономны, чем у женщин. В структуре способностей

мужчин выделилось три фактора ("вербальный", "математический" и "зрительно-пространственный"), тогда как у женщин все три компонента вошли в один фактор.

Интересно, что мальчики, несмотря на увеличение порядка слагаемых, в возрасте старше 10 лет демонстрируют уменьшение реактивности на счет до достаточно низкого уровня. С одной стороны, это можно объяснить автоматизацией арифметических операций, которая и снижает величину десинхронизации ритмов. С другой стороны, по данным L.P. Spear [16] и Н.Л. Горбачевской [3], в возрасте после 9 лет происходит резкое уменьшение количества синапсов в головном мозге, особенно у мальчиков (до 20–30%). Это, по-видимому, детерминированное на генетическом уровне явление приводит к уменьшению величины генерализованной реакции на любые стимулы.

Б. Взаимосвязь между частотно-специфическими характеристиками ЭЭГ и функциональной активностью мозга при счете

Для эффективной работы мозга требуется высокая координация активности разных его областей. Поэтому повышение нагрузки не должно сопровождаться существенным ростом межполушарной асимметрии по сравнению с фоном. На это указывают и результаты исследований Г.Г. Аракелова, Е.К. Шотта и Н.Е. Лысенко [1].

Поскольку коэффициент межполушарной асимметрии определяется как соотношение между амплитудами в симметричных правых и левых отведениях, а амплитуды тета- и альфа-ритмов при счете подавляются, то относительное повышение амплитуды в правом полушарии, например, означает, что оно менее активировано, чем левое. Поэтому соотношение амплитуд среднечастотных ритмов в симметричных отведениях обратно пропорционально соотношению уровней функциональной активности участков мозга.

Особенности локализации фокуса мозговой активности при счете следует рассматривать с учетом сочетания разных видов интеллектуальных операций. Когда испытуемый проговаривает свой ответ на числовую задачу, а затем слушает условия следующей, включаются больше "вербальные" способности (височная область левого полушария). В нашей работе на активацию левого полушария указывает относительное снижение слева амплитуды компонента 8–9 Гц.

Во время самого процесса решения "в уме" испытуемый может опираться на визуальные образы, так как младшие школьники при счете часто используют наглядные схемы (например, [7]). Как известно, за работу со зрительными стимула-

ми и пространственные способности "отвечают" теменно-затылочные области коры и преимущественно правое полушарие. На активацию правого полушария, по нашим результатам, указывает относительное снижение справа амплитуды компонентов 4–7.5 Гц и 9–10 Гц.

Так как сама ситуация лабораторного эксперимента и тем более арифметический счет вызывают у детей стрессовое напряжение, а правое полушарие "отвечает" за негативные эмоции, сопровождающие стрессовый стимул, все это способствует активации правого полушария.

В нашей работе коэффициент асимметрии у школьников при счете демонстрировал частью значимые, но разнонаправленные изменения, что подчеркивает в целом стабильность общего баланса вклада полушарий в деятельность. Но чаще происходит относительный рост функциональной активности в правом полушарии. Таким образом, происходит компенсация левополушарного участия в "числовом логическом" мышлении правополушарным контролем над "пространственно-образным" мышлением.

В. Соотношение активности частотных генераторов по ЭЭГ-показателям при счете

Влияние счета на ЭЭГ, проявившееся в виде повышения удельного веса компонентов 4–5 Гц и 10–12 Гц, демонстрирует противоположную направленность (реципрокность) генераторов этих составляющих по отношению к таковым у ритма 6–8 Гц. Ранее Г.Г. Аракелов с соавторами [1 и др.] также получили результаты в пользу разной динамики низко- и среднечастотных ритмов при стрессе – арифметическом счете в ограниченное время с угрозой наказания электрическим током [1].

Н.Н. Даниловой [4, с. 82–84; 5, с. 317] были получены результаты, подтверждающие, что соотношение низко- и среднечастотных компонентов альфа-ритма зависит и от уровня мотивации и стресса (с их повышением происходит смещение удельного веса в сторону низкочастотного компонента 6.5–8 Гц), и от свойств темперамента испытуемых.

По данным С.В. Панюшкиной и соавторов [9], соотношение удельных весов низко- и высокочастотных компонентов альфа-ритма связано с активностью моноаминоксидазы (МАО). Преобладание низкочастотной альфа-активности – это проявление низкого уровня МАО и высокой пластичности нервных процессов. На основании этого Н.Л. Горбачевская и соавторы [3 и др.] заключили, что высокие значения индекса альфа 1/3 отражают низкий уровень активности МАО и, соответственно, преобладание анаболических процессов. А пластичность является одним из

факторов, который определяет успешность когнитивной деятельности.

Другие исследователи [5, 6] связывают усиление низкочастотных ритмов (в частности, тета) с процессами активации внимания, возникновения ориентировочной реакции, предвосхищения события. По мнению В.В. Лазарева (1991), увеличение количества низкоамплитудных тета-волн в лобных областях при реализации человеком любой деятельности связано с развитием процессов "активного избирательного торможения".

Интересно, что значительное повышение удельного веса тета- и дельта-ритмов наблюдается также и в 3–4 стадиях сна, которые особенно выражены в первые три часа сна [2, с. 20–24]. Почему такие разные функциональные состояния, как сон и информационный стресс, характеризуются близкими, по крайней мере в низко- и средне-частотном диапазоне, изменениями ЭЭГ? Что это: нечто общее в механизмах или просто совпадение внешних проявлений?

Данное явление можно объяснить, связывая смещение активности в сторону низкочастотных ритмов с угнетением сознания, которое происходит как во сне, так и при сильном стрессе. При последнем также может возникать состояние аффекта, которое характеризуется "затемнением" (или "сужением") сознания. Резко уменьшается количество и качество смысловых и семантических категорий, которыми способен оперировать человек. С другой стороны, во время 3–4 стадий сна многие структуры мозга должны, как минимум, менять форму активности или род деятельности для восстановления запасов энергии и, возможно, оптимизации и организации хранящейся в памяти информации.

Напрашивается вывод, что повышение веса низкочастотных ритмов – это не просто явление, сопровождающее напряженную работу мозга, а свидетельство активной саморегуляции мозга. С их помощью проявляются компенсаторные и восстановительные процессы мозга. Дж. Морuzzi [5, стр. 331–332] различает два типа восстановительных процессов в нервных клетках. Быстрые восстановительные процессы наблюдаются во время бодрствования без специального перерыва в активности нейронов. Медленные же восстановительные процессы необходимы нейронам с синапсами, подверженными пластическим изменениям при обучении, восприятии и разного рода автоматизации навыков. По его мнению, сон – это период восстановления синапсов с пластическими свойствами.

Возможно, что во время глубокого сна у человека происходят процессы переработки информации, резко отличающиеся от тех, которые присутствуют во время обычного бодрствования.

Вероятно, стрессовая реакция способствует активации подобных процессов.

Акцентируя внимание на анализе механизмов, которые могут быть общими для таких разных явлений, как глубокий сон, стрессовая реакция и некоторые виды психопатологий, мы солидарны с В. Гессом и А. Борбели [2, с. 118], считающими, что проблема сна не может быть разрешена сама по себе, а только в ходе анализа целостной функциональной структуры всего организма. Нейромедиаторы (серотонин, норадреналин, ацетилхолин, пептиды), участвующие в регуляции сна, вовлечены также и в регуляцию других функций мозга.

Итак, во время реакции на сильное стрессовое воздействие центры мозга, ответственные за управление и регуляцию состояния, позволяют подкорковым *arousal*- и *emotional*-генераторам поднять уровень возбуждения соответствующих областей мозга до целесообразных пределов. Указанные системы должны одновременно организовывать и активировать процессы мышления с целью решения проблемы, регулировать уровень мотивирующей стимуляции, идущей от лимбической системы и ретикулярной формации, и запускать процессы, восстанавливающие или сохраняющие активность "утомляющихся" нейронных сетей прямо во время их работы. При этом, вероятно, активация сложных когнитивных процессов отражается больше в изменениях высокочастотных (бета- и гамма) ритмов, а повышенный уровень внимания, мотивации, эмоционального напряжения и, возможно, отличающиеся от обычных процессы переработки информации и восстановительные процессы – одновременно в десинхронизации среднечастотных (6–13 Гц) и синхронизации низкочастотных (до 5 Гц) ритмов.

ВЫВОДЫ

1. Умственная активность при счете приводит к десинхронизации ЭЭГ-составляющих в диапазоне от 5 до 12 Гц в теменных и затылочных и от 6 до 10–12 Гц в височных и лобных областях, а также к разнонаправленным сдвигам функциональной межполушарной асимметрии.

2. Мальчики в целом показывают меньшее количество десинхронизации ЭЭГ-ритмов при вычислениях, чем девочки.

3. При счете происходит специфическое перераспределение между низко- и высокочастотными составляющими ритмов: в тета-диапазоне – повышение удельного веса низкочастотного (4–5 Гц), а в альфа-диапазоне, наоборот, высокочастотного (10–12 Гц) компонентов.

4. Относительное увеличение веса 4–5 Гц и 10–12 Гц ЭЭГ-составляющих демонстрирует ре-

ципрность активности генераторов этих ритмов и источника 6–8 Гц компонента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелов Г.Г., Лысенко Н.Е., Шотт Е.К. Психофизиологический метод оценки тревожности. // Психол. журн. 1997. № 2. С. 102–113.
2. Борбели А. Тайна сна. М.: Знание, 1989.
3. Горбачевская Н.Л., Якупова Л.П. Особенности картины ЭЭГ у детей с разными типами аутистических расстройств // Аутизм в детстве / Под. ред. Башина В.М. М.: Медицина, 1999. С. 131–170.
4. Данилова Н.Н. Функциональные состояния: механизмы и диагностика. М.: МГУ, 1985. С. 82–84, 145–146.
5. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности. М.: МГУ, 1989. С. 317–318.
6. Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А., Безруких М.М. Психофизиология ребенка. М.: Владос, 2000.
7. Еремеева В.Д., Хризман Т.П. Мальчики и девочки – два разных мира. М.: Линка-Пресс, 1998.
8. Либин А.В. Дифференциальная психология. М.: Смысл, 1999, 2000.
9. Панюшкина С.В., Курова Н.С., Коган Б.М., Даровская Н.Д. Холинолитическое и холиномиметическое воздействие на некоторые нейро-, психофизио-

- логические и биохимические показатели. // Российский психиатрический журнал. 1998. № 3. С. 42.
10. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: Речь, 2000. С. 34–35, 49–54, 87–94.
11. Фарбер Д.А., Алферова В.В. Электроэнцефалограмма детей и подростков. М.: Педагогика, 1972.
12. Фефилов А.В. Возрастная динамика формирования ЭЭГ у младших школьников в фоне и при решении арифметических задач // А.Р. Лурия и психология 21 века / Вторая международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения А.Р. Лурия (23–27 сентября 2002 г.). Тезисы докладов. М.: МГУ, 2002. С. 142–143.
13. Фефилов А.В. Возрастные особенности ЭЭГ-активности младших школьников. Проблемы нейрокибернетики // Материалы юбилейной международной конференции по нейрокибернетике, посвященной 90-летию со дня рождения А.Б. Когана (23–27 сентября 2002 г.). Ростов-на-Дону, 2002. Т. 1. С. 285–288.
14. Цветкова Л.С. Нейропсихология счета, письма и чтения: Москва–Воронеж: МПСИ, 2000.
15. Ясюкова Л.А. Оптимизация обучения и развития детей с ММД. СПб.: ИМАТОН, 1997. С. 18–34, 74–75.
16. Spear L.P. The adolescent brain and age-related behavioral manifestations // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2000. V. 24. P. 417–463.

PECULIARITIES OF LOW BAND-WIDTH FREQUENCY EEG-INDICES CHANGING DURING ARITHMETICAL CALCULATION IN SCHOOLCHILDREN

G. G. Arakelov*, A. V. Fefilov**

*Dr. sci. (psychology), professor, chair of psychophysiology, Dept. of psychology, MSU, Moscow

**Head of laboratory of psychophysiology and experimental psychology, Dept. of psychology and pedagogy, State University of Udmurtia, Izhevsk

There were analyzed the parameters of spectral density in 1 Hz subranges of EEG (between 3 and 12 Hz) in schoolchildren (1–4 classes, 7–11 years old). EEG was registered when Ss were calculating summation tasks. During calculation there were found desynchronization of theta- and alpha-rhythms, relative increasing of input of low band-width frequency component (4–5 Hz) in theta-diapason and high frequency (10–12 Hz) in alpha-diapason.

Key words: schoolchildren, age-related changes, arithmetical calculation, spectral components of EEG, desynchronization of rhythm, hemispheric asymmetry.