

ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУММАРНОЙ ЭЭГ У ДЕТЕЙ 8,5–9,5 ЛЕТ В ПРОЦЕССЕ ЗАПОМИНАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Малышев Д. А.

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», Архангельск, Россия (163002, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17), e-mail: d.malishev@narfu.ru

ЭЭГ регистрировали у детей в возрасте 8,5–9,5 лет в состоянии покоя («О»), при предъявлении на экране монитора монохромного условно невербализуемого рисунка для запоминания («Р») и при удержании рисунка в памяти («Y»). Оценивали относительную спектральную мощность θ -, α -2-, δ - и β -диапазона суммарной ЭЭГ в правом и левом полушариях головного мозга. Было показано у мальчиков направленное снижение ОСМ α -2 от состояния «О» к состоянию «Р» и от «Р» к «Y» в правом и левом полушариях. У девочек в левом полушарии отмечено снижение ОСМ α -2 от состояния «О» к «Р», а затем увеличение от «Р» к «Y» до уровня покоя. У мальчиков ОСМ θ увеличивается от состояния «О» к «Р» и от «Р» к «Y». У девочек ОСМ θ увеличивается от «О» к «Р», а затем – снижается от «Р» к «Y» в правом и левом полушарии. У мальчиков ОСМ β увеличивается от состояния «О» к «Р», а затем – снижается от «Р» к «Y». У девочек достоверного изменения ОСМ β не выявлено ни в правом, ни в левом полушарии. У мальчиков ОСМ δ увеличивается от состояния «О» к состоянию «Р», а затем снижается к состоянию «Y» в обоих полушариях, а у девочек – ОСМ δ снижается от «О» к «Р», а затем восстанавливается к состоянию «Y» в обоих полушариях.

Ключевые слова: зрительная память, ритмы ЭЭГ, относительная спектральная мощность.

TRENDS OF THE TOTAL EEG POWER SPECTRUM DURING VISUAL MEMORIZATION AT AGE OF 8,5-9,5

Malyshev D. A.

The Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Archangelsk, Russia (163002, Arkhangelsk, Severnaya Dvina Emb. 17), e-mail: d.malishev@narfu.ru

EEG was recorded in children aged 8.5–9.5 years in the rest («O»), during presentation to remember of on-screen monochrome conditionally nonverbal picture («P»), and while holding a picture in memory («Y»). We have evaluated the relative spectral power of θ -, α -2-, δ - and β -band of total EEG in the right and left hemispheres. It was shown directional reduction of RSP α -2 in boys from the state of «O» to state «P», from «P» to «Y» in the right and left hemispheres. In the left hemisphere in girls the RSP α -2 was decreased from the state of «O» to «P», and then increase from «P» to «Y». The boys RSP θ increases from the state of «O» to «P» and from «P» to «Y». In girls, the RSP θ increases from «O» to «P», and then – decreases from «P» to the «Y» in the right and left hemisphere. The boys RSP β increases from the state of «O» to «P», and then – decreases from «P» to «Y». In girls, significant trends of the RSP β were not revealed in the right and in the left hemisphere. The boys RSP δ increases from the state of «O» to a state of «P» and then reduced to a state of «Y» in both hemispheres, and in girls – the RSP δ decreases from «O» to «P» and then restored to the state «Y» in both hemispheres.

Key words: visual memory, EEG rhythms, relative spectral power.

Введение

Сущность психофизиологических исследований ритмических компонентов электроэнцефалограммы состоит в поиске их закономерных изменений и осмыслении их функционального значения как в континууме поведенческих реакций и видов деятельности, так и в онтогенетическом аспекте. Одними из наиболее содержательных, в плане предоставления эмпирического материала для изучения когнитивной сферы, являются процессы получения, сохранения и воспроизведения информации. Такое представление о процессах памяти определяется их интегральным положением в структуре когнитивной

деятельности, их тесными взаимосвязями с активационными, сенсорно-перцептивными, эмоциональными, мотивационными и другими факторами и механизмами познания. Очевидно, что полисистемный характер памяти обуславливает возможность интерпретации ее нейрофизиологических проявлений в качестве маркеров биологической зрелости структур мозга, актуального состояния индивида, эффективности обработки информации, а также в качестве универсальных предикторов как общих, так и частных сторон дизонтогенеза. В свою очередь, объективация данных о реорганизации целостной биоэлектрической активности мозга в процессе выполнения мнемических операций позволит использовать эти данные в разработке комплексной модели возрастной специфики когнитивной деятельности.

Цель исследования – выявление направленности изменений относительной спектральной мощности (ОСМ) ритмических составляющих суммарной ЭЭГ детей в возрасте 8,5–9,5 лет при выполнении ими заданий на запоминание зрительной информации.

Материал и методы исследования

В исследовании приняли участие 20 мальчиков и 20 девочек в возрасте 8,5–9,5 лет, обучающиеся на начальной ступени общеобразовательной школы. Обследованные дети не имели в анамнезе неврологических и сенсорных патологий.

ЭЭГ регистрировали на 24-канальном компьютерном электроэнцефалографе с полосой пропускания 0,5–30 Гц. Для записи ЭЭГ применяли 20 стандартных монополярных отведений. Электроды располагали симметрично по схеме «10–20» над префронтальными, задними нижнелобными, фронтальными, центральными, теменными, затылочными, передне-, средне- и задневисочными и теменно-височно-затылочными областями больших полушарий головного мозга. В качестве референтов использовали ушные электроды.

ЭЭГ регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами (состояние «О»), а также при выполнении заданий на запоминание зрительной информации. Перед началом работы каждый участник был проинструктирован о деталях предстоящего задания. Ребенку для запоминания в течение 10–15 секунд с экрана компьютерного монитора предъявляли изображение монохромной на белом фоне, крупной, сложной фигуры неопределенной формы (на ЭЭГ это состояние предъявления и запоминания стимула обозначалось как «Р»). Затем на экран монитора выводился белый фон без рисунка, а от ребенка требовалось «мысленно» удерживать в памяти фигуру, которую он увидел, «постараться ее не забыть». Такой период работы, когда дети удерживали зрительную информацию в памяти в условиях пустой паузы, продолжался 15 секунд и на ЭЭГ обозначался как состояние «У».

После пустой паузы на экран монитора выводилось контрольное изображение, состоящее из 9 фигур, среди которых была 1 тестовая (стимульная) фигура и 8 фигур,

близких по характеристикам тестовой фигуре. От испытуемого требовалось распознать тестовую фигуру среди 9 фигур и назвать ее номер. За все время регистрации ЭЭГ каждому ребенку было предъявлено 20 стимульных рисунков.

После регистрации и удаления артефактов ЭЭГ подвергалась математическому анализу с использованием быстрого преобразования Фурье, что позволило осуществить оценку распределения мощности ЭЭГ-сигнала (ОСМ) по основным частотным диапазонам: 0,5-3,5 Гц (дельта, δ), 3,6-7,5 Гц (тета, θ), 8,6-10,5 Гц (альфа-2, α_2), 12,6-30 Гц (бета, β).

Статистический анализ проводился с применением набора компьютерных программ MS Excel 2007 для Windows. С помощью непараметрического L критерия тенденций Пейджа констатировали наличие тенденций изменения измеряемых признаков и определяли направление этих тенденций. Основа L критерия – ранжирование значений измеряемого признака в каждом из условий измерения (в нашем случае – в каждом из состояний). Так, ранжирование значений ОСМ α_2 , измеренных в состояниях «О», «Р» и «У», осуществлялось сначала для каждого из 10 ЭЭГ отведений левого, а затем для каждого из 10 отведений правого полушария. Ранг 3 выставлялся тому значению ОСМ α_2 , которое было наибольшим из трех, ранг 1 – тому, которое было наименьшим, ранг 2 – тому, которое было средним. Затем, суммированием рангов по всем 10 ЭЭГ отведениям отдельно в каждом состоянии («О», «Р», «У»), определяли ранговую сумму (ранговое место каждого из состояний). Так же ранжировали значения ОСМ δ , θ и β диапазонов ЭЭГ.

Применение критерия L позволило объединить замеры показателей ОСМ единой гипотезой о наличии тенденций направленного изменения этих показателей в каждом из полушарий мозга при переходе от одного условия измерения к другому (от состояния «О», к состоянию «Р» и, далее, к состоянию «У»). Наличие тенденции направленного изменения значений ОСМ ритмов ЭЭГ считали достоверным на уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Вопрос о едином понимании функциональной роли ритмических компонентов ЭЭГ в обеспечении когнитивных функций остается сегодня открытым и весьма дискуссионным. Альфа-ритм называют ритмом спокойного бодрствования, формирующим динамическую основу системного взаимодействия структур мозга в разных видах сенсорной или когнитивной деятельности, «ритмом холостого хода», возникающим в отсутствие специфической афферентации в зрительную систему [9]. Реактивность мозга в диапазоне альфа-частот и способность данного ритма наиболее заметно отражать текущее состояние мозга рассматриваются как одни из главных феноменологических признаков этого ритма [9]. При необходимости внутренней переработки информации сила реакции активации больше, чем в состоянии покоя, а степень десинхронизации альфа-ритма соотносится с

эффективностью интеллектуальной деятельности [10]. Показано, что преобладание в фоновой ЭЭГ низкого или высокого диапазонов альфа-ритма может рассматриваться в качестве прогностического критерия эффективности запоминания сигналов [7].

В нашем исследовании наличие тенденции направленного уменьшения ОСМ α_2 от состояния "О" к состоянию "Р" и далее к состоянию "У" подтверждается в группе мальчиков на уровне $p < 0,001$ в правом и левом полушариях (рис. 1А).

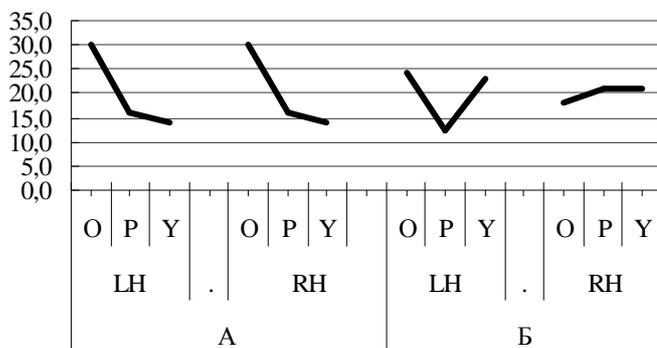


Рис.1. Динамика ОСМ α_2 у мальчиков (А) и у девочек (Б) в правом (RH) и левом (LH) полушариях мозга. *Примечание:* по оси X – исследуемые состояния («О», «Р», «У»), по оси Y – ранговые суммы ОСМ.

В группе девочек (рис. 1Б) в левом полушарии отмечено наличие тенденции ($p < 0,01$) уменьшения ОСМ α_2 от состояния «О» к состоянию «Р», а затем – увеличения к состоянию «У». В правом полушарии у девочек значимой тенденции изменения суммарной ОСМ α_2 отмечено не было, то есть в каждом из локальных ЭЭГ отведений правого полушария изменение ОСМ α_2 имеет разную направленность.

Вероятно, обнаруженные изменения ОСМ α_2 отражают различия механизмов запоминания у мальчиков и девочек. Так, тенденция постоянного снижения ОСМ α_2 у мальчиков (рис. 1А) может свидетельствовать об усилении внутри- и межструктурного взаимодействия, о непрерывно нарастающем функциональном напряжении в системе получения и сохранения информации. У девочек такого напряжения требует, вероятно, лишь этап вовлечения в работу (Р), а на этапе удержания уже полученной информации (У) система начинает функционировать в менее энергозатратном режиме, чем у мальчиков. Такое предположение согласуется с данными о роли альфа-ритма в энергетической регуляции и обеспечении некоторого состояния равновесия и возможности быстрого включения в работу таких неустойчивых систем, как нейроны мозга [2], а также с представлениями об использовании разных стратегий запоминания информации мужчинами и женщинами [1].

Оценка роли того или иного ритмического компонента ЭЭГ в реализации когнитивной деятельности невозможны в полной мере без анализа других ритмических компонентов, поскольку только их совместная представленность и вклад в общую картину

биоэлектрической активности мозга отражает системный характер исследуемой функции, выступает как своеобразный биоэлектрический симптомокомплекс актуального функционального состояния. Различный характер изменения ЭЭГ отражает особенности межполушарных взаимоотношений, информационно-энергетических процессов и кортико-вегетативной регуляции в системе адаптационно-стрессовых реакций при разном уровне эмоциональности и стратегии поведения [5].

В отношении дельта-ритма мнения исследователей расходятся. С одной стороны, преобладание δ -ритма в покое связывают с тормозными состояниями коры, а с другой – с высокой степенью эмоциональной реактивности, стрессом, решением сложных интеллектуальных задач [8]. Статистически значимая тенденция направленного изменения ОСМ δ -ритма от состояния "О" через состояние "Р" к состоянию "У" подтверждается в правом и левом полушариях у мальчиков и у девочек. Однако группы отличаются друг от друга характером этой тенденции (рис. 2).

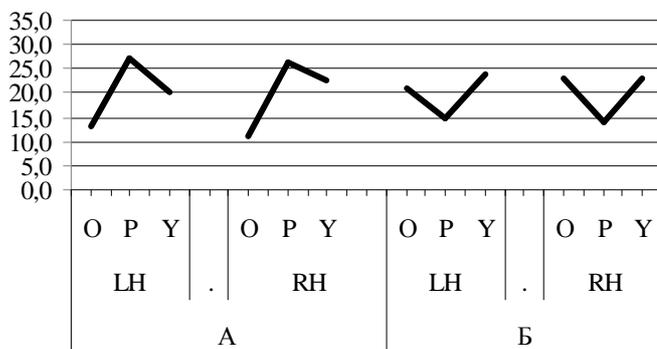


Рис.2. Динамика ОСМ δ -ритма у мальчиков (А) и у девочек (Б) в правом (RH) и левом (LH) полушариях мозга. *Примечание:* то же, что на рис. 1.

В группе мальчиков (рис. 2А) статистически достоверным является то, что ОСМ δ -ритма в обоих полушариях мозга увеличивается от состояния «О» к состоянию «Р», а затем уменьшается к состоянию «У». Наличие такой тенденции в группе мальчиков подтверждается на уровне $p < 0,001$. У девочек (рис. 2Б) ОСМ δ -ритма уменьшается от состояния "О" к состоянию "Р", а затем увеличивается к состоянию «У». Наличие тенденций направленного изменения ОСМ δ в группе девочек подтверждается в правом и левом полушариях на уровне $p < 0,05$.

У мальчиков (рис. 3А) ОСМ θ сначала возрастает от состояния «О» к состоянию «Р», а затем продолжает возрастать к состоянию «У». Такая тенденция прослеживается в правом и левом полушариях ($p < 0,001$). В группе девочек (рис. 3Б) ОСМ θ -ритма имеет коническую форму в правом и левом полушариях. Наличие такой тенденции в правом полушарии подтверждается на уровне $p < 0,001$, в левом полушарии – при $p < 0,01$.

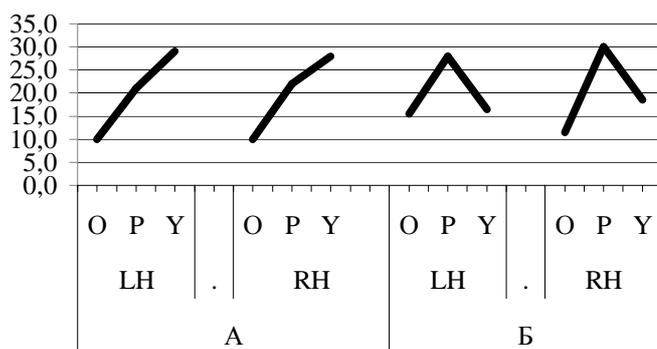


Рис. 3. Динамика ОСМ θ -ритма у мальчиков (А) и у девочек (Б) в правом (RH) и левом (LH) полушариях мозга. *Примечание:* то же, что на рис. 1.

В ряде работ показано, что усиление тета-активности сопровождается процессом фильтрации и обработки сигналов, полученных мозгом, а также рассматривается как показатель реализации селективного внимания в процессах обучения и памяти. Альфа- и тета-системы, участвуя совместно в нейрональной организации произвольного внимания, обеспечивают его информационные и мотивационные аспекты [3]. Кроме того, реактивность в тета-диапазоне отражает механизмы восприятия эмоциональных аспектов стимула и является наиболее характерным изменением ЭЭГ при возникновении негативной эмоциональной реакции. Увеличение СМ тета-ритма у людей с низким исходным уровнем корковой активации при выполнении монотонной деятельности объясняется ее более высокой "физиологической стоимостью", чем для более активированных субъектов, у которых этот показатель снижается и в стрессовой ситуации [4; 6]. Показано снижение СМ тета-ритма и увеличение СМ в бета-диапазоне у стрессоустойчивых испытуемых при стрессе, а у неустойчивых к стрессу – снижение СМ в бета-диапазоне [5].

В группе мальчиков тенденции изменения ОСМ β одинаково направлены в правом и левом полушариях (рис. 4А). Здесь ОСМ β -ритма демонстрирует тенденцию увеличения от состояния «О» к состоянию «Р», а затем – уменьшения в состоянии «У». Наличие такой тенденции подтверждается на уровне $p < 0,001$. В группе девочек (рис. 4Б) наличие тенденций направленного изменения ОСМ β достоверно не подтверждается ни для правого, ни для левого полушария. Другими словами, по каждому из анализируемых локальных ЭЭГ отведений изменение ОСМ β у девочек имеет свою уникальную направленность при переходе от одного условия регистрации ЭЭГ к другому.

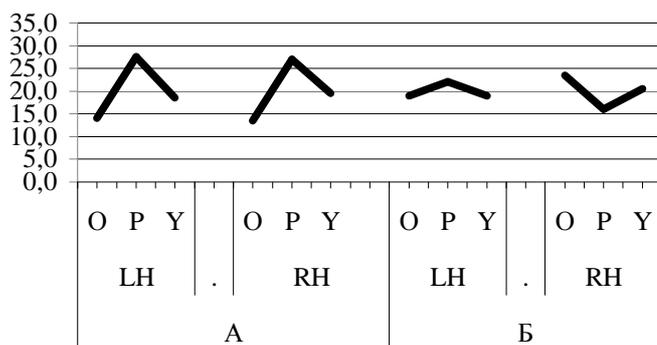


Рис. 4. Динамика ОСМ β -ритма у мальчиков (А) и у девочек (Б) в правом (RH) и левом (LH) полушариях мозга. *Примечание:* то же, что на рис. 1.

Таким образом, анализ направленности изменений ОСМ ритмов ЭЭГ дает возможность зафиксировать целостную картину общемозговой динамики нейрофизиологических компонентов того функционального состояния, которое сопровождает процесс получения и удержания в памяти зрительной информации у детей в возрасте 8,5–9,5 лет. Применение непараметрического L критерия тенденций Пейджа в исследованиях может стать еще одним инструментом для интерпретации данных электроэнцефалограммы, а также для визуализации специфики нейрофизиологических механизмов когнитивной деятельности в соответствии с поставленными задачами.

Выводы

1. В процессе получения зрительной информации для запоминания у мальчиков в обоих полушариях головного мозга уменьшается ОСМ α_2 и увеличивается ОСМ β -, δ - и θ -ритма, а у девочек – снижается ОСМ α_2 в левом полушарии, снижается ОСМ δ - и повышается ОСМ θ -ритма в обоих полушариях мозга.
2. В процессе удержания в памяти зрительной информации у мальчиков в обоих полушариях головного мозга происходит дальнейшее снижение ОСМ α_2 -, снижение ОСМ δ - и β - ритмов, увеличение ОСМ θ -ритма. У девочек – увеличивается ОСМ α_2 - в левом полушарии и ОСМ δ - ритма в обоих полушариях мозга, а также снижается к фоновым значениям ОСМ θ -ритма.

Список литературы

1. Вольф Н. В., Разумникова О. М. Половые различия полушарных пространственно-временных паттернов ЭЭГ при воспроизведении вербальной информации // Физиология человека. – 2004. – № 3. – С. 27-34.
2. Гнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 624 с.
3. Дубровинская Н. В., Мачинская Р. И. Реактивность тета- и альфа-диапазонов ЭЭГ при

произвольном внимании у детей младшего школьного возраста // Физиология человека. – 2002. – № 5. – С.15-20.

4. Ильюченко И. Р., Савостьянов А. Н., Валеев Р. Г. Динамика спектральных характеристик тета-и альфа-диапазонов ЭЭГ при негативной эмоциональной реакции // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2001. – № 5. – С. 563-571.

5. Русалова М. Н., Украинцева Ю. В. Психофизиологическая характеристика лиц с различной стрессоустойчивостью // Успехи физиологических наук. – 2006. – №2. – С.19-40.

6. Стрелец В. Б., Голикова Ж. В. Психофизиологические механизмы стресса у лиц с различной выраженностью активации // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2001. – № 2. – С.166-173.

7. Умрюхин Е. А., Коробейникова И. И., Каратыгин Н. А. Успешность выполнения тестовых заданий студентами с различными спектральными характеристиками α -ритма фоновой электроэнцефалограммы // Физиология человека. – 2009. – № 5. – С. 33-39.

8. Яковенко И. А., Черемушкин Е. А. Топограммный анализ пространственно-временной организации потенциалов коры больших полушарий человека при формировании установки // Физиология человека. – 1998. – № 1. – С. 27-31.

9. Nunez P., Wingeier B., Silberstein R. Spatial-temporal structures of human alpha rhythms: theory, microcurrent sources, multiscale measurements, and global binding of networks // Hum. brainmapp. – 2001. – V.13. – P.125-164.

10. Stipacek A., Grabner R. H., Neuper C. Sensitivity of human eeg alpha band desynchronization to different working memory components and increasing levels of memory load // Neurosci. lett. – 2003. – V. 353, N.3. – P.193-196.

Рецензенты:

Морозова Людмила Владимировна, доктор биологических наук, профессор, директор института естественных наук и биомедицины ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», г. Архангельск.

Гребнева Надежда Николаевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень.