



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 3. С. 358–367.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 358–367.



Научная статья  
УДК [612.8:616.899]:371.78  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z201

## Особенности активации лобной коры головного мозга и нейроэнергометаболизма у младших школьников с задержкой психического развития

Сергей Николаевич Шилов\*\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9132-6652>  
Ирина Викторовна Хабарова\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-2374>  
Наталья Сергеевна Бедерева\*\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3688-3389>

\*Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева  
(Красноярск, Россия)

\*\*Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова  
(Абакан, Россия)

\*\*\*Красноярский государственный медицинский университет  
имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого  
(Красноярск, Россия)

\*\*\*\*Семейный оздоровительный центр «Мумидом»  
(Красноярск, Россия)

**Аннотация.** Взаимосвязь задержек психического развития (ЗПР) и успешности обучения младших школьников является актуальной проблемой психофизиологии. **Цель** работы – изучение особенностей активации лобной коры головного мозга и нейроэнергометаболизма у младших школьников с ЗПР при различной успешности обучения. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 110 учеников общеобразовательных организаций г. Красноярска: 64 чел. с нормотипичным развитием (средний возраст – 8,2 года) и 46 чел. с ЗПР (средний возраст – 8,6 года). Для оценки активационных влияний у детей регистрировались сверхмедленные биопотенциалы (0–0,5 Гц) с помощью аппаратно-программного комплекса «Омега-тестер» (Россия). Исследовались знак и величина потенциала по каналам K1, K2 (по полушариям головного мозга). Метаболизм головного мозга изучался с помощью компьютерно-аппаратного комплекса (НЭК-5, Россия), регистрирующего уровень устойчивых потенциалов на поверхности головы. Анализировались нейрометаболические реакции на функциональную нагрузку (гипервентиляция). Выявление особенностей учебной деятельности и развития познавательных процессов осуществлялось путем опроса педагогов, которые оценивали детей по 5 критериям: поведение и эмоциональные особенности, специфика коммуникативной деятельности, уровень познавательного, моторного и речевого развития, темповые характеристики

© Шилов С. Н., Хабарова И. В., Бедерева Н. С., 2024

**Ответственный за переписку:** Сергей Николаевич Шилов, *адрес:* 660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89; *e-mail:* shiloff.serg@yandex.ru

деятельности и уровень овладения программным материалом. **Результаты.** У школьников с ЗПР выявлены состояния как гипоактивации, так и гиперактивации фронтальной коры. Сниженные показатели уровня развития высших психических функций при ЗПР имеют гетерогенные психофизиологические основы. Полученные результаты указывают на различия деятельности активационных систем у детей с нормой и задержкой развития. Межполушарный диссонанс, обнаруженный у обучающихся с ЗПР, может обуславливать недостаточную для успешного функционирования сформированность психических процессов.

**Ключевые слова:** дети с задержкой психического развития, младший школьный возраст, сверхмедленные биопотенциалы, нейроэнергокартирование, активационные процессы коры мозга, адаптивные резервы организма, успешность обучения в школе

**Для цитирования:** Шилов, С. Н. Особенности активации лобной коры головного мозга и нейроэнергетического метаболизма у младших школьников с задержкой психического развития / С. Н. Шилов, И. В. Хабарова, Н. С. Бедерева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 358-367. – DOI 10.37482/2687-1491-Z201.

Original article

## Frontal Cortex Activation and Cerebral Energy Metabolism in Primary School Children with Delayed Mental Development

Sergey N. Shilov\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9132-6652>

Irina V. Khabarova\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-2374>

Natalya S. Bedereva\*\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3688-3389>

\*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev  
(Krasnoyarsk, Russia)

\*\*Katanov Khakass State University  
(Abakan, Russia)

\*\*\*Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University  
(Krasnoyarsk, Russia)

\*\*\*\*Family Health Centre “Mumidom”  
(Krasnoyarsk, Russia)

**Abstract.** The link between delayed mental development and academic achievement in primary school children is an urgent problem of psychophysiology. The **purpose** of this article was to study frontal cortex activation and cerebral energy metabolism in primary school children with delayed mental development showing different levels of academic performance. **Materials and methods.** The research involved 110 children attending primary schools in the city of Krasnoyarsk: 64 neurotypical subjects (mean age 8.2 years) and 46 subjects with delayed mental development (mean age 8.6 years). To assess the activation effect in children, their infraslow biopotential (0–0.5 Hz) was recorded using the Omega Tester hardware and software complex (Russia). The sign and value of the potential along the channels C1 (left hemisphere) and C2 (right hemisphere) were studied. Cerebral metabolism

---

**Corresponding author:** Sergey Shilov, address: ul. Ady Lebedevoy 89, Krasnoyarsk, 660049, Russia; e-mail: shiloff.serg@yandex.ru

was evaluated using the NEK-5 computer hardware complex (Russia), which records the level of steady potentials on the head surface. Neurometabolic responses to functional load (hyperventilation) were analysed. Educational activities and development of cognitive processes were studied by surveying teachers, who assessed children according to 5 criteria: behaviour and emotional characteristics, communicative activities, level of cognitive, motor and speech development, speed characteristics, and acquisition level. **Results.** Schoolchildren with delayed mental development showed both hypo- and hyperactivation of the frontal cortex. Underdevelopment of higher mental functions in intellectual disability can be attributed to various psychophysiological factors. The results obtained indicate differences in the activation systems in children with normal and delayed mental development. Interhemispheric dissonance found in subjects with delayed mental development may be an underlying cause of insufficiently developed mental processes.

**Keywords:** children with delayed mental development, primary school children, infraslow biopotentials, cerebral energy mapping, activation processes in the cerebral cortex, body's adaptive reserves, academic performance

**For citation:** Shilov S.N., Khabarova I.V., Bedereva N.S. Frontal Cortex Activation and Cerebral Energy Metabolism in Primary School Children with Delayed Mental Development. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 358–367. DOI: 10.37482/2687-1491-Z201

В регуляции сложных психических функций, таких как организация конструктивного праксиса, произвольное внимание и различные виды памяти, программирование речевого высказывания, соотнесение с эталоном, оценивание результатов действия и их корректировка, участвуют лобные отделы коры головного мозга [1]. Существенным фактором, обуславливающим недостаточную сформированность мозговых систем, обеспечивающих развитие высших психических функций, является морфофункциональная незрелость фронтоталамической системы [2]. Известно, что успешность любой деятельности, в т. ч. и учебной, обеспечивается не только адекватным уровнем активации коры головного мозга, но и энергетическим балансом мозговых систем. В зарубежных публикациях представлены эмпирические данные, доказывающие предположение о метаболическом обосновании одаренности: она характерна для стабильного оптимального уровня энергетического метаболизма [3, 4]. При неоптимальных показателях энергетического метаболизма – снижении или повышении уровня активации коры – наблюдается уменьшение эффективности выполняемой деятельности [5–7]. Эти данные находят подтверждение в публикациях

о специфике уровня активации коры головного мозга в проекциях теменной, лобной, височной областей у больных, имеющих патологии центральной нервной системы (ЦНС) [8, 9].

В современных психофизиологических исследованиях, посвященных специфике взаимовлияний корково-подкорковых процессов на функциональное развитие головного мозга младших школьников, успешно применяется метод оценки сверхмедленных биопотенциалов мозга (СМБП).

Цель данной работы – изучение особенностей активации лобной коры головного мозга и нейроэнергометаболизма у младших школьников с задержкой психического развития (ЗПР) при различной успеваемости.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось на базе образовательных организаций г. Красноярска (красноярская школа № 7, гимназия № 15, средняя школа № 1 имени В.И. Сурикова) и лаборатории психофизиологической диагностики и коррекции при кафедре специальной психологии Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. Было обследовано 110 детей без учета половой принадлежности, из них 64 чел. с нормальным уровнем разви-

тия (средний возраст – 8,3 года) и 46 чел. с ЗПР (средний возраст – 8,5 года). В ходе эксперимента применялись следующие методы: регистрация устойчивого потенциала (УП), нейроэнергокартирование, гипервентиляция. Полученные психофизиологические данные соотносились с показателями наблюдения, организованного для определения успешности освоения образовательных программ. Обязательным условием организации эксперимента являлось получение информированного согласия родителей или законных представителей на проведение процедур, согласно этическим принципам медицинских исследований с привлечением человека (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации).

Регистрация СМБП с целью оценки уровня активации головного мозга у обучающихся проводилась с помощью аппаратно-программного комплекса «Омега-тестер» (Россия) [10, 11]. В предшествующих исследованиях была определена универсальность УП по отношению к корковым и подкорковым структурам головного мозга человека. СМБП, регистрируемый с поверхности головы в корковых проекциях различных областей головного мозга, является интегральным показателем уровня активации систем головного мозга [2, 8, 9]. Запись показателей омега-потенциала производилась индивидуально у каждого ребенка в отдельном кабинете в первой половине дня в одно и то же время (1–2-й уроки). Обучающийся находился в положении сидя, в состоянии относительного покоя. Были обеспечены соответствующие условия: комфортный температурный режим, отсутствие внешних раздражителей, одинаковая для всех обучающихся процедура инструктажа перед обследованием, исключаяющая волнение ребенка во время записи показателей. УП регистрировался непрерывно в течение 10 мин. Активные электроды (катоды) располагались по схеме «10–20». Каналы К1, К2 являются показателями потенциала по полушариям головного мозга – левому и правому соответственно. Изучалась выраженность параметров УП. По средним показателям К1 и К2 после установ-

ления стабильных значений были определены три уровня УП: I – 0–20 мВ; II – 21–40 мВ; III – 41–60 мВ.

Далее для определения особенностей метаболизма головного мозга у школьников на нейроэнергокартографе (НЭК-5, Россия) регистрировались УП на поверхности головы по схеме «10–20» при расположении электродов вдоль сагиттальной линии: в лобной, центральной, затылочной областях, а также в левом и правом височных отделах (точки Fz, Cz, Oz, Td, Ts соответственно). Процедура регистрации постоянных потенциалов осуществлялась во время 1–2-го уроков. Обучающиеся при этом были включены в обычную образовательную деятельность. Для подбора метода статистического анализа выборка проверялась на нормальность при помощи критерия Пирсона ( $\chi^2$ ). Оценка значимости различий средних проводилась при помощи параметрического метода ( $t$ -критерия Стьюдента). Статистически достоверными считались различия, уровень значимости которых соответствовал  $p \leq 0,05$ . Статистическая обработка материалов и необходимая вычислительная работа проделаны в программе StatSoft Statistica.

Для определения возможных затруднений в обучении было произведено наблюдение за школьниками с целью выявления особенностей учебной деятельности и специфики развития познавательных процессов. Педагогам, обучающим детей, предлагалось оценить поведение и эмоциональные особенности, специфику коммуникативной деятельности, уровень познавательного, моторного и речевого развития, темповые характеристики деятельности, овладение программным материалом. Формулировка оценки индикаторов в отрицательном залоге позволяла обнаружить возможные негативные проявления. Показатели дифференцировались по их выраженности: незначительно или отсутствует (0 баллов), эпизодически (1 балл), часто или постоянно (2 балла). В качестве первичной обработки осуществлялись подсчет баллов по каждому критерию для определения выраженности соответствующего показателя и подсчет

общей суммы набранных баллов. Обучающиеся, демонстрирующие в учебной и внеурочной деятельности негативные проявления, могли быть отнесены к группе риска по возникновению трудностей в обучении.

**Результаты.** Известно, что как пониженная, так и повышенная мозговая активность является фактором, затрудняющим адаптационные процессы. В первом случае существенно снижаются способности к восприятию и переработке получаемой информации. Во втором – формируется внутреннее напряжение, вызывающее психологический дискомфорт [2].

Результаты, полученные при регистрации УП у детей с нормотипичным развитием, обнаружили доминирование активационных влияний II уровня (в диапазоне 21–40 мВ), характерного для оптимальной степени бодрствования. Обучающиеся с ЗПР существенно отличались от нормально развивающихся сверстников по показателям УП (*табл. 1*).

Выявлено, что количество обучающихся с оптимальным уровнем бодрствования (II уровень УП) среди детей с ЗПР существенно ниже в сравнении с нормотипичными испытуемыми.

Группа обучающихся с ЗПР отличается неоднородностью по распределению УП. Так, у детей с ЗПР чаще, чем при нормальном развитии, наблюдаются не только пониженные (I уровень УП), но и повышенные (III уровень УП) значения активационных влияний.

Одним из факторов, влияющих на такие психофизиологические показатели, как произвольная регуляция поведения, память, внимание, является характер межполушарной асимметрии. Доминирующая активность полушарий определяет специфику психической деятельности [12–14]. В норме у младших школьников наблюдается симметричная активность (21–40 мВ), свойственная оптимальному уровню бодрствования. У группы детей с ЗПР обнаружены существенные различия в деятельности полушарий головного мозга (*табл. 2*).

Таблица 1

**Распределение младших школьников с нормотипичным развитием и ЗПР по уровням устойчивого потенциала**

**Distribution of primary school children with neurotypical and delayed mental development by steady potential levels**

Категория школьников	Частота встречаемости УП, %		
	I уровня	II уровня	III уровня
ЗПР	16	65	19
Норма	46	21	33

Таблица 2

**Распределение младших школьников с нормотипичным развитием и ЗПР по выраженности межполушарной асимметрии**

**Distribution of primary school children with neurotypical and delayed mental development by the degree of interhemispheric asymmetry**

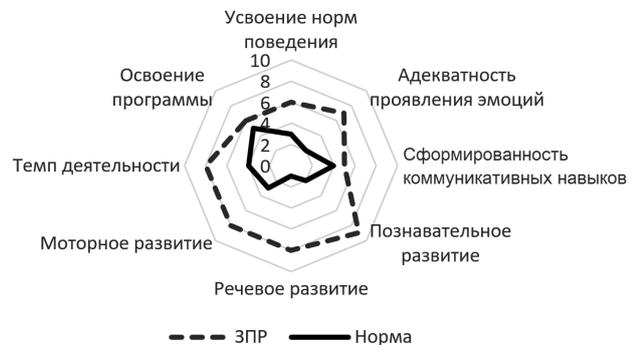
Категория школьников	Частота встречаемости межполушарной асимметрии, %	
	умеренной (до 10 мВ)	значительной (10–20 мВ)
ЗПР	64	36
Норма	13	4

Для школьников с ЗПР характерны депрессия активности левого полушария и преобладание правополушарной активности. По итогам исследования у большинства детей с ЗПР выявлена умеренная межполушарная асимметрия. У большинства школьников с нормотипичным развитием не обнаружено существенной диспропорции в работе полушарий головного мозга.

В результате сопоставления средних значений показателей, полученных путем опроса воспитателей в группах детей с нормотипичным развитием и ЗПР, были установлены различные по выраженности проявлений психофизиологические особенности и специфика деятельности (рис. 1).

Видно, что в норме у обучающихся не наблюдается существенных специфических трудностей, связанных с особенностями деятельности и психофизиологического развития. В группе обучающихся с ЗПР отмечаются негативные проявления различной степени выраженности (табл. 3).

Для исследования психофизиологических коррелятов успешности обучения были проанализированы результаты проведенного нейроэнергокартирования головного мозга обучающихся с нормотипичным развитием и ЗПР. Анализировались также нейрометаболические



**Рис. 1.** Средние значения показателей успешности учебной деятельности и поведенческих проявлений у младших школьников с нормотипичным развитием и ЗПР, баллы

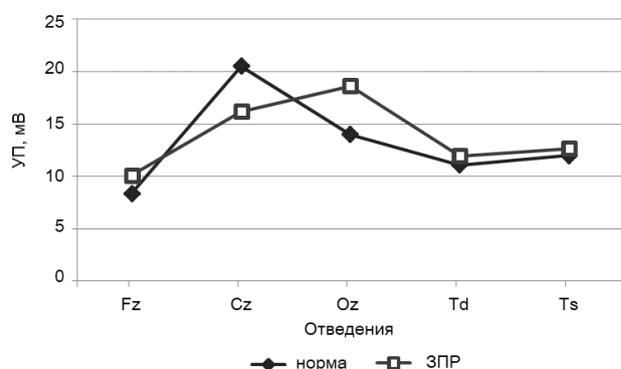
**Fig. 1.** Mean values of parameters of academic performance and behavioural manifestations in primary school children with neurotypical and delayed mental development, points

реакции на функциональную нагрузку, осуществляемую при помощи гипервентиляции. Выявлено (рис. 2, см. с. 364), что для обучающихся с ЗПР характерны неоптимальные параметры нейрометаболизма и значимо меньшие показатели адаптивных резервов ЦНС. При этом неоптимальные значения, связанные со снижением нейроэнергообмена, обнаружены

Таблица 3

**Показатели успешности учебной деятельности и поведенческих проявлений у младших школьников с ЗПР в зависимости от уровня УП, баллы**  
**Parameters of academic performance and behavioural manifestations in primary school children with delayed mental development depending on the steady potential level, points**

Показатель	Уровень УП		
	I	II	III
Усвоение норм поведения	6	4	8
Адекватность проявления эмоций	7	5	9
Сформированность коммуникативных навыков	6	4	5
Познавательное развитие	10	8	9
Речевое развитие	8	8	8
Моторное развитие	9	7	8
Темп деятельности	10	6	8
Освоение программы	7	3	8



**Рис. 2.** Средние показатели энергетического метаболизма у младших школьников с нормотипичным развитием и ЗПР (установлены достоверные различия при  $p < 0,05$ )

**Fig. 2.** Mean values of energy metabolism in primary school children with neurotypical and delayed mental development (significant differences were established at  $p < 0.05$ )

как в лобных, так и затылочных долях, а также в правой височной области. У части школьников с ЗПР по результатам нейроэнергетического картирования обнаружен алкалитический сдвиг нейрометаболизма. Полученные данные говорят о существенном риске снижения адаптационных резервов организма у обучающихся с ЗПР.

**Обсуждение.** Активирующие функции выполняет система «кора–базальные ганглии–таламус–кора» и ретикулярная формация ствола мозга. Исходя из того, что при оптимальном уровне активации мозговой системы ее функции выполняются с наибольшей эффективностью, можно говорить о дестабилизирующем влиянии как понижения, так и повышения уровня активации коры головного мозга на параметры контроля поведения и высших психических функций. При обнаружении пониженных или повышенных значений омега-потенциала следует обратить внимание на специфику когнитивных и поведенческих проявлений. При пониженном уровне омега-потенциала у обучающихся отмечаются быстрая утомляемость, астеничность, они с трудом включаются в учебную деятельность, их мыслительные процессы

отличаются тугоподвижностью, а темповые характеристики деятельности снижены. При повышенном уровне УП у детей наблюдаются расторможенность, неустойчивость внимания, затруднения в понимании инструкций, связанные с невозможностью сосредоточиться на одном виде деятельности, преобладают ускоренный и хаотичный темп деятельности.

Полученные в результате исследования данные подтверждают положение о различных психофизиологических механизмах нарушений развития, обусловленных дефектом модулирующих систем мозга.

Межполушарный диссонанс, обнаруженный при помощи измерения УП у школьников с ЗПР, может обуславливать недостаточную для успешного функционирования сформированность психических процессов [13, 15, 16]. Детям, у которых снижена активность левого полушария, сложнее подключаться к решению логических задач, осуществлять программирование речевого высказывания, концентрировать внимание на видах деятельности, требующих длительного сосредоточения, а также выполнять анализ и синтез информации. При преобладании активности правого полушария у обучающихся обнаружена высокая значимость эмоционального компонента при усвоении программного материала.

Сопоставив данные, полученные в результате наблюдения, и показатели УП в группе обучающихся с ЗПР, мы обнаружили, что у детей с ЗПР по всем исследуемым параметрам имеются специфические особенности, которые могут являться препятствием к успешному усвоению программного материала и интеграции в школьную среду.

Выраженные факторы риска возникновения неуспеваемости связаны с особенностями познавательного, речевого, моторного развития у всех обследованных школьников с ЗПР. Темповые характеристики деятельности существенно снижены преимущественно у обучающихся с I уровнем УП, в то время как у детей с III уровнем УП в большей степени затруднены усвоение норм поведения и формирование навыков

адекватного проявления эмоций. При этом наиболее ресурсными областями для всей группы школьников являются параметры, связанные с взаимодействием внутри коллектива – усвоение норм поведения и сформированность коммуникативных навыков. Следовательно, здесь существует связь с преобладанием правополушарной активности, обуславливающей значимость эмоционального компонента у обучающихся с ЗПР.

Алкалитический сдвиг нейрометаболизма, выявленный у части школьников с ЗПР, свидетельствует о наличии длительной повышенной нагрузки и риске развития состояния декомпенсации стресса, при котором обучающийся не может усвоить программный материал даже при условии адекватных коррекционно-развивающих мероприятий.

Таким образом, обнаружено, что функционирование активационных систем коры головного мозга у детей с нормотипичным развитием и ЗПР имеет определенные различия. У школьников с ЗПР выявляются состояния как

гипоактивации, так и гиперактивации фронтальной коры при значительном снижении уровня энергетического метаболизма. Полученные данные о специфической неоднородности активации коры головного мозга группы обучающихся, испытывающих затруднения в освоении образовательных программ, свидетельствуют о различной психофизиологической основе формирования задержек в психическом развитии. Понимание различной природы причин трудностей в обучении и возникновения поведенческих нарушений у обучающихся с ЗПР позволяет своевременно выявить детей, имеющих риски формирования школьной неуспеваемости. Следовательно, при организации учебной и коррекционно-развивающей деятельности с учетом индивидуальных психофизиологических особенностей обучающихся и обеспечения дифференцированных мер коррекции проблем в обучении повышается вероятность устойчивого положительного результата.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

## Список литературы

1. Таибова Д.Р., Салихова Н.Р. Морфофункциональные изменения при нарушениях чтения и письма // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвуз. междунар. конгр. Уфа: Инфинити, 2022. С. 179–189.
2. Койнова Т.Н. Учет уровня активации мозговых структур как условие оптимизации и повышения качества образования // Качество профессионального образования: опыт, проблемы, перспективы: материалы межрегион. науч.-практ. конф. Кемерово: КРИРПО, 2004. С. 113–116.
3. Takacs C. Enjoy Your Gifted Child. N.Y.: Syracuse University Press, 1986. 192 p.
4. Хабарова И.В., Бедерева Н.С., Шилов С.Н. Влияние темперамента, нейроэнергометаболизма и уровня активации коры головного мозга на психическое развитие младших школьников // Журн. мед.-биол. исследований 2017. Т. 5, № 3. С. 43–55. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.43>
5. Грибанов А.В., Аникина Н.Ю., Гудков А.Б. Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2018. № 8. С. 32–40. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-8-32-40>
6. Ялпаева О.М. Взаимосвязь межполушарной асимметрии и успешности обучения школьников // Вестн. соврем. исследований. 2019. № 1.2(28). С. 122–125.
7. Vingerhoets G., Li X., Hou L., Bogaert S., Verhelst H., Gerrits R., Siugzdaite R., Roberts N. Brain Structural and Functional Asymmetry in Human *situs inversus totalis* // Brain Struct. Funct. 2018. Vol. 223, № 4. P. 1937–1952. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1598-5>

8. Илюхина В.А., Кривошапова М.Н., Пономарева Е.А. Особенности изменений соотношения активации проекционных зон лобной и теменной коры у детей с разным уровнем нарушений развития психических функций и речи // *Нейроиммунология*. 2003. Т. 1, № 2. С. 60–61.

9. Кривошапова М.Н., Илюхина В.А. Возрастные особенности уровней активации лобной и височно-теменной коры у детей 3-7 лет // *Физиология человека*. 2006. Т. 32, № 1. С. 56–67.

10. Кураев Г.А., Морозова Г.И., Леднова М.И. Использование метода омегаметрии в экспресс-обследованиях школьников // *Валеология*. 1999. № 4. С. 33–37.

11. Мурик С.Э. Омегаэлектроэнцефалография: становление нового метода, диагностические возможности // *Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Биология. Экология*. 2018. Т. 26. С. 69–85. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.69>

12. Смит Н.Ю., Александров М.В., Карелина Н.Р., Лытаев С.А., Марченко Е.В. Связь параметров биоэлектрической активности лобных отделов коры головного мозга с уровнем экстраверсии и нейротизма // *Педиатр*. 2021. Т. 12, № 1. С. 31–41. <https://doi.org/10.17816/PED12131-41>

13. Русалова М.Н. Функциональная асимметрия мозга и эмоции // *Успехи физиол. наук*. 2003. Т. 34, № 4. С. 93–112.

14. Aron A.R., Monsell S., Sahakian B.J., Robbins T.W. A Componential Analysis of Task-Switching Deficits Associated with Lesions of Left and Right Frontal Cortex // *Brain*. 2004. Vol. 127, № 7. P. 1561–1573. <https://doi.org/10.1093/brain/awh169>

15. Kurikawa T., Haga T., Handa T., Harukuni R., Fukai T. Neuronal Stability in Medial Frontal Cortex Sets Individual Variability in Decision-Making // *Nat. Neurosci*. 2018. Vol. 21, № 12. P. 1764–1773.

16. Lukyanova I.E., Utenkova S.N. The Development of Thinking in Primary School Children in the Context of Hemispheric Asymmetry // *Psychophysiol. News*. 2022. № 2. С. 171–173.

## References

1. Taibova D.R., Salikhova N.R. Morfofunktsional'nye izmeneniya pri narusheniyakh chteniya i pis'ma [Morphofunctional Changes in Reading and Writing Disorders]. *Vyssshaya shkola: nauchnye issledovaniya* [Higher School: Scientific Research]. Ufa, 2022, pp. 179–189.

2. Koynova T.N. Uchet urovnya aktivatsii mozgovykh struktur kak uslovie optimizatsii i povysheniya kachestva obrazovaniya [Taking into Account the Level of Brain Structures Activation as a Condition for Optimizing and Improving the Quality of Education]. *Kachestvo professional'nogo obrazovaniya: opyt, problema, perspektivy* [Quality of Professional Education: Experience, Problems, Prospects]. Kemerovo, 2004, pp. 113–116.

3. Takacs C. *Enjoy Your Gifted Child*. New York, 1986. 192 p.

4. Khabarova I.V., Bedereva N.S., Shilov S.N. Effect of Temperament, Neural Energy Metabolism, and Level of Cerebral Cortex Activation on the Mental Development of Younger Schoolchildren. *J. Med. Biol. Res.*, 2017, vol. 5, no. 3, pp. 43–55. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.43>

5. Griбанov A.V., Anikina N.Yu., Gudkov A.B. Cerebral Energy Exchange as a Marker of Adaptive Human Reactions in Natural Climatic Conditions of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka*, 2018, no. 8, pp. 32–40 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-8-32-40>

6. Yashpaeva O.M. Vzaimosvyaz' mezhpolusharnoy asimmetrii i uspehnosti obucheniya shkol'nikov [Relationship Between Hemispheric Asymmetry and Academic Performance of Schoolchildren]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2019, no. 1.2, pp. 122–125.

7. Vingerhoets G., Li X., Hou L., Bogaert S., Verhelst H., Gerrits R., Siugzdaite R., Roberts N. Brain Structural and Functional Asymmetry in Human *situs inversus totalis*. *Brain Struct. Funct.*, 2018, vol. 223, no. 4, pp. 1937–1952. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1598-5>

8. Plyukhina V.A., Krivoshchapova M.N., Ponomareva E.A. Osobennosti izmeneniy sootnosheniya aktivatsii proektsionnykh zon lobnoy i temennoy kory u detey s raznym urovnem narusheniy razvitiya psikhicheskikh funktsiy i rechi [Changes in the Ratio of Activation of Projection Areas in the Frontal and Parietal Cortex in Children with Different Degrees of Developmental Disorders]. *Neyroimmunologiya*, 2003, vol. 1, no. 2, pp. 60–61.

9. Krivoshchapova M.N., Ilyukhina V.A. Age-Related Specificity of the Frontal and Temporoparietal Cortex Activation Levels in Three- to Seven-Year-Old Children. *Hum. Physiol.*, 2006, vol. 32, no. 1, pp. 47–58. <https://doi.org/10.1134/S0362119706010075>
10. Kuraev G.A., Morozova G.I., Lednova M.I. Ispol'zovanie metoda omegametrii v ekspress-obsledovaniyakh shkol'nikov [Use of Omegametry in Schoolchildren's Check-Ups]. *Valeologiya*, 1999, no. 4, pp. 33–37.
11. Murik S.E. Omegaelectroencephalography: Formation History and Diagnostic Capabilities of the New Method in Electrophysiology. *Bull. Irkutsk State Univ. Ser. Biol. Ecol.*, 2018, vol. 26, pp. 69–85 (in Russ.). <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.69>
12. Smit N.Yu., Aleksandrov M.V., Karelina N.R., Lytaev S.A., Marchenko E.V. Svyaz' parametrov bioelektricheskoy aktivnosti lobnykh otdelov kory golovnoy mozga s urovnem ekstraversii i neyrotizma [Relationship Between the Parameters of the Frontal Cortex Bioelectric Activity and Extraversion and Neuroticism Level]. *Pediatr.*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 31–41. <https://doi.org/10.17816/PED12131-41>
13. Rusalova M.N. Funktsional'naya asimmetriya mozga i emotsii [Functional Asymmetry of the Brain and Emotions]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 2003, vol. 34, no. 4, pp. 93–112.
14. Aron A.R., Monsell S., Sahakian B.J., Robbins T.W. A Componential Analysis of Task-Switching Deficits Associated with Lesions of Left and Right Frontal Cortex. *Brain*, 2004, vol. 127, no. 7, pp. 1561–1573. <https://doi.org/10.1093/brain/awh169>
15. Kurikawa T., Haga T., Handa T., Harukuni R., Fukai T. Neuronal Stability in Medial Frontal Cortex Sets Individual Variability in Decision-Making. *Nat. Neurosci.*, 2018, vol. 21, no. 12, pp. 1764–1773. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0263-5>
16. Lukyanova I.E., Utenkova S.N. The Development of Thinking in Primary School Children in the Context of Hemispheric Asymmetry. *Psychophysiol. News*, 2022, no. 2, pp. 171–173.

Поступила в редакцию 25.09.2023 / Одобрена после рецензирования 24.01.2024 / Принята к публикации 27.01.2024.

Submitted 25 September 2023 / Approved after reviewing 24 January 2024 / Accepted for publication 27 January 2024.