

**УДК 159.9.072**

**DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-3-127-137**

## **НЕЙРОМЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОК С ГИПОКСИЧЕСКИ-ГИПЕРКАПНИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ У ДЕТЕЙ С ДЕФИЦИТОМ ВНИМАНИЯ**

*Муллер Т. А., Шилов С. Н., Спиридонова М. С., Лисова Н. А.*

*ФГБОУ ВО КГПУ им. В. П. Астафьева, Красноярск, Россия  
E-mail: p1381@mail.ru*

Исследование посвящено проблеме коррекции синдрома дефицита внимания у детей. Обследовано 190 младших школьников г. Красноярск, с дефицитом внимания. Энергетическое состояние головного мозга исследовалось при помощи компьютерно-аппаратного комплекса НЭК-5. Коррекция дефицита внимания была реализована с помощью дыхательных тренировок с гипоксически-гиперкапническими нагрузками. Показано, что младшие школьники с дефицитом внимания отличаются от группы здоровых детей по уровню постоянных потенциалов коры головного мозга. Курс дыхательных тренировок с гипоксически-гиперкапническими нагрузками, в коррекционном комплексе, у детей с дефицитом внимания приводит к значимым положительным изменениям энергетического метаболизма, нормализует функциональное состояние корковых центров, создает условие для развития когнитивных функций.

**Ключевые слова:** дефицит внимания, головной мозг, уровень постоянных потенциалов, энергетический метаболизм, дыхательные тренировки с гипоксически-гиперкапническими нагрузками.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы помимо увеличения числа детей, имеющих те или иные отклонения в развитии, стало очевидным, что многие из них имеют системный характер, отражаясь на физическом, психическом и социальном статусе ребенка [1, 2]. К числу подобных нарушений, имеющих системный характер, можно отнести одну из самых распространенных дисфункций детского возраста – это синдром дефицита внимания (СДВ), который во многих странах, в том числе и России, регистрируется у 5–30 % школьников [3, 4].

По мнению большинства зарубежных и отечественных авторов, негативные явления, сопровождающие СДВ, могут быть обусловлены запаздыванием процессов созревания высших психических функций (ВПФ), вследствие нарушений деятельности лобных отделов, функциональной незрелостью коры головного мозга, возникающих у детей из-за воздействия различных факторов в пре- и постнатальный период. Это приводит к дезинтеграции процессов в головном мозге, несоответствию развития регуляторных механизмов возрастному уровню, слабой реактивности мозговых структур, недоразвитию ассоциативных нейронных связей [5–7].

Поскольку в основе оптимального функционального состояния головного мозга лежат корково-подкорковые взаимомодулирующие отношения, от активности которых зависит обмен питательными веществами, энергетическим субстратом и продуктами метаболизма между клетками головного мозга и сосудистым руслом, эффективность работы мозговых структур, участвующих в обеспечении внимания, может быть обусловлена нейрометаболическими процессами [8–12].

Нарушение оптимального функционального состояния, в созревающем головном мозге, создает неблагоприятные условия для эффективной учебной деятельности, часто приводят к нарушениям адаптации и социализации.

Несмотря на успехи, достигнутые при коррекции СДВ, важной продолжает оставаться проблема немедикаментозных технологий коррекции данного расстройства. В этой связи актуален поиск инновационных подходов и методов в рамках комплексного медико-психологического сопровождения таких детей [13, 14].

Перспективным направлением представляется использование методики гипоксически-гиперкапнических тренировок (ГГТ).

Цель исследования: исследование особенностей энергетического состояния и уровней активации коры головного мозга у младших школьников с дефицитом внимания и, коррекционные эффекты при гипоксически-гиперкапнических дыхательных тренировках.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняли участие 190 школьников в возрасте от 7 до 10 лет г. Красноярск, при добровольном информированном согласии родителей. На основании опросника SNAP-4 и неврологического обследования была выделена группа детей с дефицитом внимания (N=150) и группа детей с нормой развития (N=40). Критериями включения детей в основную группу с СДВ являлись:

- наличие 6 и более критериев невнимательности, 6 или более критериев гиперактивности и импульсивности согласно классификации DSM-IV; соответствие клинических проявлений диагностическим критериям СДВ (F-90 гиперкинетическое расстройство, МКБ-10);
- данная симптоматика проявляется в течение последних 6 месяцев;
- данная симптоматика появилась в возрасте до 7 лет;
- симптомы проявляются как в школе, так и дома (т.е. во всех сферах жизнедеятельности ребенка);
- данные симптомы значительно влияют на качество жизни и успеваемость ребенка, а также окружающих его людей;
- наличие перинатальных факторов риска в анамнезе.

Энергетическое состояние головного мозга исследовалось при помощи компьютерно-аппаратного комплекса «Нейроэнергокартограф НЭК-5» (Разработка Института Мозга РАМН, НПО «Нейроэнергетика» г. Москва), регистрирующего уровень постоянных потенциалов (УПП) на поверхности головы, генез которого связан с церебральным энергетическим метаболизмом и является индикатором уровня активации исследуемых областей головного мозга [15]. Уровень устойчивого постоянного потенциала регистрировался монополярно с

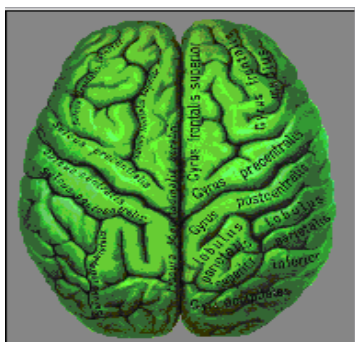
использованием 5 хлорсеребряных чашечковых электродов и одного референтного электрода. Референтный электрод располагался на запястье правой руки (у правойшей) или левой руки (у левойшей); активные электроды – вдоль сагиттальной линии в точках Fz, Cz, Oz, Td, Ts по международной системе «10-20». После фиксации электродов в течении 5 минут регистрировалось фоновое состояние, т.е. регистрировался уровень энергетического метаболизма коры головного мозга без какой либо нагрузки в спокойном расслабленном состоянии. Учитывались значения, полученные в конце 5 минуты. Регистрируемые параметры сравнивались с нормативными, среднестатистическими значениями определенного возрастного периода, которые встроены в программное обеспечение используемого комплекса. Обследование проводилось в первой половине дня с 9.00 до 13.00 в отдельном шумоизолированном помещении при комфортной температуре.

Дыхательные тренировки с гипоксически-гиперкапническими нагрузками были реализованы с помощью дыхательного аппарата «Карбоник» (разработка В. П. Куликов и соавт., 2008). Концентрация газов при дыхательных нагрузках составляла:  $\text{CO}_2$  – около 5 %,  $\text{O}_2$  – около 17 %. Продолжительности тренировок при этом была 20 минут. Длительность курса тренировок 28 дней, при ежедневных занятиях [16].

Для статистических методов обработки использовался пакет «Statistica» 6.0 версии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе нейроэнергетического метаболизма у детей с СДВ и нормой развития было выявлено достоверное различие в уровне постоянных потенциалов по отдельным областям головного мозга (табл. 1, рис. 1).



Дети без признаков дефицита внимания



Дети с признаками дефицита внимания

Рис. 1. Интегральная карта распределения УПП коры головного мозга у детей без дефицита внимания и с СДВ

*Примечание:* зеленым цветом обозначены области с нормальным нейроэнергометаболизмом, красный цвет указывает на повышение УПП относительно нормативных значений.

У детей 7–10 лет с нормой развития был зарегистрирован нормальный уровень энергетического обмена по всем головному мозгу. Основная характеристика распределения УПП в исследуемых областях головного мозга – это «куполообразность», регистрация максимальных значений в центральном отведении и снижением уровня постоянных потенциалов к периферии. Выявлено сохранение данного принципа в распределении устойчивого постоянного потенциала по отделам головного мозга у детей контрольной группы.

**Таблица 1**

**Средние значения УПП (мВ) у детей с дефицитом внимания по сравнению с группой контроля**

показатели	Контрольная группа, n=40	Основная группа, n=150
Fz	9,8±1,21	20,7±1,88*
Cz	15,0±1,69	13,25±0,5
Oz	15,01±1,63	12,5±0,97
Td	14,2±2,64	20,2±1,25*
Ts	13,1±1,29	18,3±1,04*
Sum	70,1±2,28	84,95±2,5*
Хср	14,02±0,91	16,9±1,77*

*Примечание:* здесь и далее Fz-лобное отведение, Cz-центральное, Oz-затылочное, Td-правое височное, Ts-левое височное отведение, Хср – средний уровень нейрометаболизма по всем отведениям. \* – достоверность различий по критерию по критерию Стьюдента при  $p < 0,05$ .

У детей с дефицитом внимания зарегистрировано изменение уровней энергетического метаболизма в лобном, правом и левом височном отведении головного мозга. У детей с дефицитом внимания суммарный УПП был в среднем на 20 % выше, чем у детей контрольной группы и составила 14,85 мВ.

В среднем показатели УПП в группе детей с дефицитом внимания были неравномерно повышены, в среднем на 3,6 мВ в разных точках регистрации. Так, наибольшее повышение значений УПП головного мозга у детей было зарегистрировано в лобном отделе на 52,6 %, по отношению к их сверстникам без патологии. А в правой и левой височной области повышение УПП составило 29,7 % и 12,0 %, соответственно.

Известно, что интенсивность нейрометаболизма у детей имеет наибольшие показатели от 3 до 7 лет, значительно снижаясь к 8–9 годам [17]. У детей с СДВ этого не происходит, что может свидетельствовать о повышенном функциональном напряжении и замедлении созревания корковых отделов у данной категории младших школьников. Локальное повышение энергетического метаболизма, в первую очередь в лобных отделах и наличие межполушарной асимметрии УПП с преобладанием правого полушария в покое может говорить о напряжении механизмов регуляции и повышенных церебральных энергозатратах,

сопровождающих неустойчивость психических процессов с преобладанием процесса возбуждения [18].

Корреляционный анализ уровня постоянных потенциалов выявил уменьшение в сравнении со сверстниками контрольной группы в 1,5 раза количества значимых корреляций между показателями, отражающими потенциалы в разных отделах головного мозга, отсутствие корреляционных связей лобных отделов с центральными и лево-височными отделами (табл. 2). Полученные данные также свидетельствуют о более жесткой и менее пластичной структуре взаимосвязей отделов головного мозга у детей с дефицитом внимания. Это согласуется с данными, полученными другими исследователями, также отмечающими уменьшение связей лобной доли и других отделов мозга, изменение межполушарного взаимодействия у детей с дефицитом внимания [19].

Таким образом, результаты проведенного корреляционного анализа позволяют говорить об относительно структурно-функциональной незрелости головного мозга младших школьников с дефицитом внимания по отношению к детям с нормой развития.

**Таблица 2**

**Матрица значимых коэффициентов корреляции между показателями УПП мозга у детей с нормой развития и дефицитом внимания**

Дети с нормой развития				
	Fz	Cz	Oz	Td
Cz	795			
Oz	737	697		
Td	539	820	747	
Ts	667	787	813	851
Дети с СДВ				
Cz	–			
Oz	554	628		
Td	440	603	762	
Ts	–	528	618	569

*Примечание:* Коэффициент корреляции Спирмена, критическое значение  $r=0,330$ . Целые значения чисел и запятые опущены.

После курса гипоксически-гиперкапнических тренировок выявлено изменение уровня постоянных потенциалов по всем областям у детей с признаками дефицита внимания (рис. 2).

У детей с дефицитом внимания после курса ГГТ по результатам нейроэнергокартирования наблюдалась тенденция к «куполообразности» при распределении УПП и приближение показателей к нормативным для данного возраста, что говорит о нормальной метаболической активности коры головного мозга.

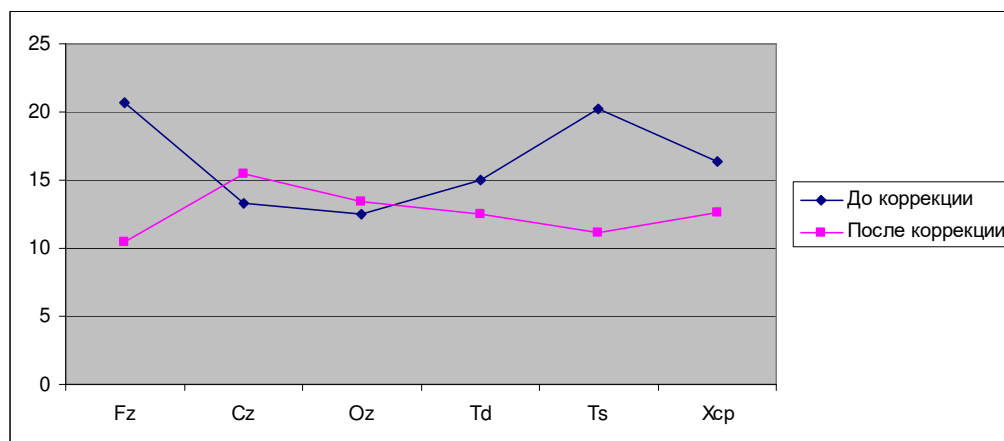


Рис. 2. Распределение УПП головного мозга у детей с дефицитом внимания до и после гипоксически-гиперкапнических тренировок.

Из таблицы 3 видно, что наиболее значимое изменение уровня постоянных потенциалов наблюдалось в лобной, центральной, и правой височной области ( $p < 0,05$ ).

**Таблица 3**  
**Среднее значение измеренного УПП (мВ) у детей с дефицитом внимания до и после гипоксически-гиперкапнических тренировок**

показатели	До тренировок (M±m)	После ГТТ (M±m)
Fz	20,7±1,88	10,5±1,08*
Cz	13,25±0,5	15,5±0,9*
Oz	12,5±0,97	13,4±0,87
Td	14,95±1,25	12,5±0,09*
Ts	20,2±1,31	11,8±0,11*
Sum	81,6±2,5	62,9±2,3*
Xcp	16,32±1,77	12,6±1,61*

В среднем показатели УПП были изменены на 4,84 мВ, хотя и неравномерно в разных точках регистрации. Так, наибольшее достоверное понижение значений постоянного потенциала головного мозга после применения дыхательных тренировок было зарегистрировано в лобном отделе на 49,3 %, в левой височной области на 41,5 % и в правом височном отделе коры головного мозга на 16,3 %. Повышение значений постоянного потенциала в центральном отделе на 15,5 %.

Известно, что изменение постоянных потенциалов при дыхательных нагрузках происходит, за счет сосудистого компонента. Вымывание кислых продуктов обмена веществ, происходящее при усилении кровоснабжения головного мозга, приводит к

снижению показателя УПП, что является благоприятным прогностическим признаком [20–22].

Следует отметить, что применение ГТТ, благотворно влияет на формирование ВПФ и двигательных функций. У таких детей после завершения курса по данным нейропсихологического тестирования и теста variability of attention TOVA наблюдались следующие изменения: улучшилась концентрация внимания, повысилась работоспособность, увеличился темп мышления и объем памяти.

Спустя один месяц после курса гипоксически-гиперкапнических тренировок у детей в данной группе отмечалось сохранение достигнутого эффекта по уровню постоянного потенциала коры головного мозга.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате исследования установлено, что дети младшего школьного возраста с дефицитом внимания имеют отличия от детей с нормой развития в интенсивности энергетического метаболизма головного мозга: наблюдалось повышение УПП в лобном отделе в 2,5 раза, по сравнению с детьми без дефицита внимания. Подобные особенности, вероятно, могут объясняться несбалансированным отношением регуляторных корково-подкорковых структур, формирующих устойчивое перевозбуждение в центральной нервной системе. Значительное повышение УПП в лобном отведении по сравнению с потенциалами в других точках регистрации говорит о включении механизмов анаэробного окисления в тканях мозга с возрастанием количества продуктов окисления, как результат функционального напряжения головного мозга, связанного с перевозбуждением фронтальной коры. Это согласуется с данными современных теорий происхождения и развития дефицита внимания, которые в качестве области анатомического дефекта при этой патологии рассматривают лобные доли [23–25].

Исследовано гипоксически-гиперкапническое воздействие на нейрометаболизм головного мозга у детей с дефицитом внимания. Выявлено, что у детей завершивших курс ГТТ, произошли положительные изменения в интенсивности нейроэнергообмена коры головного мозга: нормализация показателей УПП в лобных отделах коры головного мозга, формирование «куполообразности» при распределении УПП, что говорит о нормальной метаболической активности коры головного мозга в результате сочетанных эффектов гиперкапнии и гипоксии.

*Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках реализации проекта: «Разработка и внедрение эффективной наукоёмкой высокотехнологичной методики коррекции когнитивных нарушений у детей-инвалидов».*

### **Список литературы**

1. Fayyad J. The descriptive epidemiology of DSM-IV Adult ADHD in the world Health Organization World Mental Health Surveys / Fayyad J., Sampson N. A. // Atten Defic Hyperact Disord. – 2016. – Vol. 19. – P.1–19.

2. Ziegler S. Modeling ADHD: A review of ADHD theories through their predictions for decision-making and reinforcement learning / Ziegler S., Pedersen L., Mowinckel A., Brele G. // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2016. – Vol. 71. – P. 633–656.
3. Заваденко Н. Н. Синдром дефицита внимания и гиперактивности: новое в диагностике и лечении / Заваденко Н. Н. // *Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: Медико-биологические науки*. – 2017. – №1. – С. 31–39.
4. Shith T., Schmidt-Kasther R., McGeary J., Kaczonowski J., Knopik V. // *Behavior Genetics*. – 2016. – Vol. 46, № 3. – P. 467–477.
5. Daley D. ADHD and academic performance: why does ADHD impact on academic performance and what can done to support ADHD children in the classroom / Daley D., Birchwood J. // *Child: Care, Health and Development*. – 2016. – Vol. 36, № 4. – P.455–464.
6. Klein M. Brain imaging genetics in ADHD and beyond-mapping pathways from gene to disorder at different levels of complexity / Klein M., Onhink M., Marjolein D. and other. // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2017. – P. 1–58.
7. Murray E. Are fetal growth impairment and preterm birth causally related to child attention problems and ADHD. Evidence from a comparison between high-income and middle-income cohorts / Murray E., Pearson R., Fernandes M., Santos I. S., Barros F. S. Victora C. G., Stein A., Matijasevich A. // *Journal Epidemiol Community Health*. – 2016. – Vol. 40, №7. – P. 704–709.
8. Ye. C. Two SNAP-25 genetic variants in the binding site of multiple microRNAs and susceptibility of ADHD: A meta-analysis / Ye. C., Hu. Z., Wu E., Yang X., Buford U., Guo Z., Saveany R. // *Journal of Psychiatric Research*. – 2016. – Vol. 81. – P. 56–62.
9. Илюхина В. А. Сверхмедленные информационно-управляющие системы в интеграции процессов жизнедеятельности головного мозга и организма / Илюхина В. А. // *Физиология человека*. – 2013. – Т. 39, №3. – С. 114–126.
10. Муллер Т. А. Особенности уровня активации лобной коры и нейрометаболизма головного мозга у детей 7–10 лет с СДВГ / Муллер Т. А., Шилов С. Н. // *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета*. – 2017. – Т. 7, №5. – С. 193–202.
11. Ma I. The interaction between reinforcement and inhibitory control in ADHD: A review and research guidelines / Ma I., Duijvenvoorde A., Scheres A. // *Clinical Psychology Review*. – 2016. – Vol. 44. – P. 94–111.
12. Snyder M. Integration of an EEG biomarker with a clinicians ADHD evaluation / Snyder M., Rugino A., Horning M., Stein A. // *Brain and Behavior*. – 2015. – Vol. 5, № 4. – P. 100–115.
13. Фесенко Ю. А. Синдром дефицита внимания и гиперактивности: новое в инструментальной диагностике / Фесенко Ю. А. // *Врач*. – 2015. – № 9. – С. 29–31.
14. Colaner N. Physician practices to prevent ADHD stimulant diversion and misuse / Colaner N., Keim S., Adesman A. // *Journal of substance Abuse Treatment*. – 2017. – Vol. 74. – P. 26–34.
15. Фокин В. Ф. Влияние газотранспортной системы мозгового кровотока на медленную электрическую активность головного мозга у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией / Фокин В. Ф., Пономарева Р. Б., Медведев Р. Б., Танащян М. М. // *Клиническая неврология*. – 2017. – Т.11, № 4. – С. 29–35.
16. Чудимов В. Ф. Применение гипоксически-гиперкапнических тренировок у детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью для коррекции проблем школьной дезадаптации / Чудимов В. Ф., Куликов В. П., Куропятник Н. И., Бойко Е. А. // *Вопросы курортологии и лечебной физкультуры*. – 2011. – №3. – С. 36–39.
17. Джос Ю. С. Особенности электроэнцефалограммы и распределения уровня постоянного потенциала головного мозга у детей-северян младшего школьного возраста / Джос Ю. С., Нехорошкова А. Н., Грибанов А. В. // *Экология человека*. – 2014. – № 12. – С. 15–20.
18. Грибанов А. В. Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации / Грибанов А. В., Аникина Н. Ю., Гудков А. Б. // *Экология человека*. – 2018. – № 8. – С. 32–40.
19. Грибанов А. В. Дефицит внимания с гиперактивностью у детей: результаты исследований на Севере России / Грибанов А. В. // *Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: «Естественные науки»*. – 2012. – № 1. – С. 58–64.



20. Брагин Л. Х. Функциональные возможности организма при различных соотношениях углекислого газа и кислорода / Брагин Л. Х., Гончарова Л. Г. // Физиология человека. – 2001. – Т.27, №1. – С. 102–105.
21. Куликов В. П. Сравнительная эффективность гипоксии, гиперкапнии и гиперкапнической гипоксии в увеличении резистентности организма к острой гипоксии в эксперименте / Куликов В. П., Трегуб П. П., Беспалов А. Ю. // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2013. – №3. – С. 59–62.
22. Куликов В. П. Гиперкапния-альтернативный гипоксии сигнальный стимул для повышения HIF-1 $\alpha$  и эритропоэтина в головном мозге / Куликов В. П., Трегуб П. П., Ковзелев П. Д. // Патологическая физиология и экспериментальная медицина. – 2015. – №3. – С. 34–37.
23. Чутко Л. С. Диагностика и лечение когнитивных нарушений при синдроме дефицита внимания у взрослых / Чутко Л. С. // Журнал неврологии и психиатрии. – 2017. – №5. – С. 9–13.
24. Husarova V. Prefrontal grey and white matter neurometabolite changes after atomoxetine and methylphenidate in children with attention deficit/ hyperactivity disorder: A 1H magnetic resonance spectroscopy / Husarova V., Bittsanky M., Ondreyka I., Dobrota D. // Psychiatry Research: Neuroimaging. – 2014. – Vol. 222. – P. 75–83.
25. Vilgis V. Global and local grey matter reductions in boys with ADHD combined and ADHD inattentive type / Vilgis V., Sun L., Chen J., Silk T., Vance A. // Psychiatry Research: Neuroimaging. – 2016. – Vol. 254. – P. 119–126.

## **CORRECTIVE EFFECTS OF GTPOXIC-HYPERCAPNIC RESPIRATORY TRAININGS IN CHILDREN WITH ATTENTION DEFICIENCY**

*Muller T. A., Shilov S. N., Spiridonova M. S., Lisova N. A.*

*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: p1381@mail.ru*

The correction of this disorder is always complex and combines various approaches: methods of behavior modification, work with school teachers, psychological and neurophysiological correction methods, as well as drug treatment. The main tasks of correction are to reduce the severity of attention disorders, improve psychosocial adaptation and academic performance. One of the promising methods for correcting attention deficit in an integrated approach is breathing exercises with hypoxic-hypercapnic loads, although experience with their application is unique.

**Materials and methods.** A total of 190 schoolchildren from Krasnoyarsk with attention deficit were examined. The energy state of the brain was studied using the NEK-5 computer-hardware complex. Correction of attention deficit was realized with the help of breathing exercises with hypoxic-hypercapnic loads.

**Results.** The study showed that younger students with attention deficit differ from the group of healthy children in terms of constant potentials in the cerebral cortex. The course of respiratory training with hypoxic-hypercapnic loads, in the correctional complex, in children with attention deficit leads to significant positive changes in energy metabolism, normalizes the functional state of the cortical centers, creates the condition for the development of cognitive functions.

**Keywords:** attention deficit, brain, level of constant potentials, energy metabolism, respiratory training with hypoxic-hypercapnic loads.

### References

1. Fayyad J., Sampson N. A. The descriptive epidemiology of DSM-IV Adult ADHD in the world Health Organization World Mental Health Surveys. *Atten Defic Hyperact Disord*, **19**, 47, (2016)
2. Ziegler S., Pedersen L., Mowinkel A., Brele G. Modeling ADHD: A review of ADHD theories through their predictions for decision-making and reinforcement learning. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **71**, 633, (2016).
3. Zavadenko N. N. Attention Deficit Hyperactivity Disorder: New in Diagnosis and Treatment, *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Biomedical Sciences*, **(1)**, 31, (2017).
4. Shith T., Schmidt-Kastner R., McGeary J., Kaczonowski J., Knopik V. Pre- and perinatal ischemia-hypoxia, the ischemia-hypoxia response pathway, and ADHD risk, *Behavior Genetics*, **46** (3), 467, (2016).
5. Daley D., Birchwood J. ADHD and academic performance: why does ADHD impact on academic performance and what can be done to support ADHD children in the classroom, *Child: Care, Health and Development*, **36** (4), 455, (2016).
6. Klein M., Onhink M., Marjolein D. Brain imaging genetics in ADHD and beyond-mapping pathways from gene to disorder at different levels of complexity, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **80**, 115, (2017).
7. Murray E., Pearson R., Fernandes M., Santos I. S., Barros F. S., Victora C. G., Stein A., Matijasevich A. Are fetal growth impairment and preterm birth causally related to child attention problems and ADHD. Evidence from a comparison between high-income and middle-income cohorts, *Journal Epidemiol Community Health*, **40** (7), 704, (2016).
8. Ye. C., Hu. Z., Wu E., Yang X., Buford U., Guo Z., Saveany R. Two SNAP-25 genetic variants in the binding site of multiple microRNAs and susceptibility of ADHD: A meta-analysis, *Journal of Psychiatric Research*, **81**, 56, (2016).
9. Ilyukhina V. A. Super-slow information management systems in the integration of the vital processes of the brain and the body, *Human Physiology*, **39**(3), 114, (2013).
10. Muller T. A., Shilov S. N. Features of the level of activation of the frontal cortex and brain neurometabolism in children 7–10 years old with ADHD, *Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University*, **7** (5), 193, (2017).
11. Ma I., Duijvenvoorde A., Scheres A. The interaction between reinforcement and inhibitory control in ADHD: A review and research guidelines, *Clinical Psychology Review*, **44**, 94, (2016).
12. Snyder M., Rugino A., Horning M., Stein A. Integration of an EEG biomarker with a clinicians ADHD evaluation, *Brain and Behavior*, **5** (4), 100, (2015).
13. Fesenko Yu. A. Attention deficit hyperactivity disorder: new in instrumental diagnostics, *Doctor*, **(9)**, 29, (2015).
14. Colaner N., Keim S., Adesman A. Physician practices to prevent ADHD stimulant diversion and misuse, *Journal of substance Abuse Treatment*, **74**, 26, (2017).
15. Fokin V. F., Ponomareva R. B., Medvedev R. B., Tanashyan M. M. The effect of the gas transport system of cerebral blood flow on the slow electrical activity of the brain in patients with discirculatory encephalopathy, *Clinical Neurology*, **11** (4), 29, (2017).
16. Chudimov V. F., Kulikov V. P., Kuropyatnik N. I., Boyko E. A. The use of hypoxic-hypercapnic training in children with attention deficit hyperactivity disorder to correct problems of school maladaptation, *Problems of balneology and physiotherapy*, **(3)**, 36, (2011).
17. Jos Yu. S., Nekhoroshkova A. N., Griбанov A. V. Features of the electroencephalogram and distribution of the level of permanent brain potential in children-northerners of primary school age, *Human ecology*, **(12)**, 15, (2014).
18. Griбанov A. V., Anikina N. Yu., Gudkov A. B. Cerebral energy exchange as a marker of adaptive human reactions in natural and climatic conditions of the Arctic zone of the Russian Federation, *Human ecology*, **(8)**, 32, (2018).

19. Gribanov A. V. attention Deficit hyperactivity in children: research results in the North of Russia, *Bulletin Of The Northern (Arctic) Federal University. Series: «Natural science»*, (1), 58, (2012).
20. Bragin L. Kh., Goncharova L. G. Functional capabilities of the body at different ratios of carbon dioxide and oxygen, *Human Physiology*, **27**(1), 102, (2001).
21. Kulikov V. P., Tregub P. P., Bespalov A. Yu. The comparative effectiveness of hypoxia, hypercapnia and hypercapnic hypoxia in increasing the body's resistance to acute hypoxia in the experiment, *Pathological physiology and experimental therapy*, (3), 59, (2013).
22. Kulikov V. P., Tregub P. P., Kovzelev P. D. Hypercapnia, an alternative hypoxia signaling stimulus for increasing HIF-1 $\alpha$  and erythropoietin in the brain, *Pathological physiology and experimental medicine*, (3), 34, (2015).
23. Chutko L. S. Diagnostics and treatment of cognitive disorders in adult attention deficit disorder, *Journal of neurology and psychiatry*, (5), 9, (2017).
24. Husarova V., Bittsansky M., Ondreyka I., Dobrota D. Prefrontal grey and white matter neurometabolite changes after atomoxetine and methylphenidate in children with attention deficit/ hyperactivity disorder: A 1H magnetic resonance spectroscopy, *Psychiatry Research: Neuroimaging*, **222**, 75, (2014).
25. Vilgis V., Sun L., Chen J., Silk T., Vance A. Global and local grey matter reductions in boys with ADHD combined and ADHD inattentive type, *Psychiatry Research: Neuroimaging*, **254**, 119, (2016).