DOI: https://doi.org/10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

К проблеме элементного дисбаланса у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией)

Т.К. Ларионова[1], Р.А. Даукаев[1], Э.Р. Шайхлисламова[1], А.Н. Ларионова[2], Э.А. Аухадиева[1], Г.Р. Аллаярова[1], Г.Ф. Адиева[1], Е.Е. Зеленковская[1]

[1] Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека, Уфа, Россия;
[2] Научно-практический центр детской психоневрологии, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Риск развития различных патологий у детей, в том числе болезней нервной системы, часто ассоциируется с нарушением минерального обмена в организме, поскольку макро- и микроэлементы играют важную роль в обеспечении деятельности центральной и вегетативной нервной системы. Элементный дисбаланс в детском организме может быть как следствием аномалий внутриутробного развития, так и связанным с внешнесредовым воздействием.

Цель. Провести анализ и оценку элементного состава волос у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией).

Материалы и методы. Проведено поперечное исследование 93 детей в возрасте 3–6 лет. Их разделили на две группы: основную, которую вошли дети с установленным диагнозом «детский церебральный паралич (спастическая диплегия)», и контрольную. Для оценки элементного статуса методом атомно-абсорбционной спектрометрии в пробах волос определены 14 химических элементов.

Результаты. Элементный гомеостаз детей с диагнозом «детский церебральный паралич» нарушен как в отношении эссенциальных и условно-эссенциальных элементов, так и в отношении токсичных. В волосах детей основной группы установлен достоверно повышенный (p <0,05) уровень марганца, хрома, никеля и свинца относительно верхней границы референтного диапазона и показателей контрольной группы. При этом наблюдается значимое снижение концентрации селена относительно нижней границы нормы и показателей контрольной группы (в 46 и 20 раз соответственно; p <0,05).

Заключение. Изучение элементного состава волос может быть использовано в качестве дополнительного теста при диагностике заболеваний нервной системы у детей, назначении лекарственных препаратов для коррекции минерального обмена.

Ключевые слова: элементный статус; детский церебральный паралич; дисбаланс микроэлементов.

Как цитировать:
Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Шайхлисламова Э.Р., Ларионова А.Н., Аухадиева Э.А., Аллаярова Г.Р., Адиева Г.Ф., Зеленковская Е.Е. К проблеме элементного дисбаланса у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией) // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

Рукопись поступила: 17.12.2024 **Рукопись одобрена:** 21.04.2025 **Опубликована online:** 27.04.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2024

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

Elemental Imbalance in Children with Cerebral Palsy (Spastic Diplegia)

Tatiana K. Larionova[1], Rustem A. Daukaev[1], Elmira R. Shaikhlislamova[1], Anna N. Larionova[2], Elvira A. Aukhadieva[1], Guzel R. Allayarova[1], Gyuzeliya F. Adieva[1], Evgenya E. Zelenkovskaya[1]

[1] Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;
[2] Research and Clinical Center of Pediatric Psychoneurology, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The risk of developing various disorders in children, including nervous system diseases, is often associated with impaired mineral metabolism, as macro- and microelements play a critical role in the functioning of both the central and autonomic nervous systems. Elemental imbalance in children may result from intrauterine developmental anomalies or from environmental exposure.

AIM: To analyze and assess the elemental composition of hair in children with cerebral palsy (spastic diplegia).

MATERIALS AND METHODS: A selective cohort study was conducted involving 93 children aged 3 to 6 years. The participants were divided into two groups: the main group, consisting of children diagnosed with cerebral palsy (spastic diplegia), and the control group. To assess elemental status, 14 chemical elements were measured in hair samples using atomic absorption spectrometry.

RESULTS: Elemental homeostasis in children diagnosed with cerebral palsy was found to be disrupted with respect to both essential and conditionally essential elements, as well as toxic ones. In the hair of children in the main group, significantly elevated levels ($p < 0.05$) of manganese, chromium, nickel, and lead were observed compared to the upper reference limit and the control group. At the same time, a significant decrease in selenium concentration was noted, relative to both the lower reference limit and the control group (by a factor of 46 and 20, respectively; $p < 0.05$).

CONCLUSION: Study of the elemental composition of hair may serve as an additional tool in the diagnosis of nervous system disorders in children and in guiding supplemental pharmacologic correction of mineral metabolism.

Keywords: elemental status; cerebral palsy; trace element imbalance.

To cite this article:
Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhlislamova ER, Larionova AN, Aukhadieva EA, Allayarova GR, Adieva GF, Zelenkovskaya EE. Elemental imbalance in children with cerebral palsy (spastic diplegia). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2024;31(11):829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

Received: 17.12.2024 **Accepted:** 21.04.2025 **Published online:** 27.04.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2024

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

关于脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童元素失衡问题的探讨

Tatiana K. Larionova[1], Rustem A. Daukaev[1], Elmira R. Shaikhlislamova[1], Anna N. Larionova[2], Elvira A. Aukhadieva[1], Guzel R. Allayarova[1], Gyuzeliya F. Adieva[1], Evgenya E. Zelenkovskaya[1]

[1] Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;
[2] Research and Clinical Center of Pediatric Psychoneurology, Moscow, Russia

摘要

论证。儿童患多种疾病，尤其是神经系统疾病的风险，常与体内矿物质代谢紊乱相关，因为常量元素和微量元素在中枢神经系统和自主神经系统的功能维持中发挥着重要作用。儿童体内的元素失衡既可能源于宫内发育异常，也可能与外部环境因素相关。

目的。分析和评估患有脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童毛发中的元素组成。

材料与方法。本研究为一项93名3－6岁儿童参与的抽样队列研究。受试者被分为两组：一组为主要组，包含确诊为“脑性瘫痪（痉挛性双瘫）”的儿童；另一组为对照组。通过原子吸收光谱法，对毛发样本中14种化学元素的含量进行测定，以评估其元素状态。

结果。被诊断为“脑性瘫痪”的儿童在必需元素、相对必需元素以及有毒元素方面的元素稳态均出现紊乱。在主要组儿童的毛发中，锰、铬、镍和铅的含量显著高于参考区间上限和对照组水平（$p < 0.05$）。硒的浓度相较于参考区间下限和对照组指标显著降低（分别低46倍和20倍；$p < 0.05$）。

结论。毛发元素组成的研究可作为儿童神经系统疾病诊断中的辅助检测方法，并为纠正矿物质代谢紊乱的药物处方提供依据。

关键词： 元素状态；脑性瘫痪；微量元素失衡。

引用本文：
Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhlislamova ER, Larionova AN, Aukhadieva EA, Allayarova GR, Adieva GF, Zelenkovskaya EE. 关于脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童元素失衡问题的探讨. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2024;31(11):829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

收到: 17.12.2024 **接受:** 21.04.2025 **发布日期:** 27.04.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2024

ОБОСНОВАНИЕ

Изучение дисбаланса макро- и микроэлементов при различных заболеваниях, разработка систем реабилитации путём коррекции элементного гомеостаза — весьма важные задачи профилактической медицины. Многочисленные исследования, проводимые в последние годы как российскими, так и зарубежными учёными, показали, что риск развития различных патологий часто ассоциируется с нарушением минерального обмена в организме. Макро- и микроэлементы играют важную роль в обеспечении деятельности центральной и вегетативной нервной системы [1–5]. Элементный дисбаланс в детском организме может быть как следствием аномалий внутриутробного развития, так и связанным с внешнесредовым воздействием и нерациональным питанием [6–10].

Формирование нарушений здоровья детей в перинатальном периоде преимущественно связано с состояниями, возникающими у матери во время беременности, и может быть обусловлено влиянием материнского организма на плод и загрязнением объектов окружающей среды [11, 12]. Некоторые элементы обладают способностью проникать через плацентарный барьер. Плаценты женщин, проживающих в условиях повышенного атмосферного загрязнения, имеют признаки угнетения компенсаторно-приспособительных механизмов. В исследовании А.А. Агаджаняна и А.В. Скального [13] показано, что по концентрации многих металлов в волосах матери можно достоверно судить об элементном статусе новорождённого и риске развития у него микроэлементозов. В результате ранее проведённых исследований выявлено накопление свинца, кадмия, хрома, никеля, цинка, меди, железа в волосах беременных женщин, коррелирующее с уровнем металлов в волосах её новорождённого (r=0,60–0,78). Установлено, что у матерей с дисбалансом элементного гомеостаза чаще рождались дети с низкими показателями физического развития, с перинатальным поражением центральной нервной системы. Определены прямые корреляционные связи средней силы между повышенным уровнем цинка и железа в волосах и отягощённым акушерско-гинекологическим анамнезом (r=0,51), кадмия — со слабостью родовой деятельности (r=0,59), марганца — с быстрыми родами (r=0,66), свинца — с патологическим окрашиванием околоплодных вод (r=0,74) [14]. Следовательно, установление дисбаланса элементов в организме матери может служить прогнозом (критерием риска) возникновения нарушений в организме ребенка.

В структуре заболеваний, являющихся основными причинами детской инвалидности, первое место занимают психические расстройства и расстройства поведения — 29,8%, на втором месте болезни нервной системы — 17,6%, на третьем месте врождённые аномалии — 13,9% [15]. В классе болезней нервной системы ведущее место принадлежит детскому церебральному параличу (ДЦП) — наиболее тяжёлому последствию перинатального поражения нервной системы [16]. Нарушение минерального обмена при данной патологии носит, вероятно, врождённый характер и может быть связано в том числе с дисбалансом элементов в организме матери. Токсичные элементы (например, свинец и кадмий) способны преодолевать гематоплацентарный барьер, проникать в плод, в результате формируется дефицит кобальта, селена и цинка в силу антагонистических отношений. Изменение элементного гомеостаза в антенатальном периоде вызывает замедленное развитие плода, нарушение развития нервной системы и регуляции обменных процессов [17].

Ряд эссенциальных микро- и макроэлементов (Fe, Cu, Zn, Ca, Mg Se и др.) играет значимую физиологическую роль в развитии детского организма. Тяжёлые металлы (свинец, кадмий, ртуть) и мышьяк являются нейротоксическими ядами и оказывают неблагоприятное воздействие на нервную систему даже при низких концентрациях. Некоторые эссенциальные элементы (марганец, медь) при высоких концентрациях также становятся нейротоксичными.

Вышесказанное подтверждает необходимость детального исследования элементного гомеостаза у детей с заболеваниями нервной системы для повышения эффективности лечебно-профилактических мер.

Цель исследования. Анализ и оценка элементного состава волос у детей с ДЦП (спастической диплегией).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено поперечное исследование 93 детей, проживающих в крупном промышленном городе — Уфе. Всех обследованных разделили на две группы. В основную группу вошли 43 ребёнка (17 мальчиков и 26 девочек) с установленным диагнозом «ДЦП (спастическая диплегия)», в контрольную — 50 детей (15 мальчиков и 35 девочек).

Критерии включения в исследование: возраст от 3 до 6 лет, постоянное проживание в Уфе от момента рождения, отсутствие сопутствующих хронических заболеваний, длительной постоянной медикаментозной терапии, приёма витаминно-минеральных комплексов в течение 6 мес.

Критерии исключения: родовая травма, возраст младше 3 и старше 6 лет, наличие сопутствующей патологии, часто болеющие ОРЗ, приём лекарственных средств и минерально-витаминных комплексов, проживание в другом регионе.

Для оценки элементного статуса детей провели анализ волос как наиболее доступного биологического материала, отражающего баланс макро- и микроэлементов в организме, методом атомно-абсорбционной спектрометрии в соответствии с действующими методическими указаниями. Для анализа с затылочной части головы состригали волосы в количестве 0,1–0,5 г, обрабатывали

ацетоном, затем промывали деионизированной водой. Сушили волосы при комнатной температуре в течение 15 мин. До выполнения анализа пробы волос хранили в бумажных пакетах в сухом месте при комнатной температуре. Забор и хранение проб биологического материала проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями. После микроволнового разложения проб волос в системе Speedwave Xpert (Berghof Products + Instruments GmbH) определяли эссенциальные (Fe, Cu, Zn, Ca, Mg, Cr, Co, Se, Mn), условно-эссенциальные (Ni, As) и токсичные элементы (Pb, Cd, Hg) методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах АА моделей 240FS и 240Z с пламенной и термической атомизацией (Varian).

Результаты исследований содержания химических элементов в волосах детей с установленным диагнозом «ДЦП (спастическая диплегия)» в связи с отсутствием утверждённых норм оценивали относительно референтных значений, предложенных А.В. Скальным [18]. Так как для различных регионов характерен специфический фоновый уровень металлов в биосредах [6, 9, 19], концентрации металлов в волосах детей также сравнивали с уровнем в контрольной группе.

Исследование выполнено в период 2019–2024 гг. с обязательным соблюдением этических принципов и обеспечением конфиденциальности полученной информации, одобрено биоэтической комиссией ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (выписка из протокола заседания биоэтической комиссии от 25.12.2019 № 01-12). От законных представителей детей получено информированное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel и Statistica 10 (IBM, USA). Проверку распределения на нормальность осуществляли с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна–Уитни и *t*-критерия Стьюдента. В таблицах приведены средние значения, ошибка среднего (M±m), медиана, минимальные и максимальные уровни элементов в биологической среде организма.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ полученных результатов исследования волос здоровых детей и детей с ДЦП выявил ряд значимых различий элементного состава. Концентрации эссенциальных элементов (меди, цинка, железа, кобальта, кальция и магния) в волосах детей с ДЦП находятся в рамках референтного диапазона, достоверных различий с контрольной группой не установлено (p >0,05). Средняя концентрация цинка в волосах всех обследованных детей близка к нижней границе нормы (табл. 1).

Уровень хрома в волосах у 82% детей основной группы выше верхней границы референтного значения (по средней величине в 2,2 раза) и содержания в контрольной группе (U=0,0001, p <0,05). Уровень марганца у 81% детей основной группы выше верхней границы референтного значения (по средней величине в 1,2 раза) и в 2,9 раза выше содержания в волосах детей контрольной группы (p <0,001). Содержание селена в основной группе в 46 раз, а в контрольной в 2 раза меньше нижней границы нормы, различия между группами достоверны (p <0,001).

По оценкам зарубежных исследователей, «уровень озабоченности» для свинца определён при концентрации в волосах детей 3 мкг/г и более [13]. В результате исследований отмечен повышенный в 1,4 раза относительно референтных значений и в 5,4 раза относительно группы

Таблица 1. Уровень эссенциальных элементов в волосах обследованных детей, мкг/г

Table 1. Levels of essential elements in the hair of the examined children, μg/g

Показатель Parameter	Cu	Zn	Fe	Mn	Co	Cr	Ca	Mg	Se
Референтные значения [18] | Reference values									
Min–max	8–12	94–183	13–27	0,32–0,93	0,02–0,11	0,26–0,70	254–611	18–56	0,65–2,43
Содержание химических элементов в волосах детей основной группы Content of chemical elements in the hair of children in the main group									
M±m	9,4±0,3	99,3±5,6	20,6±1,1	1,14*±0,05	0,07±0,01	1,52*±0,21	413±27	46,7±3,4	0,014*±0,001
Медиана | Median	9,5	102,2	15,0	1,04	0,07	1,00	380	42,2	0,014
Min–max	4,5–14,4	35,2–216,1	12,8–54,3	0,61–1,97	0,02–0,21	0,49–5,45	53–973	15,2–98,7	0,006–0,025
Содержание химических элементов в волосах детей контрольной группы Content of chemical elements in the hair of children in the control group									
M±m	9,9±0,5	86,0±5,9	17,0±1,3	0,40±0,03	0,07±0,01	0,67±0,04	388±34	41,4±3,2	0,277±0,017
Медиана | Median	9,2	87,4	15,0	0,34	0,08	0,65	321	37,9	0,290
Min–max	4,1–19,2	36,3–191,1	3,9–45,3	0,09–0,92	0,03–0,12	0,22–1,66	63–973	12,1–99,4	0,120–0,390

Примечание. * Различия с контрольной группой достоверны (критерий p <0,05).

Note. *- Statistically significant difference from the control group (p < 0.05).

Таблица 2. Уровень условно-эссенциальных и токсичных элементов в волосах обследованных детей, мкг/г

Table 2. Levels of conditionally essential and toxic elements in the hair of the examined children, μg/g

Показатель Parameter	Pb	Cd	Ni	As	Hg
Референтные значения [18] | Reference values					
Min–max	0,76–2,73	0,03–0,18	0,15–0,55	0–0,69	ПДУ 0,5
Содержание химических элементов в волосах детей основной группы Content of chemical elements in the hair of children in the main group					
M±m	3,71*±0,31	0,06*±0,01	2,25*±0,24	0,011±0,001	0,013*±0,001
Медиана | Median	3,14	0,06	1,88	0,008	0,010
Min–max	0,98–9,12	0,01–0,15	1,07–9,47	0,001–0,030	0,001–0,043
Содержание химических элементов в волосах детей контрольной группы Content of chemical elements in the hair of children in the control group					
M±m	0,68 ± 0,75	0,10±0,01	0,27±0,07	0,013±0,003	0,183±0,011
Медиана | Median	0,36	0,06	0,25	0,011	0,180
Min–max	0,01–2,92	0,00–0,39	0,05–0,56	0,002–0,035	0,024–0,350

Примечание. * Различия с контрольной группой достоверны (p <0,05).

Note. * Statistically significant differences from the control group (p < 0.05).

контроля средний уровень свинца (p <0,001). У 65% обследованных детей значение показателя превышает верхнюю границу нормы и выше «уровня озабоченности» (табл. 2).

Несмотря на то что ртуть относится к нейротоксическим ядам, её содержание в волосах детей с ДЦП достоверно ниже (в 14 раз), чем в группе сравнения (p <0,001). Средняя концентрация никеля в 4,1 раза выше верхней границы референтного уровня и в 8,3 раза выше значений контрольной группы, причём превышение определено в 100% проб волос (U=0,0001, p <0,05).

Содержание свинца и хрома в волосах мальчиков значимо выше, чем у девочек, при этом снижен уровень кадмия, кальция и магния (p <0,05). Достоверных различий между содержанием остальных изученных элементов в волосах детей с ДЦП в зависимости от пола ребенка не выявлено.

На рис. 1 представлены результаты исследований элементного состава волос детей относительно верхней границы диапазона референтных концентраций.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что элементный гомеостаз детей с ДЦП нарушен как в отношении эссенциальных и условно-эссенциальных элементов (Mn, Cr, Se, Ni), так и в отношении токсичного Pb. Установлено статистически значимое повышение уровня марганца, хрома, никеля, свинца и значительный дефицит селена.

Схематично это может быть представлено в виде соотношения: ДЦП=Mn, Cr, Ni, Pb/Se, где в числителе избыток, в знаменателе недостаток элементов.

По данным А.А. Тинькова и соавт. [20], у детей с ДЦП отмечается выраженный дефицит марганца. Нашими исследованиями это не подтвердилось: уровень элемента выше и референтных значений, и показателей контрольной группы. Несмотря на то что марганец — эссенциальный микроэлемент, необходимый в том числе для синтеза нейромедиаторов, его избыток в организме человека может проявляться невротическими синдромами.

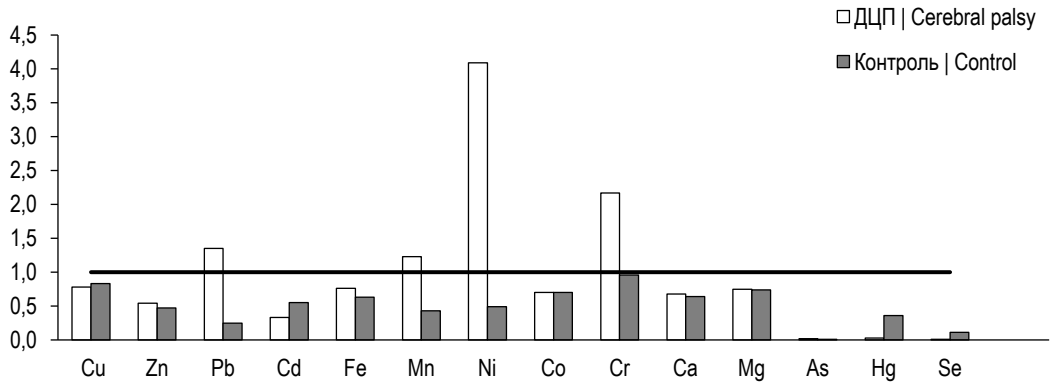

Рис. 1. Концентрация элементов в волосах детей основной и контрольной групп (верхняя граница референтного диапазона принята за 1).

Fig. 1. Element concentrations in the hair of children in the main and control groups (the upper reference limit is set as 1).

Хром, концентрации которого в волосах детей с ДЦП значительно повышены, что согласуется с литературными данными [20], способен проникать через плацентарный барьер и накапливаться в тканях плода, в том числе в мозге, вызывая отклонения в его развитии.

Никель является условно-эссенциальным элементом, однако выявленные нами высокие концентрации металла могут негативно влиять на состояние организма в целом.

Свинец, уровни которого также превышали значения в группе контроля, относится к токсичным элементам, вызывающим патологические изменения нервной системы, крови и сосудов. Считается, что токсическое действие свинца во многом обусловлено его антагонистическим взаимодействием с эссенциальными элементами — Ca, Mg [13].

Таким образом, все элементы, содержащиеся в повышенном количестве в волосах детей с ДЦП, связаны с деятельностью нервной системы.

В волосах детей с ДЦП понижено содержание селена — важнейшего биологически активного микроэлемента. Недостаток селена отрицательно влияет на репродуктивную функцию, замедляет развитие плаценты, приводит к заболеваниям опорно-двигательного аппарата, скелетной мускулатуры [20]. У матерей с дефицитом селена новорождённые имеют сниженную мышечную массу и отстают в развитии [13]. Роль селена в организме определяется его антиоксидантным действием, он является антагонистом ртути, свинца, кадмия, мышьяка. Исследованиями А.А. Тинькова и соавт. [21], изучавших обмен селена у детей с ДЦП, подтверждён сниженный уровень элемента в волосах при его повышенном содержании в крови. Авторы работы считают, что для информативной оценки нарушения обмена селена необходимо определение нескольких маркеров обеспеченности организма этим элементом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты оценки элементного гомеостаза у детей с ДЦП (спастической диплегией) выявили отклонения относительно физиологической нормы и показателей контрольной группы по шести элементам. В структуре избыточных состояний преобладают никель, хром, свинец, марганец, дефицитное состояние характерно для селена.

Выявленный элементный дисбаланс свидетельствует о нарушении адаптационных механизмов, поскольку обмен микроэлементов является важным звеном в патогенезе заболеваний как центральной нервной системы, так и организма человека в целом.

Изучение элементного состава волос может быть использовано в качестве одного из тестов при диагностике заболеваний нервной системы у детей. Ранняя диагностика дисэлементозов у детей с ДЦП может служить одним из эффективных методов поддержания здоровья ребёнка путём проведения превентивных оздоровительных мероприятий, повышения эффективности лечебно-профилактических мер за счёт включения дополнительных лекарственных препаратов и организации индивидуального питания для коррекции минерального обмена.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Т.К. Ларионова, Э.Р. Шайхлисламова — общая концепция статьи, обзор литературных данных, написание статьи, редактирование; Р.А. Даукаев, А.Н. Ларионова, Г.Ф. Адиева, Г.Р. Аллаярова, Е.Е. Зеленковская, Э.А. Аухадиева — обоснование проведения исследования, описание материалов и методов, сбор биологического материала, выполнение исследований, обработка результатов, статистический анализ данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено биоэтической комиссией ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (выписка из протокола заседания биоэтической комиссии от 25.12.2019 № 01-12).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: T.K. Larionova, E.R. Shaikhlislamova: conceptualization, sources review, writing—original draft, writing—review & editing; R.A. Daukaev, A.N. Larionova, G.F. Adieva, G.R. Allayarova, E.E. Zelenkovskaya, E.A. Aukhadieva: rationale for the study, description of materials and methods, biological sample collection, investigation, data processing, statistical analysis. All authors confirm that their authorship meets the ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Bioethics Committee of the Federal Budgetary Institution of Science Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology (Extract from the meeting minutes of the Bioethics Committee dated December 25, 2019, No. 01-12).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.
Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Castiglioni S, Cazzaniga A, Albisetti W, Maier JA. Magnesium and osteoporosis: Current state of knowledge and future research directions. *Nutrients*. 2013;(5):3022–3023. doi: 10.3390/nu5083022
2. Tvorogova TM, Vorobyeva AS. Undifferentiated connective tissue dysplasia from the perspective of dyselementosis in children and adolescents. *Russian Medical Journal*. 2012;20(24):1215–1221. (In Russ.) EDN: PNBUEB
3. Evtushenko EI. The biological role of macro- and microelements in the activity of the nervous system (analytical review). *Archives of Clinical and Experimental Medicine*. 2021;30(2):188–193. EDN: ZRXPGO
4. McCann JC, Ames BN. An overview of evidence for a causal relation between iron deficiency during development and deficits in cognitive or behavioral function. *Am J Clin Nutr*. 2007;85(4):931–945. doi: 10.1093/ajcn/85.4.931
5. Zaitseva NV, Zemlianova MA, Koldibekova YuV, Peskova EV. Development of neurotoxic effects of neurotrophic chemicals. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(3):47–53. doi: 10.33396/1728-0869-2020-3-47-53 EDN: KVDECG
6. Voronkova IP, Mikhaylova IV, Boev VM, et al. Characteristics of the content of toxic trace elements in the hair and blood of children from various districts of Orenburg oblast. *International Research Journal*. 2021;(5–2):12–16. doi: 10.23670/IRJ.2021.107.5.036 EDN: BUGCOT
7. Vilchuk KU, Kurets NI, Devyaltovskaya MG, et al. Health status, indicators of elemental and immune status in children of the first two years of life who have suffered perinatal damage to the central nervous system. *Reproductive health. Eastern Europe*, 2011;(3):62–86. (In Russ.) EDN: NUKREF
8. Cho JM, Yang HR. Hair mineral and trace element contents as reliable markers of nutritional status compared to serum levels of these elements in children newly diagnosed with inflammatory bowel disease. *Biol Trace Elem Res*. 2018;185(1):20–29. doi: 10.1007/s12011-017-1225-6
9. Notova SV, Kireeva GN, Zhukovskaya EV, et al. The influence of anthropogenous and geochemical environmental factors on the elementary status of children of Chelyabinsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(11):23–28. doi: 10.33396/1728-0869-2017-11-23-28 EDN: ZSKCIB
10. Jahan I, Muhit M, Al Imam MH, et al. Nutritional status of children with cerebral palsy in gorkha, nepal: findings from the nepal cerebral palsy register. *Nutrients*. 2021;13(8):2537. doi: 10.3390/nu13082537
11. Sofronov VV, Voloshin AV, Skvortsova GSh. Elemental composition of blood plasma and erythricytes as a marker of perinatal pathology. *Trace Elements in Medicine*, 2022;23(4):53–61. doi: 10.19112/2413-6174-2022-23-4-53-61 EDN: DRUCRM
12. Belyanovskaya AI, Baranovskaya NV, Stankevich SS, et al. The influence of technogenesis on the accumulation of chemical elements in the placental barrier of Tomsk region women. *Samara Journal of Science*. 2019;8(3):25–30. doi: 10.24411/2309-4370-2019-13103 EDN: EMNOZT
13. Agajanyan NA, Skalny AV. *Chemical elements in the habitat and ecological portrait of a person*. Moscow: KMK; 2001, 83 p. (In Russ.) EDN: XSIZTN
14. Larionova TK, Akhmadeeva EN, Magjanova SA, et al. The influence of pollution of the habitat by heavy metals on the health of the mother and newborn. *Zdravookhranenie Bashkortostana*, 1999;(S3):133–138. EDN: WYTDHT
15. Distribution of children under the age of 18 recognized as disabled for the first time by forms of diseases (data from the Ministry of Labor of the Russian Federation). [cited 2024 Jun 13]. Available from: https://mintrud.gov.ru/opendata/7710914971-structure_of_primary_disability_by_class _of_illness_among_children (In Russ.)
16. Lisovskyy EV, Kusainova KK, Shakenov MZh, Lisovska NYu. Immunological mechanisms in the pathogenesis of cerebral palsy. *J Clin Med Kaz*. 2016;(1):6–11. EDN: WYDFXR
17. Popova KE, Senkevich OA, Skretnev AS, et al. Neurospecific elements in children 6–7 years, moved in critical conditions at birth. *Trace Elements in Medicine*. 2019;20(2):18–27. doi: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-18-27 EDN: YPVNBX
18. Skalny AV. Reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by the ISP-NPP method (ANO Center for Biotic Medicine). *Trace Elements in Medicine*. 2003;4(1):55–56. EDN: NRASCJ
19. Ruiz R, Estevan C, Estévez J, et al. Reference values on children's hair for 28 elements (heavy metals and essential elements) based on a pilot study in a representative non-contaminated local area. *Int J Mol Sci*. 2023;24: 8127. doi: 10.3390/ ijms24098127
20. Tinkov AA, Kuzmicheva AP. Comparative analysis of hair essential element content in children with spastic and ataxic cerebral palsy. *Trace Elements in Medicine*. 2020;21(4):60–65. doi: 10.19112/2413-6174-2020-21-4-60-65 EDN: CKPTFN
21. Tinkov AA, Ajsuvakova OP, Kuzmicheva AP, Skalny AV. Characteristics of selenium exchange in children with cerebral palsy. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2019;22(11):43–48. EDN: LNPOOQ

ОБ АВТОРАХ

***Ларионова Татьяна Кенсариновна,** канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 450106, Уфа, ул. Степана Кувыкина, д. 94;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: larionovatk@yandex.ru

Даукаев Рустем Аскарович, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Tatiana K. Larionova,** Cand. Sci (Biology), Associate Professor;
address: 94 Stepan Kuvykin st, Ufa, Russia, 450106;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: larionovatk@yandex.ru

Rustem A. Daukaev, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Шайхлисламова Эльмира Радиковна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-6127-7703;
eLibrary SPIN: 1041-3862;
e-mail: shajkh.ehlmira@yandex.ru

Ларионова Анна Николаевна;
ORCID: 0000-0001-9652-4236;
eLibrary SPIN: 8038-6346;
e-mail: annalario21@yandex.ru

Аухадиева Эльвира Ахатовна;
ORCID: 0000-0002-6793-6992;
eLibrary SPIN: 9475-1793;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Аллаярова Гузель Римовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Адиева Гюзелия Фаритовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-2377-3471;
eLibrary SPIN: 3805-1755;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Зеленковская Евгения Евгеньевна;
ORCID: 0000-0001-7682-2703;
eLibrary SPIN: 4662-3255;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Elmira R. Shaikhlislamova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-6127-7703;
eLibrary SPIN: 1041-3862;
e-mail: shajkh.ehmira@yandex.ru

Anna N. Larionova;
ORCID: 0000-0001-9652-4236;
eLibrary SPIN: 8038-6346;
e-mail: annalario21@yandex.ru

Elvira A. Aukhadieva;
ORCID: 0000-0002-6793-6992;
eLibrary SPIN: 9475-1793;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Guzel R. Allayarova, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Gyuzeliya F. Adieva, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0003-2377-3471;
eLibrary SPIN: 3805-1755;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Evgenya E. Zelenkovskaya;
ORCID: 0000-0001-7682-2703;
eLibrary SPIN: 4662-3255;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author