

Факторный анализ влияния микронутриентного статуса на физическое и когнитивное развитие младших школьников

М.А. Чебаргина, О.А. Сенькевич, Ю.Г. Ковальский

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск, Россия

АННОТАЦИЯ

В в е д е н и е . Обеспечение адекватного микронутриентного статуса является одной из составляющих здоровья детского населения с формированием нормальных показателей физической конституции и интеллектуального развития.

Ц е л ь . Оценить влияние уровня обеспеченности элементами и витамином D детей 7–8 лет, проживающих в Хабаровском крае, на их физическое и когнитивное развитие.

М а т е р и а л ы и м е т о д ы . Проведено обсервационное, аналитическое, поперечное исследование с анализом распространенности отклонений микронутриентного статуса условно здоровых детей 7–8 лет, проживающих на территории Хабаровского края ($n = 60$). Физическое развитие детей оценивали путем расчета показателей Z-scores массы тела, роста и индекса массы тела (ИМТ). Анализ сформированности когнитивных способностей детей осуществлялся с использованием стандартных методик. Количественный анализ элементов (Mg, Zn, Ca, Se, Cu, Fe, Mn, Cr) в волосах и сыворотке крови детей проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Обеспеченность организма детей йодом определялась по его содержанию в разовой порции утренней мочи арсенитно-цериевым методом. Определение 25-гидрокситамина D (25(OH)D) в сыворотке крови детей проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа.

Р е з у л ь т а т ы . Выявлено снижение темпов роста при уменьшении содержания Ca, Cu, Se, Zn и увеличении концентрации Fe в организме ребенка, уменьшение показателей ИМТ при дефиците Ca, Cu, Zn, Cr и увеличение при недостаточной обеспеченности I и 25(OH)D. Отмечено снижение показателей когнитивного профиля у детей при дефиците Mg, Ca, I, Cu, витамина D и избыточном содержании Fe. При проведении факторного анализа методом множественной корреляции выявлено сочетанное влияние Ca, Zn и Fe в равной степени как на показатели роста, так и на параметры ИМТ ($p < 0.05$). Показано совокупное влияние концентрации Cu, Ca, I и витамина D в сыворотке крови младших школьников на формирование кратковременной памяти ($p < 0.01$). Выявлена взаимосвязь между уровнем развития словесно-логического мышления и концентрациями Mg и Ca ($p < 0.05$), а также Fe и Ca ($p < 0.05$), при этом сочетание элементов с 25(OH)D в сыворотке крови повышало достоверность взаимосвязей ($p < 0.01$).

З а к л ю ч е н и е . Проведенное исследование демонстрирует необходимость комплексного подхода к оценке обеспеченности организма детей элементами и витамином D в связи с наличием коморбидности дефицитных и избыточных состояний, сочетанным влиянием на физическое и когнитивное развитие с целью предотвращения развития алиментарно-зависимых заболеваний.

Ключевые слова: микронутриентный статус, младшие школьники, когнитивное развитие, физическое развитие.

Образец цитирования: Чебаргина М.А., Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г. Факторный анализ влияния микронутриентного статуса на физическое и когнитивное развитие младших школьников // Journal of Siberian Medical Sciences. 2023;7(2):29-41. DOI: 10.31549/2542-1174-2023-7-2-29-41

Поступила в редакцию 18.09.2022
Прошла рецензирование 12.10.2022
Принята к публикации 02.11.2022

Автор, ответственный за переписку
Сенькевич Ольга Александровна: ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России. 680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, 35.
E-mail: senkevicholga@ya.ru

Received 18.09.2022
Revised 12.10.2022
Accepted 02.11.2022

Corresponding author
Olga A. Senkevich: Far-Eastern State Medical University, 35, Muraviev-Amursky str., Khabarovsk, 680000, Russia.
E-mail: senkevicholga@ya.ru

Factor analysis of the impact of micronutrient status on the physical and cognitive development of younger schoolchildren

M.A. Chebargina, O.A. Senkevich, Yu.G. Kovalsky

Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia

ABSTRACT

I n t r o d u c t i o n . Maintenance of an adequate micronutrient status is one of the components of the children's health with the formation of normal indicators of the physical and intellectual development.

A i m . To evaluate the influence of the microelement and vitamin D adequacy of 7–8-year-old children living in the Khabarovsk Territory on their physical and cognitive development.

M a t e r i a l s a n d m e t h o d s . An observational, analytical, cross-sectional study was performed with an analysis of the prevalence of micronutrient imbalances among apparently healthy children aged 7–8 years living in the Khabarovsk Territory ($n = 60$). The physical development of children was assessed by calculating the Z-scores of body weight, height and body mass index (BMI). The assessment of the children's cognitive abilities was carried out using conventional methods. Quantification of elements (Mg, Zn, Ca, Se, Cu, Fe, Mn, Cr) in the hair and blood serum of children was carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry. The iodine adequacy in children was determined by its content in the first-morning urine using the cerium arsenite method. Determination of 25-hydroxyvitamin D (25(OH)D) in the blood serum of children was carried out by the enzyme-linked immunosorbent assay.

R e s u l t s . A slowing down in growth rates was revealed with a decrease in the content of Ca, Cu, Se, Zn, and an increase in the concentration of Fe; a decrease in BMI with deficiency of Ca, Cu, Zn, Cr, and an increase with an I and 25(OH)D intake inadequacy. A decrease in cognitive profile indicators was noted in children with deficiency of Mg, Ca, I, Cu, vitamin D, and an excess of Fe. The factor analysis using the multiple correlation method revealed a combined effect of Ca, Zn, and Fe equally on both indicators of growth and BMI parameters ($p < 0.05$). The cumulative effect of concentrations of Cu, Ca, I, and vitamin D in the blood serum of younger schoolchildren on the formation of short-term memory was shown ($p < 0.01$). A relationship was found between the level of development of verbal-logical reasoning and the concentration of Mg and Ca ($p < 0.05$), as well as Fe and Ca ($p < 0.05$), while the combination of elements with 25(OH)D in the blood serum increased the significance of correlations ($p < 0.01$).

C o n c l u s i o n . The study demonstrates the need for an integrated approach to evaluate the microelement and vitamin D adequacy in children, in connection with the presence of comorbidity of deficient and excess conditions, a combined effect on physical and cognitive development in order to prevent the development of nutritional diseases.

Keywords: micronutrient status, younger schoolchildren, cognitive development, physical development.

Citation example: Chebargina M.A., Senkevich O.A., Kovalsky Yu.G. Factorial analysis of the impact of micronutrient status on the physical and cognitive development of younger schoolchildren. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2023;7(2):29-41. DOI: 10.31549/2542-1174-2022-7-2-29-41

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время миллионы детей во всем мире не достигают оптимального роста и развития, и есть доказательства того, что распространенность задержки в когнитивном развитии повышается почти повсеместно [1, 2]. Здоровье и качество жизни детей, как наиболее уязвимой группы населения, ввиду относительно высоких физиологических потребностей, во многом зависят от питания с обеспечением адекватного витаминно-элементного статуса [3–6].

Одной из причин развития дефицитных состояний у детей является неадекватное поступление нутриентов в результате несбалансированного питания [6]. Пищевая избирательность, недостаток разнообразия в рационе, потребление огра-

INTRODUCTION

Currently, millions of children around the world do not achieve optimal growth and development, and there is evidence that the prevalence of cognitive delay is increasing almost universally [1, 2]. The health and quality of children life, as the most vulnerable group of the population, due to relatively high physiological needs, largely depend on nutrition providing vitamin and microelement adequacy [3–6].

One of the reasons for the development of deficiencies in children is inadequate intake of nutrients as a result of unbalanced diet [6]. Food selectivity, lack of dietary diversity, consumption of a limited number of foods, non-traditional dietary patterns often lead to the fact that children have very low lev-

ниченного количества продуктов, нетрадиционные типы питания часто приводят к тому, что дети имеют очень низкие уровни важных нутриентов в организме [7–9]. Кроме того, анализ более 23 000 упакованных пищевых продуктов в разных странах, приведенный в Глобальном отчете по питанию, показал, что 69 % из них имели относительно низкое качество питательных веществ [10].

Еще одной причиной дисбаланса нутритивного статуса является наличие биогеохимических провинций с обеднением или избыточным обогащением объектов окружающей среды элементами и их постоянно протекающей биогенной миграцией, что влияет на химический состав продуктов местного производства, используемых для продовольственного обеспечения жителей этих территорий, и впоследствии отражается на состоянии их здоровья [11].

Отсутствие мониторинга микронутриентного статуса у детей с последующей организацией превентивных мероприятий с целью предупреждения дефицитных и/или избыточных состояний может привести к широкомасштабным негативным последствиям для здоровья детей с формированием задержки физического и нервно-психического развития, ростом как инфекционных, так и неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний, повышающих показатели детской инвалидности и смертности [12, 13].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить влияние уровня обеспеченности элементами и витамином D детей 7–8 лет, проживающих в Хабаровском крае, на их физическое и когнитивное развитие.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено обсервационное, аналитическое, поперечное исследование с анализом распространенности отклонений микронутриентного статуса условно здоровых детей 7–8 лет, проживающих на территории нижнего течения реки Амур Хабаровского края ($n = 60$), отобранных методом случайной выборки. Для определения влияния отклонений витаминно-элементного статуса на когнитивное и физическое развитие младших школьников выполнен анализ взаимосвязи показателей Z-scores, интеллектуальных способностей и содержания элементов и витамина D в организме детей.

Критерии включения: организованные дети в возрасте 7–8 лет, проживающие в Хабаровском крае с рождения, доношенные, практически здо-

елы essential nutrients in the body [7–9]. In addition, an analysis of more than 23 000 packaged food products in different countries, given in the Global Nutrition Report, showed that 69% of them had relatively poor nutrient quality [10].

Another reason for nutritional imbalance is the presence of biogeochemical provinces with depletion or excessive enrichment of environmental objects with elements and their constant biogenic migration, which affects the chemical composition of local products used to provide food to the inhabitants of these territories, and subsequently affects their health [11].

The lack of monitoring of micronutrient status in children with the subsequent organization of preventive measures to avoid deficiency and excess of microelements, can lead to large-scale negative consequences for the health of children with the formation of a delay in physical and neuropsychic development, an increase in both infectious and non-infectious nutritional diseases that increase the rates of childhood disability and mortality [12, 13].

AIM OF THE RESEARCH

To evaluate the influence of the level of microelements and vitamin D adequacy among 7–8-year-old children living in the Khabarovsk Territory on their physical and cognitive development.

MATERIALS AND METHODS

An observational, analytical, cross-sectional study was performed with an analysis of the prevalence of micronutrient imbalances among apparently healthy children aged 7–8 years living in the Lower Amur River in the Khabarovsk Territory ($n = 60$), selected by random sampling. To determine the impact of micronutrient imbalance on the cognitive and physical development of younger schoolchildren, an analysis was made of the correlation between Z-scores, intellectual abilities, and the content of microelements and vitamin D in the body of children.

Inclusion criteria: 7–8-year-old schoolchildren living in the Khabarovsk Territory from birth, full-term, apparently healthy (health group 1–2 confirmed by a pediatrician during the current health examination), whose parents or legal representatives gave a written voluntary informed consent to participate in the study.

Exclusion criteria: 7–8-year-old out-of-school children the presence of congenital malformations and/or chronic diseases, clinical and laboratory manifestations of infection at the time of the study.

The physical development of children was assessed by calculating the Z-scores of body weight,

ровые (1–2-я группа здоровья, установленная педиатром в ходе текущего профилактического осмотра), родители или законные представители которых дали письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения: неорганизованные дети исследуемого возраста, наличие врожденных пороков развития и/или хронических заболеваний, клинико-лабораторных проявлений инфекции на момент проведения исследования.

Физическое развитие детей оценивали путем расчета показателей Z-scores массы тела, роста и индекса массы тела (ИМТ) с поправкой на возраст и пол ребенка с применением программного обеспечения ВОЗ AnthroPlus 1.0.4. Анализ сформированности когнитивных способностей детей осуществлялся с использованием стандартных методик: теста Лурия (запоминания 10 слов) с целью исследования кратковременной памяти, методики «Фигурные таблицы» Пьерона-Ружера для определения объема и концентрации произвольного внимания, тестов «Последовательные картинки», «Перцептивное моделирование» Л.А. Венгера и методики оценки формирования умозаключения для анализа уровня развития словесно-логического мышления, также проводилась диагностика мелкой моторики и умения работать по образцу [14].

Количественный анализ элементов (кальция (Ca), магния (Mg), цинка (Zn), меди (Cu), железа (Fe), марганца (Mn), хрома (Cr), селена (Se)) в волосах и сыворотке крови детей ($n = 60$) проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), который регламентирован методическими указаниями (МУ) 4.1.1483-03 для определения химических элементов в биологических субстратах. Был использован масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой ELAN DRC II (PerkinElmer, США), для калибровки которого применяли стандартные поли- и моноэлементные растворы (PerkinElmer). Подготовку проб к анализу проводили согласно требованиям Международного агентства по атомной энергии (1988), Евразийского экономического союза, Российской Федерации (2003).

Обеспеченность организма детей ($n = 60$) йодом (I) определялась по его содержанию в разовой порции утренней мочи арсенитно-цериевым методом, который регламентирован МУ 2.3.7.1064-01. В связи с тем, что известна роль йода для биосинтеза гормонов щитовидной железы, было проведено физикальное обследование щитовидной железы и исследован тирео-

height and body mass index (BMI) adjusted for age and sex of the child using WHO AnthroPlus 1.0.4 software. The analysis of the formation of children's cognitive abilities was carried out using standard methods: the A.R. Luria Memory Words Test (memorizing a series of 10 words) for assessment of short-term memory; the Method of Pieron-Ruzer to determine the volume and concentration of voluntary attention, the Successive Pictures Test, the Perceptual Modeling (L.A. Wenger) and methods for assessing the inference formation to analyze the level of development of verbal and logical reasoning. Diagnostics of fine motor skills and the ability to perform according to a model were also carried out [14].

Quantification of elements (calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), chromium (Cr), selenium (Se)) in the hair and blood serum of children ($n = 60$) was carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), which is regulated by Guidelines 4.1.1483-03 for the determination of chemical elements in biological substrates. An ELAN DRC II mass spectrometer (PerkinElmer, USA) was used, for calibration of which standard multi- and mono-element solutions (PerkinElmer) were used. Sample preparation for analysis was carried out in accordance with the requirements of the International Atomic Energy Agency (1988), the Eurasian Economic Union, the Russian Federation (2003).

The iodine (I) adequacy in children ($n = 60$) was determined by its content in the first-morning urine by cerium arsenite method, which is regulated by Guidelines 2.3.7.1064-01. Due to the fact that the role of iodine for biosynthesis of thyroid hormones is known, a physical examination of the thyroid gland was performed and the thyroid status was assessed: the concentration of free thyroxine fraction (T₄), thyroid-stimulating hormone (TSH), and anti-thyroperoxidase antibodies (anti-TPO) in the blood serum by enzyme immunoassay using a kit from JSC Vector-Best (Russia).

Quantification of 25-hydroxyvitamin D (25(OH) D) in the blood serum of children was performed by the enzyme-linked immunosorbent assay using an ELISA kit (DRG Instruments GmbH, Germany). Laboratory diagnostics was performed on the basis of the Immunological Laboratory of the Central Research Laboratory of the Far-Eastern State Medical University using a BIO-RAD Model 680 microplate reader (USA).

The study was approved by the Local Ethics Committee at the Far-Eastern State Medical University (protocol No. 10 dated June 10, 2020), conducted in accordance with the ethical principles for medical

идный статус: концентрации свободной фракции тироксина (Т₄), тиреотропного гормона (ТТГ) и антител к тиреопероксидазе (анти-ТПО) в сыворотке крови детей методом иммуноферментного анализа с помощью набора реагентов АО «Вектор-БЕСТ» (Россия).

Количественное определение 25-гидроксивитамина D (25(OH)D) в сыворотке крови детей проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа, основанного на принципе конкурентного связывания, с использованием набора реагентов 25-OH-Vitamin D ELISA (DRG Instruments GmbH, Германия). Лабораторная диагностика выполнена на базе иммунологической лаборатории Центральной научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» на фотометре BIO-RAD Model 680 (США).

Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» (протокол от 10.06.2020 № 10), проведено согласно этическим принципам, установленным для медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов (Хельсинки, 1964; пересмотр – Шотландия, октябрь 2000).

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке. Вычисляли: медиану (Me), 25-й и 75-й процентиля; результаты приводятся в форме «относительная величина ± ± ошибка». Для оценки взаимосвязи показателей физического и когнитивного развития с исследуемыми факторами, представленными в виде отклонений витаминно-элементного статуса, а также с целью установления совокупного влияния факторов на результативные переменные использовали корреляционный анализ Спирмена и метод множественной корреляции. Статистическая значимость оценивалась при помощи *t*-критерия Стьюдента ($p < 0.05$). Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием программ Microsoft Office Excel 2019 для Windows XP, STATISTICA, версия 12.0 (StatSoft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования было установлено, что витаминно-элементный статус обследованных младших школьников, проживающих на территории Хабаровского края, характеризовался дефицитом Mg, Zn, Ca, Se, Cu, I и витамина D, а также избытком Fe, Mn и Cr. При анализе обеспеченности микронутриентами

research involving human subjects (Helsinki, 1964; revised: Scotland, October 2000).

The results obtained were statistically processed. Median (Me), 25th and 75th percentiles were calculated; the results are given as “relative value ± error.” The Spearman’s correlation analysis and multiple correlation method were used to assess the correlation between indicators of physical and cognitive development with the studied factors, presented as micronutrient imbalances, and also to reveal the cumulative effect of factors on the resulting variables. Statistical significance was assessed using the Student’s *t*-test ($p < 0.05$). Statistical analysis of the study results was performed using Microsoft Office Excel 2019 for Windows XP, STATISTICA v. 12.0 (StatSoft Inc., USA).

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the study, it was found that micronutrient status of the younger schoolchildren living in the Khabarovsk Territory was characterized by the deficiency of Mg, Zn, Ca, Se, Cu, I and vitamin D, as well as the excess of Fe, Mn and Cr. When analyzing the micronutrient adequacy, it was revealed that all participants of the study were in a state of hidden hunger and had at least two deficiencies. A high prevalence of element multi-deficiency was revealed: more than 2/3 of schoolchildren suffered from deficiency of four or more micronutrients. At the same time, 80.0 ± 5.2% of children had an excess of one or more elements in the body (Table 1).

During the study, the elements were identified, the adequacy of which was observed in 100% of children aged 7–8 years living in the Khabarovsk Territory, and the lowest adequacy in comparison with other micronutrients was characteristic of Se, while an excessive level was determined for Fe (see Table 1). At the same time, the median of Se in the hair of children was 0.09 mg/kg, and was 7 times lower than the reference value, 0.65 mg/kg [15], while the median of Fe concentration in the blood serum was 1403.9 µg/dl and exceeded 11 times the upper limit of the reference range (120 µg/dl) [16] (Table 2).

The median values of Ca, Cu, I and vitamin D were also below the reference values: serum Ca concentration was below 8800 µg/dl [16]; Cu content in children’s hair, ioduria levels and vitamin D values were less than 10 mg/kg [17], 100 µg/l [18], and 30 ng/ml [19], respectively (see Table 2). The upper limits of the reference range of Mn and Cr in the hair of children were 0.93 and 0.70 mg/kg, respectively [15]; i.e. in our study, the excess of the established reference values by 3 and 1.7 times, respectively, was found (see Table 2).

было определено, что все участники исследования находились в состоянии «скрытого голода» и имели как минимум два дефицитных состояния. Выявлена высокая распространенность полидефицита элементов: более 2/3 младших школьников страдали недостаточной обеспеченностью четырьмя и более микронутриентами. В то же время у 80.0 ± 5.2 % детей выявлено избыточное содержание одного или нескольких элементов в организме (табл. 1).

В ходе исследования выявлены элементы, обеспеченность которыми наблюдалась у 100 % детей 7–8-летнего возраста, проживающих на территории Хабаровского края, причем наиболее низкая обеспеченность по сравнению с остальными микронутриентами была характерна для Se, а избыточное содержание наблюдалось при определении концентрации Fe (см. табл. 1). При этом медиана Se в волосах детей составляла 0.09 мг/кг и была в 7 раз ниже референсного значения – 0.65 мг/кг [15], в то время как медиана концентрации Fe в сыворотке крови была равна 1403.9 мкг/дл и превышала в 11 раз верхнюю гра-

An analysis of the deviation degree of the median values for the content of micronutrients in the bodies of children [15–19] showed the decreased concentration levels of Ca, Cu, Se, I and vitamin D, that is below the lower reference limit by –10.9%, –43.5%, –86.2%, –28.0%, –46.1%, respectively, as well as an exceeding of the upper reference limits for Fe, Mn, and Cr by 1069.9%, 201.1%, and 72.9%, respectively (Fig. 1).

Severe deficiency of Se in the population is probably associated with a low content of the trace element in the soil, in plant and animal food of the region, as a result of the influence of the biogeochemical province [20], which is also characterized by deficit and imbalance of I, F, Ca, Mg, Cu in objects of the environment [21]. In turn, an excess of Fe in children is due to its high content in the waters of the Amur River which has been determined over the long period since 2006 [22]. In addition, an increase in the content of Mn in the water resources of the region over the past decade has been noted [22].

Vitamin D deficiency was revealed in 56.7 ± 6.4 % of younger schoolchildren (see Table 1), of which

Таблица 1. Распространенность дефицитных и избыточных состояний витаминно-элементного статуса у младших школьников Хабаровского края

Table 1. The prevalence of deficiency and excess of micronutrients among younger schoolchildren of the Khabarovsk Territory

Состояние State	Элемент/Количество микронутриентов Element/Number of micronutrients	Частота (%) Rate (%)
Дефицит элементов и витамина D Element and vitamin D deficiency	Mg	23.3 ± 5.5
	Ca	75.0 ± 5.6
	Cu	81.7 ± 5.0
	Zn	26.7 ± 5.7
	Se	100.0
	I	83.3 ± 4.8
	Витамин D / Vitamin D	56.7 ± 6.4
Избыток элементов Excess of elements	Fe	100.0
	Mn	81.7 ± 5.0
	Cr	88.3 ± 4.2
Дефицитные состояния Deficiency	1	0.0
	2	3.3 ± 2.3
	3	18.3 ± 5.0
	4	33.3 ± 6.1
	5	36.7 ± 6.2
	6	8.3 ± 3.6
Избыточные состояния Excess	0	20.0 ± 5.2
	1	35.0 ± 6.1
	2	28.3 ± 5.8
	3	16.7 ± 4.8

Таблица 2. Содержание изучаемых элементов и витамина D в организме детей 7–8 лет, Ме (25 %; 75 %)
Table 2. The content of the studied elements and vitamin D in children aged 7–8 years, Me (25%; 75%)

Элемент / Element	Волосы (мг/кг) / Hair (mg/kg)	Сыворотка крови (мкг/дл) / Blood serum (µg/dl)
Mg	40.4 (16.7; 76.1)	2220.7 (2005.0; 2516.3)
Ca	242.7 (147.7; 517.0)	7842.6 (6132.5; 8921.9)
Cu	5.65 (3.52; 8.84)	242.3 (158.8; 294.5)
Zn	96.8 (68.4; 162.7)	202.1 (127.2; 256.2)
Se	0.09 (0.03; 0.14)	5.85 (4.55; 6.96)
Fe	50.6 (32.3; 72.7)	1403.9 (683.2; 2282.6)
Mn	2.80 (1.39; 7.47)	41.5 (15.3; 84.1)
Cr	1.21 (1.02; 1.49)	17.6 (14.8; 39.4)
I*	–	72.0 (54.5; 91.5)
Витамин D / Vitamin D**	–	16.7 (13.5; 29.5)

* Содержание йода (I) определялось в разовой порции утренней мочи (мкг/л).

The content of iodine (I) was measured in the first-morning urine (µg/l).

** Единицы измерения витамина D в сыворотке крови – нг/мл.
 Units of measurement of vitamin D in blood serum are ng/ml.

ницу нормального диапазона (120 мкг/дл) [16] (табл. 2).

Также ниже установленных референсных показателей находились медианные значения Ca, Cu, I и витамина D: концентрация Ca в сыворотке крови была ниже 8800 мкг/дл [16], содержание Cu в волосах детей, показатели йодурии и витамина D – менее 10 мг/кг [17], 100 мкг/л [18] и 30 нг/мл [19] соответственно (см. табл. 2). Верхние границы референсного диапазона Mn и Cr в волосах детей составляли 0.93 и 0.70 мг/кг соответственно [15], в нашем исследовании выявлено превышение установленных показателей в 3 и 1.7 раза соответственно (см. табл. 2).

Анализ степени отклонений медианных значений содержания микронутриентов в организме детей от референсных значений [15–19] показал отрицательное отклонение концентраций Ca, Cu, Se, I и витамина D от нижней границы нормального диапазона на –10.9 %, –43.5 %, –86.2 %, –28.0 %, –46.1 % соответственно, а также превышение верхней границы референсного интервала для Fe, Mn и Cr на 1069.9 %, 201.1 % и 72.9 % соответственно (рис. 1).

Выраженный популяционный дефицит Se, вероятно, связан с низким содержанием микроэлемента в почве, в растительных и животных продуктах питания региона, как результат влияния биогеохимической провинции [20], которая также характеризуется недостаточным содержанием и дисбалансом I, F, Ca, Mg, Cu в объектах окружающей среды [21]. В свою очередь, избыток Fe в организме детей обусловлен его высоким содержанием в водах реки Амур, определяемым

$11.7 \pm 4.1\%$ had severe deficiency; vitamin D deficiency was in $20.0 \pm 5.2\%$ of cases. A low vitamin D status is associated with low insolation in setting of relatively high latitudes (>35 degrees north latitude, especially in winter) [23], which leads to a decrease in cutaneous synthesis of endogenous vitamin D₃, and the inability to compensate for the need for vitamin D with diet [19].

As a result of the study, physical development disorders were revealed in the form of short stature, underweight and overweight or obesity, and a cognitive profile below the average reference value was noted in $46.7 \pm 6.4\%$ of children.

To determine the impact of micronutrient status on the anthropometric parameters of children, a correlation analysis was carried out which showed the correlation between the content of Ca, Zn, Se, Cu, I, Cr in younger schoolchildren and the values of height and BMI ($p < 0.05$).

When assessing the associations between the concentration of Ca in the blood serum of children and the level of physical development, according to the data of the correlation analysis, the positive correlations were obtained indicating a decrease in height and BMI with Ca deficiency ($r = 0.316$, $r = 0.302$, respectively, $p < 0.05$). Thus, we have confirmed that Ca deficiency increases the risk of short stature and malnutrition in children.

When performing a correlation analysis to determine the role of I in the physical development of younger schoolchildren, a negative correlation was revealed between the iodine concentration and body weight indices and BMI ($r = -0.426$, $r = -0.520$, respectively, $p < 0.01$). Consequently, iodine defi-

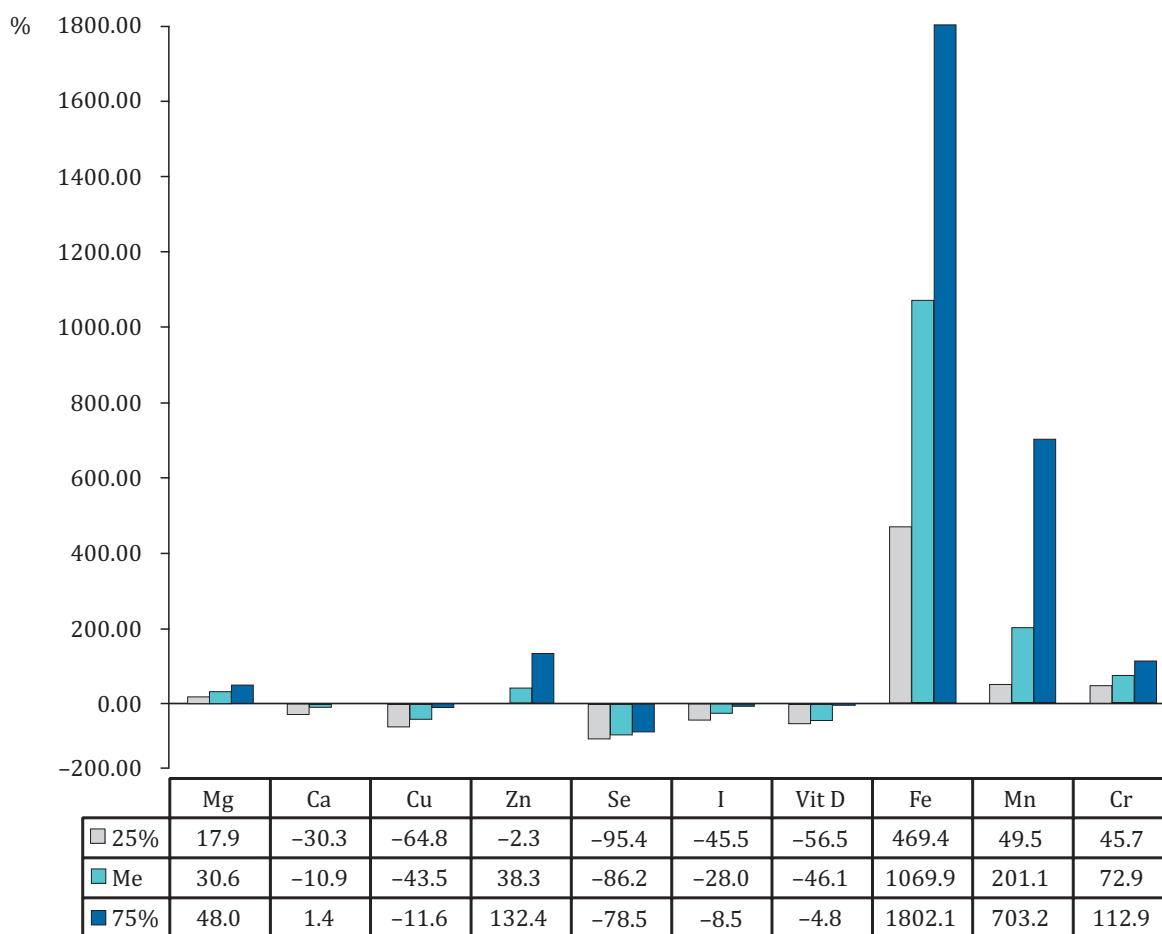


Рис. 1. Процентное отклонение содержания микронутриентов от референсного диапазона (нормальный диапазон референсных значений был принят за 100 %; расчет процентного отклонения дефицитов микронутриентов проводился от нижней границы референсного диапазона, избыточных состояний микронутриентов – от верхней)

Fig. 1. Relative deviation of micronutrient content from the reference range (the normal range of reference values was taken as 100%; the calculation of the relative deviation of micronutrient deficiencies was carried out from the lower reference limit, and micronutrient excess – from the upper one)

в течение многолетнего периода, начиная с 2006 г. [22]. Кроме того, отмечено нарастание содержания Mn в водных ресурсах края за последнее десятилетие [22].

Дефицит витамина D был выявлен у 56.7 ± 6.4 % младших школьников (см. табл. 1), из которых 11.7 ± 4.1 % имели дефицит тяжелой степени, недостаточность витамина D наблюдалась в 20.0 ± 5.2 % случаев. Низкий статус витамина D связан с недостаточной инсоляцией при проживании в относительно высоких широтах ($>35^\circ$ северной широты, особенно зимой) [23], приводящей к снижению кожного синтеза эндогенного витамина D₃, и невозможностью компенсировать потребность в витамине D алиментарным путем [19].

В результате исследования выявлены нарушения физического развития в виде низкорослости, недостаточной и избыточной массы тела или

ciency can lead to overweight and obesity in children, which is probably associated with the participation of I in the biosynthesis of thyroid hormones and, as a result, ensuring metabolic processes in the body [18].

The high prevalence of iodine deficiency is associated with the risk of endemic goiter, which served as the basis for assessment of thyroid status in younger schoolchildren and physical examination of the thyroid gland. Laboratory tests showed an elevated TSH level in 16.7 ± 4.8 % of children (with normal values of free thyroxine fraction and size of the thyroid gland on palpation), which indicates the presence of subclinical hypothyroidism. Further analysis confirmed the already available data on an increase in body weight with an elevated TSH concentration ($r = 0.406$, $p < 0.01$) and decreased free thyroxine fraction ($r = -0.441$, $p < 0.01$) in the blood serum.

During the study, a number of correlations were determined between the content of micronutrients

ожирения, а также установлен когнитивный профиль ниже среднего развития у 46.7 ± 6.4 % детей.

Для определения влияния микронутриентного статуса на антропометрические параметры детей был проведен факторный корреляционный анализ, который показал наличие взаимосвязи между содержанием Ca, Zn, Se, Cu, I, Cr в организме младших школьников и значениями роста и ИМТ ($p < 0.05$).

При установлении взаимосвязи концентрации Ca в сыворотке крови детей и уровня физического развития по данным корреляционных отношений были получены прямые связи, свидетельствующие о снижении показателей роста и ИМТ при дефиците Ca ($r = 0.316$, $r = 0.302$ соответственно, $p < 0.05$). Таким образом, нами получено подтверждение того, что недостаточная обеспеченность организма Ca увеличивает риск формирования низкорослости и недостаточности питания у детей.

При проведении корреляционного анализа с целью определения роли I в физическом развитии младших школьников была выявлена отрицательная взаимосвязь между концентрацией I и показателями массы тела и ИМТ ($r = -0.426$, $r = -0.520$ соответственно, $p < 0.01$). Следовательно, дефицит I может приводить к развитию избыточной массы тела и ожирения у детей, что, вероятно, связано с участием I в биосинтезе гормонов щитовидной железы и, как следствие, обеспечении метаболических процессов в организме [18].

Высокая распространенность йодной недостаточности связана с риском развития эндемического зоба, что послужило основанием для исследования тиреоидного статуса младших школьников и физикального обследования щитовидной железы. В результате лабораторного исследования был выявлен повышенный уровень ТТГ у 16.7 ± 4.8 % детей (при нормальных значениях свободной фракции тироксина и пальпаторных размерах щитовидной железы), что свидетельствует о наличии субклинического гипотиреоза. Дальнейший анализ подтвердил уже имеющиеся данные об увеличении массы тела при повышении концентрации ТТГ ($r = 0.406$, $p < 0.01$) и уменьшении свободной фракции тироксина ($r = -0.441$, $p < 0.01$) в сыворотке крови.

В ходе исследования был определен ряд взаимосвязей между содержанием микронутриентов и показателями ИМТ у детей: отмечено снижение массы тела при уменьшении концентраций Cu, Zn, Cr ($r = 0.355$, $r = 0.289$, $r = 0.325$ соответ-

and BMI in children: a decrease in body weight was noted with a decrease in the concentrations of Cu, Zn and Cr ($r = 0.355$, $r = 0.289$, $r = 0.325$, respectively, $p < 0.05$) and an increase in the content of vitamin D in the body ($r = -0.331$, $p < 0.05$). A positive correlation was found between the Cu concentration and the growth rates of younger schoolchildren ($r = 0.289$, $p < 0.05$), indicating a potential risk of short stature in case of Cu deficiency. Also, tendencies of growth retardation were revealed in children with Fe excess ($r = -0.209$, $p > 0.05$) and Se and Zn deficiency ($r = 0.267$, $r = 0.253$, respectively, $p > 0.05$).

Factor analysis using the multiple correlations revealed a combined effect of Ca, Zn, and Fe equally on both growth rates and BMI indices ($p < 0.05$). With regard to the cognitive development of children, the conventional analysis (carried out on the basis of a general linear model) showed a significant effect of the serum concentration of Cu ($p < 0.05$), Ca ($p < 0.05$) and I ($p < 0.05$) of younger schoolchildren, as well as their combined effect in conjunction with the concentration of vitamin D ($p < 0.01$) on the formation of short-term memory. The dependence between the level of Mg and Ca adequacy in children and the indicators of the formation of the conceptual and categorical framework was confirmed ($p < 0.05$), while the combination of trace elements with the concentration of vitamin D increased significance of this correlation ($p < 0.01$). In addition, a significant effect of the combination of Fe and Ca concentrations on the level of development of verbal and logical reasoning was found ($p < 0.01$).

When considering the correlation between the content of micronutrients in children's bodies and cognitive abilities, a decrease in the level of development of verbal and logical reasoning was noted with iodine deficiency and Fe excess ($r = 0.408$, $p < 0.01$; $r = -0.314$, $p < 0.05$). It was also found that the higher iodine and vitamin D adequacy, the better their mnemonic functioning ($r = 0.351$, $r = 0.308$, respectively, $p < 0.05$).

When comparing the serum vitamin D content of children and the child's ability to establish logical links and relations between concepts, a positive correlation was revealed ($r = 0.407$, $p < 0.01$), indicating a decrease in the child's ability to reasoning as a result of vitamin D deficiency. In addition, it was noted that a deficient vitamin D status results in reduced development of fine motor skills ($r = 0.295$, $p < 0.05$).

The ensuring of micronutrient adequacy is one of the components of the normal central nervous system development [6, 12, 13, 19]. Iodine deficiency is

ственно, $p < 0.05$) и увеличении содержания витамина D в организме ($r = -0.331$, $p < 0.05$). Установлена положительная корреляционная связь между концентрацией Cu и показателями роста младших школьников ($r = 0.289$, $p < 0.05$), указывающая на потенциальный риск формирования низкорослости в случае дефицита Cu. Также выявлены тенденции замедления темпов роста при избыточной обеспеченности организма детей Fe ($r = -0.209$, $p > 0.05$) и дефиците Se и Zn ($r = 0.267$, $r = 0.253$ соответственно, $p > 0.05$).

При проведении факторного анализа методом множественной корреляции выявлено сочетанное влияние Ca, Zn и Fe в равной степени как на показатели роста, так и на параметры ИМТ ($p < 0.05$). В отношении когнитивного развития детей традиционная схема анализа (осуществляемого на основе общей линейной модели) показала значимое влияние на формирование кратковременной памяти концентрации Cu ($p < 0.05$), Ca ($p < 0.05$), I ($p < 0.05$) в сыворотке крови младших школьников, а также их сочетанное влияние в совокупности с концентрацией витамина D ($p < 0.01$). Подтверждена зависимость между уровнем обеспеченности организма детей Mg и Ca и показателями развития понятийно-категориального аппарата ($p < 0.05$), при этом сочетание элементов с концентрацией витамина D повышало достоверность данной взаимосвязи ($p < 0.01$). Кроме того, было установлено значимое влияние совокупности концентраций Fe и Ca на уровень развития словесно-логического мышления ($p < 0.01$).

При рассмотрении корреляционных отношений между содержанием микронутриентов в организме детей и когнитивными способностями отмечено снижение уровня развития словесно-логического мышления при дефиците I и избыточном содержании Fe ($r = 0.408$, $p < 0.01$; $r = -0.314$, $p < 0.05$). Также установлено, что чем выше обеспеченность детей I и витамином D, тем лучше их мнестические показатели ($r = 0.351$, $r = 0.308$ соответственно, $p < 0.05$).

При сопоставлении содержания витамина D в сыворотке крови детей и способности ребенка устанавливать логические связи и отношения между понятиями выявлена прямая связь ($r = 0.407$, $p < 0.01$), свидетельствующая о снижении способности ребенка к умозаключениям в результате дефицита витамина D. Кроме того, отмечено, что низкий статус витамина D приводит к снижению уровня развития мелкой моторики ($r = 0.295$, $p < 0.05$).

the world's leading cause of preventable mental impairments [24]. A causal relationship of iodine deficiency with impaired brain development and learning disabilities has been proven, which aggravates the development of human resources and the country as a whole [25]. Vitamin D deficiency is also associated with decline in cognitive abilities, a high incidence of externalized behavior problems and attention deficit in children and adolescents [26–28]. Previous cohort studies of children and experimental studies *in vivo* indicate impaired cognitive and motor development as a result of Fe overload in the body [29].

CONCLUSION

In the present study, children aged 7–8 years living in the Lower Amur River of the Khabarovsk Territory revealed the micronutrient imbalances in the form of iron, manganese and chromium excess and a high frequency of multiple micronutrient deficiency represented by selenium, iodine, copper, magnesium, zinc, calcium and vitamin D deficiency.

Our study demonstrates the need for an integrated approach to assessing the provision of children with trace elements and vitamin D due to the presence of comorbidity of deficient and excess conditions, the combined effect on physical and cognitive development in order to prevent the development of nutritional diseases.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Обеспечение адекватного микронутриентного статуса является одной из составляющих нормального развития центральной нервной системы [6, 12, 13, 19]. Дефицит йода – ведущая мировая причина предотвратимого психического расстройства [24]. Доказана причинно-следственная связь йододефицита с нарушением развития головного мозга и неспособностью к обучению, что ухудшает развитие человеческих ресурсов и страны в целом [25]. Низкая обеспеченность витамином D также связана со сниженными когнитивными способностями, высокой частотой экстернализированных поведенческих проблем и дефицитом внимания у детей и подростков [26–28]. Ранее проведенные когортные исследования детей и экспериментальные исследования *in vivo* свидетельствуют о нарушении когнитивного и моторного развития в результате перегрузки организма Fe [29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании у детей 7–8 лет, проживающих на территории нижнего течения реки Амур Хабаровского края, выявлены отклонения микронутриентного статуса в виде избыточного содержания железа, марганца и хрома и высокой частоты множественной микронутриентной недостаточности, представленной дефицитом селена, йода, меди, магния, цинка, кальция и витамина D.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clark H., Coll-Seck A.M., Banerjee A. et al. A future for the world's children? A WHO–UNICEF–Lancet Commission // *Lancet*. 2020;395(10224):605–658. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32540-1.
2. Levels and Trends in Child Malnutrition: UNICEF/WHO/The World Bank Group Joint Child Malnutrition Estimates: key findings of the 2021 edition. 32 p.
3. Black R.E., Victora C.G., Walker S.P. et al. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries // *Lancet*. 2013;382(9890):427–451. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60937-X.
4. Jirout J., LoCasale-Crouch J., Turnbull K. et al. How lifestyle factors affect cognitive and executive function and the ability to learn in children // *Nutrients*. 2019;11(8):1953. DOI: 10.3390/nu11081953.
5. Eaton J.C., Rothpletz-Puglia P., Dreker M.R. et al. Effectiveness of provision of animal-source foods for supporting optimal growth and development in children 6 to 59 months of age // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019;2(2):CD012818. DOI: 10.1002/14651858.CD012818.pub2.
6. Национальная программа по оптимизации обеспеченности витаминами и минеральными веществами детей России (и использованию витаминных и витаминно-минеральных комплексов и обогащенных продуктов в педиатрической практике). М.: ПедиатрЪ, 2017. 152 с.
7. Ясаков Д.С., Макарова С.Г., Фисенко А.П. и др. Вегетарианство и здоровье детей // *Педиатрия. Журн. им. Г.Н. Сперанского*. 2022;101(1):161–170. DOI: 10.24110/0031-403X-2022-101-1-161-170.
8. Esteban-Figuerola P., Canals J., Fernández-Cao J.C., Arija Val V. Differences in food consumption and nutritional intake between children with autism spectrum disorders and typically developing children: A meta-analysis // *Autism*. 2019;23(5):1079–1095. DOI: 10.1177/1362361318794179.
9. Горелова Ж.Ю., Соловьева Ю.В., Летучая Т.А. Предпочтения обучающихся в школьном питании образовательных организаций г. Москвы // *Рос. вестн. перинатологии и педиатрии*. 2021;66(4):340.
10. 2018 Global Nutrition Report: Shining a light to spur action on nutrition. Bristol, UK: Development Initiatives, 2018. 165 p.
11. Тришевская А.В., Зубков В.А., Михеева Е.В., Байtimirowa Е.А. Природные биогеохимические провинции как фактор риска для здоровья населения

Проведенное нами исследование демонстрирует необходимость комплексного подхода к оценке обеспеченности организма детей элементами и витамином D в связи с наличием коморбидности дефицитных и избыточных состояний, сочетанным влиянием на физическое и когнитивное развитие с целью предотвращения развития алиментарно-зависимых заболеваний.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Clark H., Coll-Seck A.M., Banerjee A. et al. A future for the world's children? A WHO–UNICEF–Lancet Commission. *Lancet*. 2020;395(10224):605–658. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32540-1.
2. *Levels and Trends in Child Malnutrition: UNICEF/WHO/The World Bank Group Joint Child Malnutrition Estimates: key findings of the 2021 edition*. 32 p.
3. Black R.E., Victora C.G., Walker S.P. et al. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *Lancet*. 2013;382(9890):427–451. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60937-X.
4. Jirout J., LoCasale-Crouch J., Turnbull K. et al. How lifestyle factors affect cognitive and executive function and the ability to learn in children. *Nutrients*. 2019;11(8):1953. DOI: 10.3390/nu11081953.
5. Eaton J.C., Rothpletz-Puglia P., Dreker M.R. et al. Effectiveness of provision of animal-source foods for supporting optimal growth and development in children 6 to 59 months of age. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019;2(2):CD012818. DOI: 10.1002/14651858.CD012818.pub2.
6. *National Program to Optimize the Supply of Vitamins and Minerals to Children in Russia (and the Use of Vitamin and Vitamin-mineral Complexes and Fortified Products in Pediatric Practice)*. (2017). Moscow. 152 p. (In Russ).
7. Yasakov D.S., Makarova S.G., Fisenko A.P. et al. Vegetarianism and children's health. *Pediatrics*. 2022;101(1):161–170. DOI: 10.24110/0031-403X-2022-101-1-161-170. (In Russ.)
8. Esteban-Figuerola P., Canals J., Fernández-Cao J.C., Arija Val V. Differences in food consumption and nutritional intake between children with autism spectrum disorders and typically developing children: A meta-analysis. *Autism*. 2019;23(5):1079–1095. DOI: 10.1177/1362361318794179.
9. Gorelova Zh.Yu., Soloveva Yu.V., Letuchaya T.A. Preferences of students in school meals of educational organizations in Moscow. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Peditrii*. 2021;66(4):340. (In Russ.)
10. *2018 Global Nutrition Report: Shining a Light to Spur Action on Nutrition*. (2018). Bristol, UK: Development Initiatives. 165 p.
11. Trishevskaya A.V., Zubkov V.A., Mikheeva E.V., Baytimirowa E.A. (2019). Natural biogeochemical provinces as a risk factor for public health: assessment of primary morbidity. In *Earth Sciences and Civilization: Collec-*

- ния: оценка первичной заболеваемости // Науки о Земле и Цивилизация: коллективная монография. Т. XI. СПб.: Изд-во Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, 2019. С. 84–88.
12. Global Nutrition Report 2016: From Promise to Impact: Ending Malnutrition by 2030. Washington, DC, USA: International Food Policy Research Institute. 180 p.
 13. 2020 Global Nutrition Report: Action on equity to end malnutrition. Bristol, UK: Development Initiatives, 2020. 172 p.
 14. Семаго Н.Я., Семаго М.М. Теория и практика оценки психического развития ребенка. Дошкольный и младший школьный возраст. СПб.: Речь, 2005. 384 с.
 15. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003;4(1):55–56.
 16. Pagana K.D., Pagana T.J., Pagana T.N. Mosby's Diagnostic and Laboratory Test Reference. 14th ed. St. Louis, Mo: Elsevier, 2019. 1088 p.
 17. Trace elements in human nutrition and health. World Health Organization. Geneva, 1996. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37931> (дата обращения: 11.01.2023).
 18. Assessment of Iodine Deficiency Disorders and Monitoring Their Elimination: A Guide for Programme Managers. 3rd ed. Geneva, Switzerland: WHO, 2007. 97 p.
 19. Национальная программа: Недостаточность витамина D у детей и подростков Российской Федерации: современные подходы к коррекции. М.: ПедиатрЪ, 2021. 116 с.
 20. Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А. Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска // Вопросы питания. 2018;87(6):89–94. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10070.
 21. Григорьева Е.А., Суховеева А.Б., Калманова В.Б. Эколого-климатические и медико-социальные факторы как предикторы качества жизни и репродуктивного здоровья населения среднего Приамурья: постановка проблемы // Региональные проблемы. 2018;21(3):71–81. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-3-71-81.
 22. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году: государственный доклад. М.: НИА-Природа, 2018. 298 с.
 23. Roth D.E., Abrams S.A., Aloia J. et al. Global prevalence and disease burden of vitamin D deficiency: a roadmap for action in low- and middle-income countries // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2018;1430(1):44–79. DOI: 10.1111/nyas.13968.
 24. Iodine Global Network. Annual Report 2020. URL: https://www.ign.org/cm_data/IGN-Annual-Report-2020.pdf (дата обращения: 11.01.2023).
 25. Pandav C.S., Yadav K., Srivastava R. et al. Iodine deficiency disorders (IDD) control in India // Indian J. Med. Res. 2013;138(3):418–433.
 26. Elshorbagy H.H., Barseem N.F., Abdelghani W.E. et al. Impact of vitamin D supplementation on attention-deficit hyperactivity disorder in children. Ann. Pharmacother. 2018;52(7):623–631. DOI: 10.1177/1060028018759471.
 27. Bahrami A., Khayatzadeh S.S., Jaber N. et al. Common polymorphisms in genes related to vitamin D metabolism affect the response of cognitive ability Monograph. Vol. XI. St. Petersburg. P. 84–88. (In Russ.)
 12. Global Nutrition Report 2016: From Promise to Impact: Ending Malnutrition by 2030. (2016). Washington, DC, USA: International Food Policy Research Institute. 180 p.
 13. 2020 Global Nutrition Report: Action on Equity to End Malnutrition. (2020). Bristol, UK: Development Initiatives. 172 p.
 14. Semago N.Ya., Semago M.M. (2005). Theory and Practice of Evaluation the Mental Development of a Child. Preschool and Primary School Age. St. Petersburg: Rech. 384 p. (In Russ.)
 15. Skalny A.V. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES (ANO Center for Biotic Medicine). Trace Elements in Medicine. 2003;4(1):55–56. (In Russ.)
 16. Pagana K.D., Pagana T.J., Pagana T.N. (2019). Mosby's Diagnostic and Laboratory Test Reference. 14th ed. St. Louis, Mo: Elsevier. 1088 p.
 17. Trace elements in human nutrition and health. World Health Organization. Geneva, 1996. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37931> (accessed 11.01.2023).
 18. Assessment of Iodine Deficiency Disorders and Monitoring Their Elimination: A Guide for Programme Managers. (2007). 3rd ed. Geneva, Switzerland: WHO. 97 p.
 19. National Program: Vitamin D Deficiency in Children and Adolescents of the Russian Federation: Modern Approaches to Correction. (2021). Moscow: Paediatrician. 116 p. (In Russ.)
 20. Senkevich O.A., Koval'sky Yu.G., Golubkina N.A. Monitoring of selenium content in some food of residents of the Khabarovsk. Problems of Nutrition. 2018;87(6):89–94. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10070. (In Russ.)
 21. Grigorieva E.A., Sukhoveeva A.B., Kalmanova V.B. Environmental, climatic and medical-social factors as predictors of life quality and reproductive health in the Middle Amur Region of the Russian Far East. Regional Problems. 2018;21(3):71–81. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-3-71-81. (In Russ.)
 22. On the Condition and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2017: State Report. (2018). Moscow. 298 p. (In Russ.)
 23. Roth D.E., Abrams S.A., Aloia J. et al. Global prevalence and disease burden of vitamin D deficiency: a roadmap for action in low- and middle-income countries. Ann. N.Y. Acad. Sci. 2018;1430(1):44–79. DOI: 10.1111/nyas.13968.
 24. Iodine Global Network. Annual Report 2020. URL: https://www.ign.org/cm_data/IGN-Annual-Report-2020.pdf (accessed 11.01.2023).
 25. Pandav C.S., Yadav K., Srivastava R. et al. Iodine deficiency disorders (IDD) control in India. Indian J. Med. Res. 2013;138(3):418–433.
 26. Elshorbagy H.H., Barseem N.F., Abdelghani W.E. et al. Impact of vitamin D supplementation on attention-deficit hyperactivity disorder in children. Ann. Pharmacother. 2018;52(7):623–631. DOI: 10.1177/1060028018759471.
 27. Bahrami A., Khayatzadeh S.S., Jaber N. et al. Common polymorphisms in genes related to vitamin D metabolism affect the response of cognitive ability

- Ann. Pharmacother. 2018;52(7):623-631. DOI: 10.1177/1060028018759471.
27. Bahrami A., Khayyatadeh S.S., Jaberi N. et al. Common polymorphisms in genes related to vitamin D metabolism affect the response of cognitive abilities to vitamin D supplementation // J. Mol. Neurosci. 2019;69(1):150-156. DOI: 10.1007/s12031-019-01344-6.
28. Grung B., Sandvik A.M., Hjelle K. et al. Linking vitamin D status, executive functioning and self-perceived mental health in adolescents through multivariate analysis: A randomized double-blind placebo control trial // Scand. J. Psychol. 2017;58(2):123-130. DOI: 10.1111/sjop.12353.
29. Lönnerdal B. Excess iron intake as a factor in growth, infections, and development of infants and young children // Am. J. Clin. Nutr. 2017;106(6):1681S-1687S. DOI: 10.3945/ajcn.117.156042.
- ties to vitamin D supplementation. J. Mol. Neurosci. 2019;69(1):150-156. DOI: 10.1007/s12031-019-01344-6.
28. Grung B., Sandvik A.M., Hjelle K. et al. Linking vitamin D status, executive functioning and self-perceived mental health in adolescents through multivariate analysis: A randomized double-blind placebo control trial. Scand. J. Psychol. 2017;58(2):123-130. DOI: 10.1111/sjop.12353.
29. Lönnerdal B. Excess iron intake as a factor in growth, infections, and development of infants and young children. Am. J. Clin. Nutr. 2017;106(6):1681S-1687S. DOI: 10.3945/ajcn.117.156042.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чебаргина Мария Александровна – ассистент кафедры педиатрии, неонатологии и перинатологии с курсом неотложной медицины Института непрерывного профессионального образования и аккредитации ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск, Россия. ORCID: 0000-0001-8022-3279.

Сенькевич Ольга Александровна – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой педиатрии, неонатологии и перинатологии с курсом неотложной медицины Института непрерывного профессионального образования и аккредитации ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск, Россия. ORCID: 0000-0003-4195-2350.

Ковальский Юрий Григорьевич – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой биологической химии и клинической лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск, Россия. ORCID: 0000-0003-1803-9168.

ABOUT THE AUTHORS

Maria A. Chebargina – Assistant, Department of Pediatrics, Neonatology and Perinatology with a course of Emergency Medicine, Institute of Ongoing Professional Education and Accreditation, Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia. ORCID: 0000-0001-8022-3279.

Olga A. Senkevich – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head, Department of Pediatrics, Neonatology and Perinatology with a course of Emergency Medicine, Institute of Ongoing Professional Education and Accreditation, Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia. ORCID: 0000-0003-4195-2350.

Yuri G. Kovalsky – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head, Department of Biological Chemistry and Clinical Laboratory Diagnostics, Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia. ORCID: 0000-0003-1803-9168.