

Сетко Н.П.¹, Жданова О.М.¹, Сетко А.Г.²

Биоимпедансометрия как скрининговая технология оценки адекватности питания учащихся

¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 460000, Оренбург, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Биоимпедансометрия, основанная на измерении электрической проводимости биологических тканей, представляется перспективной скрининговой технологией, позволяющей своевременно выявлять и корректировать алиментарный статус и отклонения в питании учащихся.

Цель исследования — определить эффективность метода биоимпедансометрии как скрининговой технологии оценки адекватности питания учащихся.

Материалы и методы. Проведена оценка фактического рациона учащихся по методике 24-часового воспроизведения питания, алиментарного статуса на основе расчёта индекса массы тела, компонентного состава тела методом биоимпедансометрии. Были обследованы 245 учащихся 7–10 лет (1-я группа) и 222 учащихся 11–14 лет (2-я группа).

Результаты. Установлено, что рацион учащихся 1-й группы характеризовался увеличением энергетической ценности на 17,9% за счёт избыточного содержания жиров на 28,6%, а также дефицитом ряда минеральных веществ (Ca, K, Na, Cl, Fe, Zn, Cu, Cr) и витаминов (B₁, B₂, B₃, B₅, B₉, B₇, C, A), что обеспечивало формирование избыточного пищевого статуса у 40,7% учащихся, увеличения доли жировой массы у 53,1%, снижение безжировой массы у 20,4%. Рацион учащихся 2-й группы был дефицитен по содержанию белков на 38,5% для мальчиков и 33,2% для девочек, ряда макро- и микроэлементов (Ca, K, Cu, Cr, Se) и витаминов (B₅, B₃, B₇, B₆, E), что приводило к формированию недостаточного пищевого статуса у 30,5% обследуемых, снижению безжировой массы у 14,7% учащихся и активной клеточной массы — у 63,2% учащихся, а также к увеличению доли жировой массы у 64,7% учащихся.

Ограничением исследования. Результаты исследования могут быть экстраполированы только на выборку учащихся начального и среднего звена.

Заключение. Полученные данные подтвердили, что использование биоимпедансометрии, основанной на оценке компонентного состава тела (соотношение жировой, мышечной и активной клеточной массы, уровень метаболической активности и др.), может стать фундаментом для разработки персонализированных рекомендаций по коррекции фактического рациона учащихся и позволит повысить эффективность профилактики и коррекции алиментарно-зависимых нарушений, адаптировать рацион к физиологическим и метаболическим особенностям каждого учащегося.

Ключевые слова: учащиеся; фактическое питание; индекс массы тела; избыточная масса тела; биоимпедансометрия

Соблюдение этических стандартов. Настоящее исследование было одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО ОрГМУ Минздрава России (протокол № 322 от 06.09.2023 г.) в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Все участники и их законные представители дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Сетко Н.П., Жданова О.М., Сетко А.Г. Биоимпедансометрия как скрининговая технология оценки адекватности питания учащихся. Гигиена и санитария. 2024; 103(12): 1480–1486. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1480-1486> <https://elibrary.ru/bupger>

Для корреспонденции: Жданова Олеся Михайловна, e-mail: Robokors@yandex.ru

Участие авторов: Сетко Н.П. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Жданова О.М. — написание текста, сбор и обработка материала, статистическая обработка; Сетко А.Г. — концепция и дизайн исследования, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 10.10.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликовано: 28.12.2024

Nina P. Setko¹, Olesya M. Zhdanova¹, Andrey G. Setko²

Bioimpedancemetry as a screening technology for assessing the adequacy of nutrition in students

¹Orenburg State Medical University, Orenburg, 460000, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Bioimpedancemetry based on measuring the electrical conductivity of biological tissues appears to be a promising screening technology that allows timely detecting and correcting of alimentary status and deviations in the diet of students.

The aim of the study is to determine the effectiveness of the bioimpedancemetry method as a screening technology for assessing the adequacy of students' nutrition.

Materials and methods. The assessment of actual nutrition in two hundred forty five students aged of 7–10 years (Group 1) and 222 students aged of 11–14 years (Group 2), was carried out using the 24-hour nutrition reproduction method; alimentary status based on the calculation of body mass index; body component composition using the bioimpedancemetry method.

Results. The diet of students in the 1st group was established to be characterized by an increase in energy value by 17.9% due to an excess of fat by 28.6%, as well as a deficiency of a number of minerals (Ca, K, Na, Cl, Fe, Zn, Cu, Cr) and vitamins (B₁, B₂, B₃, B₅, B₉, B₇, C, A), which ensured the formation of excess nutritional status in a third of students (40.7%), an increase in the proportion of fat mass in every second student (53.1%) and a decrease in lean mass in a fifth of those surveyed (20.4%). The diet of the students in the 2nd group was deficient in protein content by 38.5% for boys and 33.2% for girls, a number of macro- and microelements (Ca, K, Cu, Cr, Se), and vitamins (B₅, B₃, B₇, B₆, E), which led to the formation of insufficient nutritional status in 30.5% of the subjects, an increase in the proportion of fat mass in 64.7% of students, as well as a decrease in lean mass in 14.7% of students and active cell mass in 63.2% of students.

Limitations. The results of the study can be extrapolated only to a sample of primary and secondary school students.

Conclusion. Thus, the obtained data indicate the use of bioimpedance analysis based on the assessment of the component composition of the body, including the ratio of fat, muscle and active cell mass, the level of metabolic activity, to be potent of becoming the foundation for the development of personalized recommendations for the correction of the actual diet of students, and will improve the effectiveness of the prevention and correction of alimentary-dependent disorders, adapting the diet to the physiological and metabolic characteristics in each student.

Keywords: students; actual nutrition; body mass index; overweight; bioimpedance analysis

Compliance with ethical standards. This study was approved by the Ethics Committee of the Orenburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Protocol No. 322 dated of September 6, 2023) in accordance with the Declaration of Helsinki. Participants were recruited voluntarily and provided written informed consent. All participants and their legal representatives gave informed voluntary written consent to participate in the study.

For citation: Setko N.P., Zhdanova O.M., Setko A.G., Bioimpedancemetry as a screening technology for assessing the adequacy of nutrition in students. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(12): 1480–1486. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1480-1486> <https://elibrary.ru/bupger> (In Russ.)

For correspondence: Olesya M. Zhdanova, e-mail: Robokors@yandex.ru

Contributions: Setko N.P. — concept and design of the study, editing; Zhdanova O.M. — writing the text; collection and processing of material; statistical processing; Setko A.G. — concept and design of the study, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: October 10, 2024 / Accepted: December 3, 2024 / Published: December 28, 2024

Введение

Избыточная масса тела и ожирение у детей и подростков относятся к наиболее значимым проблемам общественного здравоохранения [1–3]. За последние четыре десятилетия распространение этих патологий увеличилось в десять раз, и в 2016 г. более 330 млн людей в возрасте от 5 до 19 лет страдали от избыточной массы тела или ожирения [4–6], а к настоящему времени их число достигло приблизительно 124 млн [7].

Формирование избыточной массы тела в детском возрасте является предиктором развития ожирения у взрослых, что коррелирует с повышенным риском возникновения множества хронических патологий, ухудшением качества жизни вследствие социальной стигматизации и повышенной частоты депрессивных расстройств [8–11]. В связи с этим необходимость ранней диагностики, предупреждения и коррекции избыточной массы тела и ожирения в детском и подростковом возрасте неоспоримы и требуют срочных профилактических мероприятий. Традиционно для скрининга избыточной массы тела и ожирения применяется индекс массы тела (ИМТ), который благодаря своей простоте, универсальности и подтвержденной валидности широко используется для оценки алиментарного статуса в многочисленных исследованиях [12–16]. В то же время индекс массы тела обладает ограниченной чувствительностью, поскольку не учитывает вариаций компонентного состава тела, а именно относительного содержания жировой и мышечной тканей, а также их распределения [17–22]. ИМТ может быть эффективным инструментом оценки адекватности питания детей с нормальным соотношением мышечной и жировой ткани, однако при наличии повышенной мышечной массы или отклонениями в компонентном составе тела применение ИМТ может приводить к ошибочным выводам и некорректной интерпретации [17–22].

Ограниченная информативность ИМТ затрудняет точную идентификацию специфических потребностей в коррекции состава тела, что является критически важным для разработки эффективных персонализированных мероприятий профилактики избыточной массы тела, ожирения и связанных с ними осложнений. Ограничения в применении ИМТ обуславливают необходимость использования метода компонентного анализа состава тела, который позволяет оценить состояние белкового, жирового и водного обмена, интенсивность метаболических процессов и соотнести их с фактическим питанием детей и подростков.

Цель исследования — определить эффективность метода биоимпедансометрии как скрининговой технологии оценки адекватности питания учащихся.

Материалы и методы

В рамках исследования было проведено одномоментное обследование 582 обучающихся общеобразовательных организаций Оренбурга в возрасте 7–14 лет. Для участия в исследовании были установлены следующие критерии включения: наличие добровольного информированного согласия учащихся и их родителей или законных представителей; принадлежность участников к I–III группам здоровья. Критерии исключения: некорректно заполненные дневники питания, отказ от участия в обследовании, обострение хронических болезней на момент исследования, приём лекарственных препаратов, влияющих на обмен веществ, аппетит или водно-электролитный баланс организма; следование диетам (вегетарианство, веганство и т. п.) или соблюдение религиозных постов; профессиональные занятия спортом, влияющие на компонентный состав тела и энергетические потребности организма учащихся.

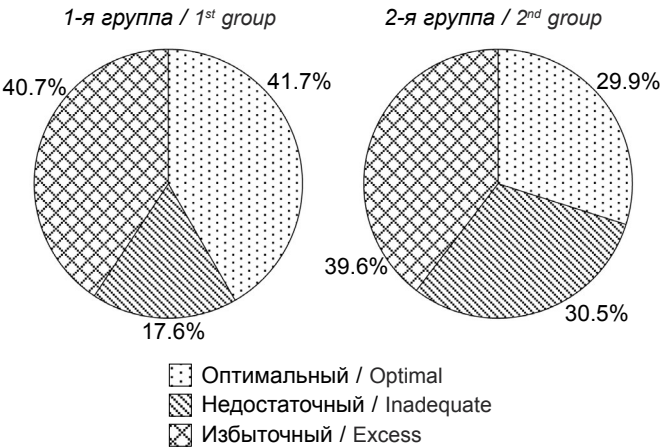
В результате были сформированы две группы наблюдения: 1-ю группу составили 245 учащихся в возрасте 7–10 лет, 2-ю группу — 222 учащихся 11–14 лет. Расчёт размера выборки предварительно не проводился. Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации и получило одобрение локального этического комитета ФГБОУ ВО ОрГМУ Минздрава России (протокол № 322 от 06.09.2023 г.).

Рацион учащихся оценивался согласно методике 24-часового воспроизведения питания в соответствии с МР «Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания» (2016) с определением энергетической и пищевой ценности рациона по таблицам химического состава пищевых продуктов В.А. Тутельяна [23] в соответствии с Методическими рекомендациями 2.3.1.0253–21 [24].

Алиментарный статус определён по интегральному показателю индекса массы тела согласно перцентильным таблицам ВОЗ с учётом возраста и пола учащихся. Значения ИМТ интерпретировались следующим образом: менее –2 стандартных отклонений (СО) указывали на недостаточный пищевой статус, от –2 до +1 СО — на оптимальный пищевой статус, от +1 до +2 СО — на избыточный пищевой статус.

Биоимпедансный анализ состава тела учащихся обеих групп проведён на аппаратно-программном комплексе «Диамант-аист» с определением жировой и безжировой массы, активной клеточной массы, объёма внутри- и внеклеточных жидкостей и уровня основного обмена веществ.

Результаты исследования обработаны с использованием программного обеспечения StatTech v. 3.1.8 (ООО «Статтех», Россия). Применение параметрических методов статистики было оправдано нормальным распределением количествен-



Распределение учащихся обследуемых групп в зависимости от алиментарного статуса (%).

Distribution of students of the studied groups depending on their nutritional status (%).

ных показателей согласно критерию Колмогорова – Смирнова. Сравнение двух групп по количественным данным осуществлялось с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок; категориальных данных – с использованием критерия хи-квадрат Пирсона (χ^2). Статистическая значимость различий между группами устанавливалась при $p \leq 0,05$.

Результаты

Согласно полученным данным, питание учащихся обеих групп было нерациональным и неадекватным (табл. 1). В 1-й группе энергетическая ценность рациона была выше физиологических потребностей на 17,9%, преимущественно за счёт избыточного содержания жиров (превышение нормы потребления на 28,6%) и углеводов (выше на 9,3%). Выявлен дефицит минеральных веществ: кальция (на 58% относительно нормы), калия (на 28,8%), натрия (на 27,4%), хлоридов (на 25,5%), железа (на 38,3%), цинка (на 46%), меди (на 14,3%) и хрома (на 18,7%). Зарегистрирован недостаток витаминов группы В: тиамина (на 18,2% относительно нормы), рибофлавина (на 50%), пантотеновой кислоты (на 80%), фолиевой

Таблица 1 / Table 1

Химический состав и калорийность рационов учащихся исследуемых групп

Chemical composition and caloric capacity of students' diets in the studied groups

Показатель Indices	Физиологическая потребность (норма) / Physiological needs (norm)			Группы учащихся / Groups of schoolchildren			
	7–10 лет / years	11–14 лет / years		1-я / 1 st		2-я / 2 nd	
		Мальчики / Boys	Девочки / Girls	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>p</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>p</i>
Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal	2100	2500	2300	2558.5 ± 761.31	< 0.001	2396.8 ± 310.4	1.0
Белки, г / Proteins, g	63	75	69	62.5 ± 14.32	0.58	46.1 ± 15.2	< 0.001
Жиры, г / Fats, g	70	83	77	98.1 ± 11.22	< 0.001	74.5 ± 11.0	1.0
Холестерин, мг / Cholesterol, mg	< 300	< 300	< 300	76.6 ± 24.78	< 0.001	65.3 ± 15.1	< 0.001
Углеводы, г / Carbohydrates, g	305	363	334	366.4 ± 114.82	< 0.05	341.6 ± 48.4	< 0.05
Минеральные вещества / Minerals							
Кальций, мг / Calcium, mg	1100	1200	1200	462.4 ± 267.25	< 0.001	622.1 ± 85.61	< 0.001
Магний, мг / Magnesium, mg	250	300	300	243.2 ± 69.28	0.125	354.1 ± 45.42	< 0.001
Фосфор, мг / Phosphorus, mg	800	900	900	863.1 ± 422.23	0.02	1000.4 ± 202.17	< 0.001
Калий, мг / Potassium, mg	2000	2500	2500	1423.1 ± 967.63	< 0.001	1586.1 ± 146.16	< 0.001
Натрий, мг / Sodium, mg	1000	1100	1100	725.6 ± 16.33	< 0.001	1378.1 ± 42.53	< 0.001
Хлориды, мг / Chlorides, mg	1700	1900	1900	1267.3 ± 132.56	< 0.001	2642.7 ± 76.12	< 0.001
Железо, мг / Iron, mg	12	12	15	7.4 ± 2.39	< 0.001	18.1 ± 3.62	< 0.001
Цинк, мг / Zinc, mg	10	10	15	5.4 ± 4.54	< 0.001	7.18 ± 0.51	< 0.001
Йод, мг / Iodine, mg	0.09	0.13	0.13	0.09 ± 0.003	1.0	0.13 ± 0.12	1.0
Медь, мг / Copper, mg	0.7	0.8	0.8	0.6 ± 0.12	< 0.001	0.7 ± 0.01	< 0.001
Селен, мг / Selenium, mg	0.30	0.40	0.40	0.31 ± 0.08	0.051	0.23 ± 0.05	< 0.001
Хром, мкг / Chromium, µg	15	25	25	12.2 ± 3.4	< 0.001	14.2 ± 4.6	< 0.001
Фтор, мг / Fluorine, mg	1.4 2.2	2.3	2.3	2.4 ± 0.6	< 0.001	2.7 ± 0.6	< 0.001
Витамины / Vitamins							
В ₁ , мг (mg)	1.1	1.3	1.3	0.9 ± 0.5	< 0.001	1.3 ± 0.62	1.0
В ₂ , мг (mg)	1.2	1.5	1.5	0.6 ± 0.4	< 0.001	1.6 ± 0.25	< 0.001
В ₅ , мг (mg)	3.0	3.5	3.5	0.6 ± 0.09	< 0.001	1.4 ± 0.11	< 0.001
В ₆ , мг (mg)	1.5	1.7	1.6	1.5 ± 0.8	1.0	1.3 ± 0.15	< 0.001
В ₉ , мг (mg)	200	300–350	300–350	167.2 ± 48.7	< 0.001	126.6 ± 13.14	< 0.001
С, мг (mg)	60	70	60	35.2 ± 13.4	< 0.001	60.2 ± 15.45	< 0.001
В ₃ , мг (mg)	15	18	18	9.4 ± 3.4	< 0.001	15.5 ± 2.25	< 0.001
В ₇ , мкг (µg)	20	25	25	3.5 ± 0.8	< 0.001	6.6 ± 0.78	< 0.001
А, мкг (µg)	700	1000	800	302.0 ± 31.1	< 0.001	1100.0 ± 145.4	< 0.001
Е, мг (mg)	10	12	12	12.6 ± 6.9	< 0.001	6.4 ± 0.84	< 0.001

Примечание. * – при сравнении данных учащихся с физиологической нормой.

Note: * – when comparing student data with physiological norm data.

Таблица 2 / Table 2

Показатели компонентного состава тела учащихся исследуемых групп
Indices of body component composition in students in the study groups

Показатель Indicators	Группы учащихся / Groups of schoolchildren		p*
	1-я / 1 st	2-я / 2 nd	
Жировая масса, кг / Fat mass, kg	6.7 ± 0.25	12.5 ± 0.61	< 0.05
Процент жировой массы, % / Percentage of fat mass, %	20.2 ± 0.42	21.8 ± 0.79	1.0
Безжировая масса, кг / Fat-free mass, kg	24.8 ± 0.34	43.3 ± 0.77	< 0.001
Активная клеточная масса, кг / Active cell mass, kg	15.6 ± 0.22	27.2 ± 0.42	< 0.001
Активная клеточная масса, % / Percentage of active cell mass, %	50.3 ± 0.18	49.1 ± 0.42	1.0
Объём воды, л / Water volume, L	18.1 ± 0.25	31.7 ± 0.56	< 0.001
Общий объём жидкости, л / Total fluid volume, L	15.5 ± 0.24	29.2 ± 0.49	< 0.001
Объём внеклеточной жидкости, л / Extracellular fluid volume, L	5.6 ± 0.10	10.6 ± 0.28	< 0.001
Объём внутриклеточной жидкости, л / Intracellular fluid volume, L	9.9 ± 0.16	18.6 ± 0.26	< 0.001
Основной обмен, ккал / Basal metabolism, kcal	1161.6 ± 6.23	1487.4 ± 16.18	< 0.001

Примечание. Здесь и в табл. 3: * — при сравнении данных учащихся 1-й и 2-й групп.
Note: Here and in Table 3: * — when comparing data from students in groups 1 and 2.

Таблица 3 / Table 3

Распределение учащихся обследуемых групп в зависимости от степени отклонения показателей компонентного состава тела от физиологической нормы, %
Distribution of students in the study groups depending on the degree of deviation from the physiological norm of body component composition indices, %

Показатель Indices	Степень соответствия физиологической норме Degree of compliance with physiological norm	Группы учащихся / Groups of schoolchildren		p*
		1-я / 1 st	2-я / 2 nd	
Жировая масса, кг Fat mass, kg	Ниже нормы / Below normal	50.2	59.8	0.065
	Норма / Norm	24.1	11.5	0.065
	Выше нормы / Above normal	25.7	28.7	0.065
Процент жировой массы, % Percentage of fat mass, %	Ниже нормы / Below normal	22.4	24.0	0.048
	Норма / Norm	24.5	11.3	0.048
	Выше нормы / Above normal	53.1	64.7	0.048
Безжировая масса, кг Fat-free mass, kg	Ниже нормы / Below normal	20.4	14.7	0.001
	Норма / Norm	41.2	66.7	0.001
	Выше нормы / Above normal	38.4	18.7	0.001
Активная клеточная масса, кг Active cell mass, kg	Ниже нормы / Below normal	26.5	63.2	< 0.001
	Норма / Norm	50.6	26.3	< 0.001
	Выше нормы / Above normal	22.9	10.5	< 0.001
Процент активной клеточной массы, % Percentage of active cell mass, %	Ниже нормы / Below normal	24.5	12.0	0.018
	Норма / Norm	73.1	88.0	0.018
	Выше нормы / Above normal	2.4	—	0.018
Объём воды, л Water volume, L	Ниже нормы / Below normal	4.1	8.2	< 0.001
	Норма / Norm	77.1	32.9	< 0.001
	Выше нормы / Above normal	18.8	58.8	< 0.001
Общий объём жидкости, л Total fluid volume, L	Ниже нормы / Below normal	16.7	4.4	< 0.001
	Норма / Norm	53.1	18.7	< 0.001
	Выше нормы / Above normal	30.2	76.9	< 0.001
Объём внеклеточной жидкости, л Extracellular fluid volume, L	Ниже нормы / Below normal	7.3	11.0	0.002
	Норма / Norm	64.5	40.0	0.002
	Норма / Norm	28.2	49.0	0.002
Объём внутриклеточной жидкости, л Intracellular fluid volume, L	Ниже нормы / Below normal	—	—	—
	Норма / Norm	99.2	100.0	—
	Выше нормы / Above normal	0.8	—	—
Основной обмен, ккал Basal metabolism, kcal	Ниже нормы / Below normal	45.3	32.0	< 0.001
	Норма / Norm	35.9	2.0	< 0.001
	Выше нормы / Above normal	18.8	66.0	< 0.001

кислоты (на 16,4%), ниацина (на 37,3%), биотина (на 82,5%), а также витамина С (на 41,3%) и витамина А на 56,9%.

Во 2-й группе учащихся при соответствующей физиологической норме энергетической ценности рациона выявлен значительный дефицит белкового компонента — на 38,5% у мальчиков и на 33,2% у девочек. Кроме того, и у мальчиков, и у девочек определён дефицит некоторых эссенциальных нутриентов: кальция (на 48,2%), калия (на 36,6%), меди (на 12,5%), селена (на 42,5%), хрома (на 43,2%). Выявлено недостаточное поступление с пищей пантотеновой кислоты (снижение относительно физиологической потребности на 60%), пиридоксина (на 23,5%), фолиевой кислоты (на 57,8%), биотина (на 73,6%) и витамина Е (на 46,7%).

Анализ алиментарного статуса учащихся показал, что во 2-й группе число обследуемых с оптимальным пищевым статусом меньше на 29,9% по сравнению с 1-й группой (41,7%) за счёт увеличения доли учащихся, имеющих недостаточный пищевой статус: 17,6% в 1-й группе и 30,5% во 2-й группе. При этом число учащихся с избыточным пищевым статусом в двух обследованных группах было примерно одинаковым: 40,7 и 39,6% соответственно (см. рисунок).

В результате биоимпедансного исследования компонентного состава тела учащихся установлено увеличение во 2-й группе по сравнению с 1-й жировой массы в 1,9 раза ($6,7 \pm 0,25$ и $12,5 \pm 0,61$ кг соответственно; $p \leq 0,05$) и незначительное изменение её процентной доли: $20,2 \pm 0,42$ и $21,8 \pm 0,79\%$ соответственно; $p = 1$) (табл. 2). При этом более чем у половины учащихся как в 1-й (50,2%), так и во 2-й группе (59,8%) абсолютные значения жировой массы были ниже физиологической нормы, а у каждого четвертого учащегося выявлен избыток жировой массы тела: 1-я группа — 25,7%, 2-я группа — 28,7% (табл. 3).

Во 2-й группе по сравнению с 1-й было установлено статистически значимое увеличение у обследованных безжировой массы в 1,7 раза ($24,8 \pm 0,34$ и $43,3 \pm 0,77$ кг соответственно; $p < 0,001$), а также выявлены большая доля учащихся с соответствующими физиологической норме значениями тощей (безжировой) массы (41,2% в 1-й группе и 66,7% — во 2-й) и меньшая доля учащихся с увеличенной относительно нормы безжировой массой (18,7% — 2-я группа, 38,4% — 1-я группа).

С возрастом у учащихся регистрировалось увеличение активной клеточной массы, отражающей совокупную массу метаболически активных клеток организма, в том числе мышечную ткань и паренхиматозные органы: $15,6 \pm 0,22$ кг у учащихся 1-й группы и $27,2 \pm 0,42$ кг у учащихся 2-й группы ($p < 0,001$). Однако во 2-й группе 63,2% учащихся демонстрировали пониженные показатели АКМ, что могло указывать на недостаток белка в рационе, тогда как в 1-й группе большинство имели соответствующую физиологической норме активную клеточную массу (50,6%). Важно отметить, что процентное содержание активной клеточной массы, отражающей уровень физической работоспособности и двигательной активности, у обследованных учащихся статистически значимо не различалось: $50,3 \pm 0,18\%$ в 1-й группе и $49,1 \pm 0,42\%$ во 2-й ($p = 1$). Низкие значения активной клеточной массы регистрировались у 12% учащихся 2-й группы, что в два раза меньше, чем в 1-й (24,5%). Учащиеся с повышенными показателями активной клеточной массы во 2-й группе отсутствовали, а в 1-й их было 2,4%.

Показано, что у учащихся 2-й группы по сравнению с 1-й группой был увеличен в 1,9 раза общий объём жидкости в организме: $15,5 \pm 0,24$ и $29,2 \pm 0,49$ л соответственно ($p < 0,001$). Это касалось как объёма внеклеточной жидкости ($5,6 \pm 0,10$ и $10,6 \pm 0,28$ л соответственно; $p < 0,001$), так и внутриклеточной ($9,9 \pm 0,16$ и $18,6 \pm 0,26$ л соответственно; $p < 0,001$). Причём во 2-й группе доля учащихся с повышенным содержанием внеклеточной жидкости составляла 49%, то есть в 1,7 раза выше по сравнению с 1-й группой (28,2%), что может быть связано с задержкой жидкости из-за чрезмерного потребления соли.

В возрастном аспекте установлено увеличение основного обмена, отражающего количество энергии, расходуе-

мой организмом на поддержание основных жизненно важных функций у учащихся 1-й группы по сравнению со 2-й: $1161,6 \pm 6,23$ и $1487,4 \pm 16,18$ ккал соответственно ($p < 0,001$). Во 2-й группе 66% учащихся имели повышенный основной обмен веществ (в 1-й группе таких детей было 18,8%) ($p < 0,001$). В то же время учащиеся с нормальным основным обменом были значительно меньше во 2-й группе по сравнению с 1-й: 2 и 35,9% соответственно. Вероятно, это связано с интенсивным ростом и развитием организма подростков в 11–14 лет.

Обсуждение

Научные исследования последних лет показали, что рационы современных школьников не удовлетворяют их физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах, качественно и количественно неполноценны, имеют дисбаланс основных нутриентов, что создаёт предпосылки для формирования нарушений физического развития, отклонений в функционировании органов и систем и снижает возможности успешной адаптации учащихся к обучению [25–28]. Несбалансированность рационов учащихся определяется дефицитом белков высокой биологической ценности и полиненасыщенных жирных кислот, избыточным содержанием простых углеводов, микронутриентной недостаточностью [25–28]. Рацион с повышенным содержанием жиров при дефиците белков и недостаточном потреблении овощей и фруктов в сочетании с низкой физической активностью повышает риск развития с ранних лет избыточной массы тела и ожирения [29]. В связи с этим биоимпедансометрия как скрининговый метод оценки компонентного состава тела представляется перспективной технологией, позволяющей своевременно выявлять и корректировать алиментарный статус и недостатки в рационе учащихся.

Установлено, что фактическое питание учащихся обследованных групп не отвечало принципам рациональности и адекватности, в связи с этим были выявлены негативные тенденции изменения алиментарного статуса учащихся. Показано, что суточный рацион учащихся 7–10 лет (1-я группа) характеризовался избыточной энергетической ценностью преимущественно за счёт жировой составляющей, что обеспечивало формирование избыточного пищевого статуса у 40,7% части учащихся. Избыток потребляемой с пищей энергии отражался на степени развития подкожной жировой клетчатки и висцерального жира, о чём свидетельствовал высокий удельный вес числа учащихся с повышенными значениями показателя доли жировой массы в организме (53,1%), позволяющей судить о степени развития ожирения учащихся. Полученные результаты согласуются с данными других учёных, показавших, что развитие избыточной массы тела и ожирения обусловлено преимущественно высокой долей жиров в рационе, тогда как энергетическая ценность углеводов не имела прямой ассоциации с избыточной массой тела [30].

У учащихся 11–14 лет (2-я группа) рацион по энергетической ценности соответствовал физиологической норме потребления и вместе с тем характеризовался дефицитом содержания белков, что, вероятно, и обусловило формирование недостаточного пищевого статуса у 30,5% обследованных. Дефицит поступления белка с пищей приводил к увеличению доли жировой массы у 64,7% учащихся, снижению безжировой массы у 14,7% и активной клеточной массы у 63,2%.

Формирование избыточного пищевого статуса у обследованных учащихся в 1-й и 2-й группах (40,7 и 39,6% соответственно) связано с высокой энергетической ценностью рационов, превышающей уровень основного обмена веществ: в 2,2 раза у учащихся 7–10 лет и в 1,6 раза у учащихся 11–14 лет. С учётом возможных энергозатрат на двигательную активность учащихся 1-й группы физической активности (очень низкий уровень физической активности, коэффициент физической активности 1,4) суточные энергозатраты

были ниже фактической энергетической ценности рациона для учащихся 1-й группы в 1,6 раза (1626,24 ккал), а 2-й — в 1,2 раза (2082,36 ккал), что способствовало накоплению жировой массы и формированию избыточного алиментарного статуса.

Установленные усреднённые нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах [24] не определяют индивидуальную вариабельность метаболической активности и компонентного состава тела, поэтому использование биоимпедансометрии в качестве скрининговой оценки адекватности питания, обеспечивающей персонализированный подход в профилактике и коррекции алиментарно-зависимых нарушений, представляется необходимым и перспективным для внедрения в образовательные организации. Биоимпедансометрия в качестве скрининга позволит проводить регулярные обследования для своевременного выявления алиментарных нарушений и изменения компонентного состава тела учащихся, разрабатывать персонализированные рекомендации по коррекции питания для

учащихся с выявленными отклонениями; отслеживать динамику и оценивать эффективность проводимых мероприятий.

Ограничением настоящего исследования являлась выборка учащихся начального и среднего уровня обучения, что может ограничивать возможность экстраполяции результатов на всю популяцию школьников.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование биоимпедансометрии, основанной на оценке компонентного состава тела (соотношение жировой, мышечной и активной клеточной массы, уровень метаболической активности), может стать фундаментом для разработки персонализированных рекомендаций по коррекции фактического питания учащихся. Метод позволит повысить эффективность профилактики и коррекции алиментарно-зависимых нарушений, адаптировать рацион к физиологическим и метаболическим особенностям каждого учащегося.

Литература

(п.п. 1–11, 17–21, 28 см. References)

- Карпова О.Б., Щепин В.О., Загоруйченко А.А. Распространённость ожирения подростков в мире и Российской Федерации в 2012–2018 гг. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(4): 365–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-365-372> <https://elibrary.ru/srglax>
- Зими́на С.Н., Негашева М.А., Синева И.М. Изменения индекса массы тела и повышенного жировотложения московской молодёжи в 2000–2021 гг. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(4): 347–57. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-347-357> <https://elibrary.ru/ukxiwk>
- Сетко А.Г., Терехова Е.А., Жданова О.М. Физиолого-гигиеническая характеристика нутриентной обеспеченности и ее влияние на функционирование органов и систем организма учащихся с повышенным уровнем умственных способностей. *Оренбургский медицинский вестник*. 2021; 9(2): 66–72. <https://elibrary.ru/qdppwq>
- Цукарева Е.А., Авчинникова Д.А. Сравнительная характеристика фактического питания младших школьников с различными показателями пищевого статуса. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 512–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-512-518> <https://elibrary.ru/mhihtq>
- Сетко А.Г., Жданова О.М., Тюрин А.В. Сравнительная оценка фактического питания и алиментарного статуса учащихся общеобразовательных учреждений города Оренбурга в 12-летней динамике реализации мероприятий по совершенствованию системы школьного питания. *Оренбургский медицинский вестник*. 2023; 11(1): 58–63. <https://elibrary.ru/oyrkpr>
- Тутельян В.А. *Химический состав и калорийность российских продуктов питания: Справочник*. М.: ДеЛи плюс; 2012. <https://elibrary.ru/qmcskv>
- Методические рекомендации 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации; 2021. <https://elibrary.ru/mayteb>
- Денисова Н.Н., Кешабянц Э.Э., Мартинчик А.Н. Анализ режима питания и продуктовой структуры суточного рациона детей 3–17 лет в Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2022; 91(4): 54–63. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-54-63> <https://elibrary.ru/ztsamm>
- Погодина А.В., Астахова Т.А., Лебедева Л.Н., Рычкова Л.В. Особенности питания и предрасположенность к расстройствам пищевого поведения у подростков. *Вопросы питания*. 2024; 93(3): 31–40. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-3-31-40> <https://elibrary.ru/srxpnf>
- Гузик Е.О. Организация школьного питания в Республике Беларусь. *Здоровье населения и среда обитания* — ЗНиСО. 2022; 10(1): 92–100. <https://doi.org/0000-0003-2173-396X> <https://elibrary.ru/fjhuas>
- Сизова Е.П., Лобкис М.А., Романенко С.П., Гавриш С.М., Сорокина А.В. Оценка фактического питания детей по результатам мониторинговых мероприятий на примере Республики Татарстан. *Здоровье населения и среда обитания* — ЗНиСО. 2022; 30(2): 37–46. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46> <https://elibrary.ru/klhjdj>
- Мусихина Е.А., Смелышева Л.Н., Сидоров Р.В., Кузнецов Г.А. Фактическое питание и компонентный состав тела у девушек с различными уровнями лептина и грелина. *Вопросы питания*. 2021; 90(6): 59–66. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-59-66> <https://elibrary.ru/lstdsbq>
- Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Камбаров А.О. Анализ ассоциации структуры энергии рациона по макронутриентам и распространения избыточной массы тела и ожирения среди населения России. *Вопросы питания*. 2020; 89(3): 40–53. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10028> <https://elibrary.ru/holtxi>

References

- Mihrshahi S., Jawad D., Richards L., Hunter K.E., Ekambareswar M., Seidler A.L., et al. A review of registered randomized controlled trials for the prevention of obesity in infancy. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(5): 2444. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052444>
- Inchley J., Currie D., Young T., Samdal O., Torsheim T., Augustson L., ed. Growing up unequal: Gender and socioeconomic differences in young people's health and well-being. *Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) study: International report from the 2013/2014 survey*; No. 7. Copenhagen; 2016.
- WHO. Global health estimates 2016: Deaths by cause, age, sex, by country and by region, 2000–2016. Geneva; 2018.
- Di Cesare M., Soric M., Bovet P., Miranda J.J., Bhutta Z., Stevens G.A., et al. The epidemiological burden of obesity in childhood: A worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Med*. 2019; 17(1): 212. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1449-8>
- 2021 Global Nutrition Report: The state of global nutrition. Bristol, UK: Development Initiatives; 2022. Available at: <https://globalnutritionreport.org/bff222>
- Nutrition — EU Science Hub — European Commission EU Science Hub; 2024. Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/nutrition>
- NCD Risk Factor Collaboration. Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: A pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128.9 million children, adolescents, and adults. *Lancet*. 2017; 390(10113): 2627–42. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32129-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32129-3)
- Anderson Y., Chew C.S.E. Consequences of childhood and adolescent obesity: The need for a broad approach. In: *Clinical Obesity in Adults and Children*. Hoboken: John Wiley & Sons; 2022: 339–52.
- Shaban Mohamed M.A., AbouKhatwa M.M., Saifullah A.A., Hareez Syahmi M., Mosaad M., Elrggal M.E., et al. Risk factors, clinical consequences, prevention, and treatment of childhood obesity. *Children*. 2022; 9(12): 1975. <https://doi.org/10.3390/children9121975>
- Marcus C., Danielsson P., Hagman E. Pediatric obesity — long-term consequences and effect of weight loss. *J. Intern. Med*. 2022; 292(6): 870–91. <https://doi.org/10.1111/joim.13547>
- Jorgensen R.M., Vestergaard E.T., Kremke B., Bahnsen R.F., Nielsen B.W., Bruun J.M. The association between weight loss and long-term development in quality-of-life among children living with obesity: A pragmatic descriptive intervention study. *Ital. J. Pediatr*. 2022; 48(1): 135. <https://doi.org/10.1186/s13052-022-01326-2>
- Karpova O.B., Shchepin V.O., Zagoruychenko A.A. The prevalence of adolescent obesity in the world and the Russian Federation in 2012–2018. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2021; 100(4): 365–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-365-372> <https://elibrary.ru/srglax> (in Russian)
- Zimina S.N., Negasheva M.A., Sineva I.M. Time trends in body mass index and obesity prevalence among youth students during 2000 to 2018 in Moscow, Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2021; 100(4): 347–57. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-347-357> <https://elibrary.ru/ukxiwk> (in Russian)
- Setko A.G., Terehova E.A., Zhdanova O.M. Physiological and hygienic characteristics of nutrient security and its influence on the functioning of organs and body systems of students with an increased level of mind abilities. *Orenburgskii meditsinskii vestnik*. 2021; 9(2): 66–72. <https://elibrary.ru/qdppwq> (in Russian)

15. Tsukareva E.A., Avchinnikova D.A. Comparative characteristics of the actual nutrition of younger schoolchildren with different indices of nutritional status. *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 512–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-512-518> <https://elibrary.ru/mhnhqt> (in Russian)
16. Setko A.G., Zhdanova O.M., Tyurin A.V. Comparative assessment of actual nutrition and nutritional status of students of general educational institutions of the city of Orenburg in the 12-year dynamics of the implementation of measures to improve the school food system. *Orenburgskii meditsinskii vestnik*. 2023; 11(1): 58–63. <https://elibrary.ru/oyrkpr> (in Russian)
17. Mayoral L.P., Andrade G.M., Mayoral E.P., Huerta T.H., Canseco S.P., Rodal Canales F.J., et al. Obesity subtypes, related biomarkers & heterogeneity. *Indian J. Med. Res.* 2020; 151(1): 11–21. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1768_17
18. Oliveros E., Somers V.K., Sochor O., Goel K., Lopez-Jimenez F. The concept of normal weight obesity. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2014; 56(4): 426–33. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.10.003>
19. Curilem Gatica C., Almagià Flores A., Rodríguez Rodríguez F., Yuing Farias T., Berral de la Rosa F., Martínez Salazar C., et al. Evaluación de la composición corporal en niños y adolescentes: Directrices y recomendaciones. *Nutr. Hosp.* 2016; 33(3): 734–8. <https://doi.org/10.20960/nh.285>
20. Petermann-Rocha F., Ulloa N., Martínez-Sanguinetti M.A., Leiva A.M., Martorell M., Villagrán M., et al. Is waist-to-height ratio a better predictor of hypertension and type 2 diabetes than body mass index and waist circumference in the Chilean population? *Nutrition*. 2020; 79–80: 110932. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110932>
21. Moosaie F., Fatemi Abhari S.M., Deravi N., Karimi Behnagh A., Esteghamati S., Dehghani Firouzabadi F., et al. Waist-to-height ratio is a more accurate tool for predicting hypertension than waist-to-hip circumference and BMI in patients with type 2 diabetes: A prospective study. *Front. Public Health*. 2021; 9: 726288. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.726288>
22. Tutelyan V.A. *Chemical Composition and Caloric Content of Russian Food Products: Handbook [Khimicheskii sostav i kaloriinost' rossiiskikh produktov pitaniya: Spravochnik]*. Moscow: DeLi plus; 2012. (in Russian)
23. Methodical recommendations 2.3.1.0253–21. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation; 2021. <https://elibrary.ru/mayteb> (in Russian)
24. Denisova N.N., Keshabyants E.E., Martinchik A.N. Analysis of the diet and food structure of the daily diet of children aged 3–17 years in the Russian Federation. *Voprosy pitaniya*. 2022; 91(4): 54–63. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-54-63> <https://elibrary.ru/ztsamm> (in Russian)
25. Pogodina A.V., Astakhova T.A., Lebedeva L.N., Rychkova L.V. Eating patterns and risk of eating disorders in adolescents. *Voprosy pitaniya*. 2024; 93(3): 31–40. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-3-31-40> <https://elibrary.ru/srxpnf> (in Russian)
26. Guzik E.O. School Feeding in the Republic of Belarus. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; (10): 92–100. <https://doi.org/0000-0003-2173-396X> <https://elibrary.ru/fjhuas> (in Russian)
27. Sizova E.P., Lobkis M.A., Romanenko S.P., Gavrich S.M., Sorokina A.V. Assessment of actual nutrition of schoolchildren in the republic of Tatarstan based on the results of monitoring activities. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; 30(2): 37–46. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46> <https://elibrary.ru/klhjdj> (in Russian)
28. Hernández-Jaña S., Sanchez-Martinez J., Solis-Urra P., Esteban-Cornejo I., Castro-Piñero J., Sadarangani K.P., et al. Mediation role of physical fitness and its components on the association between distribution-related fat indicators and adolescents' cognitive performance: Exploring the influence of school vulnerability. *Front. Behav. Neurosci.* 2021; 15: 746197. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.746197>
29. Musikhina E.A., Smelysheva L.N., Sidorov R.V., Kuznetsov G.A. Nutrition and body composition in young women with various leptin and ghrelin levels. *Voprosy pitaniya*. 2021; 90(6): 59–66. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-59-66> <https://elibrary.ru/lsdsbq> (in Russian)
30. Martinchik A.N., Baturin A.K., Kambarov A.O. Analysis of the association of diet energy from macronutrients and prevalence of overweight and obesity among the Russian population. *Voprosy pitaniya*. 2020; 89(3): 40–53. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10028> <https://elibrary.ru/holtxi> (in Russian)

Сведения об авторах

Сетко Нина Павловна, доктор мед. наук, профессор, зав. каф. профилактической медицины ФГБОУ ВО «ОрГМУ» Минздрава России, 460000, Оренбург, Россия. E-mail: K_epidem.fpdo@orgma.ru

Жданова Олеся Михайловна, ассистент каф. профилактической медицины ФГБОУ ВО «ОрГМУ» Минздрава России, 460000, Оренбург, Россия. E-mail: Robokors@yandex.ru

Сетко Андрей Геннадьевич, доктор мед. наук, профессор, зав. отд. гигиены питания ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: a_isetko@mail.ru

Information about the authors

Nina P. Setko, DSc (Medicine), Professor, Head of the Department of Preventive Medicine, Orenburg State Medical University, Orenburg, 460000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8073-0614> E-mail: K_epidem.fpdo@orgma.ru

Olesya M. Zhdanova, Assistant at the Department of Preventive Medicine, Orenburg State Medical University, Orenburg, 460000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4694-0674> E-mail: Robokors@yandex.ru

Andrey G. Setko, DSc (Medicine), Professor, Head of the Department of Food Hygiene of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9724-8672> E-mail: a_isetko@mail.ru