



ОЦЕНКА ЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА НА ОСНОВЕ АНТРОПОМЕТРИИ И БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ – ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ УРАВНЕНИЙ

К.В. ВЫБОРНАЯ *, Д.Б. НИКИТИЮК *;**;***

* ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Устинский пр., 2/14с1, г. Москва, 109240, Россия

** ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»,
ул. Россолимо, 15/13 с.1., г. Москва, 119992, Россия

*** ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы",
ул. Миклухо-Маклая, 6., г. Москва, 117198, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Применение уравнений, основанных на антропометрических измерениях, является одним из полевых методов оценки жировой массы тела у детей и подростков при отсутствии биоимпедансного анализатора. Следует учитывать, что уравнения разных авторов, разработанные на определенных популяциях детей, при оценке состава тела детей других групп дают результаты, отличные от заявленных в оригинальных исследованиях. В связи с этим, **целью данного исследования** было провести апробацию оценки доли жировой массы тела с помощью уравнений регрессии, основанных на результатах измерения кожно-жировых складок и активного сопротивления организма ($R50$) на группе детей 8-12 лет с различным количеством жировой массы тела с целью выявления антропометрического уравнения, сопоставимого с уравнением *Houtkooper*, которое используется в программном обеспечении анализатора *ABC-01* Медасс. **Материалы и методы исследования.** В исследовании приняли участие 228 детей младшего школьного возраста, обучающиеся во 2-5 классах одной из Московских школ. Методом антропометрии провели измерение габаритных размеров тела и величин кожно-жировых складок; методом биоимпедансометрии – оценку компонентного состава тела и величины активного сопротивления тканей организма. Для апробации оценки доли жировой массы взяты десять регрессионных уравнений. **Результаты и их обсуждение.** Показано, что в группах девочек и мальчиков наблюдаются односторонние тенденции оценки жировой массы тела при измерении с помощью 5-ти уравнений прогноза на основе биоимпедансометрии. В обеих группах самый большой результат при оценке доли жировой массы тела получился по формуле *Deurenberg1* (31,8 % у девочек, 30,3 % у мальчиков), а самый маленький – по формуле *Houtkooper* (19,5 % у девочек, 18,4 % у мальчиков). Аналогичные односторонние тенденции наблюдаются при оценке доли жировой массы тела с помощью 5-ти уравнений прогноза на основе антропометрии. В обеих группах самый большой результат при оценке доли жировой массы тела получился по формуле *Matiegka* (34,8 % у девочек, 30,6 % у мальчиков), а самый маленький – по формуле *Goran* (22,1 % у девочек, 21,0 % у мальчиков). **Выводы.** При антропометрических измерениях для определения доли жировой массы рекомендуется использовать формулу *Goran*, которая дает более всего приближенные результаты к формуле *Houtkooper*, заложенную в программное обеспечение анализатора *ABC-01* Медасс. Самые высокие значения доли жировой массы тела получаются по формуле *Matiegka* в модификации Лутовиновой, и по результатам данного исследования она не может быть рекомендована к использованию на детской популяции 8-12 лет.

Ключевые слова: дети, младший школьный возраст, уравнения для расчета жировой массы тела, уравнения для расчета тощей массы тела, *Deurenberg1*, *Houtkooper*, *Matiegka*, *Goran*, *ABC-01* Медасс, антропометрия, биоимпедансометрия

**ASSESSMENT OF BODY FAT MASS IN PRIMARY SCHOOL-AGED CHILDREN BASED
ON ANTHROPOMETRY AND BIOIMPEDANCE ANALYSIS: FEATURES OF THE APPLICATION
OF REGRESSION EQUATIONS**

K.V. VYBORNAYA*, D.B. NIKITYUK*,**,***

* Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology",
2/14, Building 1, Ustyinskiy Prospekt, Moscow, 109240, Russia

** Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "I.M. Sechenov First Moscow State
Medical University" (Sechenov University), 15/13, Building 1, Rossolimo Street, Moscow, 119992, Russia

*** Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship
University of Russia", 6, Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russia

Abstract. **Background.** The use of equations based on anthropometric measurements is one of the field methods for assessing body fat mass in children and adolescents in the absence of a bioimpedance analyzer. It should be taken into account that equations developed by different authors for specific child populations yield results that differ from those reported in the original studies when applied to children from other groups. In this regard, **the aim of this study** was to validate the assessment of body fat mass percentage using regression equations based on skinfold thickness measurements and body resistance at 50 kHz (R_{50}) in a group of children aged 8–12 years with varying amounts of body fat, in order to identify an anthropometric equation comparable to the *Houtkooper* equation used in the software of the ABC-01 Medass analyzer. **Materials and methods.** The study included 228 primary school children aged 8–12 years (grades 2–5) from one Moscow school. Anthropometry was used to measure body dimensions and skinfold thicknesses; bioimpedance analysis was used to assess body composition and tissue resistance. Ten regression equations were selected to validate the assessment of body fat mass percentage. **Results and discussion.** It was shown that in groups of girls and boys, unidirectional trends in the assessment of body fat mass were observed when using five prediction equations based on bioimpedance analysis. In both groups, the highest body fat percentage was obtained using the *Deurenberg1* formula (31.8% in girls and 30.3% in boys), and the lowest using the *Houtkooper* formula (19.5% in girls and 18.4% in boys). Similar unidirectional trends were observed when assessing body fat percentage using five prediction equations based on anthropometry. In both groups, the highest body fat percentage was obtained using the *Matiegka* formula (34.8% in girls and 30.6% in boys), and the lowest using the *Goran* formula (22.1% in girls and 21.0% in boys). **Conclusions.** For anthropometric measurements to determine body fat percentage, the *Goran* formula is recommended, as it provides results most closely approximating those of the *Houtkooper* formula implemented in the software of the ABC-01 Medass analyzer. The highest values of body fat percentage were obtained using the *Matiegka* formula in the Lutovinova modification, and according to the results of this study, it cannot be recommended for use in the pediatric population aged 8–12 years.

Keywords: children, primary school age, equations for body fat mass calculation, equations for lean body mass calculation, *Deurenberg1*, *Houtkooper*, *Matiegka*, *Goran*, ABC-01 Medass, anthropometry, bioimpedance analysis.

Актуальность. Применение уравнений, основанных на антропометрических измерениях, является одним из полевых методов оценки *жировой массы тела* (ЖМТ) у детей и подростков при отсутствии *биоимпедансного анализатора* (БИ анализатора). Однако уравнения разных авторов, разработанные на определенных популяциях детей, при оценке состава тела детей других групп дают результаты, отличные от заявленных в оригинальных исследованиях [3, 5, 8, 9, 12–14].

При наличии биоимпедансных анализаторов работа по оценке компонентного состава тела упрощается, однако следует знать, что существует несколько уравнений для определения *тощей массы тела* (ТМТ) у детей и подростков на основе измеренного импеданса тела, а именно активного сопротивления на частоте 50 Герц, и эти уравнения так же дают различные результаты оценки состава тела при расчетах и измерении.

В данной работе описаны наиболее применяемые на практике регрессионные уравнения расчета ЖМТ у детей и подростков, основанные на антропометрических измерениях, а так же на основе измеренного биоимпеданса тела, отобранные нами в предыдущем исследовании [1]. Так же в работе описываются результаты апробации оценки доли ЖМТ с помощью этих уравнений на группе детей 8–12 лет с различным количеством ЖМТ в организме.

Цель исследования – провести апробацию оценки доли ЖМТ с помощью уравнений регрессии, основанных на результатах измерения *кожно-жировых складок* (КЖС) и активного сопротивления организма (R_{50}) на группе детей 8–12 лет с различным количеством ЖМТ с целью выявления антропометрического уравнения, сопоставимого с уравнением *Houtkooper*, которое используется в программном обеспечении анализатора ABC-01 Медасс.

Материалы и методы исследования. В исследовании приняли участие 228 детей младшего школьного возраста, обучающихся во 2-5 классах одной из Московских школ. Методом антропометрии провели измерение габаритных размеров тела и величин КЖС. Методом биоимпедансометрии с помощью БИ анализатора ABC-01 Медасс (НТЦ «Медасс», Россия) провели оценку компонентного состава тела, определили активное сопротивление тканей организма на частоте 50 герц (R50).

Для апробации оценки доли ЖМТ взяты десять регрессионных уравнений. Пять уравнений на основе активного сопротивления на частоте 50 герц, измеренного методом биоимпедансометрии (для оценки тойщей массы тела с последующим расчетом жировой массы): *DeurenbergI* (БИА, 1), *Houtkooper* (БИА, 2), *Kushner* (БИА, 3), *Schaefer* (БИА, 4), *Rush* (БИА, 5). Пять уравнений на основе антропометрических измерений (без использования показателя плотности тела человека): *Matiegka в модификации Лутовиновой с соавт.* (далее – *Matiegka*) (АНТРА, 6), *Slaughter* (АНТРА, 7), *Goran* (АНТРА, 8), *Dezenberg* (АНТРА, 9), *Bray* (АНТРА, 10) [1].

Статистический анализ. Статистические расчеты проводились с помощью пакета *Statistica 12* (StatSoft, США) и программы *Microsoft Excel*. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка. Поскольку более половины полученных данных имели распределение, отличное от нормального, для независимых выборок достоверность различий определяли с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (*U*-тест), для анализа связанных выборок использовали критерий Фридмана с последующим попарным сравнением по критерию Уилкоксона (*Wilcoxon signed-rank test*). Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$. Данные представлены в виде медианы (*Me*) и межквартильных интервалов [нижний quartиль (*Q25*); верхний quartиль (*Q75*)], минимального и максимального значений признака (*Min ÷ Max*). Графические изображения выполнены с помощью пакета *Statistica 12* (StatSoft, США) и программы *Microsoft Excel*.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1-3 представлена характеристика группы обследованных детей в зависимости от отдельно взятых показателей: индекса массы тела (ИМТ), доли ЖМТ и доли скелетно-мышечной массы (СММ) (оценка компонентного состава тела с помощью БИ анализатора), а также их соотношения в организме и группирования в 7 категорий: недостаточная ЖМТ (ниже границ популяционных значений) при нормальном или пониженном значении ИМТ (недостаточная ЖМТ), сочетание трех показателей – ИМТ, доля ЖМТ и доля СММ, находящихся в границах популяционных значений (нормальное соотношение), сочетание показателей ИМТ и доли ЖМТ, находящихся в границах или ниже границ популяционных значений, и показателя доли СММ, находящегося выше границ популяционных значений (мышечное сложение), скрытая избыточная масса тела, выражаяющаяся нахождением значения ИМТ в границах популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале избыточных значений (скрытая ИзбМТ), ожирение при нормальной массе тела, выражющееся нахождением значения ИМТ в границах популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале высоких и очень высоких значений (ОНМТ), избыточная масса тела, выражаяющаяся нахождением значения ИМТ выше границ популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале избыточных значений (ИзбМТ), и ожирение, выражющееся нахождением значения ИМТ намного выше границ популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале высоких и очень высоких значений (ожирение) (рис. 1а, 1б).

Таблица 1

**Распределение обследованных девочек 5-ти возрастных групп
в зависимости от отдельно взятых показателей ИМТ, доли ЖМТ и доли СММ, а также
их соотношения в организме и группирования в 7 категорий**

Показатель	Градация	Возрастная группа, девочки (n = 101)									
		8 лет (n = 7)		9 лет (n = 29)		10 лет (n = 23)		11 лет (n = 32)		12 лет (n = 10)	
		Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%
ИМТ, кг/м ²	Нед.	-	-	-	-	-	-	2	6,25	-	-
	N	6	85,7	24	82,8	16	69,6	22	68,75	7	70
	Изб.	1	14,3	5	17,2	7	30,4	8	25	3	30
Доля ЖМТ, %	Нед.	-	-	2	6,9	-	-	3	9,4	-	-
	N	5	71,4	20	69	11	47,8	19	59,4	8	80
	Изб.	2	28,6	7	24,1	12	52,2	10	31,2	2	20
Доля СММ, %	Нед.	-	-	-	-	1	4,3	-	-	-	-
	N	4	57,2	14	48,3	15	65,3	11	34,4	1	10
	Изб.	3	42,8	15	51,7	7	30,4	21	65,6	9	90

Продолжение таблицы 1

Недостаточная ЖМТ	-	-	2	6,9	-	-	4	12,5	-	-
Нормальное соотношение	3	42,8	9	31	6	26,2	5	16,6	-	-
Мышечное сложение	2	28,6	11	37,95	5	21,7	13	39,65	8	80
Скрытая ИзбМТ	-	-	4	13,8	5	21,7	3	9,4	-	-
ОНМТ		-	-	-	1	4,3	1	3,1	-	-
ИзбМТ	2	28,6	1	3,45	2	8,7	2	6,25	-	-
Ожирение	-	-	2	6,9	4	17,4	4	12,5	2	20

Таблица 2

Распределение обследованных мальчиков 5-ти возрастных групп в зависимости от отдельно взятых показателей ИМТ, доли ЖМТ и доли СММ, а также их соотношения в организме и группирования в 7 категорий

Показатель	Градация	Возрастная группа, мальчики (n = 127)									
		8 лет (n = 6)		9 лет (n = 42)		10 лет (n = 31)		11 лет (n = 36)		12 лет (n = 12)	
		Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%
ИМТ, кг/м ²	Нед.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8,3
	N	6	100	24	57,1	13	42	26	72,2	7	58,4
	Изб.	-	-	18	42,9	18	58	10	27,8	4	33,3
Доля ЖМТ, %	Нед.	1	16,7	5	11,9	2	6,5	4	11,1	6	50
	N	5	83,3	23	54,8	12	38,7	15	41,7	1	8,3
	Изб.	-	-	14	33,3	17	54,8	17	47,2	5	41,7
Доля СММ, %	Нед.	-	-	-	-	-	-	1	2,8	-	-
	N	1	16,7	19	45,2	21	67,7	17	47,2	6	50
	Изб.	5	83,3	23	54,8	10	32,3	18	50	6	50
Недостаточная ЖМТ		1	16,7	5	11,9	2	6,5	4	11,1	2	16,8
Нормальное соотношение		-	-	8	19	9	29	5	13,9	-	-
Мышечное сложение		5	83,3	15	35,8	3	9,7	10	44,5	4	33,3
Скрытая ИзбМТ		-	-	-	-	-	-	4	11,1	-	-
ОНМТ		-	-	-	-	-	-	3	8,3	1	8,3
ИзбМТ		-	-	5	11,9	1	3,25	-	-	1	8,3
Ожирение		-	-	9	21,4	16	51,55	10	11,1	4	33,3

Таблица 3

Распределение обследованных детей 5-ти возрастных групп в зависимости от отдельно взятых показателей ИМТ, доли ЖМТ и доли СММ, а также их соотношения в организме и группирования в 7 категорий

Показатель	Градация	Девочки (n = 101)		Мальчики (n = 127)		Все дети (n = 228)	
		Чел.	%	Чел.	%	Чел.	%
ИМТ, кг/м ²	Нед.	2	2	1	0,8	3	1,3
	N	75	74,2	76	59,8	151	66,2
	Изб.	24	23,8	50	39,4	74	32,5
Доля ЖМТ, %	Нед.	5	5	18	14,2	23	10,1
	N	63	62,3	56	44,1	11,9	52,2
	Изб.	33	32,7	53	41,7	86	37,7

Продолжение таблицы 3

Доля СММ, %	Нед.	1	2	1	0,8	2	0,9
	N	45	44,6	64	50,4	109	47,8
	Изб.	55	54,4	62	78,8	117	51,3
Недостаточная ЖМТ	6	5,9	14	11	20	8,8	
Нормальное соотношение	23	22,8	22	17,3	45	19,7	
Мышечное сложение	39	38,6	37	29,1	76	33,3	
Скрытая ИзбМТ	12	11,9	4	3,1	16	7	
ОНМТ	2	2	4	3,1	6	2,6	
ИзбМТ	7	6,9	7	5,5	14	6,1	
Ожирение	12	11,9	39	30,9	51	22,5	

Скрининг обследованной группы детей младшего школьного возраста выявил нормальное соотношение ЖМТ и СММ при нормальных значениях ИМТ у 19,7 % обследованных детей (10,1 % девочек и 9,6 % мальчиков). Недостаточное содержание ЖМТ при нормальных или пониженных значениях ИМТ выявлено у 8,8 % обследованных детей (2,6 % девочек, 6,2 % мальчиков); при этом мышечное сложение, характеризующееся нормальными значениями ИМТ при нормальном или пониженном значении ЖМТ и повышенном показателе СММ, выявлено у 33,3 % обследованных детей (17,1 % девочек, 16,2 % мальчиков). Избыточная масса тела, выражаясь нахождением значения ИМТ выше границ популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале избыточных значений, выявлена у 6,1 % обследованных детей (3,1 % девочек и 3,1 % мальчиков). Ожирение, выражаясь нахождением значения ИМТ намного выше границ популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале высоких и очень высоких значений, выявлено у 22,5 % обследованных детей (5,3 % девочек и 17,2 % мальчиков).

Что касается состояний, когда при нормальном значении ИМТ выявляется избыточная ЖМТ, по обследованной группе детей можно сказать следующее. Скрытая ИзбМТ, выражаясь нахождением значения ИМТ в границах популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале избыточных значений, выявлена у 7 % обследованных детей (5,2 % девочек и 1,8 % мальчиков). Ожирение при нормальной массе тела (скрытое ожирение), выражаясь нахождением значения ИМТ в границах популяционных значений нормы при показателях доли ЖМТ, находящихся в интервале высоких и очень высоких значений, выявлено у 2,6 % обследованных детей (0,8 % девочек и 1,8 % мальчиков).

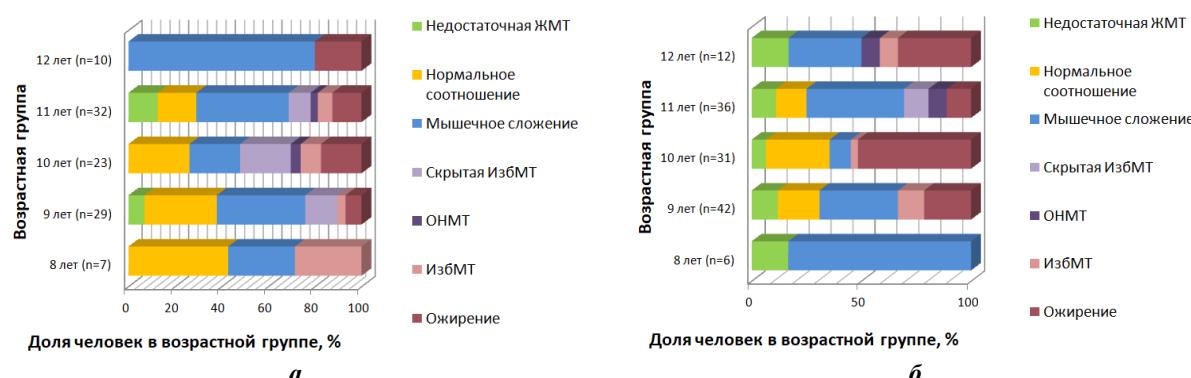


Рис. 1. Распределение обследованных детей 5-ти возрастных групп в зависимости от соотношения показателей ИМТ, доли ЖМТ и доли СММ, а также их и группирования в 7 категорий (1а – девочки, 1б – мальчики)

Далее представлены результаты апробации оценки доли жировой массы с помощью десяти регрессионных уравнений. Табл. 4, 5 и рис. 2, 3, 4 содержат данные оценки габаритных показателей, индексов физического развития и результаты расчета доли ЖМТ в зависимости от примененных уравнений прогноза. Данные представлены как для всей группы девочек (табл. 4, рис. 2а, 3а, 4а) и мальчиков (табл. 5, рис. 2б, 3б, 4б), так и при разделении на 2 подгруппы в зависимости от соотношения показателей ИМТ, доли ЖМТ и доли СММ. В первую подгруппу вошли девочки и мальчики 3-х категорий: «Недостаточная ЖМТ», «Нормальное соотношение» и «Мышечное сложение» (дети с нормальными или пониженными показате-

лями ЖМТ); во вторую – девочки и мальчики 4-х категорий: «Скрытая ИзбМТ», «ОНМТ», «ИзбМТ» и «Ожирение» (дети с повышенными или высокими показателями ЖМТ).

Таблица 4

Габаритные показатели, индексы физического развития и результаты расчета доли жировой массы тела в зависимости от примененных уравнений прогноза, как во всей группе девочек, так и при разделении на 2 подгруппы в зависимости от содержания в их организме жировой массы тела

Показатель	Вид представления данных	Все девочки (n = 101)	1 подгруппа - девочки с нормальными или пониженными показателями ЖМТ (n = 67)	1 подгруппа - девочки с повышенными или высокими показателями ЖМТ (n = 34)
Возраст, лет	<i>Med</i>	10,1	10,1	10,1
	[25; 75]	[9,11; 10,9]	[9,1; 10,9]	[9,2; 10,9]
	(Min ÷ Max)	(8 ÷ 12,4)	(8 ÷ 12,4)	(8,1 ÷ 12,1)
Длина тела (ДТ), см	<i>Med</i>	142,7	142,7	144,1
	[25; 75]	[137,3; 149,3]	[137,3; 149,3]	[137,2; 151,9]
	(Min ÷ Max)	(114,9 ÷ 169,4)	(114,9 ÷ 162,7)	(134 ÷ 169,4)
Масса тела (МТ), кг	<i>Med</i>	36,2	32,9	41,25*
	[25; 75]	[30,7; 40,8]	[28,4; 37,9]	[36; 51]
	(Min ÷ Max)	(20,2 ÷ 66,6)	(20,2 ÷ 55,9)	(30,5 ÷ 66,6)
Обхват талии (ОТ), см	<i>Med</i>	65,5	61	71,5*
	[25; 75]	[60; 69]	[57; 67]	[68; 77]
	(Min ÷ Max)	(50 ÷ 85,5)	(50 ÷ 76)	(59 ÷ 85,5)
Обхват бедер (ОБ), см	<i>Med</i>	76	74	81,5*
	[25; 75]	[71; 80,5]	[69; 76,5]	[76,5; 89]
	(Min ÷ Max)	(60 ÷ 98)	(60 ÷ 90)	(71 ÷ 98)
Индекс соотношения ОТ к ОБ (ИТБ)	<i>Med</i>	0,86	0,85	0,87
	[25; 75]	[0,82; 0,88]	[0,81; 0,87]	[0,85; 0,91]
	(Min ÷ Max)	(0,69 ÷ 0,97)	(0,69 ÷ 0,95)	(0,81 ÷ 0,97)
Индекс массы тела (ИМТ), кг/кв.м	<i>Med</i>	17,2	15,9	19,75*
	[25; 75]	[15,4; 19,4]	[14,6; 17,5]	[17,8; 22,7]
	(Min ÷ Max)	(12,3 ÷ 33,2)	(12,3 ÷ 21,3)	(15,9 ÷ 33,2)
Доля жировой массы тела (ЖМТ) по Deurenberg ¹ (БИА, 1)	<i>Med</i>	31,8 #	29,8 #	41,8*,# кроме 10
	[25; 75]	[26,6; 37,3]	[24,4; 31,8]	[36,7; 45,3]
	(Min ÷ Max)	(15,5 ÷ 61,7)	(15,5 ÷ 38,1)	(33,0 ÷ 61,7)
Доля ЖМТ по Houtkooper (БИА, 2)	<i>Med</i>	19,5 #	17,0 #	27,3*,# кроме 8
	[25; 75]	[15,6; 24,3]	[14,3; 19,5]	[24,3; 29,2]
	(Min ÷ Max)	(7,7 ÷ 43,4)	(7,7 ÷ 22,9)	(19,6 ÷ 43,4)
Доля ЖМТ по Kushner (БИА, 3)	<i>Med</i>	22,5 # кроме 8	18,8 # кроме 8	31,4*
	[25; 75]	[17,8; 28,6]	[15,7; 22,6]	[28,6; 34,0]
	(Min ÷ Max)	(6,8 ÷ 51,6)	(6,8 ÷ 26,8)	(21,78 ÷ 51,6)
Доля ЖМТ по Schaefer (БИА, 4)	<i>Med</i>	25,8 #	22,9 # кроме 8	36,3*,# кроме 7,9,10
	[25; 75]	[21,1; 32,6]	[17,2; 26,1]	[32,6; 40,3]
	(Min ÷ Max)	(9,0 ÷ 59,1)	(9,0 ÷ 32,0)	(24,8 ÷ 59,1)
Доля ЖМТ по Rush (БИА, 5)	<i>Med</i>	20,6 #	18,0 #	28,3*,# кроме 8
	[25; 75]	[16,6; 25,4]	[15,3; 20,6]	[25,4; 30,1]
	(Min ÷ Max)	(8,5 ÷ 44,7)	(8,5 ÷ 23,9)	(20,6 ÷ 44,7)
Доля ЖМТ по Matiegka (девочки) (АНТРА, 6)	<i>Med</i>	34,8 #	31,0 #	48,2*
	[25; 75]	[28,1; 43,3]	[26,96; 35,5]	[40,6; 54,9]
	(Min ÷ Max)	(13,6 ÷ 91,8)	(13,6 ÷ 57,4)	(26,3 ÷ 91,8)
Доля ЖМТ по Slaughter (девочки) (АНТРА, 7)	<i>Med</i>	27,7 # кроме 9	23,4 #	36,8*,# кроме 4,9
	[25; 75]	[22,18; 33,77]	[20,4; 29,5]	[31,3; 44,1]
	(Min ÷ Max)	(11,81 ÷ 53,29)	(11,8 ÷ 36,2)	(21,6 ÷ 53,3)

Продолжение таблицы 4

Доля ЖМТ по <i>Goran</i> (АНТРА, 8)	<i>Med</i>	22,1 ^{# кроме 3}	20,1 ^{# кроме 3,4}	27,3* ^{# кроме 2,5}
	[25; 75]	[18,7; 26,97]	[17,8; 22,8]	[25,2; 30,5]
	(Min ÷ Max)	(11,8 ÷ 50,4)	(11,8 ÷ 31,9)	(18,7 ÷ 50,4)
Доля ЖМТ по <i>Dezenberg</i> (девочки) (АНТРА, 9)	<i>Med</i>	29,5 ^{# кроме 7}	25,6 [#]	36,6* ^{# кроме 4,7}
	[25; 75]	[24,3; 34,8]	[22,1; 30,6]	[31,8; 39,7]
	(Min ÷ Max)	(6,9 ÷ 50,0)	(6,9 ÷ 35,3)	(26,7 ÷ 50,0)
Доля ЖМТ по <i>Bray</i> (АНТРА, 10)	<i>Med</i>	29,0 [#]	25,8 [#]	40,2* ^{# кроме 1,4}
	[25; 75]	[24,45; 35,79]	[22,5; 29,2]	[33,5; 46,6]
	(Min ÷ Max)	(13,04 ÷ 60,3)	(13,0 ÷ 41,2)	(24,5 ÷ 60,3)

Примечание: Достоверность различий между 1 и 2 подгруппами определяли с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (*U*-тест),

* – достоверные различия от группы с нормальной и пониженной жировой массой тела при $p \leq 0,05$;

Достоверность различий между значениями ЖМТ, полученными с помощью 10 уравнений регрессии, оценивали с помощью критерия Фридмана с последующим попарным сравнением по критерию Уилкоксона для связанных выборок, [#] – достоверные отличия между всеми формулами при $p \leq 0,05$

При проведении анализа попарных сравнений при ненормальном распределении результатов оценки доли ЖМТ по 10-ти формулам между собой было показано, что для всего обследованного массива девочек достоверных различий не было выявлено только между двумя парами формул:

Kushner (БИА, 3) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,550492$) и

Slaughter (АНТРА, 7) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 0,133614$).

При разделении девочек на группы по содержанию в их организме ЖМТ было показано, что нет достоверных различий по оценке доли ЖМТ по следующим парам формул.

Для группы девочек с нормальным содержанием ЖМТ в организме только между двумя парами формул:

Kushner (БИА, 3) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,050617$) и

Schaefer (БИА, 4) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,050617$)

Для группы девочек с повышенным и высоким содержанием ЖМТ в организме – между семью парами формул:

DeurenbergI (БИА, 1) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,391173$),

Houtkooper (БИА, 2) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,229949$),

Schaefer (БИА, 4) и *Slaughter* (АНТРА, 7) ($p = 1,000000$),

Schaefer (БИА, 4) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 863832$),

Schaefer (БИА, 4) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,059230$),

Rush (БИА, 5) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,391173$) и

Slaughter (АНТРА, 7) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 0,391173$).

Столь большое сопоставление результатов в формулах при оценке группы девочек с высокой ЖМТ можно объяснить тем, что большинство БИА уравнений показывают большее значения ЖМТ, чем формула *Houtkooper*, заложенная в *программное обеспечение* (ПО) БИ анализатора ABC-01 Медасс.

К формуле *Houtkooper*, встроенной в ПО ABC-01 Медасс, была близка лишь одна формула (*Goran* (АНТРА, 8) при оценке ЖМТ в группе девочек с высокой жировой массой тела), однако, т.к. формула *Goran* показывает самые низкие значения доли ЖМТ из всех формул, оценивающих ЖМТ по антропометрическим измерениям (значениям КЖС), а также в связи с самым большим числом совпадений данных формулы *Goran* при оценке ЖМТ с формулами БИА (1 совпадение в общей группе, 2 – в группе девочек с нормальной ЖМТ, 2 – в группе девочек с избыточной ЖМТ), ее можно рекомендовать для оценки ЖМТ по КЖС в общей группе девочек младшего школьного возраста.

Таблица 5

Габаритные показатели, индексы физического развития и результаты расчета доли жировой массы тела в зависимости от примененных уравнений прогноза, как во всей группе мальчиков, так и при разделении на 2 подгруппы в зависимости от содержания в их организме жировой массы тела

		Все мальчики (n = 127)	1 подгруппа - мальчики с нормальны- ми или пони- женными пока- зателями ЖМТ (n = 73)	1 подгруппа - мальчики с повышенны- ми или высо- кими показате- лями ЖМТ (n = 54)
Возраст, лет	<i>Med</i>	10,1	9,5	10,11
	[25; 75]	[9,1; 10,9]	[8,9; 10,7]	[9,3; 10,9]
	(Min ÷ Max)	(8,1 ÷ 12,2)	(8,1 ÷ 12,2)	(8,11 ÷ 12,11)
Длина тела (ДТ), см	<i>Med</i>	141,4	139,4	145,8
	[25; 75]	[136,1; 149]	[134,5; 144,6]	[141; 151]
	(Min ÷ Max)	(121,2 ÷ 164,1)	(121,2 ÷ 164,1)	(125,3 ÷ 160,4)
Масса тела (МТ), кг	<i>Med</i>	35,8	31,4	44,85*
	[25; 75]	[30,6; 44,7]	[28,6; 35,1]	[38,9; 54,9]
	(Min ÷ Max)	(23,8 ÷ 77,8)	(23,8 ÷ 48)	(29,4 ÷ 77,8)
Обхват талии (ОТ), см	<i>Med</i>	66	61	76*
	[25; 75]	[60; 75]	[58; 63]	[71,5; 82,5]
	(Min ÷ Max)	(52,5 ÷ 107)	(52,5 ÷ 73)	(61 ÷ 107)
Обхват бедер (ОБ), см	<i>Med</i>	75,5	71	82,5*
	[25; 75]	[70; 82]	[67; 75]	[78,5; 89]
	(Min ÷ Max)	(61,5 ÷ 106)	(61,5 ÷ 84)	(70 ÷ 106)
Индекс соотношения ОТ к ОБ (ИТБ)	<i>Med</i>	0,88	0,86	0,92*
	[25; 75]	[0,85; 0,92]	[0,83; 0,88]	[0,89; 0,95]
	(Min ÷ Max)	(0,75 ÷ 1,05)	(0,75 ÷ 0,99)	(0,8 ÷ 1,05)
Индекс массы тела (ИМТ), кг/кв.м	<i>Med</i>	18	16,1	21,35*
	[25; 75]	[15,9; 20,5]	[15,4; 17,3]	[19,3; 24]
	(Min ÷ Max)	(13,1 ÷ 34,2)	(13,1 ÷ 20,6)	(15,3 ÷ 34,2)
Доля жировой массы тела (ЖМТ) по Deurenberg ¹ (БИА, 1)	<i>Med</i>	30,2 ^{# кроме 6,10}	24,7	41,5*
	[25; 75]	[24,1; 40,5]	[20,5; 27,7]	[37,4; 47,0]
	(Min ÷ Max)	(10,4 ÷ 57,0)	(10,4 ÷ 34,1)	(29,9 ÷ 57,0)
Доля ЖМТ по Houtkooper (БИА, 2)	<i>Med</i>	18,4	13,5	27,1*
	[25; 75]	[13,0; 25,1]	[10,6; 16,4]	[23,7; 30,9]
	(Min ÷ Max)	(1,9 ÷ 38,7)	(1,9 ÷ 19,5)	(19,4 ÷ 38,7)
Доля ЖМТ по Kushner (БИА, 3)	<i>Med</i>	21,1 ^{# кроме 8}	14,1	30,9*
	[25; 75]	[13,5; 28,2]	[10,9; 18,2]	[26,6; 35,9]
	(Min ÷ Max)	(2,0 ÷ 45,1)	(2,0 ÷ 22,4)	(22,2 ÷ 45,1)
Доля ЖМТ по Schaefer (БИА, 4)	<i>Med</i>	25,1	18,0	36,2*
	[25; 75]	[16,9; 35,3]	[14,0; 21,7]	[33,7; 42,3]
	(Min ÷ Max)	(3,3 ÷ 53,8)	(3,3 ÷ 27,4)	(24,5 ÷ 53,8)
Доля ЖМТ по Rush (БИА, 5)	<i>Med</i>	19,4	14,4	28,1*
	[25; 75]	[13,9; 26,1]	[11,5; 17,4]	[24,7; 32,0]
	(Min ÷ Max)	(2,6 ÷ 39,8)	(2,6 ÷ 20,5)	(20,4 ÷ 39,8)
Доля ЖМТ по Matiegka (мальчики) (АНТРА, 6)	<i>Med</i>	30,6 ^{# кроме 1,9}	22,0	47,4*
	[25; 75]	[20,1; 45,8]	[18,2; 27,2]	[42,5; 54,2]
	(Min ÷ Max)	(9,8 ÷ 73,5)	(9,8 ÷ 46,5)	(18,3 ÷ 73,5)
Доля ЖМТ по Slaughter (мальчики) (АНТРА, 7)	<i>Med</i>	28,9	19,4	39,6*
	[25; 75]	[18,6; 39,2]	[16,4; 25,6]	[34,8; 48,0]
	(Min ÷ Max)	(7,6 ÷ 74,5)	(7,6 ÷ 42,2)	(23,785 ÷ 74,5)

Продолжение таблицы 5

Доля ЖМТ по <i>Goran</i> (АНТРА, 8)	<i>Med</i>	21,0 ^{# кроме 3}	17,9	28,8*
	[25; 75]	[17,5; 27,3]	[16,1; 19,7]	[24,4; 31,9]
	(Min ÷ Max)	(11,5 ÷ 43,9)	(11,5 ÷ 29,4)	(18,5 ÷ 43,9)
Доля ЖМТ по <i>Dezenberg</i> (мальчики) (АНТРА, 9)	<i>Med</i>	30,4 ^{# кроме 6}	24,2	38,1*
	[25; 75]	[23,4; 37,5]	[21,5; 29,4]	[35,5; 41,4]
	(Min ÷ Max)	(10,9 ÷ 49,2)	(10,9 ÷ 39,1)	(26,4 ÷ 49,2)
Доля ЖМТ по <i>Bray</i> (АНТРА, 10)	<i>Med</i>	27,7 ^{# кроме 1}	21,9	40,4*
	[25; 75]	[20,7; 39,7]	[18,5; 25,2]	[36,0; 48,7]
	(Min ÷ Max)	(13,3 ÷ 80,4)	(13,3 ÷ 39,8)	(26,5 ÷ 80,4)

Примечание: достоверность различий между 1 и 2 подгруппами определяли с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (*U*-тест), * – достоверные различия от группы с нормальной и пониженной жировой массой тела при $p \leq 0,05$; достоверность различий между значениями ЖМТ, полученными с помощью 10 уравнений регрессии, оценивали с помощью критерия Фридмана с последующим попарным сравнением по критерию Уилкоксона для связанных выборок, # – достоверные отличия между всеми формулами при $p \leq 0,05$

При проведении анализа попарных сравнений при ненормальном распределении результатов оценки доли ЖМТ по 10-ти формулам между собой было показано, что для всего обследованного массива мальчиков достоверных различий не было выявлено между четырьмя парами формул:

Deurenberg1 (БИА, 1) и *Matiegka* (АНТРА, 6) ($p = 0,155675$),

Deurenberg1 (БИА, 1) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,155675$),

Kushner (БИА, 3) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,110212$) и

Matiegka (АНТРА, 6) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 0,286954$).

При разделении мальчиков на группы по содержанию в их организме ЖМТ было показано, что нет достоверных различий по оценке доли ЖМТ по следующим парам формул.

Для группы девочек с нормальным содержанием ЖМТ в организме между пятью парами формул:

Deurenberg1 (БИА, 1) и *Matiegka* (АНТРА, 6) ($p = 0,160172$),

Deurenberg1 (БИА, 1) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 1,000000$),

Kushner (БИА, 3) и *Rush* (БИА, 5) ($p = 0,482525$),

Schaefers (БИА, 4) и *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,639667$) и

Matiegka (АНТРА, 6) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,160172$).

Для группы мальчиков с повышенным и высоким содержанием ЖМТ в организме – также между пятью парами формул:

Deurenberg1 (БИА, 1) и *Slaughter* (АНТРА, 7) ($p = 0,496242$),

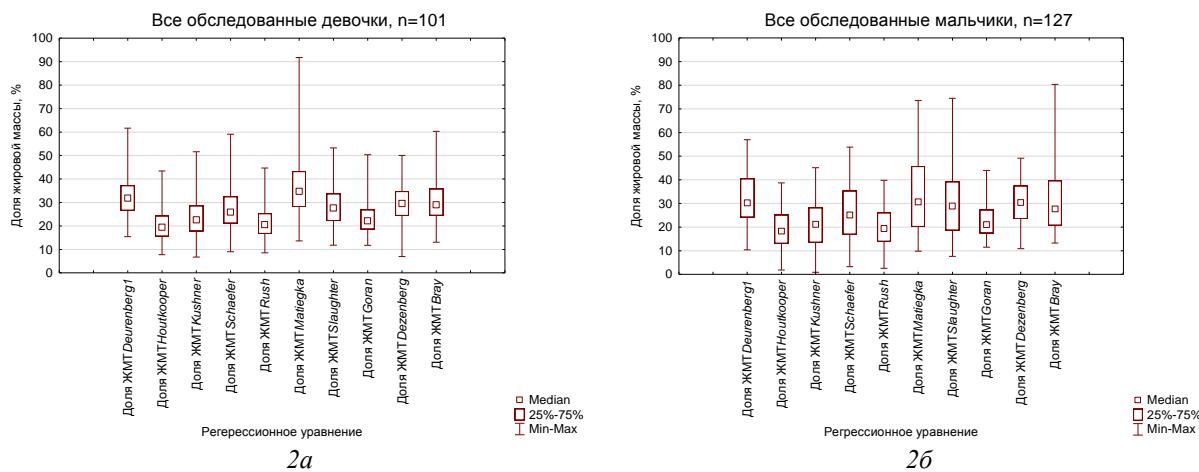
Deurenberg1 (БИА, 1) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,340803$),

Schaefers (БИА, 4) и *Dezenberg* (АНТРА, 9) ($p = 0,076881$),

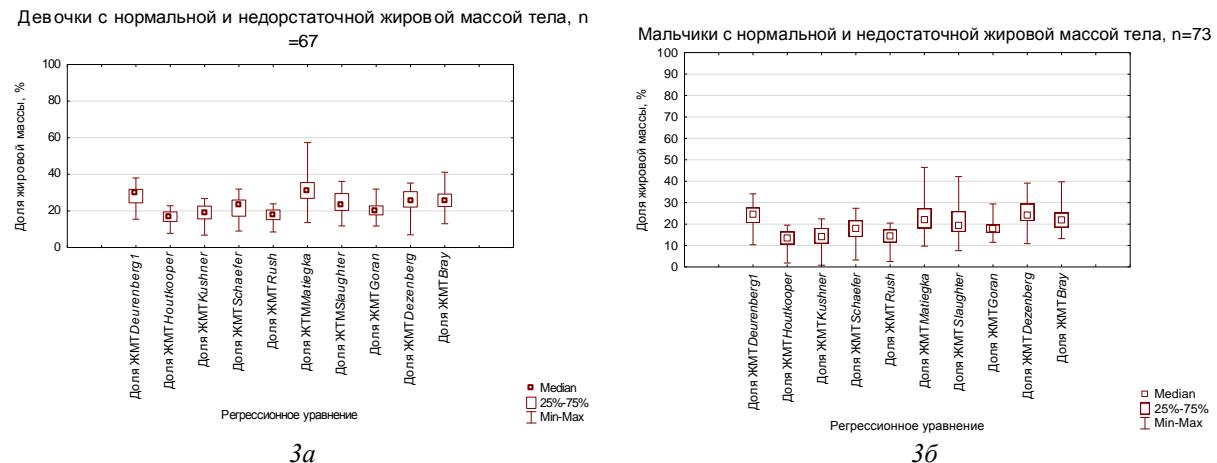
Rush (БИА, 5) - *Goran* (АНТРА, 8) ($p = 0,340803$) и

Slaughter (АНТРА, 7) и *Bray* (АНТРА, 10) ($p = 0,220671$).

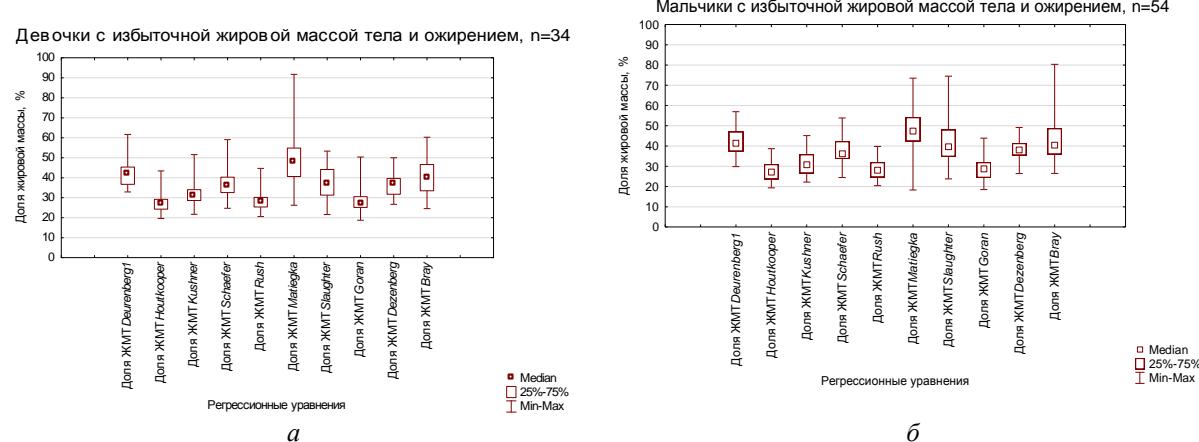
К формуле *Houtkooper*, встроенной в ПО БИ анализатора ABC-01 Медасс, не была близка ни одна формула, однако, т.к. формула *Goran* показывает самые низкие значения доли ЖМТ из всех формул, оценивающих ЖМТ по антропометрическим измерениям (значениям КЖС), а также, как и в группе девочек, в связи с самым большим числом совпадений данных формулы *Goran* при оценке ЖМТ с формулами БИА (1 совпадение в общей группе, 1 – в группе мальчиков с нормальной ЖМТ, 1 – в группе мальчиков с избыточной ЖМТ), ее можно рекомендовать для оценки ЖМТ по КЖС в общей группе мальчиков младшего школьного возраста.



Rис. 2. Результаты оценки доли жировой массы тела обследованных девочек (2а) и мальчиков (2б) с помощью десяти регрессионных уравнений



Rис. 3. Результаты оценки доли жировой массы тела девочек (3а) и мальчиков (3б) с нормальной и недостаточной жировой массой тела с помощью десяти регрессионных уравнений



Rис. 4. Результаты оценки доли жировой массы тела девочек (4а) и мальчиков (4б) с избыточной жировой массой тела и ожирением с помощью десяти регрессионных уравнений

Показано, что в группах девочек (рис. 5а) и мальчиков (рис. 5б) наблюдаются односторонние тенденции оценки ЖМТ при измерении с помощью 5-ти уравнений прогноза на основе биомпедансометрии.

метрии. В обеих группах самый большой результат при оценке доли ЖМТ получился по формуле *Deurenberg1*, а самый маленький – по формуле *Houtkooper*.

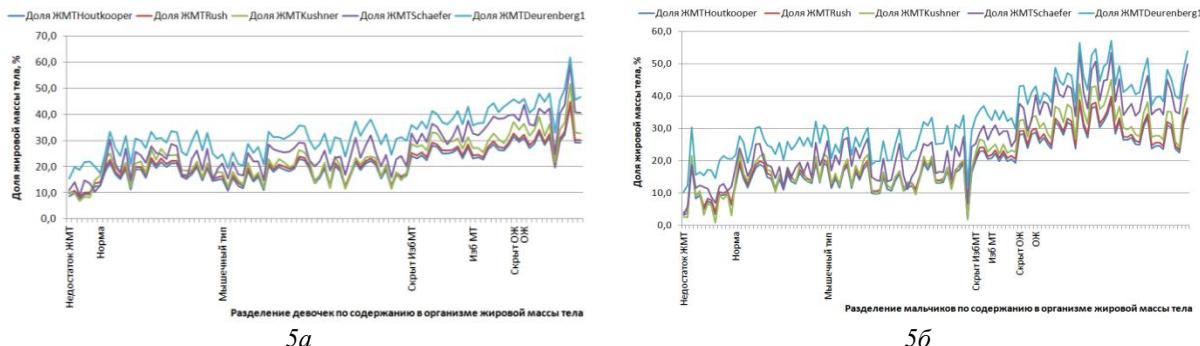


Рис. 5. Результаты расчета индивидуальных показателей жировой массы тела по уравнениям прогноза на основе биомпедансометрии и их сопоставимость (5а – девочки, 5б – мальчики)

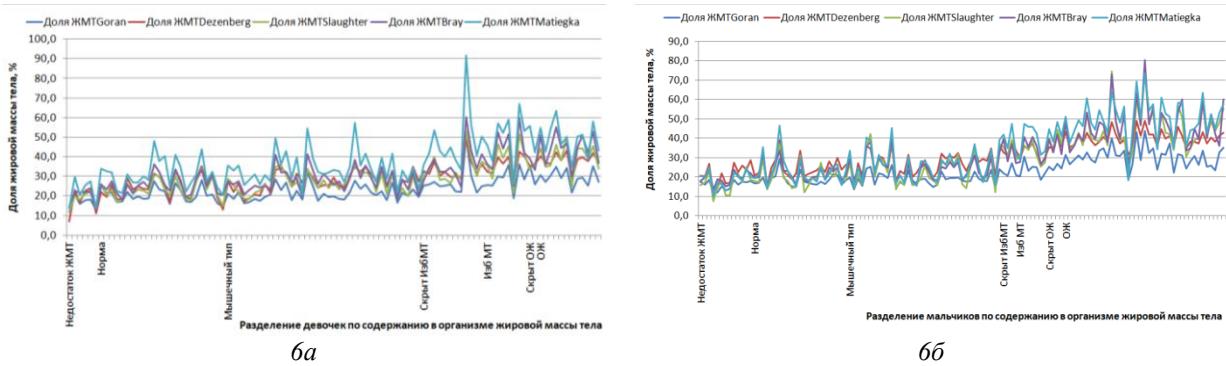


Рис. 6. Результаты расчета индивидуальных показателей жировой массы тела по уравнениям прогноза на основе антропометрии и их сопоставимость (6а – девочки, 6б – мальчики)

В группах девочек (рис. 6а) и мальчиков (рис. 6б) наблюдаются односторонние тенденции оценки доли ЖМТ с помощью 5-ти уравнений прогноза на основе антропометрии. В обеих группах самый большой результат при оценке доли ЖМТ получился по формуле *Matiegka*, а самый маленький – по формуле *Goran*.

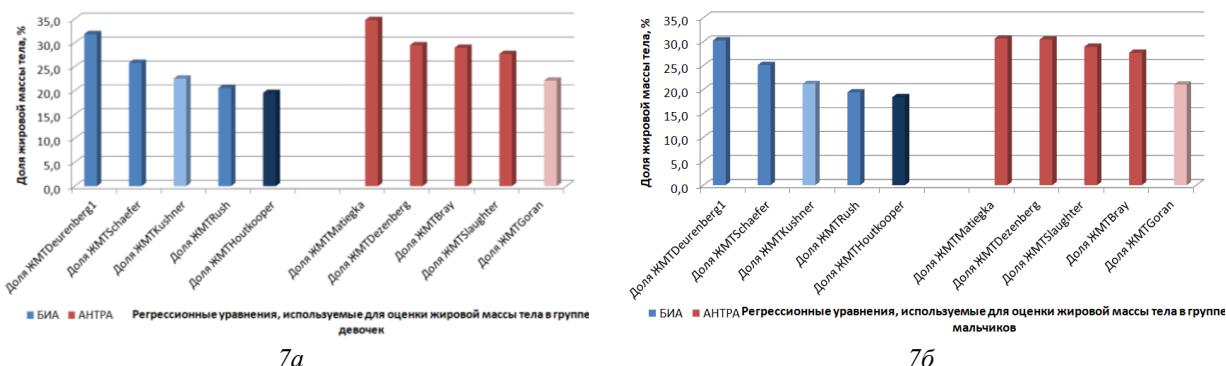


Рис. 7. Сопоставимость результатов оценки доли жировой массы тела, полученных с помощью десяти уравнений прогноза на основе биомпедансометрии (БИА) и антропометрии (АНТРА) 7(а – девочки, 7б – мальчики)

В группе обследованных девочек доля ЖМТ при оценке по формулам БИА варьирует от 19,5 % ($7,7 \div 43,4$ % по формуле *Houtkooper*) до 31,8 % ($15,5 \div 61,7$ % по формуле *Deurenberg1*); при оценке по формулам КЖС – от 22,1 % ($11,8 \div 50,4$ % по формуле *Goran*) до 34,8 % ($13,6 \div 91,8$ % по формуле *Matiegka*). В группе обследованных мальчиков доля ЖМТ при оценке по формулам БИА варьирует от

18,4 % (1,9 ÷ 38,7 % по формуле *Houtkooper*) до 30,3 % (10,4 ÷ 57,0 % по формуле *Deurenberg1*); при оценке по формулам КЖС – от 21,0 % (11,5 ÷ 43,9 % по формуле *Goran*) до 30,6 % (9,8 ÷ 73,5 % по формуле *Matiegka*). Это свидетельствует о том, что в целом по формулам КЖС доля ЖМТ определяется выше, чем по формулам БИА (рис. 7).

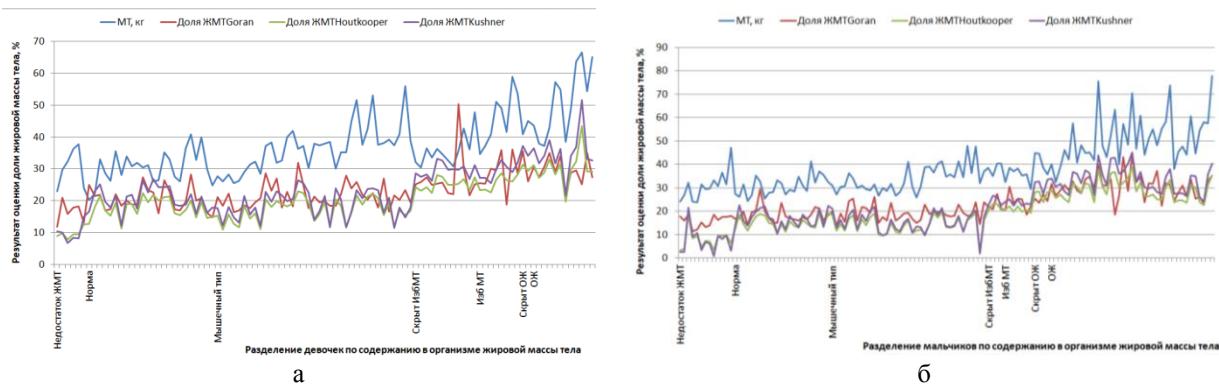


Рис. 8. Сопоставимость результаты расчета доли ЖМТ по уравнениям прогноза на основе биоимпедансометрии (*Houtkooper* и *Kushner*) и антропометрии (*Goran*) в группе обследованных девочек (8а) и мальчиков (8б)

При сравнении оценок результатов расчета доли ЖМТ по уравнениям прогноза на основе биоимпедансометрии (*Houtkooper* и *Kushner*) и антропометрии (*Goran*) в группе обследованных детей была показана сопоставимость и однозначность оценки результатов по уравнениям *Houtkooper* и *Kushner*; самая близкая к ним формула *Goran* показала сопоставимые, но в некоторых случаях – разнозначные результаты оценки состава тела (рис. 8).

При оценке доли ЖМТ по уравнениям прогноза, основанным на результатах биоимпедансометрии, показано, что независимо от значений МТ и ИМТ, разница между измерениями по уравнениям *Houtkooper* и *Deurenberg1* составляет около 15 % ЖМТ. Независимо от значений ИМТ (нормальное значение или повышенное), формулы на основе БИА в группе обследованных девочек работают одинаково.

При оценке доли ЖМТ на основе антропометрических измерений разница между крайними измерениями составила 15-25 % в группе девочек и 15-30 % в группе мальчиков. Причем, чем выше у обследуемого ребенка значение ИМТ, тем больше разница между измерениями по формулам *Houtkooper* и *Deurenberg1*, показывающих наибольшую разницу в результатах расчета. Это говорит о том, что чем больше КЖС требуется измерить и подставить значения в уравнение прогноза, тем выше величина определяемой доли ЖМТ у детей с избыточным ЖМТ, что надо учитывать при выборе уравнения прогноза для использования в собственных исследованиях.

Обсуждение результатов. Мы провели апробацию оценки ЖМТ у детей младшего школьного возраста обоего пола с помощью 5 уравнений, основанных на результатах оценки КЖС, и 5 уравнений, основанных на результатах оценки активного сопротивления тканей организма методом биоимпедансометрии. Нами не было разработано новых уравнений прогноза, но было найдено уравнение, которое дает наиболее сопоставимые результаты с результатами уравнения биоимпедансной оценки с помощью БИ анализатора ABC-01 Медасс; это уравнение *Goran*, основанное на измерении величин 2-х КЖС. Мы определили, что с увеличением ЖМТ у детей (при выявлении ожирения), формулы, основанные на измерении КЖС, дают различные результаты: чем большее количество КЖС используется для расчета в уравнении, тем выше получается результат оценки ЖМТ.

Эталонными методами оценки доли ЖМТ в организме является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (DXA) и подводное взвешивание. Однако, из-за высокой стоимости оборудования, и его небольшой распространенности, используют альтернативные косвенные методы измерения, такие как антропометрия и биомпедансометрия. Часть авторов считают, что ошибка измерения, по сравнению с эталонными методами, в целом выше при оценке доли ЖМТ на основе уравнений прогноза, основанных на значении ИМТ, меньше – при использовании уравнений на основе значений КЖС, еще меньше – при оценке доли ЖМТ методом биоимпедансометрии [12, 15]. Другими исследованиями показано, что погрешность прогнозирования доли ЖМТ по формулам на основе величины ИМТ сопоставима с погрешностью прогнозирования ЖМТ по уравнениям на основе измеренных КЖС, а также методом биоимпедансометрии, как во взрослой [7], так и в детской популяции [3].

Уравнения прогноза, основанные на измерении 4-х КЖС, значению ИМТ или на основе показателей биоэлектрического импеданса, одинаково работают как на западной взрослой популяции, так и на индивидах китайской национальности. По сравнению с денситометрией, антропометрический и биоим-

педансометрический методы могут переоценивать количество жира в организме при более низких уровнях содержания ЖМТ (ниже общепопуляционных значений), тогда как при более высоких действительных уровнях содержания ЖМТ в организме прогностические уравнения имеют тенденцию к занижению получаемых показателей ЖМТ. Формулы прогнозирования для оценки жира в организме по величинам КЖС, показателю сопротивления организма (импедансу) или по значениям ИМТ, разработанные в западных популяциях, применимы и действительны для взрослого населения Китая. Однако у очень худых людей методы прогнозирования переоценивают жир в организме по сравнению со значениями, полученными по плотности тела [16]. Еще одним исследованием показано, что у пациентов с ожирением формулы прогнозирования на основе измерения антропометрических параметров завышали долю ЖМТ [7].

Другим исследованием, в котором сопоставлялись оценки доли ЖМТ у 66 мужчин и 130 женщин китайцев с ожирением в возрасте от 18 до 67 лет методом денситометрии и биоимпедансометрии было показано [17], что формулы прогнозирования содержания жира в организме по биоэлектрическому импедансу, разработанные на западных популяциях, значительно занижают оценку содержания жира в организме у китайцев при ожирении. Авторы разработали отдельную для китайского населения с избыточной массой тела и ожирением формулу для оценки доли ЖМТ на основе измеренного активного сопротивления с учетом пола обследуемых.

Существует множество уравнений прогноза количества ЖМТ в организме людей обоего пола разных возрастных групп. При этом исследователи продолжают выводить новые уравнения прогноза, т.к. считается, что наиболее приближенный к реальному значению ЖМТ результат расчета может быть получен только с помощью уравнения, разработанного на группе людей, более схожей по всем параметрам с измеряемым в данный момент человеком (раса, пол, возраст, нозология).

El Harchaoui I. с соавт. апробировали ранее опубликованные уравнения для оценки *общей воды организма* (ОВО) и ТМТ на основе измеренного импеданса тела у 247 школьников в возрасте от 8 до 11 лет из Марокко (в качестве референтного метода оценки ОВО и ТМТ использовали метод разбавления оксидом дейтерия, считающегося золотым стандартом для определения ОВО и оценки состава тела) [8]. Авторы показали значительные смещения значений, указывающие на погрешность оценки ЖМТ и ТМТ, и разработали новые уравнения прогноза на основе показателя активного сопротивления тканей организма.

Cortés-Castell E. с соавт. разработали уравнение для оценки процентного содержания жира в организме у детей с учетом ИМТ, возраста и пола, используя значения, полученные с помощью DXA в качестве референтного стандарта, для детской популяции с избыточной массой тела или ожирением в возрасте от 4 до 18 лет, проживающей на юго-востоке Испании в провинции Аликанте [5].

Tang H.K. с соавт. оценили связь между показателями окружностью талии, соотношением талии к бедрам, соотношением обхвата талии к длине тела (индекс ОТ/ДТ, *waist-to-height ratio (WHtR)*), ИМТ и доле ЖМТ в организме, измеренными методом DXA у детей и подростков Вьетнама (от 6 до 18 лет). Наиболее сильную корреляционную связь авторы обнаружили между значениями доли ЖМТ и соотношением ОТ к ДТ (*waist-to-height ratio (WHtR)*) на всех стадиях полового созревания и предложили использовать показатель *WHtR* в качестве эффективного индикатора выявления ожирения у вьетнамских детей и подростков [14].

Hannond J. с соавт. провели оценку общего содержания ЖМТ у детей 9-11 лет обоего пола с помощью биоэлектрического импеданса и измерения толщины 4 КЖС (над трехглавой мышцей, над бицепсом, подлопаточной и надподвздошной). Как и в нашем исследовании, было показано, что уровень согласия между оценками процента жира в организме, полученными из прогностических уравнений, основанных на измерениях импеданса или КЖС соответственно, был низким [9].

На некоторых популяциях, таких как пожилые люди, а так же индивиды со скрытой избыточной массой тела и ожирением при нормальной массе тела, результаты оценки доли ЖМТ по уравнениям БИА и АНТРА значительно разнятся. Было показано, что процент жира в группе из 35 внешне здоровых пожилых мужчин и 37 пожилых женщин в возрасте 60-83 лет, рассчитанный по сумме четырех кожных складок (над трехглавой мышцей, над бицепсом, подлопаточной и надподвздошной) составил $27,9 \pm 2,5\%$ и $38,7 \pm 3,2\%$ для мужчин и женщин соответственно. ЖМТ, оцененная с помощью денситометрии, составила 31 % у мужчин и 44 % у женщин, что является довольно высоким значением, особенно по сравнению с довольно низким ИМТ (в группе мужчин – $25,0 \pm 2,2 \text{ кг}/\text{м}^2$, женщин - $25,9 \pm 3,2 \text{ кг}/\text{м}^2$, что по шкале всемирной организации здравоохранения диагностирует нормальную или незначительно избыточную МТ). Значения доли ЖМТ, полученные на основе формул расчета по 4-м КЖС, были занижены из-за более высокой доли внутреннего жира у пожилых людей, которая не измеряется по толщине КЖС [6].

При оценке доли ЖМТ в группе пожилых людей, определяемой по уравнениям регрессии на основе значений ИМТ, пола и возраста, была показана погрешность оценки около 4 %. Процентное содержание жира в организме, рассчитанное по толщине КЖС, имеет сопоставимую погрешность оценки. Эти погрешности прогнозирования процентного содержания жира в организме у пожилых людей сопостави-

мы с погрешностями прогнозирования, обнаруженными у молодых людей и людей среднего возраста, описанными в литературе [6].

При оценке ЖМТ у пожилых жителей Гватемалы с помощью четырёх формул прогнозирования БИА и трёх уравнений, основанных на антропометрических данных, было показано, что средние оценки процентного содержания жира в организме для всей популяции, полученные с помощью антропометрических данных и формул прогнозирования БИА, варьировались от 22 до 50 %. У женщин показатели были выше, чем у мужчин, независимо от используемого метода. Были выявлены высокозначимые межметодные корреляции, однако были отмечены различия в оценке содержания жира между формулами прогнозирования, и величина этих различий зависела от применяемой формулы БИА [2]. Исследования *Mazariegos M.* с соавт. сопоставимы с результатами нашего исследования на детях, где так же показаны значимые различия результатов при оценке доли ЖМТ по разным формулам.

В зависимости от контингента обследуемых (раса, пол, возрастная группа), к использованию рекомендованы различные формулы. Так *Heyward V.H.* предложил для оценки содержания жира в организме детей (6–17 лет) использовать прогностические уравнения, основанные на измерении величин КЖС. Уравнения, основанные на определении плотности тела, рекомендованы для оценки ЖМТ у взрослых индивидов (18–60 лет) различных этнических групп. Биомпедансный метод хорошо подходит для оценки ТМТ у детей (10–19 лет), а также у американских индейцев, чернокожих, латиноамериканцев и белых взрослых. А антропометрические уравнения прогнозирования, использующие комбинацию окружностей и диаметров костей, рекомендуются для пожилых людей (до 79 лет), а также для мужчин и женщин с ожирением [10].

В связи с тем, что современные оценочные критерии БИА включают не только определение ЖМТ и ТМТ, но и их индексов (индекс жировой массы, ИЖМ, *Fat Mass Index, FMI*; индекс тощей (безжировой) массы, ИТМ (ИБМ), *Fat Free Mass Index, FFMI*), *Alpízar M.* с соавт. предложили интерпретировать статус питания с использованием ИЖМ в мексиканской детской популяции, т.к. результаты исследования показали, что процент жировой массы менее точен, чем ИМТ и ИЖМ в диагностике ожирения, и ИЖМ был определен как более полный инструмент для оценки, поскольку он «отделяет» жировую и мышечную массу от общей массы тела [4].

Разработка новых уравнений ассоциирована с некоторыми заболеваниями и их ассоциациями. *Penagini F.* с соавт. так же апробировали несколько уравнений прогноза на основе измерения КЖС для оценки доли ЖМТ у детей с воспалительными заболеваниями кишечника, разработав оригинальную формулу [12]. Было показано, что уравнение на основе 4 КЖС (над трехглавой мышцей, над бицепсом, подлопаточной и надподвздошной) дает наиболее сопоставимые с DXA значения доли ЖМТ, чем уравнения, основанные на значения 1 КЖС (над трехглавой мышцей), 2 КЖС (над трехглавой мышцей, над бицепсом) или по величине ИМТ. При этом уравнение, основанное на измерении 2 КЖС, менее точно, но более практично и менее подвержено ошибкам расчета. Выводы, сделанные *Penagini F.* с соавт., сопоставимы с нашими рекомендациями по использовании формулы *Goran* (на основе 2 КЖС), при оценке доли ЖМТ на детской популяции.

Calcaterra V. оценили прогностическую способность уравнения для оценки ЖМТ с учетом расы у детей препубертатного возраста в диагностике метаболического синдрома и ожирения в совокупности с некоторыми другими антропометрическими параметрами (ИМТ, ОТ, индекс формы тела (ИФТ), трипондеральный индекс массы тела (*tri-ponderal mass index*) и индекс конусности (С-индекс)). Была выявлена корреляция между антропометрическими переменными и 5-тью клинико-биохимическими критериями метаболического синдрома, показана способность оценки доли ЖМТ, определенной по авторскому оригинальному уравнению, прогнозировать наличие метаболического синдрома у детей препубертатного возраста [11].

Samouda H. с соавт. вывели наиболее точные модели прогноза (два регрессионных уравнения в зависимости от пола) количества висцерального жира у детей и подростков с избыточным весом/ожирением с использованием данных антропометрии и DXA 181 ребенка обоего пола 7–17 лет из Люксембурга. Авторы показали высокие корреляционные связи количества висцерального жира у девочек с окружностью верхней части бедра, у мальчиков – с окружностью талии [13].

Выводы:

1. При антропометрических измерениях для определения доли ЖМТ рекомендуется использовать формулу *Goran*, которая дает более всего приближенные результаты к формуле *Houtkooper*, заложенную в программное обеспечение БИ анализатора *ABC-01 Медасс*.

2. Формула *Goran* основана на расчете доли ЖМТ на основе значений измерения двух КЖС – на спине под лопаткой и на задней поверхности плеча над трицепсом, и может быть рекомендована для оценки доли ЖМТ у детей 8–12 лет обоего пола независимо от уровня их физического развития (т.е. значений ИМТ, содержания СММ и ЖМТ).

3. Другие апробированные нами уравнения для оценки доли ЖМТ на основе антропометрических измерений дают завышенные результаты по сравнению с формулой *Houtkooper*; особенно это касается детей с повышенными значениями ИМТ (при наличии избыточной массы тела и ожирения)

4. Самые высокие значения доли ЖМТ получаются по формуле *Matiegka* в модификации Лутовиновой, и по результатам данного исследования она не может быть рекомендована к использованию на детской популяции 8-12 лет.

5. Что касается уравнений на основе измеренного активного сопротивления, все проверенные нами уравнения дают различные результаты измерений, при этом уравнение *Houtkooper*, используемое в БИ анализаторе *ABC-01* Медасс, дает самые низкие значения ЖМТ по сравнению с другими уравнениями.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках темы гос.задания № FGMF-2025-0002 «Разработка и реализация инновационных антропонутрициологических подходов для оптимизации уровня физического развития и спортивной работоспособности в детско-юношеском спорте»

Литература

1. Выборная К.В., Никитюк Д.Б. Уравнения для определения жировой и тощей массы тела у детей и подростков на основе антропометрии и биоимпедансометрии (литературный обзор) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. Т. 17, № 5. Публикация 2-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-5/2-4.pdf> (дата обращения: 25.10.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-5-2-4. EDN ROJKJO
2. A comparison of body fat estimates using anthropometry and bioelectrical impedance analysis with distinct prediction equations in elderly persons in the Republic of Guatemala. / Mazariegos M., Valdez C., Kraaij S., Van Setten C., Liurink C., Breuer K., [et al.] // Nutrition. 1996. Vol. 12, N3. P. 168-175.
3. A height-weight formula to measure body fat in childhood obesity. / Licenziati M.R., Ballarin G., Iannuzzo G., Lonardo M.S., Di Vincenzo O., Iannuzzi A., [et al.] // Italian Journal of Pediatrics. 2022. Vol. 48, N1. N of article is 106.
4. Alpízar M., Frydman T.D., Reséndiz-Rojas J.J., Trejo-Rangel M.A., Aldecoa-Castillo J.M. Fat Mass Index (FMI) as a trustworthy overweight and obesity marker in Mexican pediatric population // Children. 2020. Vol. 7, N3. N of article is 19.
5. Cortés-Castell E., Juste M., Palazón-Bru A., Monge L., Sánchez-Ferrer F., Rizo-Baeza M.M. A simple equation to estimate body fat percentage in children with overweightness or obesity: a retrospective study // PeerJ Analytical Chemistry. 2017. N5. e3238.
6. Deurenberg P., van der Kooy K., Hulshof T., Evers P. Body mass index as a measure of body fatness in the elderly // European Journal of Clinical Nutrition. 1989. Vol. 43, N4. P. 231-236.
7. Deurenberg P., Weststrate J.A., Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas // British Journal of Nutrition. 1991. Vol. 65, N2. P. 105-114.
8. Development and validation of bioelectrical impedance analysis equations for prediction total body water and fat-free mass using D-O technique in Moroccan children aged between 8 and 11 years old. El / Harchaoui I., El Hamdouchi A., Baddou I., El Menchawy I., Benjeddou K., Saeid N., [et al.] // European Journal of Clinical Nutrition. 2018. Vol. 72, N12. P.1663-1672.
9. Hammond J., Rona R.J., Chinn S. Estimation in community surveys of total body fat of children using bioelectrical impedance or skinfold thickness measurements // European Journal of Clinical Nutrition. 1994. Vol. 48, N3. P. 164-71.
10. Heyward V.H. Practical body composition assessment for children, adults, and older adults // International Journal of Sport Nutrition and Exercise. 1998. Vol. 8. N3. P. 285-307.
11. Predictive ability of the estimate of fat mass to detect early-onset metabolic syndrome in prepubertal children with obesity. / Calcaterra V., Verduci E., De Silvestri A., Magenes V.C., Siccardo F., Schneider L., [et al.] // Children. 2021. Vol. 8, N11. P. 966.
12. Predictive fat mass equations for children with inflammatory bowel disease. / Penagini F., Leone A., Borsani B., Bosetti A., Dilillo D., Rendo G., [et al.] // Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition. 2021. Vol. 73, N4. P. e98-e104.
13. Subtraction of subcutaneous fat to improve the prediction of visceral adiposity: exploring a new anthropometric track in overweight and obese youth. / Samouda H., De Beaufort C., Stranges S., Van Nieuwenhuysse J.P., Dooms G., Keunen O., [et al.] // Pediatric Diabetes. 2017. Vol. 18, N5. P. 399-404.
14. Tang H.K., Nguyen C.T.C., Vo N.H.T. Anthropometric indicators to estimate percentage of body fat: a comparison using cross-sectional data of children and adolescents in Ho Chi Minh City, Vietnam // Indian Journal of Pediatrics. 2022. Vol. 89, N9. P. 857-864.
15. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. / Deurenberg P., Andreoli A., Borg P., Kukkonen-Harjula K., de Lorenzo A., van Marken Lichtenbelt W.D., [et al.] // European Journal of Clinical Nutrition. 2001. Vol. 55, N11. P. 973-979.
16. Wang J., Deurenberg P. The validity of predicted body composition in Chinese adults from anthropometry and bioelectrical impedance in comparison with densitometry // British Journal of Nutrition. 1996. Vol. 76, N2. P. 175-82.
17. Wang J., Wang X. Prediction formulas for estimating body fat percent of obesity from bioelectrical impedance // Wei sheng yan jiu (Journal of hygiene research). 2003. Vol. 32, N4. P. 386-389. Chinese. PMID: 14535110.

References

1. Vybornaya KV, Nikityuk DB. Uravnenija dlja opredelenija zhirovoj i toshhej massy tela u detej i podrostkov na osnove antropometrii i bioimpedansometrii (literaturnyj obzor) [Equations for fat and lean body mass calculation in children and adolescents based on anthropometry and bioimpedance (literature review)]. Vestnik novyh medicinskikh tekhnologij. Elektronnoe izdanie. 2023;17(5):97-108. Russian.
2. Mazariegos M, Valdez C, Kraaij S, Van Setten C, Liurink C, Breuer K, et al. A comparison of body fat estimates using anthropometry and bioelectrical impedance analysis with distinct prediction equations in elderly persons in the Republic of Guatemala. Nutrition. 1996;12(3):168-75.
3. Licenziati MR, Ballarin G, Iannuzzo G, Lonardo MS, Di Vincenzo O, Iannuzzi A, et al. A height-weight formula to measure body fat in childhood obesity. Italian Journal of Pediatrics. 2022;48(1):106.
4. Alpízar M, Frydman TD, Reséndiz-Rojas JJ, Trejo-Rangel MA, Aldecoa-Castillo JM. Fat Mass Index (FMI) as a trustworthy overweight and obesity marker in Mexican pediatric population. Children. 2020;7(3):19.
5. Cortés-Castell E, Juste M, Palazón-Bru A, Monge L, Sánchez-Ferrer F, Rizo-Baeza MM. A simple equation to estimate body fat percentage in children with overweightness or obesity: a retrospective study. PeerJ Analytical Chemistry. 2017;5:e3238.
6. Deurenberg P, van der Kooy K, Hulshof T, Evers P. Body mass index as a measure of body fatness in the elderly. European Journal of Clinical Nutrition. 1989;43(4):231-6.
7. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. British Journal of Nutrition. 1991;65(2):105-14.
8. El Harchaoui I, El Hamdouchi A, Baddou I, El Menchawy I, Benjeddou K, Saeid N, et al. Development and validation of bioelectrical impedance analysis equations for prediction total body water and fat-free mass using D₂O technique in Moroccan children aged between 8 and 11 years old. European Journal of Clinical Nutrition. 2018;72(12):1663-1672.
9. Hammond J, Rona RJ, Chinn S. Estimation in community surveys of total body fat of children using bioelectrical impedance or skinfold thickness measurements. European Journal of Clinical Nutrition. 1994;48(3):164-71.
10. Heyward VH. Practical body composition assessment for children, adults, and older adults. International Journal of Sport Nutrition and Exercise. 1998;8(3):285-307.
11. Calcaterra V, Verduci E, De Silvestri A, Magenes VC, Siccardo F, Schneider L, et al. Predictive ability of the estimate of fat mass to detect early-onset metabolic syndrome in prepubertal children with obesity. Children. 2021;8(11):966.
12. Penagini F, Leone A, Borsani B, Bosetti A, Dilillo D, Rendo G, et al. Predictive fat mass equations for children with inflammatory bowel disease. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition. 2021;73(4):e98-e104.
13. Samouda H, De Beaufort C, Stranges S, Van Nieuwenhuyse JP, Dooms G, Keunen O, Leite S, Vaillant M, Lair ML, Dadoun F. Subtraction of subcutaneous fat to improve the prediction of visceral adiposity: exploring a new anthropometric track in overweight and obese youth. Pediatric Diabetes. 2017;18(5):399-404.
14. Tang HK, Nguyen CTC, Vo NHT. Anthropometric indicators to estimate percentage of body fat: a comparison using cross-sectional data of children and adolescents in Ho Chi Minh City, Vietnam. Indian Journal of Pediatrics. 2022;89(9):857-864.
15. Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, et al. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. European Journal of Clinical Nutrition. 2001;55(11):973-9.
16. Wang J, Deurenberg P. The validity of predicted body composition in Chinese adults from anthropometry and bioelectrical impedance in comparison with densitometry. British Journal of Nutrition. 1996;76(2):175-82.
17. Wang J, Wang X. Prediction formulas for estimating body fat percent of obesity from bioelectrical impedance]. Wei sheng yan jiu (Journal of hygiene research). 2003;32(4):386-9. Chinese.

Библиографическая ссылка:

Выборная К.В., Никитюк Д.Б. Оценка жировой массы тела у детей младшего школьного возраста на основе антропометрии и биоимпедансометрии – особенности применения регрессионных уравнений // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №6. Публикация 2-1. URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/2-1.pdf> (дата обращения: 17.12.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-2-1. EDN BCOVHE*

Bibliographic reference:

Vybornaya KV, Nikityuk DB. Ocenna zhirovoj massy tela u detej mladshego shkol'nogo vozrasta na osnove antropometrii i bioimpedansometrii – osobennosti primeneniya regressionnyh uravnenij [Assessment of body fat mass in primary school-aged children based on anthropometry and bioimpedance analysis: features of the application of regression equations]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2025 [cited 2025 Dec 17];6 [about 16 p.]. Russian. Available from: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/2-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-2-1. EDN BCOVHE

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/e2025-6.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY