



УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИРОВОЙ И ТОЩЕЙ МАССЫ ТЕЛА У ДЕТЕЙ
И ПОДРОСТКОВ НА ОСНОВЕ АНТРОПОМЕТРИИ И БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ
(литературный обзор)

К.В. ВЫБОРНАЯ *, Д.Б. НИКИТЮК **,***

* *Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи,
Устьинский пр., 2/14с1, г. Москва, 109240, Россия*

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

*** *Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, 6., г. Москва, 117198, Россия*

Аннотация. Цель исследования - из имеющихся в литературе данных выбрать максимально используемые исследователями современности формулы для оценки жировой и тощей массы тела у детей и подростков и систематизировать их с целью перспективной проверки работоспособности на различных группах детей, включая детей-спортсменов. **Материалы и методы исследования.** Проанализированы иностранные источники литературы, многие из которых были первоисточниками регрессионных уравнений для оценки жировой и тощей массы, а так же плотности тела, что отразилось на присутствии относительно большого количества статей, представленных в списке цитируемой литературы, с очень давними годами публикации. **Результаты и их обсуждение.** В статье представлены наиболее используемые уравнения прогноза оценки жировой и тощей массы, а так же плотности тела, основанные как на результатах антропометрии, так и на основе измерения биоэлектрического импеданса тела. Показано, что данные уравнения недооценивают количество жировой массы тела по сравнению с методом рентгеновской денситометрии, принятым за эталонный при оценке состава тела. Следовательно, три метода оценки жировой массы тела (антропометрия, биоимпедансометрия и рентгеновская денситометрия) не являются взаимозаменяемыми. **Заключение.** Следует учитывать, что неотъемлемым правилом корректной работы регрессионных уравнений для оценки жировой или тощей массы тела у детей и подростков является использование их на людях или группах людей, максимально приближенных к выборке, на которой было разработано регрессионное уравнение. Экстремальная полнота или худоба, этническая принадлежность, нарушения гидратации, измерения импеданса тела сразу после физических упражнений или приема пищи могут увеличивать величину ошибок прогнозирования жировой и тощей массы тела у детей и подростков по сравнению со значениями *SEE*, найденными в оригинальных исследованиях, из которых взяты уравнения прогноза, основанные на оценке биоэлектрического импеданса тела.

Ключевые слова: регрессионные уравнения, компонентный состав тела, жировая масса тела, тощая масса тела, плотность тела, антропометрия, биоимпедансометрия, дети и подростки

EQUATIONS FOR FAT AND LEAN BODY MASS CALCULATION IN CHILDREN AND
ADOLESCENTS BASED ON ANTHROPOMETRY AND BIOIMPEDANCE
(literature review)

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

* *Federal Research Center of Nutrition, Biotechnologies and Food Safety,
2/14-1 Ustyinsky drive, Moscow, 109240, Russia*

** *I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,
15/13-1 Rossolimo str., Moscow, 119992, Russia*

*** *Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
Miklukho-Maklaya Str., 6, Moscow, 117198, Russia*

Abstract. Purpose was to choose the formulae which are applied by a maximum number of modern researchers based on the available literature data in order to evaluate fat and lean body mass in children and adolescents and systematize these formulae for prospective performance evaluation in different groups of children, including children athletes. **Materials and methods.** We analyzed foreign sources of literature which were mostly primary sources of regression equations for fat and lean body mass as well as body density evaluation, which resulted in a relatively big number of articles with very old publication dates listed in the references. **Results and their discussion.** The article represents most widely used equations of fat and lean body mass as well as body density evaluation prognosis, based on both anthropometry results and bioelectrical impedance measurements. It

was shown that the given equations underestimate the fat body mass value in comparison with x-ray densitometry method which was taken as a standard at the evaluation of body composition. Therefore, the three methods of fat body mass evaluation (anthropometry, bioimpedance and x-ray densitometry) are not interchangeable. **Conclusion.** We should consider it as an obligatory rule that regression equations only work correctly for fat and lean body mass evaluation in children and adolescents if they are applied to individuals or groups of people who are as similar as possible to the sample the regression equation development was based on. Extreme obesity and underweight, ethnicity, impaired hydration, implementing impedance measurements immediately after physical activities or meals might increase the number of mistakes in prognosis of fat and lean body mass in children and adolescents in comparison with the *SEE* values found in the original researches which provided the prognosis equations based on bioelectric impedance evaluation.

Key words: regression equations, body composition, fat body mass, lean body mass, body density, anthropometry, bioimpedance, children and adolescents

Актуальность. Для оценки жировой массы тела, как у взрослых, так и у детей, используют различные методы. К ним относятся: расчет *индекса массы тела* (ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$); антропометрия - оценка индивидуальных, средних и суммарных значений толщин *кожно-жировых складок* (КЖС, *SKF*) по сравнению с нормативными таблицами или с использованием регрессионных уравнений; *магнитно-резонансная томография* (МРТ); *компьютерная томография* (КТ); плетизмография с вытеснением воздуха; *двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия* (син. - *рентгеновская денситометрия*) (DEXA); изотопное разведение; подводное взвешивание и *биоэлектрический импеданс* (син. - *метод биоимпедансного анализа*, БИА, *BIA*) [2, 19]. Из-за повсеместной доступности, невысокой стоимости, мобильности оборудования, простоты использования, а так же других преимуществ (относительная быстрота измерения, отсутствие воздействия радиоактивных лучей, отсутствие необходимости погружения в воду), такие методы как биоимпедансный анализ и антропометрия стали приоритетными методами выбора в полевых и клинических условиях при обследовании детей и подростков [2].

До появления биоимпедансных анализаторов, которые в разы упростили и ускорили процесс оценки компонентного состава тела и водных секторов организма, в арсенале детских и спортивных антропологов находились в распоряжении такие методы, как рентгеновская денситометрия, подводное взвешивание и определение плотности тела, а так же метод регрессионных уравнений на основе антропометрических измерений.

Уравнения для оценки жировой и тощей массы тела для всех возрастных категорий в популяции разрабатываются на отдельных малых выборках со свойственными ей признаками – расой, возрастом, полом, антропометрическими характеристиками, характером распределения подкожного жира, наличием определенного количества висцерального жира, а так же с различным компонентным составом тела. Учитывая вышесказанные факты, работоспособность этих формул при использовании на других группах обследуемых может быть низкой, и формулы могут считаться «не работающими». При поиске рабочего уравнения для обследуемой группы следует выбирать те, которые были разработаны на выборках с максимально близкими к обследуемой группе характеристиками. Как правило, трудности с выбором уравнений могут быть связаны как с отличными антропометрическими характеристиками и составом тела (низкорослые и высокорослые группы, группы с недостаточной массой тела и истощением, а так же с избыточной массой тела и ожирением), так и с наличием определенных патологических состояний и заболеваний, которые могут быть присущи индивидам в обследуемой группе.

Цель исследования – из имеющихся в литературе данных выбрать максимально используемые исследователями современности формулы для оценки жировой и тощей массы тела у детей и подростков и систематизировать их с целью перспективной проверки работоспособности на различных группах детей, включая детей-спортсменов.

Задачи исследования. Провести поиск и анализ литературных источников, одна часть из которых является первоисточниками уравнений и методик для оценки жировой и тощей массы тела у детей и подростков, а другая часть – оригинальными статьями, авторы которых применяют эти уравнения и методики для оценки компонентного состава тела.

Материалы и методы исследования. Проанализированы иностранные источники литературы, многие из которых были первоисточниками регрессионных уравнений для оценки жировой и тощей массы, а так же плотности тела, что отразилось на присутствии относительного большого количества статей, представленных в списке цитируемой литературы, с очень давними годами публикации.

Результаты и их обсуждение.

Уравнения прогноза для оценки компонентного состава тела детей и подростков на основе биоимпедансометрии.

В настоящее время разработан и опубликован ряд уравнений для преобразования выходных данных биоимпедансного анализа (активное сопротивление, реактивное сопротивление, импеданс) в *проценты жировой массы* (ЖМТ%), *абсолютное количество жировой массы* (ЖМТ) и *количество тощей*

массы тела (ТМТ) для детей. Самыми известными и применяемыми на практике считаются следующие уравнения: $BIA_{Deurenberg1}$ [13] (1), $BIA_{Deurenberg2}$ [12] (2), $BIA_{Houtkooper}$ [22] (3), $BIA_{Kushner}$ [25] (4), $BIA_{Schaefer}$ [31] (5), BIA_{Rush} [30] (6) (таблица 1).

Следует отметить, что уравнение прогноза $BIA_{Houtkooper}$ [22] было разработано с применением множественного регрессионного анализа на выборке из 94-х детей и подростков, и далее было перекрестно проверено на 131 ребенке; оно применимо для детей 10-18 лет. Уравнение $BIA_{Houtkooper}$ «прошито» в программное обеспечение многих БИА анализаторов, в том числе в БИА анализатор состава тела и водных секторов организма *ABC-01* Медасс (Россия) [6].

Таблица 1

Уравнения прогноза для оценки компонентного состава тела детей и подростков на основе биоимпедансометрии

№№	Условное обозначение регрессионного уравнения, используемое в данной статье; авторство; ссылка	Возраст, при котором регрессионное уравнение работает корректно	Регрессионное уравнение	
1	$BIA_{Deurenberg1}$ <i>Deurenberg et al</i> (1991) [13]	7 – 9 лет	$TMT_{Deurenberg1}, кг = 0,64*(ДТ, см^2/импеданс) + 4,83$	(1)
2	$BIA_{Deurenberg2}$ <i>Deurenberg et al</i> (1989) [12]	Дети до 15 лет	$TMT_{Deurenberg2}, кг = 0,406*(ДТ, см^2/импеданс) + (0,36 * МТ, кг) + (0,56*пол) + (0,0558 * ДТ, см) - 6,5$	(2)
3	$BIA_{Houtkooper}$ <i>Houtkooper et al</i> (1992) [22]	10-19 лет	$TMT_{Houtkooper}, кг = 0,61*(ДТ, см^2/импеданс) + (0,25*МТ, кг) + 1,31$	(3)
4	$BIA_{Kushner}$ <i>Kushner et al</i> (1992) [25]	От новорожденных до взрослых	$TMT_{Kushner}, кг = (0,04 + (0,593*ДТ м^2 / импеданс) + (0,065*МТ кг)) / 0,73$	(4)
5	$BIA_{Schaefer}$ <i>Schaefer et al</i> (1994) [31]	3,9 - 19,3 года	$TMT_{Schaefer}, кг = 0,65*(ДТ, см^2 / импеданс) + (0,68*возраст, лет) + 0,15$	(5)
6	BIA_{Rush} <i>Rush et al</i> (2003) [30]	5-14 лет	$TMT_{Rush}, кг = 0,622 (ДТ м^2 / импеданс) + (0,234*МТ, кг) + 1,166$	(6)

Примечание:

Список сокращений, который используется в основном тексте, таблицах 1 и 2, а так же в регрессионных уравнениях, представленных в данной статье: МТ – масса тела, кг, ДТ – длина тела, см

ЖМТ – жировая масса тела, кг, ТМТ – тощая (безжировая) масса тела, кг

ЖМТ % - доля жировой массы тела, %, Импеданс - сопротивление организма, измеренное на частоте 50 кГц, ПТ – плотность тела; соответствует обозначению *BD* (*body density*) в зарубежных оригинальных статьях-первоисточниках; *Log* – натуральный логарифм числа, вычисляемый по таблицам или с помощью калькулятора; КЖС – кожно-жировая складка, мм, КЖС_{спины} – подлопаточная кожно-жировая складка, КЖС_{трицепс} – кожно-жировая складка на задней поверхности плеча, над трицепсом

КЖС_{среднегрудинная} – кожно-жировая складка на боковой поверхности грудной клетки на уровне 10-го ребра, КЖС_{грудим} – кожно-жировая складка груди у мужчин (под большой грудной мышцей)

КЖС_{бицепс} – кожно-жировая складка на передней поверхности плеча, над бицепсом

КЖС_{предплечье} – кожно-жировая складка на внутренней поверхности предплечья

КЖС_{живот} – кожно-жировая складка на животе, КЖС_{надподвздошная} – кожно-жировая складка над надподвздошным гребнем, КЖС_{бедро} – кожно-жировая складка на бедре над большой четырехглавой мышцей

КЖС_{пах} – кожно-жировая складка на бедре параллельно паховой складке, КЖС_{голень} – кожно-жировая складка на голени

Несмотря на то, что все представленные выше уравнения прогноза были разработаны и рекомендуются к использованию для детей с различной массой тела, не было проведено одновременной перекрестной проверки в независимой выборке детей с избыточной массой тела (ИзбМТ) и ожирением (ОЖ), недостаточной массой тела (НедМТ) и истощением, а так же на детях с некоторыми заболеваниями.

Неоднократно было показано, что уравнения прогнозирования количества жировой массы тела, полученные на основании биоимпедансного анализа, имеют тенденцию занижать процент жировой массы у детей с избыточной массой тела и ожирением, а у худых индивидов наоборот завышать [22, 29, 32].

В 2008 году *Cleary et al* [10] опубликовали результаты исследования, в котором определяли прогностическую достоверность четырех биоэлектрических уравнений импеданса ($BIA_{Deurenberg1}$ (1), $BIA_{Deurenberg2}$ (2), $BIA_{Houtkooper}$ (3), $BIA_{Schaefjer}$ (5)) для определения процентов жировой массы тела детей ($n=30$, возраст $7,5 \pm 1,28$ года (5-9 лет), $MT = 43,78 \pm 10,88$ кг, $ИМТ = 22,80 \pm 3,47$ кг/м²) с ИзбМТ и ОЖ; эталонным методом выбрали метод рентгеновской денситометрии. Результаты показали, что средний процент ЖМТ, определенный методом *DEXA* составил 40,79%. Уравнения же показали следующие результаты: $BIA_{Deurenberg1} = 43,5 \pm 9,23$ %, $BIA_{Deurenberg2} = 28,69 \pm 5,56$ %, $BIA_{Houtkooper} = 38,18 \pm 7,45$ %, $BIA_{Schaefjer} = 41,98 \pm 9,23$ %, Уравнение $BIA_{Schaefjer}$ (по сравнению с другими уравнениями прогнозирования *BIA*, используемыми в исследовании *Cleary et al* [10]) имело ближайшее к методу *DEXA* среднее значение и было единственным уравнением, которое существенно не отличалось от *DEXA* ($p = 0,121$). Тем самым авторы предположили, что уравнение $BIA_{Schaefjer}$ является единственным точным из изученных уравнений прогнозирования *BIA* для оценки процента жировой массы в группе детей с ИзбМТ и ОЖ. Так же было показано, что это было единственным уравнением, которое включало возраст в качестве одной из предикторных переменных, что снизило количество ошибок на 18%. Уравнение $BIA_{Deurenberg1}$ имеет тенденцию существенно переоценивать жировую массу тела, что авторы [10] связали с участием в исследовании *Deurenberg et al* [13] детей преимущественно без ИзбМТ и ОЖ (масса тела детей была 28,3 кг по сравнению с 43,78 кг в исследовании *Cleary*), хотя уравнение было разработано на детях 7-9 лет (возраст аналогичный возрасту детей в исследовании [10]). Уравнение $BIA_{Deurenberg1}$ не подходит для оценки ЖМТ у детей препубертатного возраста с ИзбМТ и ОЖ.

Уравнение $BIA_{Deurenberg2}$ [12], разработанное для детей в возрасте до 15 лет, дало очень неточные результаты с ошибкой 18,48%, возможно, из-за исключения из уравнения возраста как переменной. Использование этого уравнения в полномасштабных исследованиях может значительно занижать популяционный ЖМТ%. Сам *Deurenberg* позже писал [11], что детские уравнения, разработанные на нормальных детских популяциях, недооценивают количество жировой массы у детей с избыточной массой тела и ожирением и объяснял это различиями в геометрии тела, распределении воды в организме и гидратации тощей массы тела по сравнению с жировой массой тела у детей.

Так же *Cleary et al* [10] подчеркивают, что уравнение $BIA_{Schaefjer}$ не прошло валидацию на детях с ИзбМТ и ОЖ, причиной которых стал длительный прием стероидов, нейролептиков или других лекарств, которые могут повлиять на увеличение МТ, а так же такие заболевания как сахарный диабет 1 типа, синдром Прадера-Вилли, целиакия, муковисцидоз, множественные пищевые аллергии, серьезные физические или умственные отклонения и липодистрофии (группа редких наследственных или приобретенных заболеваний, при которых уменьшается или неравномерно увеличивается объем жировой ткани, что служит причиной аномального телосложения).

Существуют исследования, в которых проводится проверка уже существующих уравнений прогноза оценки ЖМТ на детях, не схожих с теми популяциями, на которых была разработана формула. Так, например, интересным с точки зрения количества формул, прошедших апробацию на одной группе детей, является исследование, в котором авторами из Малайзии (*Noradilah et al*) [28] была проведена оценка жировой массы тела у 160-ти детей 7-11 лет с помощью 4-х уравнений, основанных на измерении толщин кожно-жировых складок (SKF_{Bray} (23), $SKF_{Johnston}$ (16.1; 16.2), $SKF_{Slaughter}$ (20.1; 20.2) и SKF_{Goran} (21)), а так же 4-х уравнений, основанных на измерении биоэлектрического потенциала тела ($BIA_{Manufacturer}$, $BIA_{Houtkooper}$ (3), BIA_{Rush} (6) и $BIA_{Kushner}$ (4)), в сравнении с результатами *DEXA*, как эталонного метода определения состава тела. *Noradilah et al* [28] было показано, что все четыре уравнения, основанные на измерении толщин КЖС, показали аналогичные стандартные отклонения смещения по методике Блэнд-Альтмана (SD в пределах от 2,7 до 3,7), что указывает на то, что они тесно связаны друг с другом. Уравнения на основе биоэлектрического импеданса имели более широкий диапазон отклонений (SD от 3,9 до 5,3). Так же показано, что все уравнения достоверно значимо недооценивали ЖМТ% ($p < 0,05$) по сравнению с методом *DEXA*. Уравнения *BIA* имели разумные пределы согласования с *DEXA*, при этом уравнение $BIA_{Manufacturer}$ (уравнение разработчика, анализатор *Bodystat Quadscan 4000*, на котором проводилось измерение биоэлектрического импеданса (*Bodystat Ltd, Isle of Man, UK*), не опубликованное и не описанное в литературе) было оценено авторами как лучшее уравнение. Примечательно, что обращаясь к рисунку 2 первоисточника, на котором изображены графики Блэнд-Альтмана для уравнений *BIA* по сравнению с методом *DEXA*, можно заметить, что облака для уравнений $BIA_{Houtkooper}$ и BIA_{Rush} абсолютно аналогичны, облако $BIA_{Kushner}$ приближено по форме к двум предыдущим, но значения %ЖМТ имеют больший разброс, а вот уравнение $BIA_{Manufacturer}$ показало другую форму облака, отражающего распределение точек, что говорит о явно другой формуле, прошитой в программном обеспечении анализатора *Bodystat Quadscan 4000*.

Что касается метода биоимпедансометрии, расчет % ЖМТ по *BIA* уравнениям прогноза иногда приводил к экстремально высоким значениям ЖМТ, по сравнению с методом *DEXA*, и соответственно к экстремальным индивидуальным ошибкам (в исследовании [28] ошибки были обнаружены у 2-х девочек и одного мальчика из 160-ти обследованных, т.е. в 1,9 % случаев). Причем, эти ошибки были выявлены у одних и тех же детей по всем 4-м формулам *BIA*.

Так же авторы говорят [28] о необходимости разработки формул на основе КЖС на популяции малазийских детей, специфичных для населения Малайзии, т.к. ни одна из проверяемых формул не дала желаемых результатов оценки ЖМТ%, которые были бы сопоставимы с результатами *DEXA*.

Можно предположить, что авторы [28] не смогли получить желаемые сильные корреляции между методом *DEXA* и уравнениями на основе КЖС из-за того, что в группе обследуемых лишь 63,1 % детей были с нормальной массой тела, определенной по ИМТ, при этом 4,4 % имели НедМТ, 2,5 % - истощение, 15 % - ИзбМТ и 15 % - ОЖ. Это распределение по ИМТ нельзя не учитывать, т.к. всеми авторами было показано на то, что их уравнения показывают наиболее приближенные к эталонному методу значения ЖМТ у детей с нормальным значением ИМТ. При использовании же уравнений на детях с НедМТ, ИзбМТ, истощением и ОЖ уравнения работают менее корректно и точно.

Авторы указывают [28], что уравнение *BIA_{Manufacturers}* не описанное в литературе и «вшитое» в программное обеспечение анализатора *Bodystat Quadscan 4000*, на котором проводилось измерение импеданса тела обследуемых детей, более точно определило количество жировой массы тела, из чего следует рекомендация о наибольшей применимости данной формулы для определения ЖМТ у малайских детей. Однако авторы не учли тот факт, что даже «вшитые» уравнения регрессии имеют свой предел определения и в БИ анализаторах, как правило, стоят фиксированные пределы определения ЖМТ и коэффициенты пересчета, если МТ и ЖМТ у обследуемых имеют экстремально низкие или экстремально высокие значения, что зависит, соответственно, от определяемого биоимпедансным анализатором сопротивления (импеданса).

Параллельно следует понимать, что определение ЖМТ при помощи уравнений, основанных на величине кожно-жировых складок напрямую зависит от результатов антропометрии, т.к. погрешность измерения КЖС очень большая, как у одного, так и у разных исследователей, да и место взятия КЖС играет очень важное значение. Даже при условии, что антропометрические измерения проводит один и тот же грамотный специалист с большим опытом работы, индивидуальная техническая ошибка его колеблется в диапазоне 0,1-0,4 мм на одну КЖС [5].

Уравнения прогноза для оценки компонентного состава тела детей и подростков на основе определения плотности тела.

Одними из распространенных расчетных уравнений для определения содержания жира в организме являются уравнения, основанные на определении *плотности тела* (ПТ). Существует как минимум два первоначальных уравнения для определения ЖМТ% на основании показателя ПТ. Это разработанное в 1961 году уравнение *Siri* [33] (7), которое применяется для определения процента содержания жира у взрослых индивидуумов и предполагает постоянное соотношение белков и минералов у субъектов (было разработано на составе тела взрослого человеческого трупа):

$$\text{ЖМТ}\%_{\text{Siri}} = (495/\text{ПТ}) - 4,5 \quad (7)$$

И разработанное в 1984 году уравнение *Lohman et al* [26] (8), которое применяется для детей, и учитывает более низкое содержание костной ткани [26] и более высокое содержание воды [8] у детей пубертатного и пубертатного возраста:

$$\text{ЖМТ}\%_{\text{Lohman}} = (530/\text{ПТ}) - 489 \quad (8)$$

Позже по результатам дальнейших исследований и на основе уравнений *Siri* [33] (7) и *Lohman et al* [26] (8) был разработан и в 1996 году опубликован целый ряд формул для определения %ЖМТ с учетом пола и возраста (*Heyward, Stolarczyk*, 1996) [2, 21] (9.1; 9.2; 9.3; 9.4; 10.1; 10.2; 10.3; 10.4):

Для лиц мужского пола:

$$\text{ЖМТ}\% = (5,30/\text{ПТ}) - 4,89 \quad (7-12 \text{ лет}) \quad (9.1)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (5,07/\text{ПТ}) - 4,64 \quad (13-16 \text{ лет}) \quad (9.2)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (4,99/\text{ПТ}) - 4,55 \quad (17-19 \text{ лет}) \quad (9.3)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (4,95/\text{ПТ}) - 4,50 \quad (20-80 \text{ лет}) \quad (9.4)$$

Для лиц женского пола:

$$\text{ЖМТ}\% = (5,35/\text{ПТ}) - 4,95 \quad (7-12 \text{ лет}) \quad (10.1)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (5,10/\text{ПТ}) - 4,66 \quad (13-16 \text{ лет}) \quad (10.2)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (5,05/\text{ПТ}) - 4,62 \quad (17-19 \text{ лет}) \quad (10.3)$$

$$\text{ЖМТ}\% = (5,01/\text{ПТ}) - 4,57 \quad (20-80 \text{ лет}) \quad (10.4)$$

В исследовательской практике применяются различные методы оценки ПТ (иначе - удельный вес) человека [2, 4]. Эталонным стандартным методом определения ПТ, а так же эталонным методом изучения состава тела в двухкомпонентной модели, считается метод гидростатического взвешивания, так же

называемый подводное взвешивание, гидростатическая денситометрия или сокращенно - гидроденситометрия. Метод этот был предложен еще в середине XX века (1942 год) американским врачом и физиологом Альбертом Бенке [6] и активно использовался в 1950–1990-е годы. Альберт Бенке усовершенствовал способ Архимеда для определения плотности тела путём введения измерений остаточного объёма лёгких [2, 4].

Как отмечает Мартиросов с соавт. «в связи с развитием биофизических методов изучения состава тела в настоящее время частота использования гидроденситометрии снижается с постепенной заменой её другими методами оценки жировой массы, такими как воздушная плетизмография и двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия». Однако следует понимать, что «большинство регрессионных формул для определения состава тела человека на основе антропометрии и биоимпедансного анализа было получено как раз путём сопоставления результатов измерений с данными гидростатической денситометрии» [2, 4].

В 1967 году авторами *Katch et al* [24] была разработана более простая методика для проведения гидроденситометрии, которая широко использовалась исследователями. Плотность тела по ней определяется погружением испытуемого в стандартный бассейн размером 3*1,2*1,8 метра, наполненный водой, температура которой постоянно поддерживается на уровне $33 \pm 1^\circ\text{C}$, не требующий специального резервуара для воды. Объем тела при этом оценивают по подводному весу с поправкой на остаточный объем легких.

Если плотность тела определяется методом гидростатической денситометрии, то следует использовать следующее уравнение [2, 4]:

$$ПТ = ОВТ / (ОВТ - ВТВ - ООЛ) \quad (11)$$

где ОВТ – *обычный вес тела* (т.е. МТ),

ВТВ – *вес тела в воде*,

ООЛ – *остаточный объем воздуха в легких*

Мартиросов с соавт. уточняет, что «остаточный объем воздуха в легких составляет в норме около 1,45 л. Если удельный вес тела превышает 1,1 л, то рекомендуется в расчетах принимать ООЛ равным 1,2 л или 1,0 л. При динамических наблюдениях за одним и тем же контингентом обследуемых при характеристике удельного веса тела необходимо использовать постоянное значение ООЛ» [2, 4].

Наряду с методом гидроденситометрии для оценки удельного веса тела у людей разного пола и возраста пользуются регрессионными уравнениями, основанными на результатах антропометрических измерений, которые можно применять в полевых, а так же лабораторных условиях. С 1951 года начались попытки разработки подобных уравнений для взрослого трудоспособного условно здорового населения, а так же для спортсменов.

А в 1967 году были опубликованы уравнения прогноза *Durnin and Rahaman* [14] (12.1; 12.2), которые можно использовать для оценки плотности тела у детей в возрасте 12-16 лет (разработаны на выборке из 48 мальчиков-подростков в возрасте 12,7-15,7 лет и 38 девочек-подростков в возрасте 13,2-16,4 лет).

$$ПТ_{Durnin+Rahaman} \text{МАЛЬЧИКИ} = 1,1533 - 0,0643 \log \sum_4 \quad (12.1)$$

$$ПТ_{Durnin+Rahaman} \text{ДЕВОЧКИ} = 1,1369 - 0,0598 \log \sum_4 \quad (12.2)$$

Примечание:

сокращения для уравнений (12.1; 12.2; 13.1; 13.2; 16.1; 16.2; 16.3; 16.4):

\sum_4 = сумма 4-х КЖС (КЖС_{бицепс}, КЖС_{трицепс}, КЖС_{спина}, КЖС_{надподвздошная})

$\log \sum_4$ = натуральный логарифм суммы 4-х КЖС.

В 1974 были опубликованы уравнения прогноза *Durnin and Womersley* [18] (13.1; 13.2), которые можно использовать для оценки плотности тела у юношей 17-19 лет и девушек 16-19 лет.

$$ПТ_{Durnin+Womersley} \text{ЮНОШИ} = 1,162 - 0,063 \log \sum_4 \quad (13.1)$$

$$ПТ_{Durnin+Womersley} \text{ДЕВУШКИ} = 1,155 - 0,068 \log \sum_4 \quad (13.2)$$

А в 1972 году *Parizkova u Roth* для определения удельного веса тела у детей 9–16 лет предложили ряд формул на основании измерения 10-ти КЖС [4] (14.1; 14.2; 14.3; 14.4):

Для мальчиков:

$$ПТ = 1,180 - 0,069 \log \sum_{10} \text{складок (9–12 лет)} \quad (14.1)$$

$$ПТ = 1,205 - 0,078 \log \sum_{10} \text{складок (13–16 лет)} \quad (14.2)$$

Для девочек:

$$ПТ = 1,160 - 0,061 \log \sum_{10} \text{складок (9–12 лет)} \quad (14.3)$$

$$ПТ = 1,205 - 0,078 \log \sum_{10} \text{складок (13–16 лет)} \quad (14.4)$$

Так же существуют уравнения, позволяющие оценить ПТ детей 9-16 лет по величине 2-х КЖС (на задней поверхности плеча (КЖС_{трицепс}) и под лопаткой (КЖС_{спина})) [4] (15.1; 15.2; 15.3; 15.4):

Для мальчиков:

$$ПТ = 1,108 - 0,027 * \log \text{КЖС}_{\text{трицепс}} - 0,045 * \log \text{КЖС}_{\text{спина}} \text{ (9–12 лет)} \quad (15.1)$$

$$ПТ = 1,130 - 0,055 * \log \text{КЖС}_{\text{трицепс}} - 0,026 * \log \text{КЖС}_{\text{спина}} \text{ (13–16 лет)} \quad (15.2)$$

Для девочек:

$$ПТ = 1,088 - 0,014 * \log КЖС_{трицепс} - 0,036 * \log КЖС_{спина} \quad (9-12 \text{ лет}) \quad (15.3)$$

$$ПТ = 1,114 - 0,031 * \log КЖС_{трицепс} - 0,041 * \log КЖС_{спина} \quad (13-16 \text{ лет}) \quad (15.4)$$

Некоторые авторы, использовавшие уравнения для оценки ЖМТ% по плотности тела, указывали на ограничение использования прогностических формул при оценке жировой массы тела с учетом плотности тела у людей с некоторыми патологическими состояниями. Так в 1998 году *Johnston et al* [23] показали, что в связи с тем, что у индивидуумов с различными клиническими симптомами, в том числе патологиями легких, подводное взвешивание дает результаты, отличные от результатов условно здоровых людей, оценка жировой массы тела по формулам может быть искажена, даже с учетом того, что величины КЖС у девочек с легочной патологией (муковисцидоз) не отличались от таковых у девочек контрольной группы (величины КЖС у мальчиков с муковисцидозом значительно отличались от таковых у мальчиков группы контроля) [23]. При сумме 4-х КЖС ($\sum_{4кжс}$) равной у девочек контрольной группы ($n = 168$, возраст – 11 ± 2 года) 45 ± 21 мм и плотности тела, измеренной методом подводного взвешивания, равной $1,048 \pm 0,018$ кг/м³, ЖМТ по формуле *Siri* ($\%ЖМТ_{Siri}$) составила $22,6 \pm 7,5$ %, а по формуле *Lohman* ($\%ЖМТ_{Lohman}$) – $17,0 \pm 8,1$ %. В группе девочек с муковисцидозом ($n = 7$, возраст – 11 ± 2 года) $\sum_{4кжс}$ составляла 43 ± 21 мм, что лишь на 2 см в среднем отличается от группы контроля, но при этом ПТ была значительно больше ($1,072 \pm 0,02$ кг/м³), что отразилось на определении жировой массы: $\%ЖМТ_{Siri} = 12,0 \pm 8,4$ %, $\%ЖМТ_{Lohman} = 5,7 \pm 9,0$ %, что в 2 раза ниже, чем в группе контроля. У мальчиков контрольной группы ($n = 140$, возраст – 11 ± 2 года) $\sum_{4кжс}$ составляла 34 ± 16 мм, ПТ = $1,061 \pm 0,018$ кг/м³, что выше, чем у девочек контрольной группы, $\%ЖМТ_{Siri} = 16,5 \pm 7,9$ %, $\%ЖМТ_{Lohman} = 10,5 \pm 8,5$ %. В группе мальчиков с муковисцидозом ($n = 6$, возраст – 11 ± 2 года) $\sum_{4кжс}$ составляла 19 ± 2 мм, что в 1,5 раза в среднем отличается от группы контроля, и при этом ПТ была значительно больше ($1,125 \pm 0,019$ кг/м³), что отразилось на определении жировой массы тела и показало отрицательные значения: $\%ЖМТ_{Siri} = -10,0 \pm 7,5$ %, $\%ЖМТ_{Lohman} = -17,9 \pm 8,0$ %, что является показателем того, что формулы регрессии для определения ЖМТ% по плотности тела работают лишь при средних их значениях, полученных на условно здоровых индивидах и не пригодны для использования у людей с патологиями, в т.ч. с патологиями легких. Одним из возможных объяснений высоких значений плотности тела у детей с муковисцидозом была патология легочной функции. При сравнении жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и остаточного объема воздуха было показано, что мальчики имели большую ЖЕЛ и остаточный объем, чем девочки; при этом дети с муковисцидозом имели в 1,5 раза больший остаточный объем, чем условно здоровые дети [23].

Именно поэтому *Johnston et al* на основании своих исследований [23] разработали и в 1988 опубликовали уравнения прогноза, основанные на уравнениях [14, 18] (12.1; 12.2) (13.1; 13.2), которые можно использовать для оценки жировой массы тела у детей 8-14 лет, как условно здоровых (16.1; 16.2), так и больных муковисцидозом (16.3; 16.4):

$$\text{Условно здоровые мальчики: } ПТ_{Johnston\text{МАЛЬЧИКИ}} = 1,166 - 0,070 \log \sum_A \quad (16.1)$$

$$\text{Условно здоровые девочки: } ПТ_{Johnston\text{ДЕВОЧКИ}} = 1,144 - 0,060 \log \sum_A \quad (16.2)$$

$$\text{Мальчики с муковисцидозом: } ПТ_{Johnston\text{Ммuko}} = 1,279 - 0,121 \log \sum_A \quad (16.3)$$

$$\text{Девочки с муковисцидозом: } ПТ_{Johnston\text{Дмuko}} = 1,120 - 0,030 \log \sum_A \quad (16.4)$$

Уравнения прогноза для оценки компонентного состава тела детей и подростков на основе антропометрии.

Так же широкое применение нашли регрессионные уравнения, основанные только на антропометрических измерениях, в которых не используется показатель плотности тела (таблица 2) (18.1, 19, 20.1, 20.2, 21, 22).

Говоря о четырёхкомпонентных моделях состава тела человека, следует рассмотреть одну из первых теоретических моделей состава тела, предложенную Й. Матейкой в 1921 году (*Matiegka*) [27]. В этой модели (17) масса тела представлена в виде суммы масс *подкожной жировой ткани вместе с кожей* (ПЖТ), *скелетных мышц* (СММ), *скелета* (СМ) и *массы остатка* (МО), содержащего внутренние органы:

$$МТ = ПЖТ + СММ + СМ + МО \quad (17)$$

Matiegka взял за основу тканевой уровень строения тела [27]. С использованием ограниченного количества патологоанатомических данных он построил антропометрические формулы для оценки ПЖТ, СММ, СМ и МО:

$$ПЖТ = 0,065 * (d/6) * S \quad (18.1)$$

$$СММ = 6,5 * r^2 * ДТ \quad (18.2)$$

$$СМ = 1,2 * Q^2 * ДТ \quad (18.3)$$

$$МО = 0,206 * МТ \quad (18.4)$$

где МТ – масса тела, кг, ДТ – длина тела, см Величины ПЖТ, СММ, СМ и МТ выражаются в граммах, *d* – суммарная толщина шести кожно-жировых складок, мм, *S* – площадь поверхности тела,

3	<i>SKF Slaughter</i> <i>Slaughter et al (1988) [34]</i>	Дети и подростки	Мальчики: $\text{ЖМТ \%} = 0,735 (\text{КЖС}_{\text{трицепс}} + \text{КЖС}_{\text{голень}}) + 1,0$ Девочки: $\text{ЖМТ \%} = 0,61(\text{КЖС}_{\text{трицепс}} + \text{КЖС}_{\text{голень}}) + 5,1$	(20.1) (20.2)
4	<i>SKF Goran</i> <i>Goran et al (1996) [20]</i>	4-10 лет	Мальчики и девочки: $\text{ЖМТ кг} = (0,23 * \text{КЖС}_{\text{спина}}) + (0,18 * \text{МТ кг}) + (0,13 * \text{КЖС}_{\text{трицепс}}) - 3,0$ $\text{ЖМТ \%} = (\text{ЖМТ кг} * 100) / \text{МТ кг}$	(21)
5	<i>SKF Dezenberg</i> <i>Dezenberg et al (1999) [14]</i>	4-11 лет	Мальчики и девочки: $\text{ЖМТ (кг)} = 0,38 * \text{МТ, кг} + (0,30 * \text{КЖС}_{\text{трицепс}}) + (0,87 * \text{Пол} + 0,81) + (0,81 * \text{этническая принадлежность}) - 9,42$	(22)
6	<i>SKF Bray</i> <i>Bray et al (2001) [9]</i>	10-12 лет	Мальчики и девочки: $\text{ЖМТ \%} = 7,66 + (0,22 * \text{КЖС}_{\text{спина}}) + (0,21 * \text{КЖС}_{\text{бедро}}) + (0,64 * \text{КЖС}_{\text{бицепс}}) + (0,31 * \text{КЖС}_{\text{голень}})$	(23)

Далее в 1988, 1996, 1999 и в 2001 года был разработан ряд формул [9, 14, 20, 34], в том числе и с учетом пола и этнической принадлежности [14]. Например, в 1999 году *Dezenberg et al* для детей от 4 до 11 лет разных этнических групп в зависимости от пола при общем содержании жира в теле до 30 кг предложили следующую формулу (22):

$$\text{ЖМТ (кг)} = 0,38 * \text{МТ, кг} + (0,30 * \text{КЖС}_{\text{трицепс}}) + (0,87 * \text{Пол} + 0,81) + (0,81 * \text{этническая принадлежность}) - 9,42, \quad (22)$$

где Пол = 1 (мужской), 2 (женский);

этническая принадлежность = 1 (европеоиды), 2 (афроамериканцы)

Выводы.

1. Все уравнения, основанные как на антропометрии, так и на биоимпедансометрии, недооценивают количество ЖМТ% по сравнению с методом рентгеновской денситометрии, взятым за эталонный при оценке состава тела. Следовательно, три метода оценки жировой массы тела (*SKF*, *BIA* и *DEXA*) не являются взаимозаменяемыми.

2. Неотъемлемым правилом корректной работы регрессионных уравнений для оценки жировой или тощей массы тела у детей и подростков является использование их на людях или группах людей, максимально приближенных к выборке, на которой было разработано регрессионное уравнение. Поскольку прогностические уравнения разрабатываются на определенной выборке, имеющей определенный возраст, пол, антропометрический профиль, расовую принадлежность и содержание жирового компонента тела, любая попытка рассчитать количество жира по определенной формуле у детей, отличающихся от первоначальной популяции, может привести к недооценке или переоценке жирового компонента тела, т.е. к вполне ожидаемому смещению оценок, на что следует обращать особое внимание.

3. На показатели измеряемого биоэлектрического импеданса влияют такие факторы как статус гидратации организма, интервала между физической нагрузкой и измерением, а так же интервал между приемом пищи и измерением, т.к. было показано, что нарушение стандартных условий измерения влияют на результаты измерения электрического импеданса тела.

4. Экстремальная полнота или худоба, этническая принадлежность, нарушения гидратации, измерения импеданса тела сразу после физических упражнений или приема пищи могут увеличивать величину ошибок прогнозирования ЖМТ и ТМТ у детей и подростков по сравнению со значениями SEE, найденными в оригинальных исследованиях, из которых взяты уравнения прогноза для оценки по методу измерения биоэлектрического импеданса.

Заключение. Почему же уравнения прогноза работают неодинаково на разных группах детей?

Авторами *Noradilah et al (2016) [28]* было высказано предположение о том, что дети разных рас и национальностей отличаются друг от друга как по содержанию общего жира в организме, так и по соотношению подкожного и висцерального жира организма. Так авторы предполагают, что основной принцип определения ЖМТ по уравнениям КЖС основан на предположении, что подкожный жир является репрезентативным для оценки общего жира организма. Однако соотношение подкожного жира к общему жиру у малайских детей может отличаться по сравнению с детьми европеоидной расы, на которых было разработано оригинальное уравнение *SKF_{Johnston} [Johnston et al., 23]*. Малайские дети в исследовании *Noradilah et al [28]*, вероятно, имеют больше висцерального жира или же иной характер распределения подкожного жира, на что указывает более высокие значения у них окружности талии по сравнению с детьми из других стран, что вызывает крайне высокую недооценку ЖМТ% по уравнению *SKF_{Johnston}*. В добавок ко всему вышесказанному важным является применение методик проведения антропометрических измерений, в частности измерения толщин КЖС (важное значение имеет как сам инструмент (кали-

пер), которым проводится измерение, так и место захвата КЖС). Так было показано, что от качества и класса калипера зависит результат измерения КЖС [5].

Литература

1. Анисимова А.В. К вопросу об использовании формул Матейки для определения жировой компоненты массы тела. Методические рекомендации (краткое сообщение) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2021. № 3. С. 27-32.
2. Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И., Чтецов В.П. Методические проблемы изучения вариаций подкожного жира // Вопросы антропологии, 1970. Вып. 36. С. 32–53.
3. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. Москва: Наука, 2006. 248 с.
4. Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г., Николаев Д.В. Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе : учеб. пособие. Москва: Физическая культура, 2009. 144.
5. Руднев С.Г., Анисимова А.В., Синдеева Л.В., Задорожная Л.В., с соавт. Методические вопросы изучения вариаций подкожного жира: сравнение различных типов калиперов // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2017. № 3. С. 4–26.
6. Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А., Николаев Д.В., Старунова О.А., Черных С.П., Ерюкова Т.А., Колесников В.А., Мельниченко О.А., Пономарёва Е.Г. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. Москва: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с.
7. Behnke A.R., Feen B.G., Welham W.C. The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942 // *Obes. Res.* 1995. V. 3, № 3. P. 295–300.
8. Boileau R.A., Lohman T.O., Slaughter M.H., Ball T.E., Going S.B., Hendrix M.K. Hydration of the fat-free body in children during maturation // *Human Biol.* 1984. No. 56, P. 651-66.
9. Bray G.A., DeLany J.P., Harsha D.W., Volaufova J., Champagne C.C. Evaluation of body fat in fatter and leaner 10-y-old African American and white children: the Baton Rouge Children's Study // *Am J Clin Nutr.* 2001. No. 73, P. 687-702.
10. Cleary J., Daniells S., Okely A.D., Batterham M., Nicholls J. Predictive Validity of Four Bioelectrical Impedance Equations in Determining Percent Fat Mass in Overweight and Obese Children // *Journal of the American Dietetic Association.* 2008. No. 108(1), P. 136–139. doi:10.1016/j.jada.2007.10.004
11. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity // *Am J Clin Nutr.* 1996; Suppl 64, P. 449-452.
12. Deurenberg P., Kusters C.S.L., Smit H. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent // *Eur J Clin Nutr.* 1989. No. 44, P. 261-268.
13. Deurenberg P., Van Der Kooy K., Leenan R., Weststrate J.A., Seidell J.C. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: A cross validation study // *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1991. No. 15, P. 17-25.
14. Dezenberg C., Nagy T., Gower B., Johnson R., Goran M. Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children // *International Journal of Obesity.* 1999. No. 23(3), P. 253–259. doi:10.1038/sj.ijo.0800802
15. Drinkwater B.L., Nilson K., Ott S., Chesnut C.H. Bone Mineral Density After Resumption of Menses in Amenorrheic Athletes // *JAMA: The Journal of the American Medical Association.* 1986. No. 256(3), P. 380. doi:10.1001/jama.1986.03380030082032
16. Drinkwater D.T., Ross W.D. Anthropometric fractionation of body mass // In *International Series on Sports Sciences.* 1980. Vol. IX: Kinanthropometry II (edited by M. Ostin, G. Beunen and J. Simons), P. 178-89. Baltimore, Md.: University Park Press.
17. Durnin J.V., Rahaman M.M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness // *British Journal of Nutrition.* 1967. No. 21(3), P. 681–689.
18. Durnin J.V., Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years // *British Journal of Nutrition.* 1974. No. 32(1), P. 77–97
19. Goran M.I. Measurement issues related to studies of childhood obesity: Assessment of body composition, body fat distribution, physical activity, and food intake // *Pediatrics.* 1998. No.101, P. 505-518.
20. Goran M.I., Driscoll P., Johnson R., Nagy T.R., Hunter G. Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children // *Am J Clin Nutr.* 1996. No. 63, P. 299-305.
21. Heyward V.H., Stolarczyk L.M. Applied body composition assessment // Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. 222 p.
22. Houtkooper L., Going S., Lohman T., Roche A.F., Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study // *J Appl Physiol.* 1992. No. 72, P. 366-373.
23. Johnston J., Leong M., Checkland E.G., Zuberbuhler P.C., Conger P.R., Quinney H.A. Body fat assessed from body density and estimated from skinfold thickness in normal children and children with cystic fibrosis // *Am J Clin Nutr.* 1988. No. 48, P. 1362-1366.
24. Katch F., Michael E.D., Horvath S.M. Estimation of body volume by underwater weighing: description of a simple method // *Journal of Applied Physiology.* 1967. No. 23(5), P. 811–813. doi:10.1152/jappl.1967.23.5.811
25. Kushner R., Schoeller D., Fjeld C., Danford L. Is the impedance index (ht^2/R) predicting total body water? // *Am J Clin Nutr.* 1992. No.56, P. 835-839.

26. Lohman T.O., Slaughter M.H., Boileau R.A., Bunt J., Lussier L. Bone mineral measurements and their relation to body density in children, youth and adults // *Hum Biol.* 1984. No. 56, P. 667-679 .
27. Matiegka J. The testing of physical efficiency // *American Journal of Physical Anthropology.* 1921. No. 4, P. 223-230.
28. Noradilah M.J., Ang Y.N., Kamaruddin N.A. , Deurenberg P., Ismail M.N., Poh B.K. Assessing Body Fat of Children by Skinfold Thickness, Bioelectrical Impedance Analysis, and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry: A Validation Study Among Malay Children Aged 7 to 11 Years // *Asia Pac J Public Health.* 2016. Suppl 28(5), P. 74-84. doi: 10.1177/1010539516641505.
29. Okasura K., Takaya R., Tokuda M., Fukunaga Y., Oguni T., Tanaka H., Konishi K., Tamai H. Comparison of bioelectrical impedance analysis and dual energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in children // *Pediatr Int.* 1999. No. 69, P. 904-912.
30. Rush E.C., Puniani K., Valencia M.E., et al. Estimation of body fatness from body mass index and bioelectrical impedance: comparison of New Zealand European, Maori and Pacific Island children // *Eur J Clin Nutr.* 2003. No. 57, P. 1394-1401 .
31. Schaefer F., Georgi A., Zieger A., Scharer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children // *Pediatr Res.* 1994. No. 35, P. 617-624.
32. Segal R.R., Van Loan M., Fitzgerald P.I., Hodgdon J.A., Van Itallie T.B. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study // *Am. J. Clin. Nutr.* 1988. No. 47, P. 7-14 .
33. Siri W.E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods // National Research Council. *Techniques for measuring body composition.* Washington, DC: National Academy Press. 1961, P. 223-244.
34. Slaughter M., Lohman T., Boileu R., et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth // *Hum Biol.* 1988. No. 60, P. 709-723.

References

1. Anisimova AV. K voprosu ob ispol'zovanii formul Matejki dlya opredeleniya zhirovoj komponenty massy tela. Metodicheskie rekomendacii (kratkoe soobshchenie) [About the using of Matiegka's formulas to evaluate the fat component of body mass. Technical recommendations (short communication)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya.* 2021;3:27-32. Russian.
2. Lutovinova NYu., Utkina MI., Chtetsov VP. Metodicheskie problemy izucheniya variacij podkozhnogo zhira [Methodological problems of studying subcutaneous fat variations]. *Voprosy antropologii.* 1970;36:32–53. Russian.
3. Martirosov EG, Nikolaev DV, Rudnev SG. Tekhnologii i metody opredeleniya sostava tela cheloveka [Technologies and methods for determining the composition of the human body]. Moscow: Nauka, 2006. 248 p. Russian.
4. Martirosov EG, Rudnev SG, Nikolaev DV. Primenenie antropologicheskikh metodov v sporte, sportivnoj medicine i fitнесе : ucheb. posobie [Application of anthropological methods in sports, sports medicine and fitness: textbook. allowance.] Moscow: Fizicheskaya kul'tura, 2009. 144 p. Russian.
5. Rudnev SG, Anisimova AV, Sineeveva LV, Zadorozhnaya LV, Lukina SS et al. Metodicheskie voprosy izucheniya variacij podkozhnogo zhira: sravnenie razlichnyh tipov kaliperov [Methodological issues of studying variations in subcutaneous fat: a comparison of different types of skinfold calipers]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya,* 2017;3:4–26. Russian.
6. Rudnev SG, Soboleva NP, Sterlikov SA, Nikolaev DV, Starunova OA, Chernykh SP, Eryukova TA, Kolesnikov VA, Melnichenko OA, Ponomareva EG. Bioimpedansnoe issledovanie sostava tela naseleniya Rossii [Bioimpedance study of body composition in the Russian population]. Moscow: RIO CNIIOIZ, 2014. 493 p. Russian.
7. Behnke AR, Feen BG, Welham WC. The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942. *Obes. Res.* 1995;3:295–300.
8. Boileau RA, Lohman TO, Slaughter MH, Ball TE, Going SB, Hendrix MK. Hydration of the fat-free body in children during maturation. *Human Biol.* 1984;56:651-66.
9. Bray GA, DeLany JP, Harsha DW, Volaufova J, Champagne CC. Evaluation of body fat in fatter and leaner 10-y-old African American and white children: the Baton Rouge Children's Study. *Am J Clin Nutr.* 2001;73:687-702.
10. Cleary, J., Daniells S, Okely AD, Batterham M, Nicholls J. Predictive Validity of Four Bioelectrical Impedance Equations in Determining Percent Fat Mass in Overweight and Obese Children. *Journal of the American Dietetic Association.* 2008;108(1):136–139. doi:10.1016/j.jada.2007.10.004
11. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:449-452.
12. Deurenberg P, Kusters CSL, Smit H. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent. *Eur J Clin Nutr.* 1989;44:261-268.
13. Deurenberg P, Van Der Kooy K, Leenan R, Weststrate JA, Seidell JC. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: A cross validation study. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1991;15:17-25.

14. Dezenberg C, Nagy T, Gower B, Johnson R, Goran M. Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children. *International Journal of Obesity*. 1999;23(3): 253–259. doi:10.1038/sj.ijo.0800802
15. Drinkwater BL, Nilson K, Ott S, Chesnut CH. Bone Mineral Density After Resumption of Menses in Amenorrheic Athletes. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*. (1986;256(3):380. doi:10.1001/jama.1986.03380030082032
16. Drinkwater DT, Ross, WD. Anthropometric fractionation of body mass. In *International Series on Sports Sciences*. 1980;Vol. IX: Kinanthropometry II (edited by M. Ostyn, G. Beunen and J. Simons):178-89. Baltimore, Md.: University Park Press.
17. Durnin JV, Rahaman MM. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition*. 1967;21(3):681–689.
18. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*. 1974;32(1):77–97.
19. Goran MI. Measurement issues related to studies of childhood obesity: Assessment of body composition, body fat distribution, physical activity, and food intake. *Pediatrics*. 1998;101:505-518.
20. Goran MI, Driscoll P, Johnson R, Nagy TR, Hunter G. Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children. *Am J Clin Nutr*. 1996;63:299-305.
21. Heyward VH., Stolarczyk LM. Applied body composition assessment. Champaign, IL: Human Kinetics. 1996, 222 p.
22. Houtkooper L, Going S, Lohman T, Roche AF, Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J Appl Physiol*. 1992;72:366-373.
23. Johnston J, Leong M, Checkland EG, Zuberbuhler PC, Conger PR, Quinney HA. Body fat assessed from body density and estimated from skinfold thickness in normal children and children with cystic fibrosis. *Am J Clin Nutr*. 1988;48:1362-1366.
24. Katch F, Michael ED, Horvath SM. Estimation of body volume by underwater weighing: description of a simple method. *Journal of Applied Physiology*. 1967;23(5):811–813. doi:10.1152/jappl.1967.23.5.811
25. Kushner R, Schoeller D, Fjeld C, Danford L. Is the impedance index (ht^2/R) predicting total body water? *Am J Clin Nutr*. 1992;56:835-839.
26. Lohman TO, Slaughter MH, Boileau RA, Bunt J, Lussier L. Bone mineral measurements and their relation to body density in children, youth and adults. *Hum Biol*. 1984; 56:667-679.
27. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology*. 1921;4:223-230.
28. Noradilah MJ, Ang YN, Kamaruddin NA, Deurenberg P, Ismail MN, Poh BK. Assessing Body Fat of Children by Skinfold Thickness, Bioelectrical Impedance Analysis, and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry: A Validation Study Among Malay Children Aged 7 to 11 Years. *Asia Pac J Public Health*. 2016;28(5):74-84. doi: 10.1177/1010539516641505.
29. Okasura K, Takaya R, Tokuda M, Fukunaga Y, Oguni T, Tanaka H, Konishi K, Tamai H. Comparison of bioelectrical impedance analysis and dual energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in children. *Pediatr Int*. 1999;69:904-912.
30. Rush EC, Puniani K, Valencia ME, et al. Estimation of body fatness from body mass index and bioelectrical impedance: comparison of New Zealand European, Maori and Pacific Island children. *Eur J Clin Nutr*. 2003;57:1394-1401.
31. Schaefer F, Georgi A, Zieger A, Scharer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatr Res*. 1994;35:617-624.
32. Segal RR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr*. 1988;47:7-14.
33. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *National Research Council. Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: National Academy Press. 1961:223-44.
34. Slaughter M, Lohman T, Boileu R, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*. 1988;60:709-723.

Библиографическая ссылка:

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. №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 ROJKJQ*

Bibliographic reference:

Vybornaya KV, Nikityuk DB. Uravneniya dlja opredelenija zhirovoy 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)]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2023 [cited 2023 Oct 25];5 [about 12 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-5/2-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-5-2-4. EDN ROJKJQ

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-5/e2023-5.pdf>

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