

УДК 572.087+57.089.2

АНАЛИЗ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИРОВОЙ И БЕЗЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ И УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ В ГРУППЕ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ

© 2023 г. Э. А. Бондарева^{1, *}, О. И. Парфентьева^{1, 2}, А. А. Васильева^{1, 2}, Н. А. Кулемин¹, Е. В. Попова³, А. Н. Гаджихмедова^{1, 4}, О. Н. Ковалева⁴, Н. Н. Хромов-Борисов⁵

¹ФГБУ Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины имени академика Ю.М. Лопухина ФМБА, Москва, Россия

²ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, Москва, Россия

³ФГБОУ ВО Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия

⁴ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава РФ (Сеченовский университет), Москва, Россия

⁵ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: Bondareva.E@gmail.com

Поступила в редакцию 05.12.2022 г.

После доработки 06.03.2023 г.

Принята к публикации 07.03.2023 г.

Проведен анализ воспроизводимости оценок абсолютных значений жировой (ЖМ) и безжировой массы (БЖМ) тела, а также доли ЖМ (%ЖМ), полученных с применением двух различных косвенных методов: биоимпедансометрии и ультразвукового сканирования в группе молодых взрослых. Для оценки воспроизводимости результатов определения состава тела, получаемых с применением биоимпедансного анализатора ABC-02 “Медасс” и ультразвукового сканера *BodyMetrix*TM были проведены повторные измерения каждым прибором в группе взрослых мужчин и женщин. Проведенный анализ свидетельствует о надежности получаемых оценок как на групповом, так и на индивидуальном уровнях и высокой воспроизводимости для методов ультразвукового исследования и биоимпедансного анализа, реализованных в данных приборах. Были выявлены сильные статистически значимые положительные корреляционные связи между оценками состава тела, полученными с применением ABC-02 “Медасс” и *BodyMetrix*TM, а также между повторными измерениями каждым из приборов. Проведенный анализ для приборов ABC-02 “Медасс” и *BodyMetrix*TM свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов измерения ЖМ и БЖМ у молодых мужчин и женщин. Особенно хорошо воспроизводятся результаты измерения БЖМ.

Ключевые слова: состав тела, жировая масса, безжировая масса, ультразвук, биоимпедансометрия, воспроизводимость, повторные измерения.

DOI: 10.31857/S0131164622601002, **EDN:** XBHLIW

Количественное определение компонентов массы тела необходимо в рутинной практике врачей, специалистов в сфере физической культуры и спорта, антропологов [1]. Для решения данной задачи используются различные методы определения состава тела, значительно различающиеся по степени безопасности, точности, стоимости и ограничениям. В качестве эталонных методов (“золотой стандарт”) признаны воздушнотелесная плетизмография, методы компьютерной томографии, двухэнергетическая рентгенов-

ская абсорбциометрия. Однако, несмотря на меньшую точность, косвенные методы — биоимпедансный анализ (БИА), калиперометрия, ультразвуковое сканирование — получили значительно более широкое распространение в связи с быстротой и низкой стоимостью процедур, отсутствием потенциально вредных воздействий на организм, мобильностью, применимостью в широком возрастном диапазоне [1]. На территории РФ и в мире повсеместное распространение получил метод биоимпедансометрии. Для населе-

ния Российской Федерации собраны обширные популяционные данные о составе тела населения с применением отечественного оборудования для импедансного анализа (АВС “Медасс”, НТЦ Медасс, Россия), которым оснащены не только профильные институты, но и сеть государственных центров здоровья [2].

Наличие металлических имплантов, кардиостимулятора, прием некоторых медикаментов являются противопоказаниями к проведению БИА, а ультразвукового исследования (УЗИ) свободно от допусков и ограничений БИА. Ультразвук используется для количественного определения состава тела с середины 20 в. [3]. В отличие от калиперометрии УЗИ-сканер фиксирует толщину кожно-жировых складок в несдавленном состоянии. Тем самым он точнее определяет границу подкожной жировой клетчатки и скелетной мышцы, нивелирует влияние индивидуальных особенностей обследуемых, и в целом повышает точность и надежность оценок [3]. Популярным оборудованием для ультразвукового сканирования с целью определения состава тела является *BodyMetrixTM* (IntelMetrix, США). Данный прибор использует амплитудный режим (А-режим), поставляется с программным обеспечением для автоматического сбора исходных данных и расчета ЖМ и БЖМ на основе одиннадцати различных уравнений [4]. На территории РФ *BodyMetrixTM* применяется недавно [5].

Остается, однако, открытым вопрос о надежности получаемых оценок на групповом и индивидуальном уровне, в частности о воспроизводимости получаемых значений компонентов состава тела, используемых далее для диагностических целей [6, 7]. В частности, данные об оценке точности и воспроизводимости измерений, выполненных для анализаторов водных секторов тела “Медасс” в научной литературе, отсутствуют. Только в одном исследовании проведена оценка согласованности данных о составе тела, получаемых с применением АВС-01 “Медасс” и оборудования японского производителя [8].

В связи с этим целью исследования явился анализ воспроизводимости оценок абсолютных значений ЖМ и БЖМ, а также доли ЖМ, полученных с применением российского оборудования для биоимпедансометрии (АВС-02 “Медасс”) и ультразвукового сканера *BodyMetrixTM* (IntelMetrix, США) в группе молодых (18–44 года по классификации ВОЗ) мужчин и женщин.

МЕТОДИКА

Общая характеристика выборки. На базе НИИ и Музея антропологии МГУ им. М.В. Ломоносова в 2020–2021 гг. было проведено одномоментное, одноцентровое, обсервационное антропо-

метрическое обследование 45 добровольцев. Из них 24 женщины в возрасте от 18 до 35 лет и 21 мужчина в возрасте от 18 до 35 лет. Программа обследования включала измерение длины тела (антропометр КАФА, Россия) и массы тела (*Seca*, Германия), обхватов талии и бедер неэластичной лентой, определение состава тела с применением ультразвукового сканера *BodyMetrixTM* (IntelMetrix, США) и биоимпедансного анализатора (АВС-02 “Медасс”, НТЦ Медасс, Россия). В ходе анкетирования были установлены этническая принадлежность обследованных и уровень физической активности (наличие спортивного звания, наличие регулярных физических нагрузок и их интенсивность). Для анализа были использованы данные о составе тела только тех испытуемых, которые на момент исследования не занимались спортом чаще трех раз в неделю и не являлись профессиональными спортсменами. Для оценки воспроизводимости результатов определения состава тела, получаемых с применением АВС-02 “Медасс” и *BodyMetrixTM* были проведены повторные измерения каждым прибором. Обследование проводилось одним и тем же сотрудником в течение всего периода сбора данных. Временной промежуток между процедурами БИА и УЗИ при обследовании конкретного добровольца не превышал 15 мин. Временной промежуток между повторными измерениями на АВС-02 “Медасс” был не менее 35 мин. В начале каждого дня обследований проводили измерение активного и реактивного сопротивления на эквивалентной схеме, поставляемой производителем в комплекте с АВС-02 “Медасс”. Измеренные значения активного (R_c) и реактивного (X_c) сопротивлений отличались от эквивалентных менее чем на 1%. При помощи программного обеспечения АВС01-0362 были определены жировая масса (ЖМ, кг), доля жировой массы (%ЖМ) и безжировая масса (БЖМ, кг).

Оценка состава тела с применением ультразвукового сканера *BodyMetrixTM*. В ходе процедуры сканирования (УЗИ) происходит измерение толщины подкожного жира [4], набор которого определяется выбранной исследователем формулой расчета состава тела. Контактной средой для сканера *BodyMetrixTM* использовали гель для УЗИ средней вязкости “Медигель” (ООО “Гельтек-Медика”, Россия). Измерения проводили по правой стороне тела в положении обследуемого стоя. Толщину подкожного жира фиксировали в семи точках необходимых для вычисления компонентного состава тела по формулам Джексона–Поллока [9, 10], реализованным в программном обеспечении *BodyViewProFit* (IntelMetrix, Inc., США).

Оценка состава тела с применением биоимпедансного анализатора (АВС-02 “Медасс”). БИА выполняли при частоте зондирующего тока 50 кГц по стандартной тетраполярной схеме “запястье –

голеностопный сустав” с использованием биоадгезивных электродов (F3001 FIAB, Италия) на правой стороне тела при положении испытуемых лежа на спине [11].

Обоснование и описание использованных статистических методов и программ. При проведении статистического анализа данных мы руководствовались современными международными (ICMJE) (<https://www.icmje.org/recommendations/>) и отечественными (СКЖ) (https://scardio.ru/content/publication/Buklet_150_x_150_v3.pdf) рекомендациями. Согласно им для всех оцениваемых показателей и параметров вычисляли доверительные интервалы (ДИ). Традиционно использовали 95%-й уровень доверия. Для большинства вычислений использовали наиболее надежные алгоритмы бутстрепа [12] и Монте-Карло (<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>). Они намного более свободны от предположений и ограничений, присущих традиционным методам статистических описаний и сравнений. В частности, не требуется проверка согласия мерных данных с нормальным распределением. При статистических сравнениях не ограничивались вычислениями p -значений, но оценивали стандартизированный размер эффекта по Коуэну (d_c) и бейзовы¹ факторы BF . Заслуживающими внимания признано считать размеры эффекта, нижняя граница 95%-х ДИ для которых превышает значение $d_c = 1$ [13]. Бейзовы факторы в отличие от p -значений показывают, как различаются апостериорные и априорные шансы в пользу альтернативной гипотезы против нулевой гипотезы. Заслуживающими внимания в пользу альтернативной гипотезы принято считать значения $BF_{10} > 10$ и $BF_{01} > 10$ — в пользу нулевой гипотезы. Еще один принцип — активно применять графические методы статистического анализа, которые повышают информативность и интерпретируемость результатов статического анализа [13]. Использовали графики Гарднера-Альтмана для визуализации сравнения парных измерений, и для демонстрации их согласованности — графики Бланда-Олтмена² (<https://huuygens.science.uva.nl/BA-plotter/>) и регрессию Пассинга-Баблока (www.acomed-statistik.de).

При анализе согласованности повторных измерений руководствовались международными стандартами (CLSI EP09-A3 и ГОСТ Р 50779.60-

2017 (ИСО 13528:2015) и “Руководством по составлению отчетов об исследованиях надежности и согласованности (GRRAS)” [14]. В частности, использовали робастный непараметрический метод — регрессию Пассинга-Баблока (CLSI) и преобразование исходных значений в стандартизированные z -индексы (ГОСТ). Стандартизация позволяет представлять в одних и тех же единицах измерения (единицах стандартного отклонения, в “сигмах”) значения величин с исходно разными единицам измерения (например, кг и %). В качестве меры согласованности использовали коэффициент конкордантной корреляции Лина (CCC — Lin’s concordance correlation coefficient) (<https://www.jamovi.org>). Метод принято считать пригодным для исследовательской и клинической практики (надежным), когда нижняя граница 95%-го ДИ для CCC > 0.99 [15]. Эти значения рекомендуется сопоставлять с полушириной интервала согласия на графиках Бланда-Олтмана [16], выраженной в процентах от среднего. Когда она составляет менее 5% (соответствует CCC = 0.99), то согласие между повторными измерениями и воспроизводимостью результатов можно признать очень хорошими [15].

Иногда в разных программах используются различающиеся формулы и алгоритмы. Поэтому в некоторых случаях результаты вычислений, полученные в одной программе, сверяли с результатами, получаемыми в других программах. Так, например, оказалось, что в пакете JASP (<https://jasp-stats.org/>) для вычисления размера эффекта для повторных измерений использовали неверную формулу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общая антропометрическая характеристика обследованной выборки. Группы были сбалансированы по возрасту и практически не отличались по этому признаку: женщины $_{17.5}^{17.9}$ $_{18.3}^{18.3}$ лет, и мужчины $_{17.6}^{18.6}$ $_{19.9}^{19.9}$ лет. Различия между подгруппами мужчин и женщин наблюдались по массе тела ($_{55}^{57}$ $_{60}^{60}$ кг для женщин и $_{68}^{75}$ $_{81}^{81}$ кг для мужчин) и по длине тела ($_{164}^{167}$ $_{170}^{170}$ см для женщин и $_{177}^{179}$ $_{181}^{181}$ см для мужчин).

Анализ воспроизводимости результатов определения ЖМ, %ЖМ и БЖМ, полученных с использованием ABC-02 “Медасс” и BodyMetrixTM. Анализ воспроизводимости был выполнен в 45 парах для ABC-02 “Медасс” и 44 парах для BodyMetrixTM. Анализ корреляционных связей между оценками состава тела, полученными с применением ABC-02 “Медасс” и BodyMetrixTM, а также между повторными измерениями каждым из приборов выявил сильные статистически значимые положительные корреляционные связи. На рис. 1 представлены индивидуальные значения и размер эффек-

¹ В русском языке принята фонетическая транскрипция иностранных имен и фамилий (“как слышится, так и пишется”) [3]. Фамилия Bayes произносится как Бейз (/beiz/). Прослушать можно здесь: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/De-Thomas_Bayes.ogg В отечественной научной литературе нет единообразия в написании это фамилии. В нематематических текстах — это Байес, в математических энциклопедиях — Бейес. Авторы предпочитают следовать рекомендациям лингвистов.

² Транскрипция в соответствии с принятыми в России рекомендациями, упомянутыми в сноске 1.

та для ЖМ, %ЖМ и БЖМ, полученные в повторных измерениях. Результаты анализа различий оценок компонентов состава тела, полученных в повторных измерениях представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 1–3.

На рис. 2 представлен графический анализ согласованности повторных измерений.

Для значений ЖМ, %ЖМ и БЖМ, полученных с применением *BodyMetrix*TM можно констатировать высокий уровень воспроизводимости: разница средних значений для ЖМ и БЖМ составила 0.01 кг, и 0.01% для %ЖМ. 95% ДИ для параметров положения и размеров эффекта ЖМ, %ЖМ и БЖМ накрывают безразличное значение для разности средних ($MD = 0$), что свидетельствует об отсутствии значимых различий между сериями измерений. Для значений ЖМ, %ЖМ и БЖМ, полученных с применением ABC-02 “Медасс”, получены статистически значимые различия между сериями измерений. Тем не менее, разность средних значений составила 0.09 кг для значений ЖМ и БЖМ и 0.14% для %ЖМ, что, следует признать, пренебрежимо малым различием (табл. 1 и 2).

Анализ согласованности оценок компонентов состава тела представлен на рис. 3. Видно, что регрессионные прямые совпадают или практически совпадают с линией идеальной согласованности ($CCC = 1$) и ДИ достаточно узкие. Значения CCC для каждой пары измерений можно оценить как высокие (CCC от 0.95 до 0.99) и практически идеальные (CCC от 0.99 до 1) [15].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Косвенные методы определения состава тела являются удобными и недорогими аналогами эталонных методов и применяются в прикладных и фундаментальных исследованиях. В настоящем исследовании впервые приводятся результаты анализа воспроизводимости данных о составе тела, полученных при помощи ультразвукового сканера *BodyMetrix*TM (*IntelaMetrix, Inc.*, США) и российского биоимпедансного оборудования (ABC-02 “Медасс”, Медасс, Россия) в группах молодых добровольцев (21 мужчина и 24 женщины). Проведенный анализ свидетельствует о надежности получаемых оценок как на групповом, так и на индивидуальном уровнях и высокой воспроизводимости для методов УЗИ и БИА, реализованных в приборах *BodyMetrix*TM и ABC-02 “Медасс”. Ранее проведенные исследования свидетельствуют о высоком уровне воспроизводимости значений БЖМ и %ЖМ для биоимпедансных анализаторов корейского производства [17]. Коэффициенты корреляции составили 0.997 и 0.998 для %ЖМ и БЖМ соответственно [18]. Аналогично высокий уровень воспроизводимости был по-

казан для БИА китайского и немецкого производства в группе мужчин и женщин в возрасте от 20 до 60 лет [19]. По нашим данным коэффициент конкордантной корреляции Лина $CCC = 0.95$ 0.99 1.00 для *BodyMetrix*TM и 0.97 0.99 1.00 для ABC-02 “Медасс”. Таким образом, ABC-02 “Медасс” аналогичен устройствам других производителей демонстрирует высокий уровень воспроизводимости значений ЖМ, %ЖМ и БЖМ в повторных измерениях. Однако, как упоминалось выше, при повторном измерении на ABC-02 “Медасс” наблюдается систематическое смещение оценок БЖМ. Оно практически ничтожное, но статистически значимое. Вероятно, времени, которое добровольцы проводили в вертикальном положении между измерениями, было недостаточно для возвращения распределения жидкости в начальное состояние. Аналогичный результат был получен при анализе воспроизводимости БИА японского производителя: на фоне высокого уровня воспроизводимости, результаты измерений в одно и то же время, но в разные дни были более согласованными, по сравнению с двумя последовательными измерениями в один день [20].

В объединенной группе взрослых с применением *BodyMetrix*TM выявлена хорошая воспроизводимость результатов определения %ЖМ. Лучшие результаты повторных оценок данного показателя были отмечены в подгруппе мужчин [21]. Лучшая воспроизводимость результатов определения %ЖМ достигалась при использовании максимального числа анатомических точек, в которых производится измерение толщины подкожного жира [22, 23], т.е., когда расчет проводился по формулам Джексона–Поллока для семи складок. В исследовании взрослых без избыточной массы тела был показан очень высокий уровень воспроизводимости результатов определения %ЖМ для *BodyMetrix*TM [24]. Отличная воспроизводимость результатов определения состава тела ЖМ, %ЖМ и БЖМ вне зависимости от измеряющего была показана для *BodyMetrix*TM в том числе у пациентов со сниженным уровнем физической активности в послеоперационном периоде [25]. Нечувствительность результатов определения состава тела для метода ультразвукового сканирования в отличие от калиперометрии к уровню подготовки измеряющего была также показана в работе [26].

К ограничениям данного исследования можно отнести относительно невысокую численность добровольцев с недостаточной массой тела, пожилых испытуемых, а также добровольцев с избыточной массой тела и ожирением. Поскольку представленные для *BodyMetrix*TM результаты были получены с применением формул для семи жировых складок, однако программное обеспечение позволяет использовать также формулы для

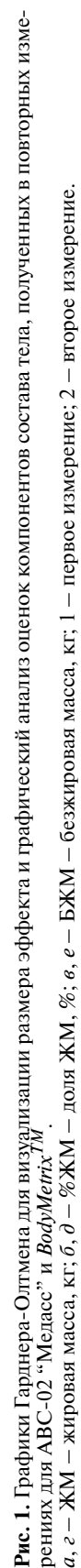


Таблица 1. Результаты статистического анализа данных, полученных с использованием биоимпедансного анализатора ABC-02 “Меласс”

Признак	Повторность	Символ	Пол		Показатели различия							
			мужчины	женщины	$MD_{M, F}$	$p_{M, F}$	$BF_{M, F}$	$MD_{1, 2}$	$p_{1, 2}$	$BF_{1, 2}$	ES_{TS}	
Жировая масса, кг	1	M_1	$10^{13\ 17}$	$13^{15\ 17}$	$-3\ 2\ 6$	0.53	0.35	$0.5\ 0.7\ 0.9$	10^{-8}	2×10^6	$0.06\ 0.09\ 0.13$	
	2	M_2	$10^{14\ 18}$	$13^{15\ 17}$	$-3\ 1\ 6$	0.59	0.34					
		$MD_{2, 1}$	$0.4\ 1.0\ 1.1$	$0.4\ 0.0\ 0.8$								
		$p_{2, 1}$	3×10^{-5}	10^{-5}								
		$BF_{2, 1}$	223	2870								
		$ES_{2, 1}$	$0.02\ 0.08\ 0.15$	$0.08\ -0.13\ 0.20$								
Доля жировой массы, %	1	M_1	$13^{16\ 20}$	$23^{25\ 27}$	$5\ 9\ 13$	10^{-4}	240	$0.8\ 1.1\ 1.4$	10^{-9}	3×10^6	$0.09\ 0.14\ 0.19$	
	2	M_2	$14^{18\ 21}$	$24^{26\ 28}$	$5\ 9\ 12$	10^{-9}	3×10^6					
		$MD_{2, 1}$	$0.6\ 1.1\ 1.6$	$0.7\ 1.0\ 0.8$								
		$p_{2, 1}$	3×10^{-5}	10^{-5}								
		$BF_{2, 1}$	153	3310								
		$ES_{2, 1}$	$0.07\ 0.15\ 0.23$	$0.12\ 0.19\ 0.30$								
Безжировая масса, кг	1	M_1	$59\ 62\ 65$	$41^{43\ 44}$	$15^{19\ 22}$	10^{-10}	10^{10}	$0.5\ 0.7\ 0.8$	10^{-8}	2×10^6	$-0.09\ -0.06\ -0.04$	
	2	M_2	$58\ 61\ 65$	$41^{42\ 43}$	$15^{19\ 22}$	10^{-9}	10^{10}					
		$MD_{2, 1}$	$-1.1\ -0.8\ -0.4$	$0.7\ 1.0\ 0.8$								
		$p_{2, 1}$	3×10^{-5}	7×10^{-6}								
		$BF_{2, 1}$	223	2870								
		$ES_{1, 2}$	$-0.18\ -0.09\ -0.03$	$-0.25\ -0.17\ -0.11$								

Примечание: $MD_{M, F}$ – разность средних между мужчинами и женщинами, $MD_{1, 2}$ – разность средних между повторностями 1 и 2, BF – байзов фактор в пользу альтернативной гипотезы против нулевой, $ES_{1, 2}$ – размер эффекта для повторных измерений в подгруппе мужчин и женщин, ES_{TS} – размер эффекта для объединенной выборки. Программы: PAST, ESTIMATION STATS.

Таблица 2. Результаты статистического анализа данных, полученных с использованием ультразвукового сканера *BodyMetrix™*

Признак	Повторность	Символ	Пол		Показатели различия										
			мужчины	женщины	$MD_{M, F}$	p	$BF_{M, F}$	$MD_{1, 2}$	$p_{1, 2}$	$BF_{1, 2}$	ES_{TS}				
Жировая масса, кг	1	M_1	9 12 15	13 15 16	$-0.6 \begin{smallmatrix} 3 \\ 6 \end{smallmatrix}$	0.14	0.75	$-0.4 \begin{smallmatrix} 0.0 \\ 0.4 \end{smallmatrix}$	0.96	0.16	$-0.09 \begin{smallmatrix} 0.01 \\ 0.07 \end{smallmatrix}$				
	2	M_2	9 12 15	13 15 16	$-0.2 \begin{smallmatrix} 3 \\ 6 \end{smallmatrix}$	0.09	0.96								
		$MD_{2, 1}$	$-0.3 \begin{smallmatrix} 0.2 \\ 0.7 \end{smallmatrix}$	$0.4 \begin{smallmatrix} 0.2 \\ 0.8 \end{smallmatrix}$											
		$p_{2, 1}$	0.46	0.47											
		$BF_{2, 2}$	0.29	0.27											
		$ES_{2, 1}$	$-0.09 \begin{smallmatrix} -0.03 \\ 0.06 \end{smallmatrix}$	$-0.08 \begin{smallmatrix} -0.05 \\ 0.24 \end{smallmatrix}$											
Доля жировой массы, %	1	M_1	13 15 18	24 25 27	$7 \begin{smallmatrix} 10 \\ 13 \end{smallmatrix}$	10^{-8}	2×10^6	$-0.5 \begin{smallmatrix} 0.0 \\ 0.7 \end{smallmatrix}$	0.96	0.17	$-0.09 \begin{smallmatrix} 0.01 \\ 0.07 \end{smallmatrix}$				
	2	M_2	13 15 18	24 26 27	$8 \begin{smallmatrix} 11 \\ 13 \end{smallmatrix}$	10^{-7}	10^6								
		$MD_{2, 1}$	$-0.4 \begin{smallmatrix} -0.0 \\ -0.8 \end{smallmatrix}$	$-0.7 \begin{smallmatrix} 1.0 \\ 0.4 \end{smallmatrix}$											
		$p_{2, 1}$	0.50	10^{-5}											
		$BF_{2, 1}$	0.28	0.27											
		$ES_{2, 1}$	$-0.14 \begin{smallmatrix} -0.04 \\ 0.08 \end{smallmatrix}$	$-0.15 \begin{smallmatrix} 0.09 \\ 0.38 \end{smallmatrix}$											
Безжировая масса, кг	1	M_1	59 63 67	41 43 44	$16 \begin{smallmatrix} 20 \\ 24 \end{smallmatrix}$	10^{-9}	10^9	$-0.4 \begin{smallmatrix} 0.0 \\ 0.8 \end{smallmatrix}$	0.99	0.16	$-0.02 \begin{smallmatrix} 0.01 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$				
	2	M_2	59 63 67	41 42 44	$16 \begin{smallmatrix} 21 \\ 25 \end{smallmatrix}$	10^{-9}	4×10^8								
		$MD_{1, 2}$	$-0.5 \begin{smallmatrix} 0.0 \\ 0.9 \end{smallmatrix}$	$0.7 \begin{smallmatrix} 1.0 \\ 0.8 \end{smallmatrix}$											
		$p_{1, 2}$	0.52	0.48											
		$BF_{1, 2}$	0.28	0.27											
		$ES_{1, 2}$	$-0.05 \begin{smallmatrix} 0.02 \\ 0.10 \end{smallmatrix}$	$-0.19 \begin{smallmatrix} 0.05 \\ 0.07 \end{smallmatrix}$											

Примечание: см. табл. 1.

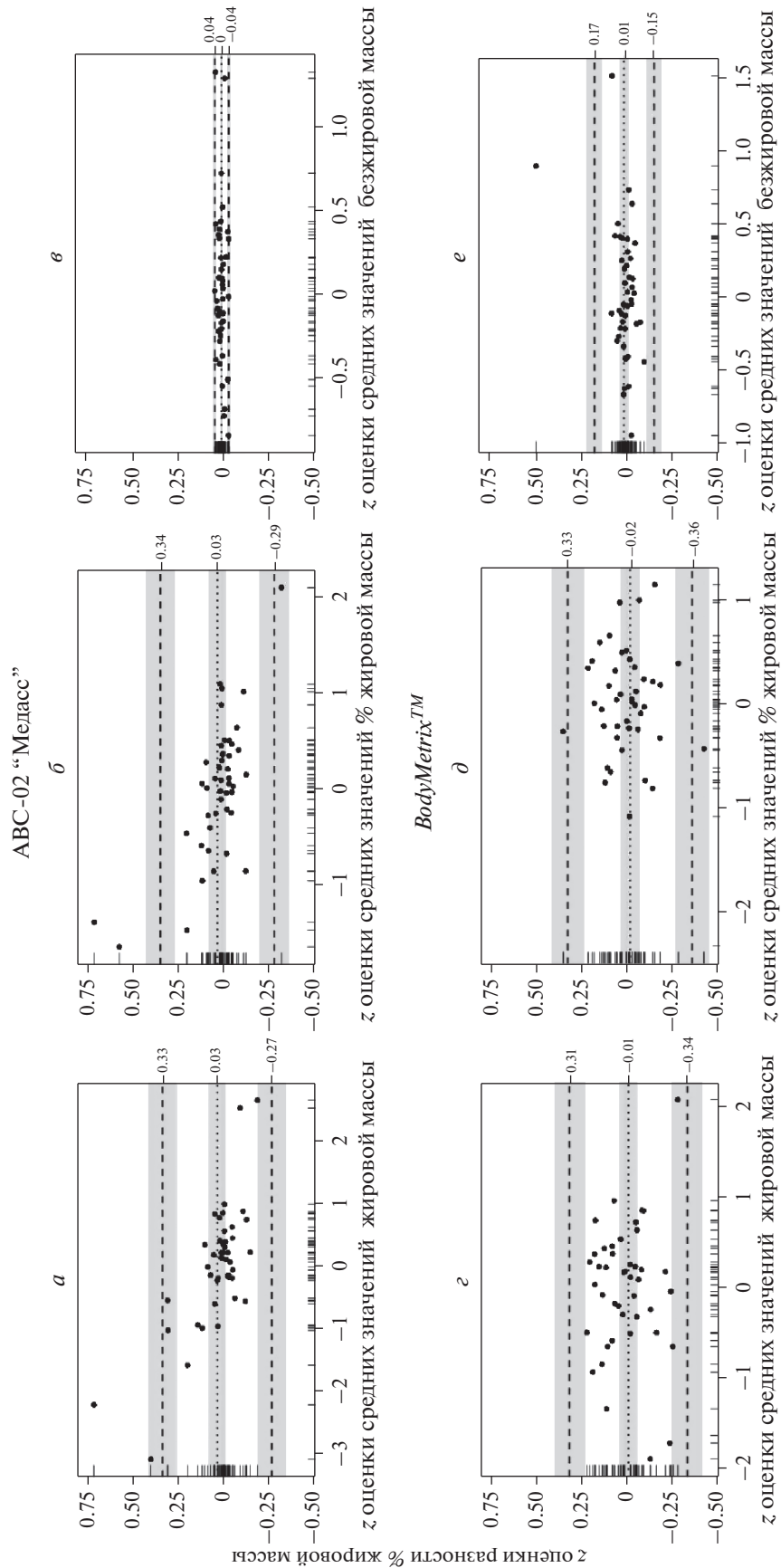


Рис. 2. Графики Бланда-Олтмена для стандартизированных z-значений оценок компонентов состава тела, полученных в повторных измерениях для ABC-02 "Меласс" и BodyMetrix™.
 a, z – жировая масса, кг; b, d – доля жировой массы, %; c, e – безжировая масса, кг. Графики представлены в одном масштабе.

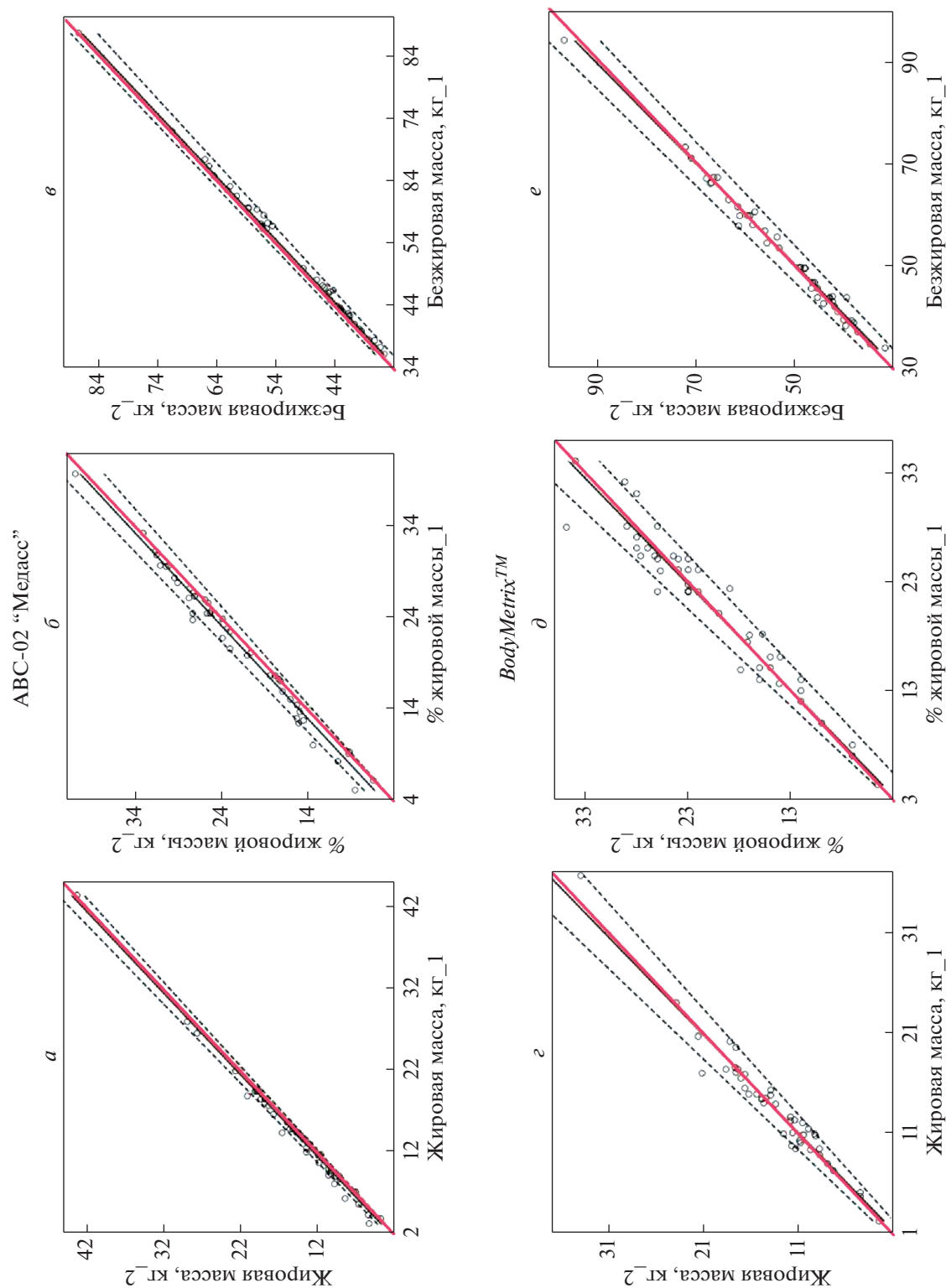


Рис. 3. Регрессионные прямые для оценок компонентов состава тела, полученных в повторных измерениях для ABC-02 "Медасс" и BodyMetrix™. *a, г* – жировая масса, кг; *б, д* – доля жировой массы, %; *в, е* – безжировая масса, кг; 1 – первое измерение; 2 – второе измерение. Регрессионные прямые – черные сплошные линии, предельные интервалы – черные пунктирные линии, биссектрисы – линии идеальной согласованности.

меньшего количества складок, например, трех. Широкое применение методов БИА и УЗИ должно учитывать этническую специфику обследуемых, так как аналитические формулы, которые используются для расчета компонентов состава тела, разрабатываются и валидируются для определенной популяции и/или этнической группы [8]. В данном исследовании добровольцы были преимущественно русские, со средним и низким уровнем физической активности, что ограничивает обобщение полученных результатов на другие этнические группы и/или профессиональных спортсменов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы биоимпедансометрии и ультразвукового сканирования используются для количественной оценки БЖМ, ЖМ и ее доли в ежедневной практике широкого круга специалистов для решения фундаментальных и прикладных задач. Для обоснованного применения косвенных методов для постановки диагноза или мониторинга состояния пациентов необходим анализ воспроизводимости получаемых с их помощью данных. Проведен гармонизированный анализ воспроизводимости, согласованности и надежности результатов определения компонентов состава тела приборами ABC-02 “Медасс” и *BodyMetrix*TM в соответствии с современными стандартами и рекомендациями. Его этапами являются оценка стандартизированного размера эффекта с ДИ, коэффициента конкордантной корреляции Лина, анализ Блэнда-Альтмана, регрессия Пассинга-Баблока. Проведенный анализ для приборов ABC-02 “Медасс” и *BodyMetrix*TM свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов измерения ЖМ и БЖМ у молодых мужчин и женщин. Особенно хорошо воспроизводятся результаты измерения БЖМ.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным комитетом по биоэтике Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 116-д от 08.09.2020 г.).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-75-10122 “Оценка влияния эндогенных и экзогенных факторов на развитие различных типов ожирения”.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Вклад авторов в публикацию. Э.А. Бондарева — сбор данных, анализ и написание текста; О.И. Парфентьева, А.А. Васильева, Е.В. Попова, А.Н. Гаджихмедова, О.Н. Ковалева — сбор данных, Н.А. Кулемин — сбор данных, анализ, Н.Н. Хромов-Борисов — анализ и написание текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Price K.L., Earthman C.P. Update on body composition tools in clinical settings: computed tomography, ultrasound, and bioimpedance applications for assessment and monitoring // Eur. J. Clin. Nutr. 2019. V. 73. № 2. P. 187.
2. Соболева Н.П., Руднев С.Г., Николаев Д.В. и др. Биоимпедансный скрининг населения России в центрах здоровья: распространенность избыточной массы тела и ожирения // Российский медицинский журн. 2014. № 4. С. 4.
3. Wagner D.R. Ultrasound as a tool to assess body fat // J. Obes. 2013. V. 2013. P. 280713.
4. Bielemann R.M., Gonzalez M.C., Barbosa-Silva T.G. et al. Estimation of body fat in adults using a portable A-mode ultrasound // UNSCN Nutr. 2015. V. 32. № 4. P. 441.
5. Бондарева Э.А., Парфентьева О.И. Анализ согласованности показателей состава тела, полученных с использованием методов биоимпедансометрии и ультразвукового сканирования // Экология человека. 2021. Т. 28. № 10. С. 57.
6. Bai M., Susic D., O'Sullivan A.J., Henry A. Reproducibility of Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnancy and the Association of Body Composition with the Risk of Gestational Diabetes: A Substudy of MUMS Cohort // J. Obes. 2020. V. 2020. P. 3128767.
7. Ballesteros-Pomar M.D., González-Arnáiz E., Pintor-de-la Maza B. et al. Bioelectrical impedance analysis as an alternative to dual-energy x-ray absorptiometry in the assessment of fat mass and appendicular lean mass in patients with obesity // Nutrition. 2022. V. 93. P. 111442.
8. Rudnev S., Burns J.S., Williams P.L. et al. Comparison of bioimpedance body composition in young adults in the Russian Children's Study // Clin. Nutr. ESPEN. 2020. V. 35. P. 153.
9. Jackson A.S., Pollock M.L. Generalized equations for predicting body density of men // Br. J. Nutr. 1978. V. 40. № 3. P. 497.
10. Jackson A.S., Pollock M.L., Ward A. Generalized equations for predicting body density of women // Med. Sci. Sports Exerc. 1980. V. 12. № 3. P. 175.
11. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
12. Liu X.S., Potpey K.T. Bootstrap estimate of bias for intraclass correlation // J. Appl. Meas. 2020. V. 21. № 1. P. 101.

13. *Ho J., Tumkaya T., Aryal S. et al.* Moving beyond P values: data analysis with estimation graphics // *Nat. Methods.* 2019. V. 16. № 7. P. 565.
14. *Kottner J., Audigé L., Brorson S. et al.* Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed // *J. Clin. Epidemiol.* 2011. V. 64. № 1. P. 96.
15. *Martins W.P., Nastri C.O.* Interpreting reproducibility results for ultrasound measurements // *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2014. V. 43. № 4. P. 479.
16. *Bland J., Altman D.* Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement // *Lancet.* 1986. V. 1. № 8476. P. 307.
17. *Nickerson B.S., McLester C.N., McLester J.R., Kliszczewicz B.M.* Agreement Between 2 Segmental Bioimpedance Devices, BOD POD, and DXA in Obese Adults // *J. Clin. Densitom.* 2020. V. 23. № 1. P. 138.
18. *Yang S.W., Kim T.H., Choi H.M.* The reproducibility and validity verification for body composition measuring devices using bioelectrical impedance analysis in Korean adults // *J. Exerc. Rehabil.* 2018. V. 14. № 4. P. 621.
19. *Hamilton-James K., Collet T.H., Pichard C. et al.* Precision and accuracy of bioelectrical impedance analysis devices in supine versus standing position with or without retractable handle in Caucasian subjects // *Clin. Nutr. ESPEN.* 2021. V. 45. P. 267.
20. *Parker H., Hunt E.T., Brazendale K. et al.* Accuracy and Precision of Opportunistic Measures of Body Composition from the Tanita DC-430U // *Child. Obes.* 2022. <https://doi.org/10.1089/chi.2022.0084>
21. *Miclos-Balica M., Muntean P., Schick F. et al.* Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2021. V. 75. № 3. P. 438.
22. *Elsej A.M., Lowe A.K., Cornell A.N. et al.* Comparison of the Three-Site and Seven-Site Measurements in Female Collegiate Athletes Using BodyMetrix™ // *Int. J. Exerc. Sci.* 2021. V. 14. № 4. P. 230.
23. *Ribeiro G., de Aguiar R.A., Penteado R. et al.* A-Mode Ultrasound Reliability in Fat and Muscle Thickness Measurement // *J. Strength Cond. Res.* 2022. V. 36. № 6. P. 1610.
24. *Totosy de Zepetnek J.O., Lee J.J., Boateng T. et al.* Test-retest reliability and validity of body composition methods in adults // *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2021. V. 41. № 5. P. 417.
25. *Hendrickson N., Davison J., Schiller L., Willey M.* Reliability and Validity of A-Mode Ultrasound to Quantify Body Composition // *J. Orthop. Trauma.* 2019. V. 33. № 9. P. 472.
26. *Wagner D.R., Teramoto M.* Interrater reliability of novice examiners using A-mode ultrasound and skinfolds to measure subcutaneous body fat // *PloS One.* 2020. V. 15. № 12. P. e0244019.

Repeatability of Body Fat and Fat-Free Mass Measurements by Bioimpedance and Ultrasound Scanning Analysis in the Group of Young Adults

**E. A. Bondareva^{a, *}, O. I. Parfenteva^{a, b}, A. A. Vasileva^{a, b}, N. A. Kulemin^a, E. V. Popova^c,
A. N. Gadzhikhmedova^{a, d}, O. N. Kovaleva^d, N. N. Khromov-Borisov^e**

^a*Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine, Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia*

^b*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

^c*Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia*

^d*First Moscow State Medical University, Moscow, Russia*

^e*Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia*

^{*}*E-mail: Bondareva.E@gmail.com*

Repeatability of the body fat and fat-free mass measurements obtained by two indirect methods (bioimpedance — BIA and ultrasound scanning analysis — US) was performed in the group of young adults. To evaluate repeatability, the repeated body composition measurements by the bioimpedance analyzer ABC-02 “Medas” and the ultrasound scanner BodyMetrix™ were done in the group of adult males and females. The performed study indicates accuracy of the estimates in the individuals and in the group at all as well as high repeatability of measurements obtained by BIA and US. Positive significant correlation between the body composition measurements obtained by the bioimpedance analyzer ABC-02 “Medas” and the ultrasound scanner BodyMetrix™ as well as between repeated measurements was found. The study indicates high repeatability of body fat and fat-free mass measurements obtained by the bioimpedance analyzer ABC-02 “Medas” and the ultrasound scanner BodyMetrix™ in the group of young adult males and females. Particularly, the highest repeatability was for the fat-free mass measurements.

Keywords: body composition, body fat, fat-free mass, ultrasound scanning, bioelectrical impedance analysis, reproducibility, repeated measurements.