

АНАЛИЗ СОГЛАСОВАННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТАВА ТЕЛА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ И УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ

© 2021 г. Э. А. Бондарева, О. И. Парфентьева

Научно-исследовательский институт и Музей антропологии Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова, г. Москва

Введение: компонентный состав тела исследуется в фундаментальных и прикладных задачах медицины, популяционной и спортивной антропологии. Наиболее распространенными и часто используемыми являются косвенные методы определения состава тела, такие как биоимпедансометрия (БИА), калиперометрия и ультразвуковое сканирование (УЗИ).

Цель: оценка согласованности данных о составе тела взрослых москвичей, полученных с применением ультразвукового сканера BodyMetrix™ (IntelaMetrix, США) и отечественного биоимпедансного оборудования (ABC-02 «Медасс», Медасс, Россия).

Методы: Всего был обследован 191 человек в возрасте от 18 до 74 лет, 135 женщин (от 18 до 67 лет) и 56 мужчин (от 18 до 74 лет). Программа обследования включала измерение длины и массы тела, обхватов талии и бедер, определение состава тела с применением ультразвукового сканера BodyMetrix™ (IntelaMetrix, США) и биоимпедансного анализатора (ABC-02 «Медасс», НТЦ Медасс, Россия). Анализ надежности проводили с помощью метода Блэнда – Алтмана.

Результаты: В выборке более 37 % обследованных имели избыточную массу тела и ожирение. В подгруппе женщин значения жировой (БИА 19,7 кг, УЗИ 18,7 кг), безжировой (БИА 43,9 кг, УЗИ 43,6 кг) массы тела и доли жировой массы (БИА 30,1 %, УЗИ 30,2 %), полученные двумя разными методами, не имеют значимых различий. Аналогично в подгруппе мужчин: жировая (БИА 12,1 кг, УЗИ 12,5 кг), безжировая (БИА 61,2 кг, УЗИ 61,6 кг) масса тела и доля жировой массы (БИА 16,5 %, УЗИ 17,3 %). Анализ согласованности выявил систематическое смещение оценок, которое усиливается с увеличением значения оцениваемых признаков.

Вывод: Анализ согласованности результатов определения компонентов состава тела у взрослых мужчин и женщин позволяет сделать вывод о наличии систематического расхождения оценок абсолютного и относительного количества жировой, а также безжировой массы тела, рассчитанных с применением ABC-02 «Медасс» и BodyMetrix™. Для показателя абсолютной жировой массы тела в подгруппе женщин обнаружена умеренная согласованность, в остальных случаях согласованность между ABC-02 «Медасс» и BodyMetrix™ низкая.

Ключевые слова: состав тела, биоимпедансометрия, ультразвуковое сканирование, ожирение, взрослые

BODY COMPOSITION PARAMETERS USING BIO-ELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS AND ULTRASOUND SCANNING: A RELIABILITY STUDY

E. A. Bondareva, O. I. Parfenteva

Research Institute and Museum of anthropology Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Introduction: Body composition assessment is essential in studies in medical, anthropological and sports science. The most commonly used methods are indirect (field) methods including bio-electrical impedance analysis (BIA), caliperometry, and ultrasound scans (US).

Aim: To study reliability of body composition estimates using ultrasound scanner and Russian bioimpedance equipment in adults.

Methods: A total of 191 adults living in Moscow, aged 18-74 years, were recruited. Among them were 135 women, aged 18-67 years, and 56 men, aged 18-74 years. The examination program included measurement of height and weight, waist and hips circumferences, determination of body composition using the BodyMetrix™ ultrasound scanner (IntelaMetrix, USA) and bioimpedance analyzer (ABC-02 Medass, NTC Medass, Russia). Reliability analysis was performed using Bland-Altman method.

Results: More than 37 % of the individuals were overweight and obese. In the group of females, no significant differences in the amount of body fat mass (BIA 19,7 kg, US 18,7 kg) and fat-free mass (BIA 43,9 kg, US 43,6 kg) as well as the percentage of body fat (BIA 30,1 %, US 30,2 %) estimated by these methods were found. Similarly in the group of males, body fat mass (BIA 12,1 kg, US 12,5 kg) and fat-free mass (BIA 61,2 kg, US 61,6 kg) as well as the percentage of body fat (BIA 16,5 %, US 17,3 %). We however revealed a systematic bias, which increases with an increase in the value of the estimated parameters.

Conclusion: Our findings suggest moderate reliability of the absolute fat mass in the group of females. For all other estimates the reliability was low suggesting that ABC-02 "Medass" equipment does not seem to produce systematically valid results. Therefore, ultrasound scanners should be preferred in studies requiring high quality assessment of body composition.

Key words: body composition, bio-impedancemetry, ultrasound scanning, obesity, adults

Библиографическая ссылка:

Бондарева Э. А., Парфентьева О. И. Анализ согласованности показателей состава тела, полученных с использованием методов биоимпедансометрии и ультразвукового сканирования // Экология человека. 2021. № 10. С. 57–64.

For citing:

Bondareva E. A., Parfenteva O. I. Body Composition Parameters Using Bio-Electrical Impedance Analysis and Ultrasound Scanning: a Reliability Study. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 10, pp. 57-64.

Введение

Определение компонентного состава тела необходимо для оценки нутритивного статуса, в медицинских исследованиях для оценки количества мышечной массы при саркопении, в популяционных антропологических исследованиях для характеристики количества и топографии жира отложения в различных этнических и/или половозрастных группах, в медицинских исследованиях по изучению распространенности ожирения, а также при подготовке спортсменов различного уровня и планировании тренировочных нагрузок [22]. Методы золотого стандарта (двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, гидростатическое взвешивание, воздушная плетизмография, компьютерная томография) не могут использоваться в популяционных и эпидемиологических исследованиях ввиду высокой стоимости процедур, стационарности оборудования, наличия потенциально опасных воздействий во время процедур. Поэтому для оценки состава тела широкое распространение в научных и медицинских исследованиях получили косвенные или полевые методы: калиперометрия, биоимпедансометрия, или биоимпедансный анализ (БИА), ультразвуковое сканирование (УЗИ) [21, 28]. Исследования, посвященные оценке точности определения состава тела с использованием ультразвуковых сканеров, активно проводятся за рубежом [13, 20, 24]. Самым распространенным прибором в процедурах ультразвукового сканирования для определения компонентов состава тела является BodyMetrix™ (IntelaMetrix, США). Была показана высокая точность определения компонентов состава тела при помощи ультразвукового сканера BodyMetrix™, подтвержденная методами воздушной плетизмографии (ВП) и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (DEXA) [10, 18]. Также исследователями отмечается высокая надежность и точность результатов, получаемых с использованием BodyMetrix™, в повторных исследованиях [28]. Результаты определения состава тела с применением данного оборудования на территории Российской Федерации (РФ) отсутствуют.

На сегодняшний день собраны обширные популяционные данные о составе тела детского и взрослого населения РФ, полученные с использованием отечественного оборудования для импедансного анализа [3]. Биоимпедансометрия имеет свои ограничения, которых лишен метод УЗИ, например кардиостимулятор, металлические импланты, нарушения уровня гидратации тканей не являются противопоказаниями для УЗИ. В процессе проведения обследования ультразвуковым сканером происходит определение и фиксация толщин подкожных жировых складок, что потенциально позволяет заменить калиперометрию, сократив время обследования. Методические исследования, посвященные сравнению результатов оценки компонентов состава тела с использованием БИА и УЗИ, проведены за рубежом для различных групп населения в норме и патологии [10, 22, 26]. Подобного рода исследования на территории РФ ранее

не выполнялись. Важно отметить, что получившее широкое распространение отечественное оборудование для БИА — анализаторы водных секторов тела от НТЦ «Медасс» — не используются за пределами РФ, что представляет определенную сложность при сопоставлении данных о составе тела, полученных исследователями на разных приборах для БИА [19]. На наш взгляд, проведенное исследование позволяет, с одной стороны, представить результаты оценки состава тела взрослых мужчин и женщин в широком диапазоне морфологических и возрастных параметров с применением BodyMetrix™, а с другой — провести анализ согласованности этих данных с наиболее распространенным методом определения состава тела. Целью исследования является анализ согласованности результатов определения состава тела взрослых москвичей, полученных с использованием ультразвукового сканера BodyMetrix™ (IntelaMetrix, США) и отечественного биоимпедансного оборудования ABC-02 «Медасс» (Медасс, Россия).

Методы

Было проведено одномоментное поперечное наблюдательное аналитическое исследование. Материалы исследования были собраны в 2020–2021 гг. в Москве. Всего был обследован 191 человек в возрасте от 18 до 74 лет, 135 женщин (от 18 до 67 лет) и 56 мужчин (от 18 до 74 лет). Обследованная выборка была разделена на четыре подгруппы согласно схеме возрастной периодизации онтогенеза человека, принятой на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР (Москва, 1965): юношеский возраст 18–21 год (7 мужчин и 14 женщин), I зрелый 21–35 лет (33 мужчины и 56 женщин), II зрелый 36–60 лет (14 мужчин и 56 женщин), пожилой до 74 лет (2 мужчин и 9 женщин). Также испытуемые были разделены на подгруппы по индексу массы тела (ИМТ) ($<18,5$; $18,5\div 24,9$; $25,0\div 29,9$ и $\geq 30,0$ кг/м²), согласно классификации ВОЗ: недостаток массы тела (4 мужчин и 10 женщин), нормальная масса тела (28 мужчин и 78 женщин); избыточная масса тела (15 мужчин и 27 женщин) и ожирение (9 мужчин и 20 женщин). 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 минут.

Программа обследования включала измерение длины и массы тела, обхватов талии и бедер, определение состава тела с применением ультразвукового сканера BodyMetrix™ (IntelaMetrix, США) и биоимпедансного анализатора (ABC-02 «Медасс», НТЦ Медасс, Россия). Суть процедуры сканирования (УЗИ) заключается в измерении толщины подкожного жира [25] в семи точках на корпусе и конечностях, которые соответствуют традиционным кожно-жировым складкам [1]. В каждой точке процедура измерения проводится от трех до пяти раз; расчет проводится по усреднен-

ному значению. В качестве контактной среды был использован гель для ультразвуковых исследований средней вязкости «Медигель» (ООО «Гельтек-Медика», Россия). Измерения проводились по правой стороне тела в положении обследуемого стоя. Расчет компонентов состава тела был выполнен в программном обеспечении BodyViewProFit (IntelaMetrix, Inc., Livermore, CA) по формулам Джексона – Поллока для семи складок [8, 9]. Были определены жировая масса тела (ЖМ), доля жировой массы (%ЖМ) и безжировая масса тела (БЖМ) [25]. Биоимпедансный анализ выполнялся при частоте зондирующего тока 50 кГц по стандартной тетраполярной схеме «запястье – голеностопный сустав» с наложением электродов (F3001 FIAB, Италия) на правой стороне тела при положении испытуемых лежа на спине [2]. При помощи программного обеспечения ABC01-0362 были определены ЖМ, %ЖМ и БЖМ. Для оценки топографии жирового отложения были рассчитаны следующие антропометрические индексы: ИМТ = масса тела, кг/(длина тела, м)²; индекс талия/бедр (ИТБ) = обхват талии, м/обхват ягодиц, м; индекс талия/длина тела (ИТР) = обхват талии, см/длина тела, см.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в среде R (версия 4.0.3) [23]. Разведочный анализ данных включал анализ выбросов (тест Граббса, package “outliers”), проверку нормальности распределения (критерий Шапиро – Уилка) и проверку гомоскедастичности в подгруппах исследуемой выборки (тест Ливина, package “car”). Анализ значимости различий между группами мужчин и женщин проводили с использованием критерия Манна – Уитни. Анализ значимости различий между показателями относительной и абсолютной жировой массы и безжировой массы тела, рассчитанными по результатам БИА и УЗИ в подгруппах мужчин и женщин, проводили с использованием теста Уилкоксона для зависимых выборок. Для оценки корреляционных связей между признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена. Анализ согласованности результатов определения состава тела методами БИА и УЗИ проводили с использованием метода Бленда – Альтмана (package “BlandAltmanLeh”) [5] и ортогональной регрессии (package “mcr”), также был рассчитан коэффициент конкордации Лина (ССС – Lin’s concordance correlation coefficient, package “epiR”)[15]. Для контроля ошибки первого рода использовали поправку Бонферрони. Визуализация полученных результатов была проведена в пакете «ggplot2».

Биоэтика. Было получено положительное заключение локального комитета по биоэтике Биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова (№ 116-д от 08.09.2020 г.). Все добровольцы, участвовавшие в обследовании, были осведомлены о целях и методах обследования и дали свое информированное согласие.

Результаты

В обследованной выборке согласно классификации по ИМТ, рекомендованной ВОЗ, 7 % (10 женщин

и 4 мужчины) имели ИМТ ниже нормы; 22 % (27 женщин и 15 мужчин) – избыточный вес и 15 % (20 женщин и 9 мужчин) – ожирение. В табл. 1 представлена общая характеристика обследованной выборки. Анализ полового диморфизма выявил традиционные морфологические различия в длине и массе тела, ИТБ, ИТР, обхвате талии, относительной жировой массе, а также безжировой массе тела. По ИМТ и возрасту обследованные подгруппы значимо не отличаются. При этом оценки компонентов состава тела, полученные с использованием BodyMetrix™ и ABC-02 «Медасс», значимо отличаются у мужчин ($p < 0,01$ для абсолютной жировой массы и $p < 0,01$ для безжировой массы тела), тогда как у женщин не имеют значимых различий. Корреляционный анализ выявил значимую ($p < 0,001$) высокую и очень высокую положительную связь компонентов состава тела, определенных методами БИА и УЗИ, в подгруппах мужчин (0,84 для ЖМ, 0,77 для %ЖМ, 0,92 для БЖМ) и женщин (0,96 для ЖМ, 0,84 для %ЖМ, 0,91 для БЖМ).

Таблица 1

Основные морфологические характеристики обследованной группы

Признак	Мужчины, n = 56	Женщины, n = 135
	Me (IQR)	Me (IQR)
Возраст, лет	32 (55)	35 (49)
Длина тела, см***	175,7 (34,0)	164,0 (39,0)
Масса тела, кг**	72,3 (129,3)	62,2 (96,1)
Обхват талии, см***	81,0 (102,0)	74,0 (77,3)
Обхват бедер, см	96,0 (64,0)	97,0 (69,0)
ИТБ***	0,85 (0,45)	0,76 (0,49)
ИТР*	0,46 (0,57)	0,45 (0,44)
ИМТ, кг/м ²	23,4 (41,0)	23,2 (31,3)
Жировая масса, кг (БИА)*	12,1 (88,2)	19,7 (66,2)
Жировая масса, кг (УЗИ)***	12,5 (57,1)	18,7 (44,8)
Доля жира, % (БИА)***	16,5 (46,9)	30,1 (39,0)
Доля жира, % (УЗИ)***	17,3 (29,0)	30,2 (23,2)
Безжировая масса, кг (БИА)***	61,2 (45,3)	43,9 (31,7)
Безжировая масса, кг (УЗИ)***	61,6 (75,0)	43,6 (52,8)

Примечания: Me – медиана; IQR – интерквартильный размах; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$; *** – $p < 0,0001$.

Оценка согласованности данных о составе тела (табл. 2), получаемых с использованием УЗИ и БИА, была проведена при помощи анализа Бленда – Альтмана и коэффициента конкордации Лина. Согласно шкале вербальной оценки значения СССР, предложенной McBride [17], согласованность данных при СССР меньше 0,9 считается слабой, а в диапазоне от 0,90 до 0,95 – умеренной. Таким образом, оценки компонентов состава тела для подгруппы мужчин демонстрируют слабую согласованность. Для женщин умеренная согласованность наблюдается для признака абсолютной жировой массы тела, тогда как для двух оставшихся признаков результаты согласованы слабо. Рис. 1 иллюстрирует взаимное расположение линии ортогональной регрессии и линии, соответствующей

Таблица 2

Характеристики согласованности оценок показателей состава тела в подгруппах мужчин и женщин

Признак	Мужчины, n = 56			Женщины, n = 135		
	M±SD	M±1,96*SD	CCC (95%CI)	M±SD	M±1,96*SD	CCC (95%CI)
Жировая масса, кг	1,91±6,26	-10,36÷14,18	0,89 (0,85÷0,92)	0,67± 3,23	-6,38±6,52	0,94 (0,92÷0,95)
Доля жировой массы тела, %	1,31±6,15	-10,75÷13,36	0,74 (0,61÷0,82)	-0,49 ± 4,62	-9,55±8,56	0,78 (0,72÷0,83)
Безжировая масса, кг	-2,07±6,05	-13,92÷9,79	0,87 (0,81÷0,91)	-0,21 ± 3,52	-7,12±6,69	0,85 (0,81÷0,88)

Примечания: M – средняя разность между результатами оценки ABC-02 «Медасс» и BodyMetrix™; SD – стандартное отклонение; M±1,96*SD – ожидаемый диапазон изменчивости для средней разности; CCC – коэффициент конкордации Лина; CI – доверительный интервал.

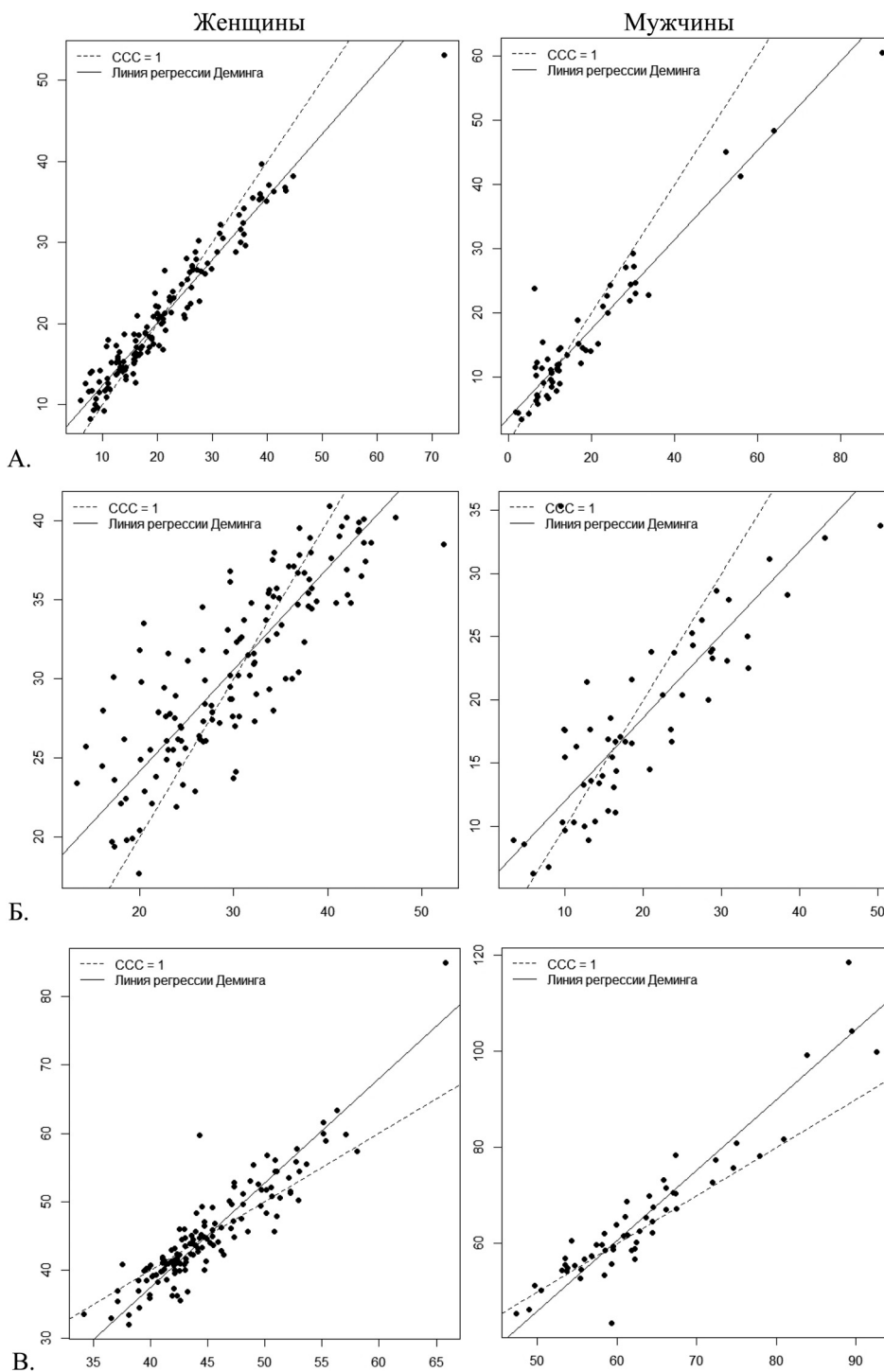


Рис. 1. Регрессионная прямая и линия идеальной согласованности для показателей: А. – жировой массы тела, кг; Б. – доли жировой массы, %; В. – безжировой массы тела, кг. Ось x – ABC-02 «Медасс», Ось y – BodyMetrix™

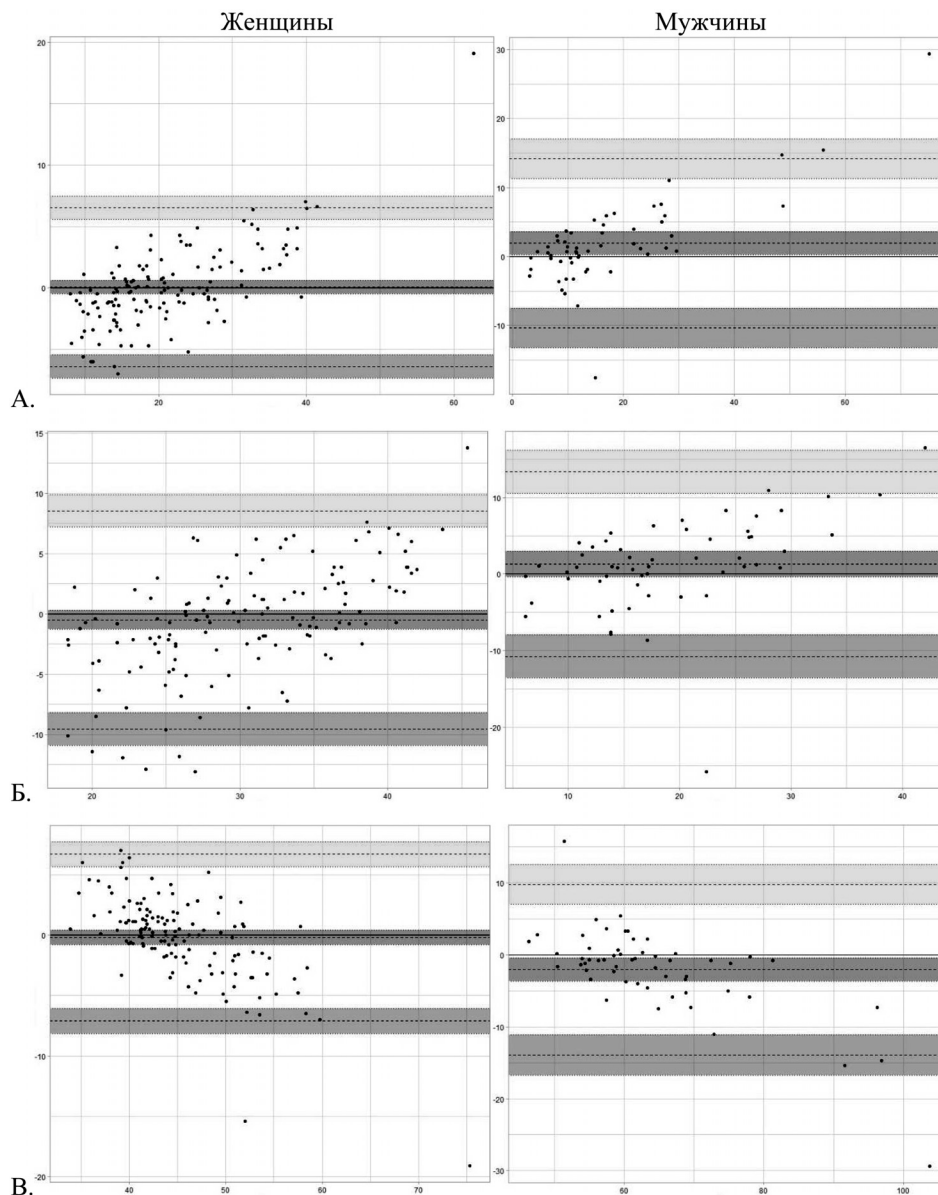


Рис. 2. Диаграммы Бленда – Альтмана для А. – жировой массы тела, кг, Б. – доли жировой массы тела, %, В. – безжировой массы тела, кг, определенных с использованием АВС-02 «Медасс» и BodyMetrix™ в подгруппах мужчин и женщин. Ось x – средние значения пары измерений (БИА + УЗИ)/2; Ось y – разность пары значений (БИА – УЗИ). Пунктирная линия в темно-серой области – среднее значение разности данного параметра; пунктирные линии в серой и светло-серой областях определяют ожидаемый диапазон разброса разности значений для ЖМ, %ЖМ и БЖМ ($\pm 1,96 \cdot SD$); цветом обозначен 95 % ДИ

идеальной согласованности результатов ($CCC = 1$). Полученные данные подтверждают результаты проведенного анализа Бленда – Альтмана, свидетельствующие о наличии систематического расхождения в оценках двух приборов (табл. 2 и рис. 2). При оценке значения ЖМ в подгруппе мужчин и женщин для АВС-02 «Медасс» характерны большие значения, чем для BodyMetrix™. Для показателя %ЖМ АВС-02 «Медасс» демонстрирует более высокие оценки в подгруппе мужчин и более низкие в подгруппе женщин по сравнению с BodyMetrix™. Оценка БЖМ в обеих подгруппах, проведенная с применением АВС-02 «Медасс» ниже, чем оценка БЖМ по результатам ультразвукового сканирования. В целом наименьшая

согласованность результатов характерна для оценки БЖМ в подгруппе мужчин, а наибольшая для оценки ЖМ в подгруппе женщин.

Обсуждение результатов

Увеличение числа людей с избыточной массой тела и ожирением особенно быстро происходит в высокоурбанизированной среде больших городов [12]. Формирование «жирогенной» среды обитания повышает риски развития ожирения у городского населения, что, в свою очередь, приводит к росту числа пациентов с кардиометаболическими заболеваниями. Широко используемые в эпидемиологических исследованиях оценки наличия избыточной массы тела и ожирения индексы, например ИМТ, обладают низкой чувстви-

тельностью и не дают информации о топографии жиротложения и количестве жировой массы [16]. Например, скрытое (саркопеническое) ожирение, которое часто развивается в условиях гипокинезии, невозможно определить, используя индекс массы тела [12].

Эпидемиологические исследования распространенности ожирения и избыточной массы тела, проведенные на территории РФ с использованием отечественного оборудования для импедансометрии, позволяют заключить, что 20 % мужчин и 30 % женщин имеют ожирение, а доля людей с ожирением увеличивается с возрастом [4]. Был проведен сравнительный анализ морфологических характеристик в подгруппах мужчин и женщин в зависимости от ИМТ и возраста. При увеличении ИМТ у мужчин наблюдается значимое увеличение массы тела, обхватов талии и бедер, абсолютного и относительного количества жировой массы тела (БИА и УЗИ), ИТР и ИТБ; у женщин кроме перечисленных признаков происходит увеличение возраста. Таким образом, увеличение ИМТ в группе обследованных москвичей соответствует повышенному накоплению жировой массы и абдоминальному жиротложению. С возрастом у мужчин наблюдается значимое увеличение обхвата талии, ЖМ %ЖМ, рассчитанной по результатам ультразвукового сканирования; у женщин с возрастом значимо увеличивается масса тела, обхват талии, ИТБ, ИТР, относительная жировая масса (БИА и УЗИ), снижается безжировая масса тела (БИА), увеличивается абсолютная жировая масса (УЗИ).

Высокая доля ожирения и избыточной массы тела среди взрослого населения актуализирует методические исследования в области методов, пригодных для массовых и полевых обследований гетерогенных групп. В данном исследовании впервые приводятся результаты анализа согласованности данных о составе тела взрослых москвичей, полученных при помощи ультразвукового сканера BodyMetrix™™ (IntelaMetrix, Inc., Livermore, CA) и отечественного биоимпедансного оборудования (ABC-02 «Медасс», Медасс, Россия). В целом результаты определения жировой и тощей массы тела, а также доли жировой массы методами биоимпедансометрии и ультразвукового сканирования показывают высокие значимые корреляционные связи. При этом в подгруппе женщин корреляционные связи ЖМ и %ЖМ, рассчитанные по результатам УЗИ, с антропометрическими признаками и индексами несколько выше, чем для аналогичных значений, полученных по результатам БИА, в подгруппе мужчин наоборот. Для подгруппы женщин в целом характерны менее смещенные оценки по сравнению с подгруппой мужчин (см. табл. 2), что, вероятно, связано с небольшой численностью последних. В целом расхождения в оценке жировой массы тела между исследуемыми методами тем выше, чем выше ИМТ обследованных и выше значение абсолютной жировой массы тела (см. рис. 1 и 2). Например, при ЖМ больше 70 кг расхождения между значениями жировой массы УЗИ и БИА достигает 30

кг. При снижении ИМТ и, как следствие, ЖМ оценки, полученные с использованием биоимпедансометрии, оказываются ниже, чем в УЗИ. Ранее было показано, что BodyMetrix™™ обладает высокой точностью оценки компонентов состава тела не только у молодых и здоровых взрослых, но и у людей с избыточной массой тела и ожирением, однако по сравнению с воздушной плетизмографией занижает содержание жирового компонента и завышает количество безжировой массы тела [26]. Для группы бразильских женщин было показано, что БИА и калиперометрия занижают %ЖМ по сравнению с DEXA, однако эти косвенные методы являются взаимозаменяемыми [14]. Сравнение УЗИ, БИА и воздушной плетизмографии выявило высокую корреляционную связь между УЗИ и БИА ($r = 0,86$), УЗИ и ВП ($r = 0,87$) [11]. В сравнении с трехкомпонентной моделью УЗИ недооценивает %ЖМ на 4,7 % и завышает БЖМ на 4,4 кг в группе взрослых с ожирением и избыточной массой тела [29]. Другое исследование показало отсутствие между УЗИ и ВП значимой разницы, а также отсутствие систематического расхождения данных [28]. В результате сравнения биоимпедансной спектроскопии, БИА, DEXA и ВП с эталонной пятикомпонентной моделью состава было обнаружено, что БИА и спектроскопия дают достаточный уровень точности оценок состава тела на групповом уровне, но обладают гораздо большей ошибкой оценки на индивидуальном уровне по сравнению с методами золотого стандарта [27]. К сожалению, данные о сравнении точности и надежности измерений, выполненные для анализаторов водных секторов тела производства НТЦ «Медасс», отсутствуют.

Таким образом, анализ согласованности результатов определения компонентов состава тела у взрослых мужчин и женщин позволяет сделать вывод о наличии систематического расхождения оценок абсолютного и относительного количества жировой массы, а также безжировой массы тела, рассчитанных с применением ABC-02 «Медасс» и BodyMetrix™™. Значения коэффициента конкордации Лина, рассчитанные для подгрупп мужчин и женщин, свидетельствуют о слабом уровне согласованности ЖМ, %ЖМ и БЖМ между БИА и УЗИ, только для оценки абсолютного значения ЖМ в подгруппе женщин согласованность данных умеренная (см. табл. 2). В исследовании надежности определения %ЖМ в гетерогенной группе взрослых была показана высокая надежность BodyMetrix™™, более высокая точность оценки данного показателя была отмечена в подгруппе мужчин [18]. Также было отмечено, что квалификация исследователя, который осуществляет измерение толщины подкожного жира, может быть одним из источников ошибки [30]. Наиболее высокая надежность результатов определения %ЖМ достигается при использовании максимального числа анатомических точек, в которых производится измерение толщины подкожного жира [18], то есть расчет проводится по формулам Джексона – Поллока для семи складок.

К ограничениям данного исследования можно отнести невысокую численность добровольцев мужского пола, пожилых испытуемых, а также добровольцев с ожирением. Как уже было сказано выше, представленные для BodyMetrix™ результаты были получены с применением формул для семи жировых складок, однако программное обеспечение позволяет использовать также формулы для меньшего количества складок. Использование других аналитических формул может изменить результаты оценки состава тела [6], что требует проведения отдельного анализа согласованности. Широкое применение методов БИА и УЗИ должно учитывать популяционную специфику обследуемых, так как аналитические формулы, которые используются для расчета компонентов состава тела, разрабатываются и валидируются для определенной популяции и/или этнической группы. В данном исследовании добровольцы были преимущественно русские. Также не было проведено исследование состава тела испытуемых с применением методов золотого стандарта и/или пятикомпонентной модели состава тела, что не позволило провести сравнение точности определения состава тела приборами ABC-02 «Медасс» и BodyMetrix™.

Поиск косвенного метода определения состава тела, который мог бы использоваться в широком диапазоне изменчивости морфологических показателей с точностью, сравнимой с лабораторными методами, привел к разработке методик, сочетающих в себе биоимпедансометрию и данные о толщинах кожно-жировых складок для расчета состава тела в рамках трехкомпонентной модели [7]. Вероятно, сочетание БИА и УЗИ может значительно улучшить точность определения состава тела в рамках трехкомпонентной модели.

Заключение

Компонентный состав тела используется для расчета рисков развития заболеваний, коморбидных ожирению, мониторинга изменений состава тела у профессиональных спортсменов и людей, страдающих некоторыми заболеваниями, а также для оценки нутритивного статуса взрослых и детей. Определение состава тела при помощи УЗИ обладает рядом преимуществ: возможность использования в условиях стационара и в полевых исследованиях, автоматический сбор данных о толщинах кожно-жировых складок, что потенциально позволяет заменить калипер, различные протоколы проведения измерения и возможность выбора различных аналитических формул, невысокая стоимость оборудования, широкое применение в мире. Перечисленные факты позволяют рассматривать ультразвуковое сканирование в качестве перспективного метода для определения жировой и безжировой массы тела для антропологов, медицинских работников, а также специалистов в области диетологии, физической культуры и спорта.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ №20-09-00276 и № 18-59-94015, а также плановой темы АААА-А19-119013090163-2.

Авторство

Бондарева Э. А. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, написание текста статьи; Парфентьева О. И. внесла существенный вклад в получение и интерпретацию данных, написание текста статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов

Бондарева Эльвира Александровна – ORCID 0000-0003-3321-7575; SPIN 6732-2072

Парфентьева Ольга Ивановна – ORCID 0000-0001-7895-6887; SPIN 6237-1920

Список литературы / References

1. Мартыросов Э. Г., Николаев Д. В., Руднев С. Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 248 с.
Martirosov E. G., Nikolaev D. V., Rudnev S. G. *Technologies and methods of human body composition assessment*. Moscow, Nauka Publ., 2006, 248 p. [In Russian]
2. Николаев Д. В., Смирнов А. В., Бобринская И. Г., Руднев С. Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
Nikolaev D. V., Smirnov A. V., Bobrinskaya I. G., Rudnev S. G. *Bioelectric impedance analysis of human body composition*. Moscow, Nauka Publ., 2009, 392 p. [In Russian]
3. 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., Пономарева Е. Г. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014, 493 с.
Rudnev S. G., Soboleva N. P., Sterlikov S. A., Nikolaev D. V., Starunova O. A., Chernykh S. P., Eryukova T. A., Kolesnikov V. A., Melnichenko O. A., Ponomareva E. G. *Bioimpedance study of body composition in the Russian population*. Moscow, 2014, 493 p. [In Russian]
4. Соболева Н. П., Руднев С. Г., Николаев Д. В., Ерюкова Т. А., Колесников В. А., Мельниченко О. А., Пономарева Е. Г., Старунова О. А., Стерликов С. А. Биоимпедансный скрининг населения России в центрах здоровья: распространенность избыточной массы тела и ожирения // Российский медицинский журнал. 2014. № 4. С. 4–13.
Soboleva N. P., Rudnev S. G., Nikolayev D. V., Eryukova T. A., Kolesnikov V. A., Melnitchenko O. A., Ponomareva E. G., Starunova O. A., Sterlikov S. A. The bio-impedance screening of population in health centers: prevalence of surplus body mass and obesity. *Rossiiskiy meditsinskiy jurnal* [Russian Journal of Medicine]. 2014, 4, pp. 4-13. [In Russian]
5. Bland J., Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986, 327, pp. 307-310.
6. Eley A. M., Lowe A. K., Cornell A. N., Whitehead P. N., Connors R. T. Comparison of the Three-Site and Seven-Site Measurements in Female Collegiate Athletes Using BodyMetrix™. *International journal of exercise science*. 2021, 14 (4), pp. 230-238.
7. Esco M. R., Nickerson B. S., Fedewa M. V., Moon J. R., Snarr R. L. A novel method of utilizing skinfolds and

- bioimpedance for determining body fat percentage via a field-based three-compartment model. *European journal of clinical nutrition*. 2018, 72 (10), pp. 1431-1438. doi.org/10.1038/s41430-017-0060-3
8. Jackson A. S., Pollock M. L. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*. 1978, 40, pp. 497-504. doi.org/ 10.1079/bjn19780152
9. Jackson A. S., Pollock M. L., Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*. 1980, 12, pp. 175-181.
10. Johnson K. E., Miller B., Gibson A. L., McLain T. A., Juvancic-Heltzel J. A., Kappler R. M., Otterstetter R. A comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and A-mode ultrasound to assess body composition in college-age adults. *Clinical physiology and functional imaging*. 2017, 37 (6), pp. 646-654. doi.org/ 10.1111/cpf.12351
11. Johnson K. E., Naccarato I. A., Corder M. A., Repovich W. E. Validation of Three Body Composition Techniques with a Comparison of Ultrasound Abdominal Fat Depths against an Octopolar Bioelectrical Impedance Device. *International journal of exercise science*. 2012, 5 (3), pp. 205-213.
12. Kapoor N., Lotfaliany M., Sathish T., Thankappan K. R., Thomas N., Furler J., Oldenburg B., Tapp R. J. Prevalence of normal weight obesity and its associated cardio-metabolic risk factors - Results from the baseline data of the Kerala Diabetes Prevention Program (KDPP). *PLoS one*. 2020, 15 (8). e0237974. doi.org/ 10.1371/journal.pone.0237974
13. Kasper A. M., Langan-Evans C., Hudson J. F., Brownlee T. E., Harper L. D., Naughton R. J., Morton J. P., Close G. L. Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*. 2021, 13 (4), p. 1075. doi.org/10.3390/nu13041075
14. Kogure G. S., Silva R. C., Ribeiro V. B., Mendes M. C., Menezes-Reis R., Ferriani R. A., Furtado C., Reis R. Concordance in prediction body fat percentage of Brazilian women in reproductive age between different methods of evaluation of skinfolds thickness. *Archives of endocrinology and metabolism*. 2020, 64 (3), pp. 257-268. doi.org/10.20945/2359-3997000000246
15. Lin L. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989, 45, pp. 255-268.
16. Mayoral L. P., Andrade G. M., Mayoral E. P., Huerta T. H., Canseco S. P., Rodal Canales F. J., Cabrera-Fuentes H. A., Cruz M. M., Pérez Santiago A. D., Alpuche J. J., Zenteno E., Ruíz H. M., Cruz R. M., Jeronimo J. H., Perez-Campos E. Obesity subtypes, related biomarkers & heterogeneity. *The Indian journal of medical research*. 2020, 151 (1), pp. 11-21. doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1768_17
17. McBride G. B. *A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient*. 2005 NIWA Client Report: HAM2005-062.
18. Miclos-Balica M., Muntean P., Schick F., Haragus H. G., Glisici B., Pupazan V., Neagu A., Neagu M. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. *European journal of clinical nutrition*. 2021, 75 (3), pp. 438-445. doi.org/10.1038/s41430-020-00743-y
19. 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. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2020, 23 (1), pp. 138-148. doi.org/10.1016/j.jocd.2019.04.005
20. Pérez-Chirinos Buxadé C., Solà-Perez T., Castizo-Olier J., Carrasco-Marginet M., Roy A., Marfell-Jones M., Iruñia A. Assessing subcutaneous adipose tissue by simple and portable field instruments: Skinfolds versus A-mode ultrasound measurements. *PLoS one*. 2018, 13 (11), e0205226. doi.org/10.1371/journal.pone.0205226
21. Pineau J.-C., Guihard-Costa A.-M., Bocquet M. Validation of ultrasound techniques applied to body fat measurement: a comparison between ultrasound techniques, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance vs. dual-energy X-ray absorptiometry. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2007, 51 (5), pp. 421-427. doi.org/10.1159/000111161
22. Price K. L., Earthman C. P. Update on body composition tools in clinical settings: computed tomography, ultrasound, and bioimpedance applications for assessment and monitoring. *European journal of clinical nutrition*. 2019, 73 (2), pp. 187-193. doi.org/10.1038/s41430-018-0360-2
23. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. 2020. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed: 24.10.2020)
24. Ribeiro G., de Aguiar R. A., Penteado R., Lisboa F. D., Raimundo J., Loch T., Meira Â., Turnes T., Caputo F. A-Mode Ultrasound Reliability in Fat and Muscle Thickness Measurement. *Journal of strength and conditioning research*. 2020, Online ahead of print. doi.org/10.1519/JSC.00000000000003691
25. Silva L. An Introduction to Ultrasound and the BodyMetrix™ System, IntelMetrix, Livermore, Calif, USA, 2010.
26. Smith-Ryan A. E., Fultz S. N., Melvin M. N., Wingfield H. L., Woessner M. N. Reproducibility and validity of A-mode ultrasound for body composition measurement and classification in overweight and obese men and women. *PLoS one*. 2014, 9 (3), e91750. doi.org/10.1371/journal.pone.0091750
27. Tinsley G. M. Five-component model validation of reference, laboratory and field methods of body composition assessment. *The British journal of nutrition*. 2021, 125 (11), pp. 1246-1259. doi.org/ 10.1017/S0007114520003578
28. Totósy de Zepetnek J. O., Lee J. J., Boateng T., Plastina S. E., Cleary S., Huang L., Kucab M., Paterakis S., Brett N. R., Bellissimo N. Test-retest reliability and validity of body composition methods in adults. *Clinical physiology and functional imaging*. 2021, Online ahead of print
29. Wagner D. R., Cain D. L., Clark N. W. Validity and Reliability of A-Mode Ultrasound for Body Composition Assessment of NCAA Division I Athletes. *PLoS one*. 2016, 11 (4), e0153146. doi.org/10.1371/journal.pone.0153146
30. Wagner D. R., Teramoto M. Interrater reliability of novice examiners using A-mode ultrasound and skinfolds to measure subcutaneous body fat. *PLoS one*. 2020, 15 (12), e0244019. doi.org/10.1371/journal.pone.0244019

Контактная информация:

Бондарева Эльвира Александровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель группы антропогенетики Научно-исследовательского института и Музея антропологии МГУ имени М. В. Ломоносова
Адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 1
E-mail: Bondareva.E@gmail.com