

## СВЯЗЬ ЛОКАЛЬНОЙ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ В АБДОМИНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ С ЕЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ И БИОХИМИЧЕСКИМИ ПРИЗНАКАМИ

Э. А. Бондарева<sup>1</sup>✉, Г. Е. Леонов<sup>1</sup>, О. И. Парфентьева<sup>1</sup>, А. А. Арутюнян<sup>2</sup>, Н. А. Бевзюк<sup>2</sup>, О. Н. Ковалева<sup>2</sup>, А. Н. Гаджихмедова<sup>1</sup>, С. Е. Шемяков<sup>2</sup>, Н. А. Кулемин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное научно-клиническое центр физико-химической медицины имени Ю. М. Лопухина Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

Количественное определение подкожного и висцерального депо жира в абдоминальной области является перспективным методом оценки индивидуальных рисков развития кардиометаболических заболеваний и оценки эффективности некоторых лекарственных препаратов. Локальные отведения биоимпедансометрии (БИА) — новый перспективный метод раздельной количественной оценки двух депо жира в области живота. Он сочетает высокую точность, невысокую себестоимость и неинвазивность. Целью работы было провести анализ связей импедансных оценок, полученных в локальном отведении БИА с комплексом антропометрических и биохимических характеристик у мужчин и женщин. Обследованы 147 женщин и 42 мужчины в возрасте 18–73 лет. Для оценки подкожного жиротложения использовали локальное отведение БИА (ABC-02 «Медасс») по предложенной ранее схеме расположения электродов. При помощи программного обеспечения ABC-02 «Медасс» фиксировали локальный импеданс —  $Z50_{sc}$ , Ом. Корреляционный анализ выявил значимые связи  $Z50_{sc}$  с индексом талия/рост, концентрацией инсулина, процентом жировой массы тела и HOMA-IR. Маркеры риска кардиометаболических заболеваний (абдоминальное ожирение, инсулинорезистентность и доля жировой массы) связаны с повышенными значениями  $Z50_{sc}$ . Результаты ROC-анализа с индексом инсулинорезистентности ( $AUC$  0,79 [0,72; 0,84],  $p < 0,000$ ) позволяют рассматривать  $Z50_{sc}$  в качестве перспективного маркера риска кардиометаболических заболеваний. Различия между подгруппами подтверждаются не только уровнем статистической значимости, но и значительным размером эффекта.

**Ключевые слова:** подкожное жиротложение, локальный БИА, абдоминальное ожирение, обхват талии, скрытое ожирение

**Финансирование:** научное исследование проведено при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 22-75-10122).

**Вклад авторов:** Э. А. Бондарева — дизайн исследования, статистический анализ, написание статьи; Г. Е. Леонов — проведение БИА; О. И. Парфентьева, А. Н. Гаджихмедова — проведение УЗИ-сканирования, статистический анализ; А. А. Арутюнян, О. Н. Ковалева, Н. А. Бевзюк — проведение антропометрических измерений, БИА, УЗИ-сканирования; С. Е. Шемяков — анализ литературы, написание статьи; Н. А. Кулемин — написание статьи.

**Соблюдение этических стандартов:** исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ ФНКЦ ФХМ имени Ю. М. Лопухина ФМБА России (протокол № 2022/12/06 от 06 декабря 2022 г.). Все обследованные подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

✉ **Для корреспонденции:** Эльвира Александровна Бондарева  
ул. Малая Пироговская, д. 1а, г. Москва, 119453, Россия; bondareva.e@gmail.com

**Статья получена:** 31.05.2024 **Статья принята к печати:** 21.07.2024 **Опубликована онлайн:** 07.08.2024

**DOI:** 10.24075/vrgmu.2024.030

## ASSOCIATION OF LOCAL BIOIMPEDANCE ANALYSIS OF THE ABDOMINAL REGION WITH MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL TRAITS

Bondareva EA<sup>1</sup>✉, Leonov GE<sup>1</sup>, Parfenteva OI<sup>1</sup>, Arutiunian AA<sup>2</sup>, Bevziuk NA<sup>2</sup>, Kovaleva ON<sup>2</sup>, Gadziakhmedova AN<sup>1</sup>, Shemyakov SE<sup>2</sup>, Kulemin NA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Quantification of the subcutaneous and visceral fat depot in the abdominal region is a promising method to assess individual risk of cardiometabolic disorders and estimate the efficacy of certain drugs. The local bioimpedance analysis (BIA) represent a new promising method for separate quantification of two fat depots in the abdominal region. The method combines high accuracy, low cost, and noninvasiveness. The study was aimed to analyze the relationships between the impedance estimates obtained in the local BIA lead and the complex of anthropometric and biochemical characteristics in males and females. A total of 147 females and 42 males aged 18–73 years were assessed. To estimate subcutaneous fat, we used the local BIA lead (ABC-02 Medass) in accordance with the earlier proposed electrode placement scheme. Local impedance ( $Z50_{sc}$ , Ohm) was recorded using the ABC-02 Medass software. The correlation analysis revealed significant correlations of  $Z50_{sc}$  with the waist-to-height ratio, insulin concentration, body fat percentage, and HOMA-IR. Markers of the risk of cardiometabolic diseases (abdominal obesity, insulin resistance, and body fat percentage) are associated with the increased  $Z50_{sc}$  values. The results of ROC analysis with the insulin resistance index ( $AUC$  0.79 [0.72; 0.84],  $p < 0.000$ ) make it possible to consider  $Z50_{sc}$  a promising marker of the risk of cardiometabolic diseases. The differences between subgroups are confirmed by both statistical significance and large effect size.

**Keywords:** subcutaneous fat, local BIA, abdominal obesity, waist circumference, normal-weight obesity

**Funding:** the study was supported by the Russian Science Foundation (RSF grant No. 22-75-10122).

**Author contribution:** Bondareva EA — study design, statistical analysis, manuscript writing; Leonov GE — conducting BIA; Parfenteva OI, Gadziakhmedova AN — ultrasound scan, statistical analysis; Arutiunian AA, Kovaleva ON, Bevziuk NA — anthropometric measurements, BIA, ultrasound scan; Shemyakov SE — literature review, manuscript writing; Kulemin NA — manuscript writing.

**Compliance with ethical standards:** the study was approved by the Ethics Committee of the Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine of FMBA of Russia (protocol No. 2022/12/06 dated 06 December 2022). All the examined individuals submitted the informed consent to participation in the study.

✉ **Correspondence should be addressed:** Elvira A. Bondareva  
Malaya Pirogovskaya, 1a, Moscow, 119453, Russia; bondareva.e@gmail.com

**Received:** 31.05.2024 **Accepted:** 21.07.2024 **Published online:** 07.08.2024

**DOI:** 10.24075/brsmu.2024.030

Хорошо известно, что паттерн распределения жирового депо (топография жиротложения) является независимым фактором, ассоциированным с тяжестью течения сердечно-сосудистых заболеваний, риском развития метаболических заболеваний и общей смертности [1]. Своевременная оценка топографии жиротложения поможет выделить группы риска развития метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с развитием абдоминального (центрального) ожирения, независимо от индекса массы тела (ИМТ) (body mass index, BMI) и доли жировой массы тела [1]. В свою очередь, абдоминальное жиротложение формируется за счет депо подкожного и висцерального жира. Для оценки выраженности абдоминального жиротложения широко используют простые антропометрические признаки и индексы, такие как обхват талии, индекс талия/бедра (waist to hip ratio, WHR) и индекс талия/рост (waist to height ratio, WHtR). Однако на индивидуальном уровне эти оценки показали низкую чувствительность и оказались неэффективными для отдельной количественной оценки подкожного и висцерального жира [2]. Референсными методами оценки этих компонентов являются методы компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Но из-за высокой стоимости, лучевой нагрузки и высоких требований к квалификации персонала данные методы не могут быть использованы для массового скрининга населения, тем более они не могут быть использованы вне специализированных лечебных учреждений и/или исследовательских центров [3]. Количественный метод оценки абдоминального жиротложения, лишенный недостатков КТ и МРТ и обеспечивающий сравнимую с ними точность и чувствительность, востребован в медицине для прогноза рисков, ассоциированных со спецификой накопления жира в области живота.

Биоимпедансный анализ (БИА) состава тела широко распространен в мировой медицинской практике для оценки жировой и тощей массы тела, а также для оценки водных секторов организма [4]. Однако традиционные (рука–нога) схемы позволяют получить только интегральные оценки состава тела и не позволяют судить о распределении жирового депо или отдельно оценивать подкожное и висцеральное жиротложение в области живота. Более того, при использовании традиционных отведений вклад туловища в оценку импеданса составляет не более 5–10%. Это значит, что расчет интегральных показателей состава тела основан, главным образом, на импедансных оценках конечностей [4, 5].

Было показано, что количественную оценку толщины подкожного жира можно произвести в трансимпедансном измерении между двумя парами электродов, прикрепленными непосредственно над интересующей исследователя областью [5]. Были также представлены несколько схем расположения электродов в абдоминальной области. Анализ согласованности между количественной оценкой толщины подкожного жира методом МРТ и значением локального импеданса в широком морфологическом диапазоне показал сильную корреляционную зависимость между этими величинами ( $r^2 = 0,984$ ) [6].

В России опубликованы два исследования, посвященные изучению локальных отведений БИА [7, 8]. Цель данной работы — анализ связей импедансных характеристик, полученных в локальной отведении в абдоминальной области, с комплексом морфологических и биохимических признаков взрослых мужчин и женщин.

Мы исследуем связи локальных отведений БИА с комплексом антропометрических признаков и индексов, характеризующих количество жира и его топографию, и дополняем полученные оценки данными о метаболических маркерах углеводного обмена и УЗИ-оценками толщины подкожного жира в абдоминальной области.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Обследовали 189 условно здоровых добровольцев (147 женщин в возрасте 18–67 лет и 42 мужчины в возрасте 20–73 лет). Обследование проводили на базе поликлиники ФГБУ ФНКЦ ФХМ имени Ю. М. Лопухина ФМБА России в период с января 2022 по апрель 2023 г. Этническую принадлежность, уровень физической активности, а также наличие диагностированных заболеваний устанавливали в ходе анкетирования. Подавляющее большинство обследованных указали свою этническую принадлежность как русский (хотя бы один родитель был русским). Критерии включения: в исследование были включены совершеннолетние мужчины и женщины, без диагностированных хронических и острых заболеваний на момент обследования и прошедшие все этапы обследования (анкетирование, антропометрическое обследование и биохимический анализ крови). Критерии исключения: возраст младше 18 лет, беременность и лактация, наличие кардиостимулятора, наличие металлических имплантов в корпусе и/или конечностях.

Программа обследования включала измерение длины тела (ДТ) лазерным антропометром (КАФА; Россия) и массы (МТ) тела (Seca; Германия), обхватов талии (ОТ) и бедер (ОБ) неэластичной измерительной лентой. БИА выполняли с применением АВС-02 «Медасс» (НТЦ «Медасс»; Россия) при частоте зондирующего тока 50 кГц в двух отведениях.

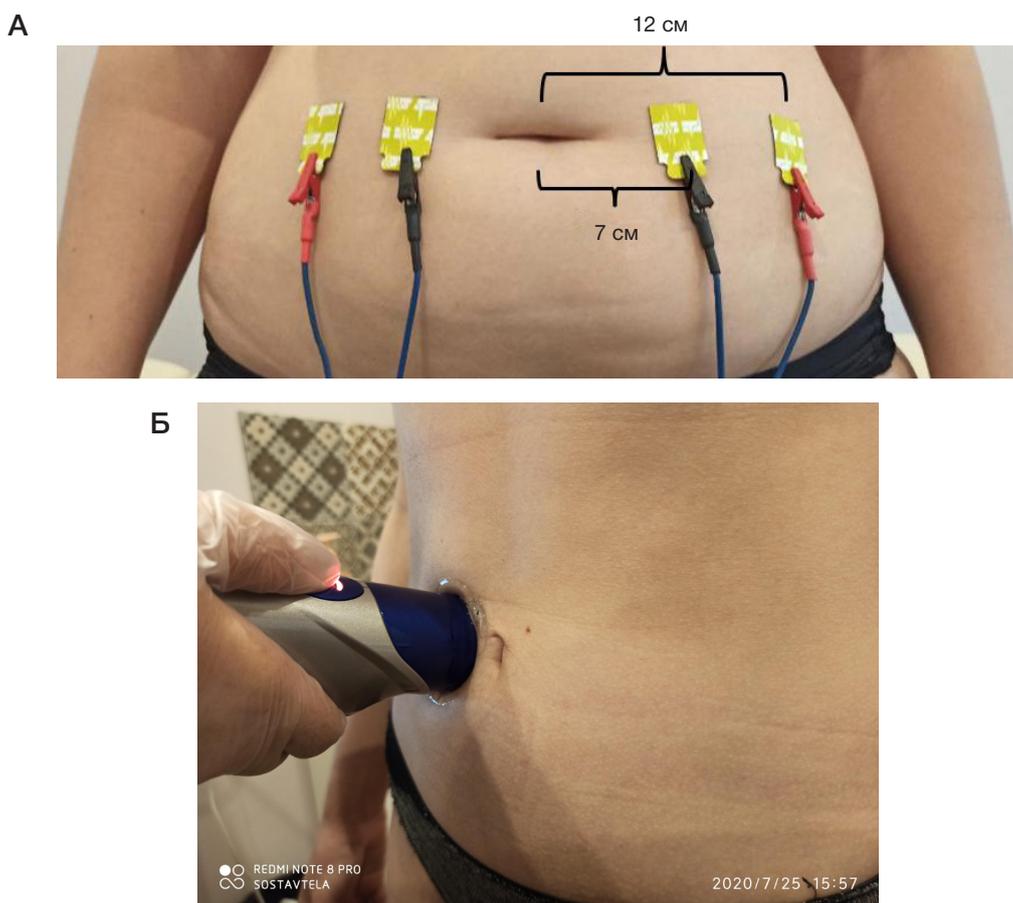
1. По стандартной тетраполярной схеме «запястье — голеностопный сустав» на правой стороне тела с наложением электродов F3001 (FIAV; Италия) при положении испытуемых лежа на спине.

2. Для оценки подкожного жиротложения в абдоминальной области располагали токовые электроды на расстоянии 12 см, а измерительные электроды — на расстоянии 7 см слева и справа от пупка при положении испытуемых стоя [6] (рис. 1А).

При помощи программного обеспечения АВС01-0362 были определены показатели активного и реактивного сопротивления ( $R$ , Ом — для интегральной схемы;  $R_{sc}$ , Ом — для локальной схемы) и соответствующие им импедансы ( $Z_{50}$  и  $Z_{50_{sc}}$ ). Из показателей интегрального отведения были определены абсолютные и относительные значения жировой (ЖМ и %ЖМ соответственно) и тощей массы (ТМ).

При помощи ультразвукового сканера BodyMetrix BX2000 (IntelaMetrix; США) для каждого обследованного были зафиксированы значения толщины (мм) подкожного жира в двух точках в области живота: возле пупка (SFL1) и над подвздошным гребнем (SFL2), которая соответствует верхнеостистоподвздошной кожно-жировой складке (рис. 1Б) [9]. В качестве контактной среды был использован гель для ультразвуковых исследований средней вязкости «Медиагель» («Гельтек»; Россия).

Антропометрические признаки были использованы для расчета индексов: ИМТ — индекс массы тела, WHR — индекс талия/бедра, WHtR — индекс талия/рост [10]. Нутритивный статус (недостаток массы тела, нормальная масса тела, избыточная масса тела и ожирение) определяли по



**Рис. 1. А.** Схема расположения электродов в локальном отведении БИА (ABC-02 «Медасс») для оценки подкожного жиросотложения в области живота. **Б.** Измерение толщины подкожного жира возле пупка УЗИ-сканером BodyMetrix BX2000

значению ИМТ согласно критериям ВОЗ. Кроме того, ожирение диагностировали по значению доли жировой массы тела  $\geq 30\%$  для женщин и  $\geq 25\%$  для мужчин. Центральное ожирение оценивали по значению индекса WHtR  $\geq 0,5$  [10].

Для оценки параметров углеводного обмена (концентрации инсулина, глюкозы натощак и гликированного гемоглобина) проводили биохимический анализ крови. Эти данные использовали для расчета индексов НОМА (Homeostasis model assessment): НОМА-IR, НОМА-%В НОМА-%S. Также при помощи онлайн-калькулятора (<https://www.2.dtu.ox.ac.uk/homacalculator/>) были рассчитаны показатели НОМА2-IR, НОМА2-%В и НОМА2-%S. Значение НОМА-IR  $> 2,7$  считали состоянием инсулинорезистентности.

### Статистический анализ

Оценку параметров положения, варьирования и формы распределения исследованных признаков проводили в программе PAST (<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>). Для проверки согласия данных с нормальным распределением использовали критерии Шапиро–Уилка, Андерсона–Дарлинга, Лиллифорса и Харке–Бера. В расчетных процедурах всех критериев, за исключением Шапиро–Уилка, реализован алгоритм Монте–Карло. При статистических сравнениях не ограничивались вычислениями  $p$ -значений, но оценивали стандартизированный размер эффекта по Коуэну ( $d_c$ ) для парных сравнений и меру  $\epsilon^2$  для критерия Краскела–Уоллиса. Заслуживающими внимания признано считать размеры эффекта, нижняя граница

95%-х доверительных интервалов (ДИ) для которых превышает значение  $d_c = 1$  [11].

Для анализа различий между группами использовали  $t$ -критерий с поправкой Уэлча, критерий Манна–Уитни и критерий Краскела–Уоллиса. При множественных сравнениях использовали поправку Беньямини–Хохберга. Анализ различий между подгруппами и корреляционный анализ были проведены в программах Past и JASP (JASP Team (2024). JASP (Version 0.18.3) [Computer software]), а также с использованием пакетов «ggpubr» (Kassambara A (2023). \_ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots\_. R package version 0.6.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>>) и «rstatix» (Kassambara A (2023). \_rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests\_. R package version 0.7.2, <<https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>>) в среде R (R Core Team (2023). \_R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>). Для всех оцениваемых статистик был рассчитан 95%-й ДИ. Для ROC-анализа использовали EasyROC (<http://biosoft.erciyes.edu.tr/app/easyROC>).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подгруппы мужчин и женщин не различались по возрасту, ИМТ, WHtR, абсолютному количеству жировой массы тела,  $Z50_{sc}$ , толщинам подкожного жира на животе, биохимическим параметрам и индексам НОМА2. Признаки, по которым наблюдались значимые различия ( $p < 0,001$ ), между подгруппами мужчин и женщин представлены в табл. 1.

Таблица 1. Признаки, по которым обнаружены значимые половые различия

Признак	Пол	Среднее (SD)	Размер эффекта [95%ДИ]
WHR	Ж	0,764 (0,091)	-1,221 [-1,602; -0,834]
	М	0,860 (0,063)	
Длина тела, см	Ж	167,1 (7,6)	-1,871 [-2,302; -1,433]
	М	179,4 (5,3)	
Масса тела, кг	Ж	69,7 (15,6)	-1,023 [-1,407; -0,632]
	М	86,6 (17,4)	
Окружность талии, см	Ж	77,8 (13,2)	-0,823 [-1,190; -0,450]
	М	88,6 (13,1)	
Доля ЖМ (%)	Ж	30,6 (8,7)	0,910 [0,533; 1,282]
	М	22,9 (8,2)	
Безжировая масса тела, кг	Ж	47,3 (6,1)	-2,719 [-3,315; -2,114]
	М	65,6 (7,3)	

Как следует из представленных данных (табл. 1), половой диморфизм не наблюдается для значений толщин подкожного жира в области живота и локального импеданса в абдоминальной области. На фоне половых различий в ОТ и WHR отсутствие полового диморфизма в значениях SFL1, SFL2 и  $Z50_{sc}$  может свидетельствовать о различиях в количестве висцерального жира, а также о потенциальной возможности количественной оценки висцерального жиротложения методами локального БИА. Для этого необходимо дополнить обследование локальным отведением в сагиттальной области живота. Корреляционный анализ комплекса исследуемых

признаков (рис. 2) выявил значимые связи  $Z50_{sc}$  с WHtR (0,739 [0,667; 0,797]), массой тела (0,609 [0,510; 0,691]), обхватом талии (0,700 [0,510; 0,766]), ИМТ (0,731 [0,657; 0,791]), ЖМ и ее долей (0,724 [0,648; 0,786] и 0,662 [0,573; 0,735]), толщиной подкожного жира на животе (0,692 [0,608; 0,761] и 0,743 [0,671; 0,802]), концентрацией инсулина (0,541 [0,428; 0,637]), HOMA2-IR (0,539 [0,425; 0,636]) и HOMA2-%S (-0,539 [-0,636; -0,425]).

Широкий диапазон морфологических признаков, представленный в обследованной выборке, позволяет провести сравнительный анализ значений  $Z50_{sc}$  в различных подгруппах: по нутритивному статусу, определенному по

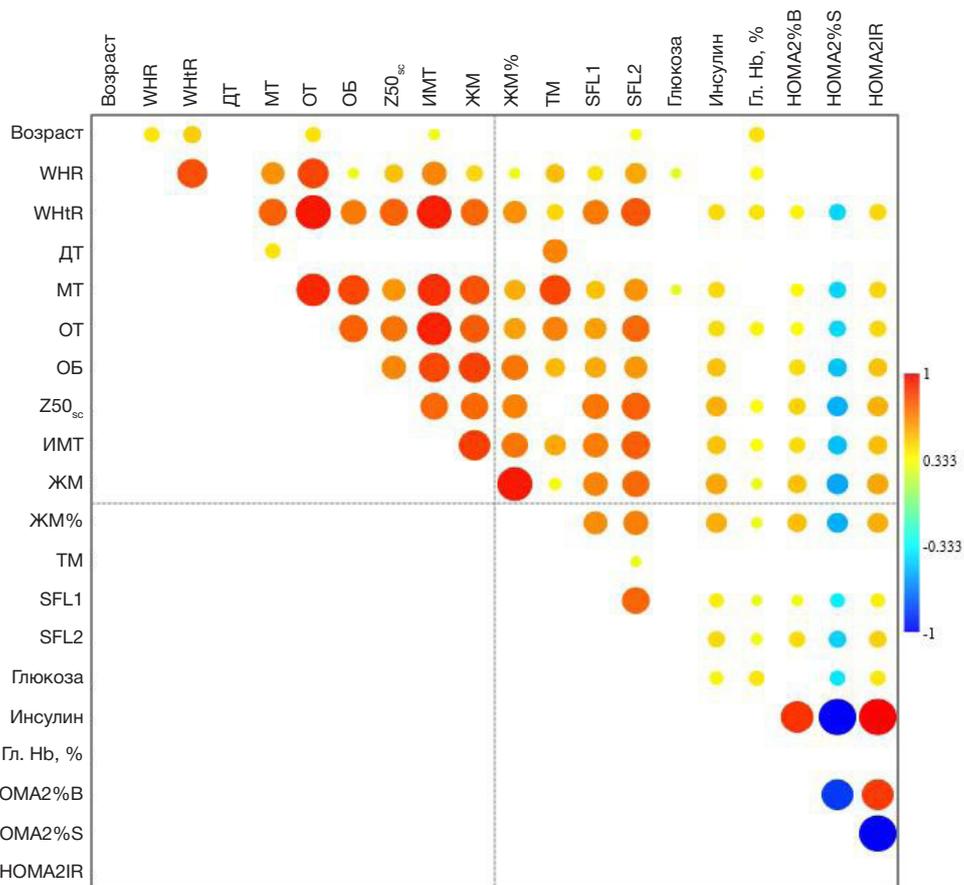


Рис. 2. Корреляционные связи комплекса исследованных признаков. DT — длина тела, MT — масса тела, OT — обхват талии, ОБ — обхват бедер, SFL1 — толщина подкожного жира возле пупка, SFL2 — толщина подкожного жира в области верхнеэпистоподвздошной КЖС. Показаны только статистически значимые корреляции

Таблица 2. Сравнительный анализ  $Z50_{sc}$  в различных подгруппах обследованной выборки

Признак	Подгруппа	$Z50_{sc}$	Размер эффекта [95%ДИ]	$p$ -значение
Пол	Ж	51,6 (23,1)	-0,112 [-0,455; 0,232]	0,525
	М	54,2 (25,8)		
WhtR	<0,5	41,1 (14,1)	2,252 [1,77; 2,73]	< 0,001
	$\geq 0,5$	79,9 (19,9)		
НОМА-IR	Норма	44,7 (19,1)	-1,718 [-2,007; -1,521]	< 0,001
	ИР	69,6 (24,7)		
%ЖМ	Норма	38,6 (13,6)	-1,654 [-1,984; -1,320]	< 0,001
	Ожирение	68,8 (22,8)		
ИМТ	Норма	39,6 (13,1)	0,533 [0,44; 0,62]	< 0,001
	Избыток	59,0 (18,8)		
	Ожирение	82,2 (20,3)		

Примечание: для ИМТ в качестве размера эффекта использовали меру  $e^2$ , для всех остальных —  $d_c$ ; ИР — инсулинорезистентность (НОМА-IR > 2,7)

значению ИМТ, по наличию ожирения, определенному по значению %ЖМ, а также по наличию абдоминального ожирения по значению WhtR (табл. 2).

Повышенные значения признаков, ассоциированных с риском развития кардиометаболических заболеваний (абдоминальное ожирение, инсулинорезистентность и доля жировой массы), связаны с большими значениями локального импеданса. Различия между подгруппами подтверждаются не только уровнем статистической значимости, но и значительным размером эффекта (табл. 2).

Далее для этих признаков был проведен ROC-анализ с целью оценки возможности использования  $Z50_{sc}$  в качестве диагностического критерия абдоминального ожирения,

доли ЖМ и инсулинорезистентности (рис. 3). Максимальные значения  $AUC$  наблюдаются для индекса WhtR. Для НОМА-IR  $AUC$  меньше, однако значимо отличается от безразличного значения ( $AUC = 0,5$ ), что свидетельствует о необходимости дальнейшего исследования  $Z50_{sc}$  с привлечением групп с диагностированным преддиабетом и диабетом 2-го типа.

Таким образом, большим значениям признаков, ассоциированных с повышенным жиротложением и риском развития коморбидных заболеваний, соответствуют высокие значения локального импеданса (рис. 3). Значения  $AUC$  свидетельствуют о том, что  $Z50_{sc}$  потенциально может служить в качестве диагностического теста, а конкретные

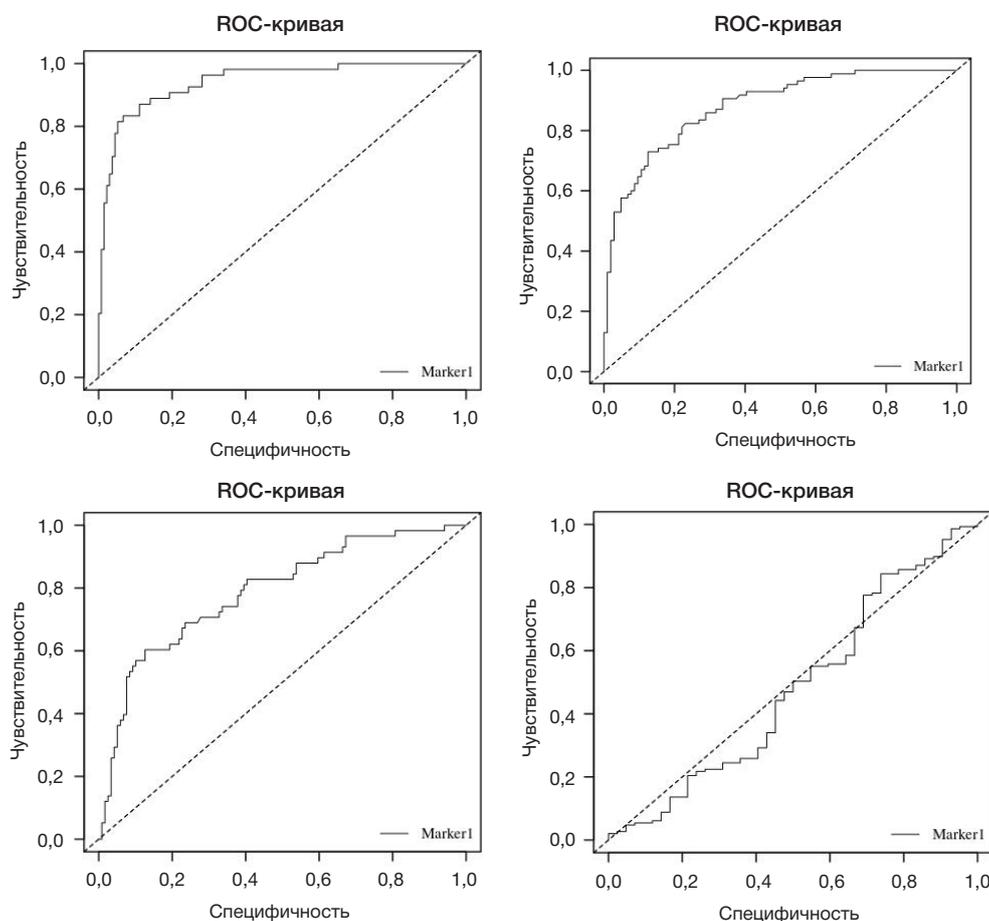


Рис. 3. ROC-анализ значений локального импеданса в абдоминальной области ( $Z50_{sc}$ ) в подгруппах по полу, наличию абдоминального ожирения, наличию ожирения по доле жировой массы тела и наличию инсулинорезистентности по индексу НОМА-IR

пороговые значения  $Z50_{sc}$  в перспективе могут стать дополнительным неинвазивным экспресс-методом оценки кардиометаболических рисков.

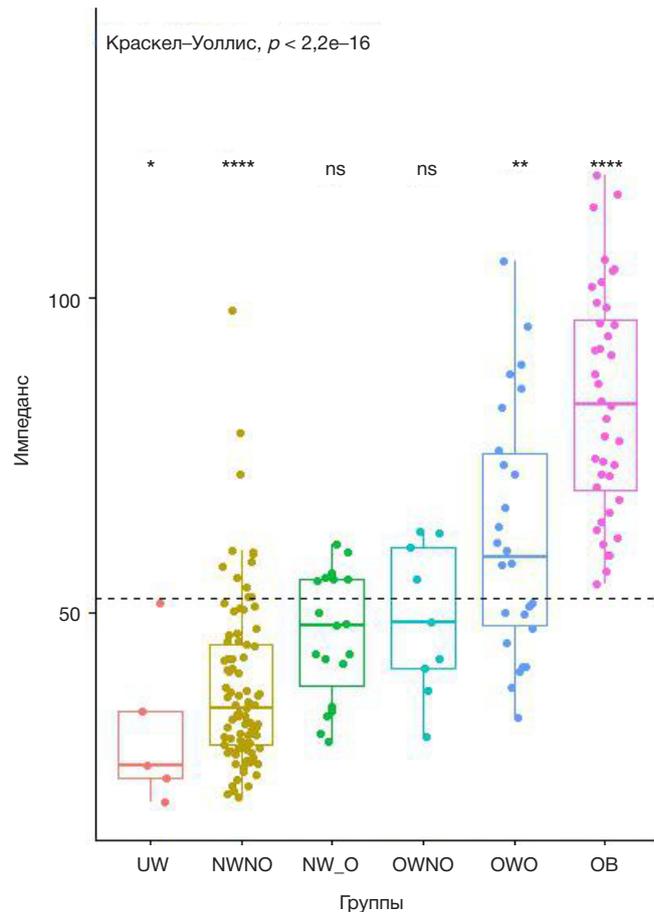
Сочетание ИМТ и %ЖМ позволяет уточнить диагностику ожирения и выделить людей со скрытым ожирением [12] и людей с повышенным ИМТ (избыточная масса тела), но нормальной долей жира. На рис. 4 представлены значения  $Z50_{sc}$  в подгруппах с возрастающей массой тела и долей жировой массы тела: недостаток массы тела (UW) — ИМТ < 18,5 кг/м<sup>2</sup>; нормальная масса тела и %ЖМ (NWNO) — ИМТ в пределах 18,5–24,9 кг/м<sup>2</sup> и %ЖМ < 25% для мужчин и < 30% для женщин; скрытое ожирение (NW\_O) — ИМТ в пределах 18,5–24,9 кг/м<sup>2</sup> и %ЖМ ≥ 25% для мужчин и ≥ 30% для женщин; избыточная масса тела по ИМТ и нормальное значение %ЖМ (OWNO) — ИМТ в пределах 25,0–29,9 и %ЖМ < 25% для мужчин и < 30% для женщин; избыточная масса тела по ИМТ и ожирение по %ЖМ (OWO) — ИМТ в пределах 25,0–29,9 и %ЖМ ≥ 25% для мужчин и ≥ 30% для женщин; ожирение по ИМТ и %ЖМ (OB) — ИМТ > 29,9 и %ЖМ ≥ 25% для мужчин и ≥ 30% для женщин.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что локальные импедансные оценки в абдоминальной области возрастают по мере увеличения ИМТ и %ЖМ. Обнаружены значимые различия между подгруппами с нормальной массой тела и подгруппой со скрытым ожирением (NWNO vs NW\_O;  $p = 0,029$ ) и отсутствие значимых различий между подгруппами со скрытым ожирением и избыточной массой тела и ожирением (NW\_O vs OWO;  $p = 0,097$ ), а также между подгруппами NWNO и OWNNO ( $p = 0,118$ ). Подгруппа с ожирением (OB) значительно отличается от всех остальных подгрупп ( $p < 0,005$ ). Обхват талии, толщина подкожного слоя жира возле пупка и WHtR не отличаются между NWNO и NW\_O, однако по SFL2 данные подгруппы статистически значимо различны ( $p = 0,015$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Поиск наилучших характеристик, описывающих индивидуальный фенотип ожирения, сместился от антропометрических измерений к раздельной оценке жировой и безжировой массы тела, а в настоящий момент к количественной оценке различных депо жира и особенностей его распределения [13, 14]. Исследованию возможности количественной оценки висцерального жира методом БИА посвящено несравнимо больше работ, по сравнению с подкожным жиром на животе [15].

В данном исследовании проведен анализ связей локального импеданса в абдоминальной области, определенного с применением российского биоимпедансного анализатора (ABC-02 «Медасс»), с толщиной подкожной жировой клетчатки в области живота и биохимическими маркерами углеводного обмена. Полученные результаты подтверждают тесную связь оценок, получаемых в локальном отведении БИА, с комплексом морфологических и метаболических признаков, характеризующих накопление подкожного жира в области живота. Следует отметить, что зарубежные производители биоимпедансного оборудования выпускают серийные приборы (Y-score InBody, Корея и Maltron BioScan 920-II, Великобритания), позволяющие производить количественную оценку подкожного и висцерального жира в локальных отведениях. Однако уравнения оценки не опубликованы производителями. Поэтому изучение возможностей отечественного БИА,



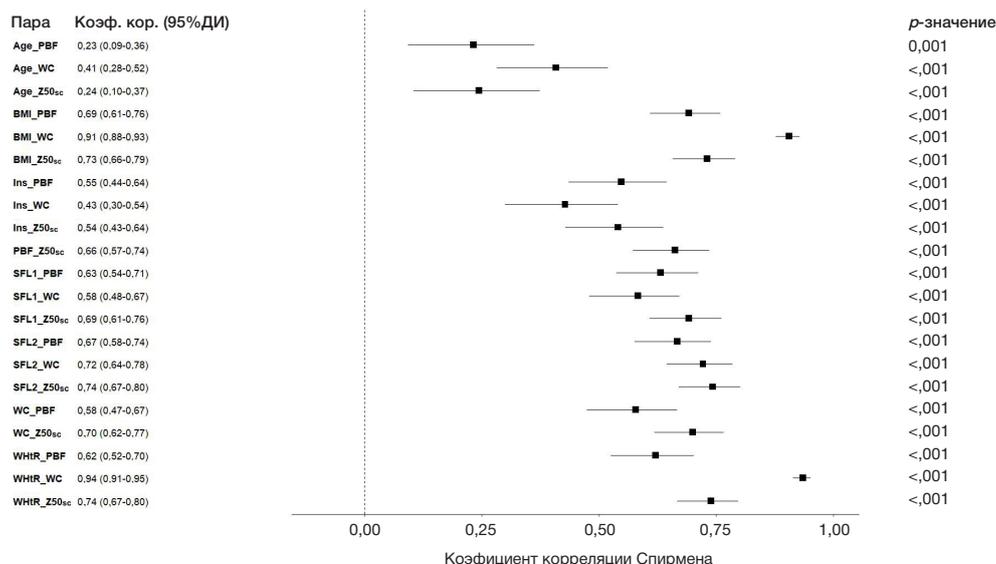
**Рис. 4.** Распределение значений  $Z50_{sc}$  в подгруппах обследованной выборки, сформированных по возрастанию ИМТ и %ЖМ. UW — недостаток массы тела; NWNO — нормальная масса тела и %ЖМ; NW\_O — ожирение при нормальном весе; OWNNO — избыточная масса тела по ИМТ и нормальное значение %ЖМ; OWO — избыточная масса тела по ИМТ и ожирение по %ЖМ; OB — ожирение по ИМТ и %ЖМ. Пунктирная горизонтальная линия — среднее значение  $Z50_{sc}$  в обследованной выборке. \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\*\* —  $p < 0,0001$ ; ns —  $p \geq 0,05$

получившего широкое распространение в лечебных и исследовательских учреждениях РФ, для оценки подкожного и висцерального жироматложения в локальных схемах, на наш взгляд, особенно актуально.

Для значений  $Z50_{sc}$  не наблюдается половой диморфизм, в отличие от ОТ и %ЖМ. Коэффициенты корреляции  $Z50_{sc}$  с WHtR, МТ, ОТ, ИМТ, SFL1 и SFL2 выше, чем для %ЖМ, определенной в интегральной схеме БИА. Однако следует отметить, что 95%ДИ коэффициентов корреляции  $Z50_{sc}$ , %ЖМ и ОТ практически для всех пар признаков перекрываются, что свидетельствует об отсутствии значимых различий между данными корреляционными парами для обследованной выборки (рис. 5). Корреляционные связи  $Z50_{sc}$  и %ЖМ с концентрацией инсулина были выше, чем корреляция инсулина с ОТ, однако локальная оценка не дает преимуществ по сравнению с %ЖМ, рассчитанной в традиционной схеме.

Корреляционные оценки, полученные в данном исследовании для пар  $Z50_{sc}$ –%ЖМ и  $Z50_{sc}$ –ОТ, близки к оценкам, полученным в предыдущем исследовании [7]. Тогда как оценки, полученные для группы алтайцев, оказались значительно ниже для пары  $Z50_{sc}$ –ОТ, и аналогичными по своим значениям парам  $Z50_{sc}$ –WHtR и  $Z50_{sc}$ –%ЖМ [8].

Результаты ROC-анализа (рис. 3; HOMA-IR) позволяют предполагать, что  $Z50_{sc}$  может быть использован



**Рис. 5.** Значения коэффициентов корреляции Спирмена и их 95%ДИ для пар исследованных признаков. Age — возраст, PBF — %ЖМ, WC — обхват талии, Z50<sub>sc</sub> — импеданс в локальном отведении, BMI — ИМТ, Ins — инсулин мкМЕ/мл, SFL1 — толщина слоя подкожного жира возле пупка, SFL2 — толщина слоя подкожного жира над подвздошным гребнем, WHtR — индекс талия/рост

в качестве дополнительного критерия для оценки инсулинорезистентности у взрослых, однако необходимо увеличение объема выборки и включения в группу людей с подтвержденными кардиометаболическими заболеваниями. Также необходима оценка диагностической ценности Z50<sub>sc</sub> в группах, сформированных по полу. Количественная оценка подкожного абдоминального жиротложения важна и с позиции изучения ремоделинга белой жировой ткани, как для исследования формирования метаболических нарушений при ожирении, так и для оценки эффективности применения ряда лекарственных препаратов [13, 16]. Связь двух количественных оценок подкожного жира — локальной БИА и толщины подкожного жира, определенной в УЗИ-сканировании, — позволяет разработать уравнения для расчета толщины слоя подкожного жира или площади поперечного сечения из показателей локального отведения ABC-02 «Медасс». При соответствующей верификации референсными методами данные уравнения могут заменить КТ и МРТ в массовых скрининговых исследованиях [6, 16].

Оценки, получаемые в локальных отведениях БИА (импеданс, активное и реактивное сопротивление), могут быть использованы для разработки различных индексов, например, производные от активного сопротивления [8, 17]. Нами также был проанализирован индекс подкожного жиротложения ( $R_{sc} \cdot OT, m^2$ ). ИПЖ был предложен ранее [7] по аналогии с индексом висцерального жиротложения в более ранней работе [17]. На сегодняшний день эти индексы не были валидированы как критерии оценки рисков коморбидных ожирению заболеваний. Корреляция ИПЖ с WHtR (0,87 [0,71; 0,90]), OT (0,87 [0,81; 0,91]) и WHR (0,66 [0,59; 0,73]) выше, чем корреляции Z50<sub>sc</sub> с данными индексами (0,74 [0,67; 0,80], 0,70 [0,62; 0,77] и 0,49 [0,38; 0,59] соответственно). Корреляция Z50<sub>sc</sub> с ИПЖ составила 0,95 [0,92; 0,97]. В целом, ИПЖ не показал каких-либо принципиальных отличий от Z50<sub>sc</sub>, за исключением значимых различий между подгруппами женщин и мужчин (36,2 (29,5) против 47,9 (35,3), Ом/м<sup>2</sup>;  $p = 0,021$ ). Полученные корреляционные оценки ИПЖ согласуются с опубликованными ранее данными [7], однако медианные значения и корреляции ИПЖ с морфологическими признаками в группе этнических алтайцев оказались значительно ниже [8].

Интересно, что из всех исследованных признаков только показатели Z50<sub>sc</sub> и SFL2 позволяют отличить группу людей со скрытым ожирением от группы с таким же ИМТ, но нормальной долей жировой массы. Также по Z50<sub>sc</sub> группы с высокой долей жира, но разными ИМТ не отличаются друг от друга, тогда как по OT, WHtR и SFL1 для данных групп обнаруживаются значимые различия. Аналогично подгруппы без ожирения по %ЖМ, но разным ИМТ не показывают различий по Z50<sub>sc</sub>. Это связано с тем, что Z50<sub>sc</sub> в большей степени отражает именно жировой компонент, тогда как OT и WHtR служат суррогатными оценками абдоминального жиротложения, и большие значения данных признаков могут быть связаны с развитием скелетных мышц у физически активных людей. Или, наоборот, нормальные значения OT и WHtR обусловлены замещением мышечной ткани на жировую с сохранением небольшого обхвата талии, как в случае со скрытым ожирением. В целом паттерн изменения локальной импедансной оценки в абдоминальной области в данных группах соответствует %ЖМ, определенной в интегральной схеме, но корреляция Z50<sub>sc</sub> с %ЖМ в объединенной выборке мужчин и женщин составила 0,662 [0,573; 0,735], т. е. не является высокой.

К ограничениям исследования следует отнести малочисленность группы взрослых с недостаточной массой тела (ИМТ < 18,5 кг/м<sup>2</sup>), а также людей с низкой долей жира, но хорошим развитием скелетной мускулатуры.

## ВЫВОДЫ

В данном исследовании показана связь признака Z50<sub>sc</sub>, полученного в локальном отведении БИА на отечественном биоимпедансном оборудовании, с комплексом антропометрических и биохимических признаков у мужчин и женщин. В целом, большие значения Z50<sub>sc</sub> соответствуют более выраженному жиротложению и его абдоминальной топографии. Корреляционные связи Z50<sub>sc</sub> с толщиной подкожного жира в области живота позволяют потенциально разработать уравнения для пересчета показателей Z50<sub>sc</sub> в толщину подкожного жира на животе (площадь поперечного сечения подкожной жировой клетчатки). Результаты ROC-анализа Z50<sub>sc</sub> с индексом HOMA-IR

позволяют в перспективе рассматривать локальное отведение БИА в качестве простого и неинвазивного критерия для оценки нарушений углеводного обмена, связанных с избыточным накоплением подкожного жира на животе. Однако необходимы дальнейшие исследования для установления количественных характеристик такого теста для оценки диагностической ценности  $Z50_{sc}$ : оценка порогового значения, чувствительности и специфичности. Количественные оценки локальных депо жира используются для разработки критериев (например, с поправкой на

ИМТ и пол) дифференциальной оценки рисков развития коморбидных заболеваний [18]. В перспективе возможна разработка уравнений для количественной оценки площади подкожного и висцерального депо жира из данных, получаемых в локальных отведениях БИА, а также индексов на их основе. Эти оценки могут стать новыми дополнительными диагностическими критериями для оценки индивидуального риска развития кардиометаболических заболеваний или персонализированного подхода к их лечению в зависимости от пола и возраста пациентов.

## Литература

- Alser M, Elrayess MA. From an Apple to a Pear: Moving Fat around for Reversing Insulin Resistance. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19 (21): 14251. DOI: 10.3390/ijerph192114251.
- Zhu K, Walsh JP, Murray K, Hunter M, Hui J, Hung J. DXA-Derived vs Standard Anthropometric Measures for Predicting Cardiometabolic Risk in Middle-Aged Australian Men and Women. *J Clin Densitom*. 2022; 25 (3): 299–307. DOI: 10.1016/j.jocd.2022.01.006.
- Lee MH, Zea R, Garrett JW, Summers RM, Pickhardt PJ. AI-based abdominal CT measurements of orthotopic and ectopic fat predict mortality and cardiometabolic disease risk in adults. *Eur Radiol*. 2024; 12. DOI: 10.1007/s00330-024-10935-w.
- Catapano A, Trinchese G, Cimmino F, Petrella L, D'Angelo M, Di Maio G, et al. Impedance Analysis to Evaluate Nutritional Status in Physiological and Pathological Conditions. *Nutrients*. 2023;15 (10): 2264. DOI: 10.3390/nu15102264.
- Gonzalez CA, Zuniga O, Padilla LE. Detection of animal tissue thickness using simple vertical electric sounding (VES). *Physiol Measmt* 1997; 18: 85–91.
- Scharfetter H, Schlager T, Stollberger R, Felsberger R, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Assessing abdominal fatness with local bioimpedance analysis: basics and experimental findings. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001; 25 (4): 502–11. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801556.
- Соловьева А. Е., Гиль-Ордонес Э., Гонзалес-Корреа К. Х., Руднев С. Г. Применение локальной импедансометрии для оценки подкожного и висцерального жиротложения и их связь с комплексом эндогенных и экзогенных факторов в группе взрослого населения Республики Алтай. *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*. 2021; 76 (1): 33–40.
- Bondareva EA, Parfenteva OI, Troshina EA, Ershova EV, Mazurina NV, Komshilova KA, et al. Agreement between bioimpedance analysis and ultrasound scanning in body composition assessment. *Am J Hum Biol*. 2024; 36 (4): e24001. DOI: 10.1002/ajhb.24001.
- Sadeghi E, Khodadadiyan A, Hosseini SA, Hosseini SM, Aminorroaya A, Amini M, et al. Novel anthropometric indices for predicting type 2 diabetes mellitus. *BMC Public Health*. 2024; 24 (1): 1033. DOI: 10.1186/s12889-024-18541-7.
- Solla F, Tran A, Bertonecchi D, Musoff C, Bertonecchi CM. Why a P-Value is Not Enough. *Clin Spine Surg*. 2018; 31 (9): 385–88. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000695.
- De Lorenzo A, Martinoli R, Vaia F, Di Renzo L. Normal weight obese (NWO) women: an evaluation of a candidate new syndrome. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2006; 16 (8): 513–23. DOI: 10.1016/j.numecd.2005.10.010.
- Zhao JY, Zhou LJ, Ma KL, Hao R, Li M. MHO or MUO? White adipose tissue remodeling. *Obes Rev*. 2024; 25 (4): e13691. DOI:10.1111/obr.13691
- Piché ME, Tchernof A, Després JP. Obesity phenotypes, diabetes, and cardiovascular diseases. *Circ Res*. 2020; 126 (11): 1477–500.
- Lai CL, Lu HK, Huang AC, Chu LP, Chuang HY, Hsieh KC. Bioimpedance analysis combined with sagittal abdominal diameter for abdominal subcutaneous fat measurement. *Front Nutr*. 2022; 9: 952929. DOI: 10.3389/fnut.2022.952929.
- Gastaldelli A, Cusi K, Fernández Landó L, Bray R, Brouwers B, Rodríguez Á. Effect of tirzepatide versus insulin degludec on liver fat content and abdominal adipose tissue in people with type 2 diabetes (SURPASS-3 MRI): a substudy of the randomised, open-label, parallel-group, phase 3 SURPASS-3 trial. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2022; 10 (6): 393–406.
- Watson S, Blundell HL, Evans WD, Griffiths H, Newcombe RG, Rees DA. Can abdominal bioelectrical impedance refine the determination of visceral fat from waist circumference? *Physiol Meas*. 2009; 30 (7): N53–8. DOI: 10.1088/0967-3334/30/7/N01.
- Agrawal S, Klarqvist MDR, Diamant N, Stanley TL, Ellnor PT, Mehta NN, et al. BMI-adjusted adipose tissue volumes exhibit depot-specific and divergent associations with cardiometabolic diseases. *Nat Commun*. 2023; 14 (1): 266. DOI: 10.1038/s41467-022-35704-5.

## References

- Alser M, Elrayess MA. From an Apple to a Pear: Moving Fat around for Reversing Insulin Resistance. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19 (21): 14251. DOI: 10.3390/ijerph192114251.
- Zhu K, Walsh JP, Murray K, Hunter M, Hui J, Hung J. DXA-Derived vs Standard Anthropometric Measures for Predicting Cardiometabolic Risk in Middle-Aged Australian Men and Women. *J Clin Densitom*. 2022; 25 (3): 299–307. DOI: 10.1016/j.jocd.2022.01.006.
- Lee MH, Zea R, Garrett JW, Summers RM, Pickhardt PJ. AI-based abdominal CT measurements of orthotopic and ectopic fat predict mortality and cardiometabolic disease risk in adults. *Eur Radiol*. 2024; 12. DOI: 10.1007/s00330-024-10935-w.
- Catapano A, Trinchese G, Cimmino F, Petrella L, D'Angelo M, Di Maio G, et al. Impedance Analysis to Evaluate Nutritional Status in Physiological and Pathological Conditions. *Nutrients*. 2023;15 (10): 2264. DOI: 10.3390/nu15102264.
- Gonzalez CA, Zuniga O, Padilla LE. Detection of animal tissue thickness using simple vertical electric sounding (VES). *Physiol Measmt* 1997; 18: 85–91.
- Scharfetter H, Schlager T, Stollberger R, Felsberger R, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Assessing abdominal fatness with local bioimpedance analysis: basics and experimental findings. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001; 25 (4): 502–11. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801556.
- Soloveva AE, Gil-Ordones Ye, Gonzales-Korrea KH, Rudnev SG. Primenenie lokal'noj impedansometrii dlja ocenki podkozhnogo i visceral'nogo zhirootlozhenija v abdominal'noj oblasti u studentov vuza. *Morfologija*. 2019; 156 (4): 85–90. Russian.

8. Rokkina AN, Pravednikova AYе. Shidlovskij YuV, Popova EV, Zadorozhnaja LV, Homjakova IA. Indeksy podkozhnogo i visceral'nogo zhirootlozhenija i ih svjaz' s kompleksom jendogennyh i jekzogennyh faktorov v gruppe vzroslogo naselenija Respubliki Altaj. Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 16. Biologija. 2021; 76 (1): 33–40. Russian.
9. Bondareva EA, Parfenteva OI, Troshina EA, Ershova EV, Mazurina NV, Komshilova KA, et al. Agreement between bioimpedance analysis and ultrasound scanning in body composition assessment. *Am J Hum Biol.* 2024; 36 (4): e24001. DOI: 10.1002/ajhb.24001.
10. Sadeghi E, Khodadadiyan A, Hosseini SA, Hosseini SM, Aminorroaya A, Amini M, et al. Novel anthropometric indices for predicting type 2 diabetes mellitus. *BMC Public Health.* 2024; 24 (1): 1033. DOI: 10.1186/s12889-024-18541-7.
11. Solla F, Tran A, Bertocelli D, Musoff C, Bertocelli CM. Why a P-Value is Not Enough. *Clin Spine Surg.* 2018; 31 (9): 385–88. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000695.
12. De Lorenzo A, Martinoli R, Vaia F, Di Renzo L. Normal weight obese (NWO) women: an evaluation of a candidate new syndrome. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2006; 16 (8): 513–23. DOI: 10.1016/j.numecd.2005.10.010.
13. Zhao JY, Zhou LJ, Ma KL, Hao R, Li M. MHO or MUO? White adipose tissue remodeling. *Obes Rev.* 2024; 25 (4): e13691. DOI:10.1111/obr.13691
14. Piché ME, Tchernof A, Després JP. Obesity phenotypes, diabetes, and cardiovascular diseases. *Circ Res.* 2020; 126 (11): 1477–500.
15. Lai CL, Lu HK, Huang AC, Chu LP, Chuang HY, Hsieh KC. Bioimpedance analysis combined with sagittal abdominal diameter for abdominal subcutaneous fat measurement. *Front Nutr.* 2022; 9: 952929. DOI: 10.3389/fnut.2022.952929.
16. Gastaldelli A, Cusi K, Fernández Landó L, Bray R, Brouwers B, Rodríguez Á. Effect of tirzepatide versus insulin degludec on liver fat content and abdominal adipose tissue in people with type 2 diabetes (SURPASS-3 MRI): a substudy of the randomised, open-label, parallel-group, phase 3 SURPASS-3 trial. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2022; 10 (6): 393–406.
17. Watson S, Blundell HL, Evans WD, Griffiths H, Newcombe RG, Rees DA. Can abdominal bioelectrical impedance refine the determination of visceral fat from waist circumference? *Physiol Meas.* 2009; 30 (7): N53–8. DOI: 10.1088/0967-3334/30/7/N01.
18. Agrawal S, Klarqvist MDR, Diamant N, Stanley TL, Ellinor PT, Mehta NN, et al. BMI-adjusted adipose tissue volumes exhibit depot-specific and divergent associations with cardiometabolic diseases. *Nat Commun.* 2023; 14 (1): 266. DOI: 10.1038/s41467-022-35704-5.