

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ / BIOLOGICAL ANTHROPOLOGY

Научная статья / Research Article

<https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-3-06>

УДК/UDC 572.5/.7

Сравнение методов биоимпедансного анализа и антропометрии для мониторинга состава тела у спортсменов: комплексная лонгитюдная оценка согласованности и динамики

Т.Ф. Абрамова ✉, Е.В. Федотова, А.В. Полфунтикова

Федеральный научный центр физической культуры и спорта, г. Москва, Российская Федерация

✉ abramova.t.f@vniifk.ru

РЕЗЮМЕ

Введение. Вопрос о сопоставимости результатов оценки состава тела методами биоимпедансного анализа и антропометрии, их совместном использовании и взаимозаменяемости остается дискуссионным. Цель исследования - оценить взаимосвязь, уровень систематического межметодного расхождения и согласованность временных траекторий показателей состава тела, полученных с применением биоимпедансного анализа и антропометрии при повторных измерениях у квалифицированных спортсменов.

Материал и методы. Участники исследования - 18 спортсменов (12 мужчин, 6 женщин) 19–23 лет, специализирующихся в пожарно-спасательном спорте. Применялись: анализатор водных секторов организма «АВС-01 Медасс» (Россия); антропометр, медицинские весы, сантиметровая лента и калипер Lange (Cambridge, Maryland). Мышечная и жировая масса рассчитывались с использованием: базовой программы оценки состава тела «АВС-03612» и схемы Матейки (1921). Проведено пять повторных измерений с интервалом 35–40 дней, оценивались абсолютная и относительная мышечная и жировая масса. Применялись парный критерий Вилкоксона, ранговые коэффициенты Спирмена, внутриклассовый коэффициент корреляции (ICC2), анализ Бланда-Альтмана для уровней и межтестовых изменений, линейные модели смешанных эффектов (LMM).

Результаты и обсуждение. В группе спортсменов значения мышечной массы по БИА были систематически ниже, жировой – систематически выше по сравнению с антропометрическими результатами. Различия значимы во всех точках ($p = 0,002$ у мужчин, $p = 0,028$ у женщин). Выявлена сильная корреляционная связь (0,63–0,93) между абсолютными показателями; ICC2, учитывающий систематическое межметодное расхождение и разброс между методами, существенно ниже (0,05–0,65). Для большинства показателей выявлено пропорциональное и значительное систематическое межметодное расхождение. Методы согласованно отражают групповые временные тренды, их взаимозаменяемость ограничена в индивидуальном лонгитюдном мониторинге.

Заключение. Результаты подчеркивают необходимость оценки согласия между методами с учетом межметодного расхождения, его устойчивости, возможного пропорционального компонента и различий между групповым и индивидуальным уровнями анализа.

Ключевые слова: состав тела; антропометрия; биоимпедансный анализ; согласованность методов; лонгитюдный мониторинг

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00021-26 (тема № 001-25/3).

Для цитирования: Абрамова Т.Ф., Федотова Е.В., Полфунтикова А.В. Сравнение методов биоимпедансного анализа и антропометрии для мониторинга состава тела у спортсменов: комплексная лонгитюдная оценка согласованности и динамики // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2026. № 3. С. 86–98. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-3-06>

Comparison of bioelectrical impedance analysis and anthropometry for body composition monitoring in athletes: a comprehensive longitudinal assessment of agreement and dynamics

Tamara F. Abramova ✉, Elena V. Fedotova, Anastasia V. Polfuntikova

Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), Moscow, Russian Federation

✉ abramova.t.f@vniifk.ru

ABSTRACT

Introduction. The degree of comparability of body composition assessment results using bioimpedance analysis and anthropometry, their combined use, and their interchangeability remain controversial. The aim of this study was to evaluate the relationships, level of bias, and consistency of time courses of body composition indices obtained repeatedly using bioimpedance analysis and anthropometry in elite athletes.

Materials and Methods. Study participants included 18 athletes (12 males, 6 females) aged 19–23 years, specializing in fire and rescue sports. The following were used: an ABC-01 Medass body water sector analyzer (Russia); an anthropometer, medical scales, a measuring tape, and a Lange caliper (Cambridge, Maryland). Muscle and fat mass were calculated using the ABC-03612 basic body composition assessment program and the Matiegka scheme (1921). Five repeated measurements were taken at intervals of 35–40 days; absolute and relative muscle and fat mass were estimated. The paired Wilcoxon test, Spearman's rank coefficients, intraclass correlation coefficient (ICC2), Bland–Altman analysis for levels and interassay changes, and linear mixed-effects models (LMM) were used.

Results and discussion. In the athlete group, BIA muscle mass values were systematically lower and fat mass values were systematically higher compared to anthropometric results. Differences were significant at all points ($p = 0.002$ in male, $p = 0.028$ in female). A strong correlation (0.63–0.93) was found between absolute values; ICC2, which takes into account systematic bias and intermethod variance, was significantly lower (0.05–0.65). Proportional and significant systematic bias was found for most parameters. The methods consistently reflect group time trends; their interchangeability is limited in individual longitudinal monitoring.

Conclusion. The results highlight the need to assess intermethod agreement by taking into account intermethod bias, its robustness, the possible proportional component, and differences between group and individual levels of analysis.

Keywords: body composition; anthropometry; bioelectrical impedance analysis; method agreement; longitudinal monitoring

Funding. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Scientific Center of Physical Culture No. 777-00021-26 (topic No. 001-25/3).

For citation: Abramova T.F., Fedotova E.V., Polfuntikova A.V. Comparison of Bioelectrical Impedance Analysis and Anthropometry for Body Composition Monitoring in Athletes: A Comprehensive Longitudinal Assessment of Agreement and Dynamics. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2026 (3), pp. 86–98. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-3-06>

Введение

Морфологический статус спортсмена является одним из ключевых компонентов спортивной работоспособности и результативности. Особое значение в его структуре имеет соотношение мышечной и жировой массы как наиболее лабильных интегральных компонентов, определяющих текущее функциональное состояние, эффективность тренировочных воздействий и направленность восстановительных процессов (Абрамова с соавт., 2013; Ackland et al., 2012). Регулярный контроль этих параметров требует методов, обеспечивающих не только достаточную точность, но и практическую применимость, возможность частых измерений при минимальной зависимости от субъективного фактора. Наибольшее распространение в практической работе со спортсменами получили антропометрия и биоимпедансный анализ (БИА), обеспечивающие приемлемый баланс между точностью, доступностью и возможностью многократных повторных измерений (Мартиросов с соавт., 2006; Knechtle et al., 2011).

Антропометрический метод предполагает расчет мышечного и жирового компонентов по популяционно-специфичным уравнениям на основе тотальных размеров тела, обхватов сегментов конечностей и кожно-жировых складок. При его использовании в отечественной спортивной науке наиболее распространена схема Матейки в модификации НИИ и Музея антропологии МГУ (Мартиросов с соавт., 2006; Абрамова с соавт., 2013). БИА основан на измерении электрического сопротивления тканей с последующим расчетом компонентного состава по регрессионным уравнениям, зависящих от используемого анализатора (Николаев с соавт., 2016; Lee et al., 2000; Seoane et al., 2023; Pérez-Castillo et al., 2025).

Несмотря на широкое применение обоих подходов, вопрос о сопоставимости получаемых результатов, их совместном использовании и взаимозаменяемости остается дискуссионным: в исследованиях фиксируются как тесная взаимосвязь между оценками состава тела антропометрией и БИА, так и лишь умеренные и низкие уровни согласия, значимые систематические расхождения, причем разнонаправленные для соотношения мышечной и жировой массы при использовании разных расчетных формул и анализаторов (Выборная с соавт., 2024; Plunce-

vic Gligoroska et al., 2016; Nuñez et al., 2020; Abreu et al., 2022; Foote et al., 2022; Tornero-Aguilera et al., 2022; Fügedi et al., 2023; Baglietto et al., 2024). При этом большинство сравнительных исследований выполнены в кросс-секционном дизайне и ограничены анализом корреляций и средних различий - реже с применением метода Бланда-Альтмана - в одной временной точке (Foote et al., 2022; Tornero-Aguilera et al., 2022). Такой подход не учитывает лонгитюдную структуру данных и возможную зависимость межметодных расхождений от уровня морфологических характеристик. Анализ с помощью подходов Бланда-Альтмана и линейных смешанных моделей позволяет восполнить этот пробел: оценить устойчивость расхождения во времени, наличие пропорциональной ошибки и межиндивидуальную вариабельность при повторных измерениях (Nuñez et al., 2020). Важным является не только само измерение, но и интерпретация его результатов, что требует нормативной базы и алгоритмов оценки подготовленности по динамике мышечного и жирового компонентов, разработанных на основе многолетних наблюдений за спортсменами разного пола, квалификации и специализации (Мартиросов с соавт., 2006; Абрамова с соавт., 2013), что делает практически значимым вопрос границ совместного использования методов.

Таким образом, сравнительный анализ взаимосвязи и согласованности данных БИА и антропометрии в лонгитюдном контексте спортивного мониторинга представляет собой актуальную научно-практическую задачу, позволяющую определить границы взаимозаменяемости методов и обосновать рациональный подход к контролю состава массы тела спортсменов.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 18 квалифицированных спортсменов (12 мужчин, 6 женщин) в возрасте 19–23 лет, специализирующихся в пожарно-спасательном спорте. Программа обследования и методика его проведения соответствовали положениям Хельсинкской декларации и были одобрены Этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (протокол № 3.24 от 18.06.2024 г.). Все участники подписали информированное согласие. Исследование проводилось на этапах подготовительного периода годичного макроцикла, имело лонгитюдный дизайн

с пятью повторными измерениями (Тесты 1–5) с интервалом 35–40 дней, общая продолжительность наблюдения составила 5 месяцев. Все измерения проводились утром натощак, после ночного отдыха, при стандартных условиях гидратации и без интенсивных тренировок за 24 часа до обследования. Интервал между антропометрией и БИА спортсмена составлял 15–25 минут.

Антропометрические измерения (АНТ) выполнены одним и тем же квалифицированным специалистом по стандартному протоколу: масса тела (весы медицинские, напольные, точность 0,05 кг; Твес ВМЭН–200-50-СТ-А), длина тела (антропометр, точность 0,1 см; GPM, Swiss), обхваты сегментов конечностей (сантиметровая лента, точность 0,1 см) и толщина кожно-жировых складок (калипер Lange, точность 0,1 см; Cambridge, Maryland). Мышечная (ММ) и жировая (ЖМ) масса рассчитывались по схеме Матейки (Mateigka, 1921) в модификации НИИ антропологии МГУ (Лутовинова, Уткина, Чтецов, 1970; цит. по Мартиросов с соавт., 2006):

$M = 6,5 \cdot L^2 \cdot r^2$, где M – мышечная масса (г); L – длина тела (см); r = (средний обхват плеча, предплечья, бедра, голени в см)/ 2π – (средняя жировая складка на плече сзади и спереди, предплечье, бедре, голени в см)/2;

$D = 1,3 \cdot d \cdot S$, где D – жировая масса (кг); S – площадь поверхности тела (м²); d = (средняя жировая складка под лопаткой, на плече сзади и спереди, предплечье, груди, животе, бедре и голени в см)/2.

Биоимпедансное исследование проводилось с использованием анализатора водных секторов организма «ABC-01 Медасс» (Россия) в положении спортсмена лежа, после 10–15 минут отдыха. Мышечная и жировая масса рассчитывались по встроенным уравнениям прибора базовой программой оценки состава тела «ABC-03612» (Николаев с соавт., 2016). Все БИА-измерения проводились одним прибором с ежемесячной калибровкой.

Статистический анализ проводился в Stata 19.5 (StataCorp, TX, USA); уровень значимости $p < 0,05$. Нормальность распределения оценивали критерием Шапиро–Уилка. Непрерывные переменные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [p25–p75]). На основе исходных данных рассчитывали разности между методами для каждого обследования (БИА–АНТ). Для попарного сравнения уровней БИА и АНТ на каждом тесте применяли парный крите-

рий Вилкоксона. Взаимосвязь методов оценивали ранговыми коэффициентами корреляции Спирмена (по каждому тесту и за весь период наблюдения), согласованность по абсолютным уровням – с помощью внутриклассового коэффициента корреляции (ICC2, двухфакторная смешанная модель) с 95% ДИ, рассчитанного на объединенных данных пяти обследований (Т1–Т5) отдельно по полу. Согласованность между методами анализировали методом Бланда–Альмана: для абсолютных значений и для межтестовых изменений (дельта) отдельно рассчитывали среднее межметодное расхождение и 95% пределы согласия ($LoA = bias \pm 1,96 \times SD$). Для выявления пропорционального расхождения применяли линейную регрессию разностей на средние значения. Траектории изменений показателей состава тела анализировали с помощью линейных моделей смешанных эффектов (LMM) отдельно для мужчин и женщин; в фиксированную часть включали факторы: метод, время и их взаимодействие, в случайную – интерсепты и (в расширенных моделях) наклоны по времени на уровне спортсмена. Последовательно оценивались: (1) стабильность расхождения во времени, (2) временная динамика для каждого метода, (3) согласованность групповых траекторий, (4) межиндивидуальная вариабельность наклонов.

Результаты

При сравнительном анализе выявлено, что значения мышечной массы по БИА систематически ниже, а значения жировой массы – систематически выше, чем по антропометрии во всех пяти точках тестирования, как у мужчин, так и у женщин (табл. 1 и 2). Даже на уровне описательной статистики это указывает на существенное межметодное расхождение и отсутствие взаимозаменяемости по абсолютным и относительным значениям.

Парный критерий Вилкоксона подтвердил статистическую значимость межметодных различий для всех четырех показателей состава тела на каждом из пяти тестов. У мужчин ($n = 12$) p -значения во всех сравнениях составляли 0,002, что соответствует минимально достижимому уровню значимости для данного объема выборки, при полностью однонаправленных разностях (все 12 пар БИА – АНТ имеют одинаковый знак). У женщин ($n = 6$) аналогично: $p = 0,028$ во всех сравнениях, что также является минимально достижимым значением при $n = 6$. Полная однонаправленность

Таблица 1. Описательная статистика показателей состава тела у мужчин (медиана; [25–75 перцентили]) по данным БИА и антропометрии (АНТ)

Table 1. Descriptive statistics of body composition variables in males (median; [25–75 percentile interval]) assessed by bioelectrical impedance analysis (BIA) and anthropometry (ANT)

Переменная Variable	Метод Method	Тестирование / Testing				
		T1	T2	T3	T4	T5
ММ_кг MM, kg	БИА BIA	34.60 [33.35–36.15]	35.45 [34.40–35.95]	36.05 [34.20–36.60]	35.60 [34.60–36.75]	35.25 [34.60–37.15]
	АНТ ANT	41.65 [38.80–42.90]	41.50 [39.25–43.65]	42.40 [39.25–43.40]	42.10 [40.05–43.35]	42.54 [39.13–44.48]
ММ, % MM, %	БИА BIA	45.67 [43.79–46.81]	45.87 [43.97–48.02]	46.06 [44.12–47.27]	45.91 [43.98–47.62]	45.97 [43.78–46.45]
	АНТ ANT	53.09 [52.34–54.00]	52.95 [52.71–54.49]	53.82 [52.60–54.29]	53.51 [52.80–54.67]	53.56 [52.85–54.65]
ЖМ_кг FM, kg	БИА BIA	12.95 [11.60–16.45]	12.75 [10.10–15.85]	13.45 [10.90–15.65]	13.65 [10.30–15.75]	14.10 [11.55–16.00]
	АНТ ANT	7.25 [6.20–8.05]	7.15 [5.85–7.90]	7.00 [5.75–8.40]	7.00 [5.75–8.60]	6.70 [6.17–7.96]
ЖМ, % FM, %	БИА BIA	17.06 [15.71–19.50]	16.85 [13.92–19.20]	16.68 [14.88–19.46]	16.81 [14.35–19.56]	16.70 [15.99–19.87]
	АНТ ANT	9.16 [8.52–9.84]	9.06 [8.14–10.11]	8.97 [7.64–10.59]	8.87 [7.60–10.44]	8.51 [7.98–10.30]

Таблица 2. Описательная статистика показателей состава тела у женщин (медиана; [25–75 перцентили]) по данным БИА и антропометрии (АНТ)

Table 2. Descriptive statistics of body composition variables in females (median; [25–75 percentile interval]) assessed by bioelectrical impedance analysis (BIA) and anthropometry (ANT)

Переменная Variable	Метод Method	Тестирование / Testing				
		T1	T2	T3	T4	T5
ММ, кг MM, kg	БИА BIA	20.85 [20.10–26.00]	21.40 [20.50–26.00]	21.70 [20.60–25.40]	21.75 [20.50–24.10]	21.80 [20.50–24.80]
	АНТ ANT	27.20 [24.00–36.00]	28.00 [26.10–36.00]	28.05 [25.30–34.50]	27.55 [25.00–35.80]	28.13 [25.75–34.64]
ММ, % MM, %	БИА BIA	38.95 [37.18–40.40]	38.70 [37.61–39.68]	38.90 [37.41–40.94]	38.50 [35.49–41.37]	38.70 [36.74–41.03]
	АНТ ANT	48.88 [47.44–52.01]	50.02 [47.98–51.96]	49.89 [48.68–50.81]	49.38 [48.39–51.58]	50.42 [48.86–51.32]
ЖМ, кг FM, kg	БИА BIA	13.60 [10.40–17.20]	13.45 [10.70–17.70]	13.20 [10.20–18.40]	12.45 [9.80–20.00]	12.60 [9.90–18.80]
	АНТ ANT	8.40 [6.40–11.80]	7.95 [6.40–12.10]	8.45 [6.30–12.50]	7.85 [5.70–12.40]	7.17 [5.45–13.61]
ЖМ, % FM, %	БИА BIA	24.20 [21.36–26.56]	24.32 [20.78–26.06]	23.92 [19.88–27.10]	23.41 [18.27–29.46]	23.68 [18.35–27.85]
	АНТ ANT	15.12 [11.68–19.05]	14.64 [12.50–17.74]	15.34 [12.83–18.41]	14.42 [11.13–18.26]	13.66 [10.11–20.17]

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

разностей для всех пяти тестов свидетельствует об устойчивом и воспроизводимом характере межметодного расхождения, не зависящем от момента обследования.

Несмотря на систематический сдвиг по уровням, ранговая взаимосвязь между методами высока для абсолютных показателей: общий rS для ММ (кг) составил 0,63 у мужчин и 0,93 у женщин, для ЖМ (кг) – 0,80 и 0,92 соответственно ($p < 0,001$; табл. 3). Исключение со-

ставляет ММ (%) у женщин - связь слабая и незначимая ($rS = 0,25$, $p = 0,177$). Вместе с тем значения ICC2 (абсолютное согласие) существенно ниже: для ММ, кг - 0,17 и 0,34, для ЖМ (кг) – 0,21 и 0,65 у мужчин и женщин соответственно. Широкие доверительные интервалы, включающие отрицательные значения, обусловлены малым объемом подгрупп и указывают на ориентировочный характер точечных оценок ICC.

Таблица 3. Взаимосвязь и согласованность БИА и антропометрии (АНТ) по показателям состава тела: коэффициенты Спирмена (rS) и ICC2

Table 3. Association and agreement between BIA and anthropometry (ANT) for body composition variables: Spearman rank correlation coefficients (rS) and intraclass correlation coefficients (ICC2)

Переменная Variable	rS	p	ICC2	95% ДИ 95 % CI
<i>Мужчины</i>				
ММ, кг / MM, kg	0.63	<0.001	0.17	–0.04–0.57
ММ, % / MM, %	0.55	<0.001	0.05	–0.03–0.27
ЖМ, кг / FM, kg	0.80	<0.001	0.21	–0.05–0.63
ЖМ, % / FM, %	0.59	<0.001	0.13	–0.04–0.49
<i>Женщины</i>				
ММ, кг / MM, kg	0.93	<0.001	0.34	–0.07–0.84
ММ, % / MM, %	0.25	0.177	0.03	–0.02–0.28
ЖМ, кг / FM, kg	0.92	<0.001	0.65	–0.04–0.95
ЖМ, % / FM, %	0.89	<0.001	0.36	–0.01–0.85

Примечания. rS - коэффициент ранговой корреляции Спирмена (за весь период наблюдения – 5 мес.); ICC2 - внутриклассовый коэффициент корреляции (ICC2, одиночные оценщики, абсолютное согласие; за весь период); 95% ДИ - 95% доверительный интервал для ICC2.

Notes. rS is the Spearman rank correlation coefficient (for the entire observation period – 5 months); ICC2 is the intraclass correlation coefficient (ICC2, single raters, absolute agreement; for the entire period); 95% CI is the 95% confidence interval for ICC2.

Согласно анализу Бланда–Альтмана, выполненному для абсолютных значений, во всех показателях у мужчин и женщин наблюдалось устойчивое и значительное систематическое расхождение (рис. 1). Причем у женщин расхождение по ММ (кг) было более выраженным (до –7 кг), хотя и при несколько более узких, но, тем не менее, широких пределах согласия.

Для большинства показателей выявлено пропорциональное расхождение: регрессионные наклоны разности на среднее статистически значимы и у мужчин, и у женщин, что свидетельствует о зависимости межметодных расхождений от уровня показателя и делает невозможной простую константную коррекцию.

Для дельт (изменений разности значений между соседними тестами) среднее расхождение было близко к нулю у обоих полов и по всем

показателям, что свидетельствует о сопоставимой средней чувствительности методов к изменениям состава тела (рис. 2). Однако пределы согласия оставались широкими (порядка ± 2 кг), пропорциональный компонент выявлялся у мужчин преимущественно для показателей жировой массы (кг, %); у женщин - для абсолютных значений мышечной массы (кг), что ограничивает интерпретацию величины индивидуальных дельт при выраженных изменениях показателей.

Линейные смешанные модели позволили дополнить эту картину с учетом лонгитюдной структуры данных. Модель 1 показала отсутствие дрейфа расхождений во времени для всех показателей у мужчин и женщин (все $p > 0,10$): расхождения между методами носят структурный, а не динамический характер. Модель 2 зафиксировала у мужчин согласованный прирост ММ (кг) по обоим методам (БИА: $b = +0,19$, $p = 0,011$; АНТ: $b = +0,25$, $p = 0,001$); у женщин значимых трендов для мышечной массы не выявлено, тогда как антропометрия фиксировала достоверное снижение ЖМ (кг и %), а соответствующие БИА-наклоны оставались на уровне тенденций (табл. 4).

Модель 3 показала «параллельность» временных кривых БИА и АНТ на уровне групповых средних: взаимодействие «время $\times$ метод» незначимо для всех показателей ($p > 0,6$) при крупном и значимом основном эффекте метода, что означает постоянный вертикальный сдвиг без расхождения траекторий. Модель 4 выявила выраженную межиндивидуальную вариабельность временных наклонов: у мужчин - преимущественно для жировых показателей по БИА, у женщин - для большинства показателей по обоим методам, при этом у женщин стандартные отклонения случайных наклонов заметно превышают фиксированные, указывая на сильную неоднородность индивидуальных траекторий (табл. 5). Ввиду малого объема женской подгруппы ($n=6$) оценку межиндивидуальной вариабельности случайных наклонов следует рассматривать как предварительную, требующую подтверждения на расширенной выборке.

Обобщение результатов линейных смешанных моделей показывает, что межметодное расхождение остается стабильным во времени, а различия между БИА и антропометрией проявляются как постоянный вертикальный сдвиг без расхождения групповых траекторий. На уровне групповых средних оба метода достаточно

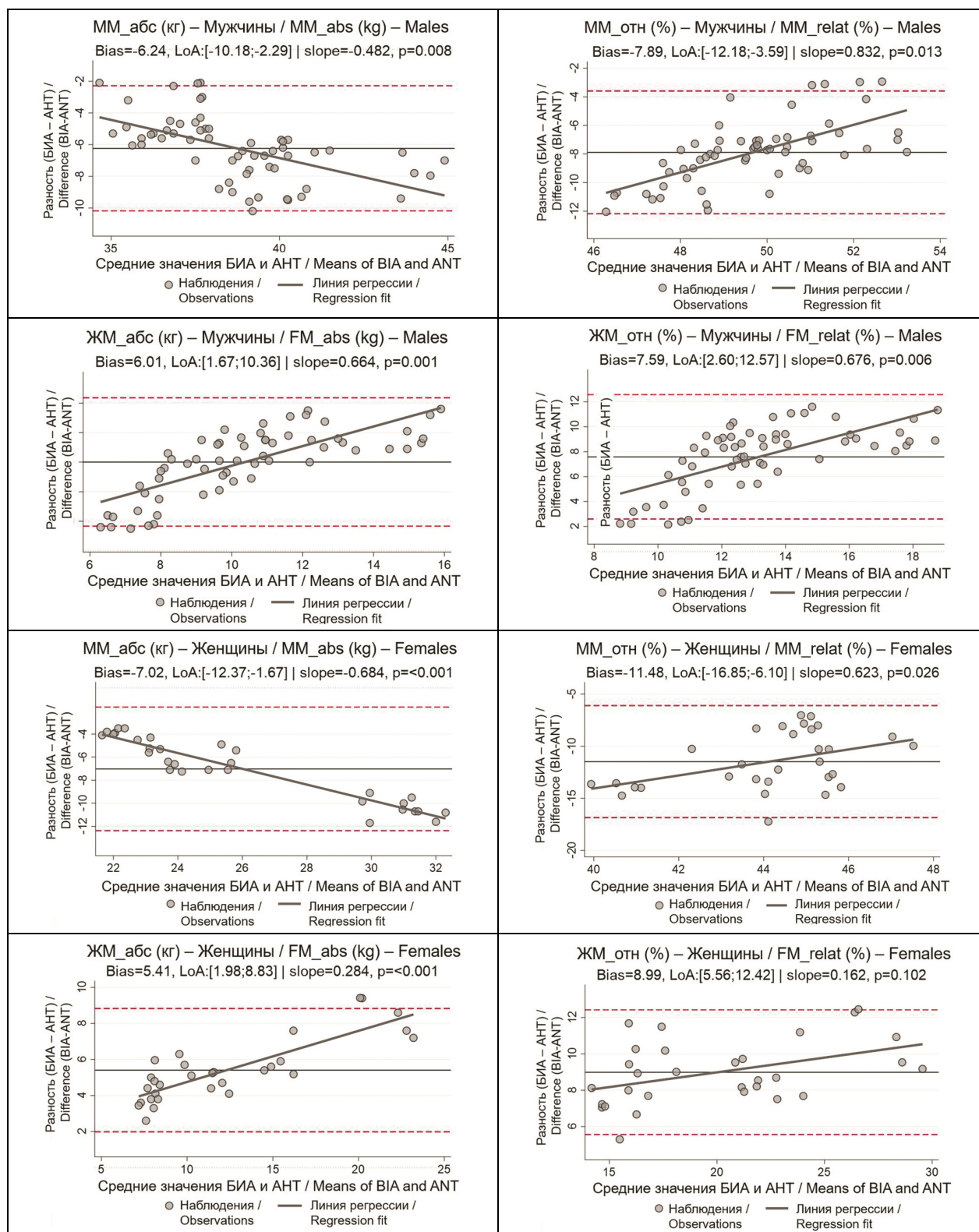


Рисунок 1. Графики Бланда-Альтмана для абсолютных и относительных показателей мышечной (ММ) и жировой (ЖМ) массы по данным БИА и антропометрии (АНТ) у мужчин (а-г) и женщин (д-з): объединенные данные (Т1–Т5) с оценкой пропорционального межметодного расхождения
Figure 1. Bland–Altman plots for absolute and relative indices of muscle mass (MM) and fat mass (FM) derived from BIA and anthropometry (ANT) in males (a–d) and females (e–h): pooled data (T1–T5) with assessment of proportional bias (discrepancy)

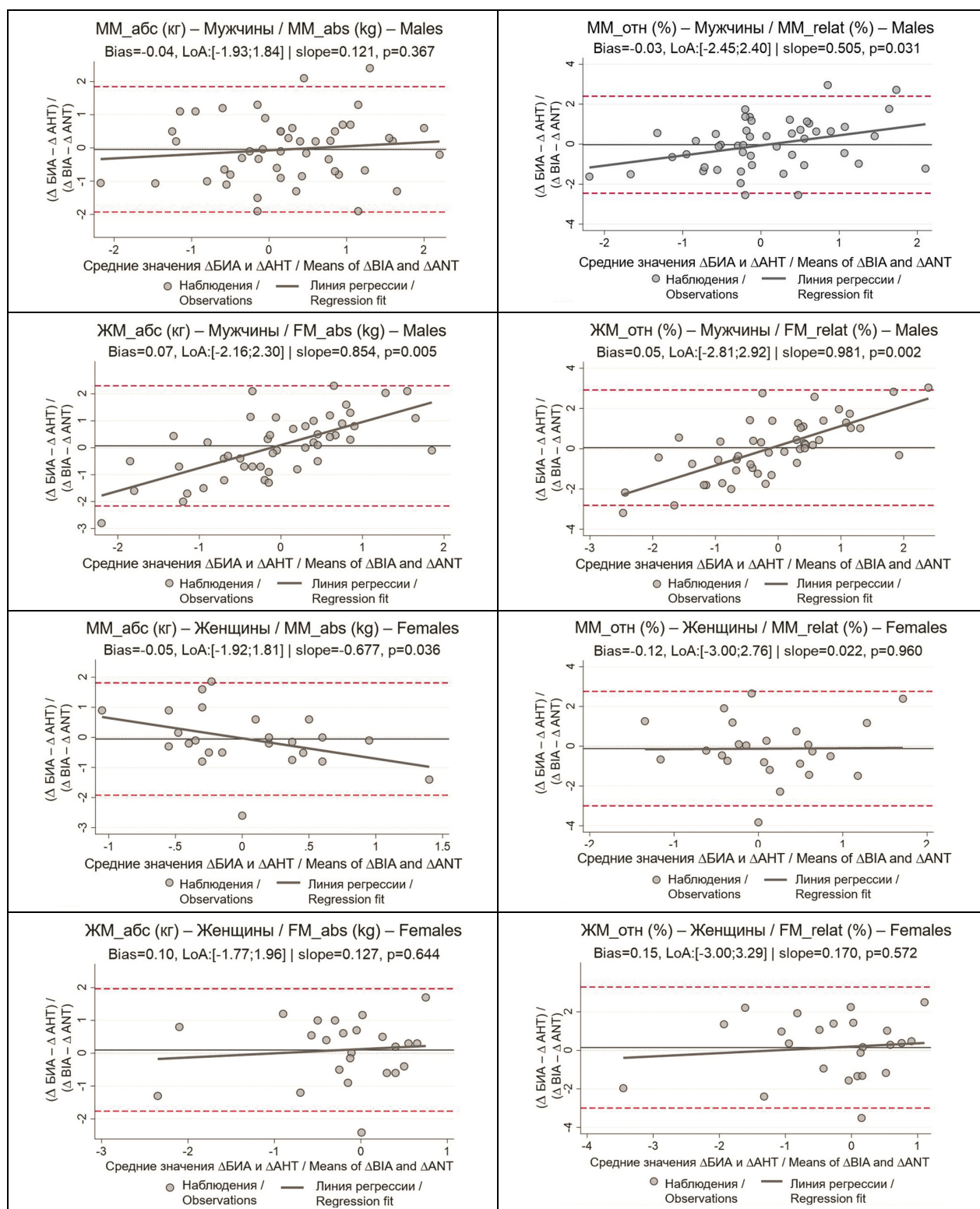


Рисунок 2. Графики Бланда-Альтмана для межтестовых изменений (Δ) абсолютных и относительных показателей мышечной (ММ) и жировой массы (ЖМ) по данным БИА и антропометрии (АНТ) у мужчин и женщин (Т2–Т5) с оценкой пропорционального межметодного расхождения
Figure 2. Bland–Altman plots for inter-test changes (Δ) in absolute and relative indices of muscle mass (MM) and fat mass (FM) derived from BIA and anthropometry (ANT) in males and females (T2–T5) with assessment of proportional bias (discrepancy)

Таблица 4. Временные тренды показателей состава тела по данным БИА и антропометрии (АНТ): фиксированные эффекты (линейные смешанные модели, Модель 2)
Table 4. Temporal trends in body composition variables assessed by BIA and anthropometry (ANT): fixed effects (linear mixed models, Model 2)

Переменная Variable	Пол Sex	Метод Method	Наклон по времени Time slope	p	Комментарий Comment
ММ, кг MM, kg	Мужчины Male	БИА BIA	+0,19	0,011	Повышение ММ, кг Increase in MM, kg
ММ, кг MM, kg	Мужчины Male	АНТ ANT	+0,25	0,001	Повышение ММ, кг Increase in MM, kg
ЖМ, кг FM, kg	Женщины Female	АНТ ANT	–0,28	0,016	Снижение ЖМ_кг Decrease in FM, kg
ЖМ, % FM, %	Женщины Female	АНТ ANT	–0,39	0,009	Снижение ЖМ_% Decrease in FM, %
ММ, % MM, %	Мужчины Male	АНТ ANT	+0,09	0,110	Тенденция к росту The upward trend
ЖМ, % FM, %	Мужчины Male	АНТ ANT	–0,09	0,071	Тенденция к снижению The downward trend
ЖМ, кг FM, kg	Женщины Female	БИА BIA	–0,18	0,125	Тенденция к снижению The downward trend
ЖМ, % FM, %	Женщины Female	БИА BIA	–0,25	0,151	Тенденция к снижению The downward trend

Примечания. В таблицу включены только эффекты времени (наклон по номеру теста), для которых $p < 0,20$. Положительные значения коэффициента b (Test) отражают увеличение показателя во времени, отрицательные – снижение. Эффекты времени с $p \geq 0,20$ не приводятся, поскольку были статистически незначимы и не влияли на интерпретацию результатов.

Notes. The table includes only time effects (slope by test number) for which $p < 0.20$. Positive values of the b (Test) coefficient reflect an increase in the indicator over time, while negative values indicate a decrease. Time effects with $p \geq 0.20$ are not presented as they were statistically insignificant and did not affect the interpretation of the results.

согласованно описывают динамику мышечной и жировой массы. Вместе с тем выраженная межиндивидуальная вариабельность наклонов, особенно у женщин, означает, что на уровне отдельных спортсменов методы могут существенно расходиться в оценке индивидуальных траекторий, что свидетельствует о невозможности замены одного метода другим в ходе лонгитюдного мониторинга.

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что согласие между БИА и антропометрией в лонгитюдном спортивном контексте имеет многоуровневую структуру. Описательная статистика и парные сравнения показывают значимое и устойчивое межметодное расхождение: значения мышечной массы по БИА систематически ниже, а значения жировой массы – систематически выше, чем по антропометрии, причем это

расхождение сохраняет знак и порядок величины на всех этапах исследования. Выявленное систематическое превышение значений мышечной массы по антропометрии (метод Матейки) над соответствующими показателями БИА согласуется с данными Плунчевич Глигороска (Pluncevic Gligoroska et al., 2016), которые также наблюдали значимо более высокие значения мышечной массы по протоколу Матейки в сравнении с БИА (InBody720) у спортсменов-каратистов (43,18 vs 38,52 кг, $p=0,02$). Вместе с тем этот результат расходится с рядом работ, использовавших иные антропометрические уравнения (например, метод Дринквотер-Росс: Lee et al., 2000; Knechtle et al., 2011), при которых БИА, напротив, систематически давал более высокие оценки мышечной массы, чем антропометрия (Knechtle B. et al., 2011; Fügedi B. et al., 2023). Указанное противоречие, по всей видимости, отражает не методологические погрешности, а

**Таблица 5. Межиндивидуальная
вариабельность временных наклонов
показателей состава тела по данным БИА
и антропометрии (АНТ): линейные
смешанные модели, Модель 4**
**Table 5. Inter-individual variability in
temporal slopes of body composition
variables assessed by BIA and anthropometry
(ANT): linear mixed models, Model 4**

Переменная Variable	Метод Method	Межиндивидуальная вариабельность наклонов Interindividual variability of slopes
<i>Мужчины / Male</i>		
ММ, кг MM, kg	БИА BIA	Нет / No
	АНТ ANT	Нет ($p \approx 0,06$) / No ($p \approx 0,06$)
ММ, % MM, %	БИА BIA	Нет ($p \approx 0,06$) / No ($p \approx 0,06$)
	АНТ ANT	Нет / No
ЖМ, кг FM, kg	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Нет / No
ЖМ, % FM, %	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Нет / No
<i>Женщины / Female</i>		
ММ, кг MM, kg	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Нет / No
ММ, % MM, %	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Нет / No
ЖМ, кг FM, kg	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Да / Yes
ЖМ, % FM, %	БИА BIA	Да / Yes
	АНТ ANT	Да / Yes

Примечания. В столбце «Межиндивидуальная вариабельность наклонов» указано наличие (Да) или отсутствие (Нет) статистически значимой вариабельности случайных наклонов по времени согласно LR-тесту ($p(LR) < 0,05$); пограничные значения $p \approx 0,06$ отмечены как «Нет (тенденция)».

Notes. The column «Interindividual variability of slopes» indicates the presence (Yes) or absence (No) of statistically significant variability of random slopes over time according to the LR test ($p(LR) < 0.05$); borderline values of $p \approx 0.06$ are marked as «No (trend)».

различия в теоретических моделях сегментации тела, заложенных в уравнении Матейки и в антропометрических уравнениях типа Ли-Янсен. В отношении жировой массы данные литературы менее однородны: в ряде работ БИА систематически завышает % жировой массы по сравнению с антропометрией (Knechtle et al., 2011; Thakur et al., 2022), другие авторы фиксируют обратное соотношение (Tornero-Aguilera et al., 2022; Fügedi et al., 2023), что, по-видимому, отражает зависимость результата от типа прибора БИА и специфики выборки и в части АПК согласуется с данными о влиянии структуры базовых программ БИА на результаты тестирования (Руднев с соавт., 2026).

Ранговые корреляции Спирмена по абсолютным показателям ММ и ЖМ высоки в обеих подгруппах, что отражает высокий уровень совпадения ранжирования спортсменов сравниваемыми методами. Выявленное одновременно с этим расхождение между r_S и ICC2 свидетельствует о наличии значительного систематического расхождения. Если корреляция нечувствительна к вертикальному сдвигу шкал, то ICC2 явно реагирует на него, учитывая и систематическое расхождение, и разброс, что подтверждает: совпадение по ранжированию не обеспечивает взаимозаменяемости по уровням самих значений показателей состава тела у отдельных спортсменов.

Анализ Бланда-Альтмана позволил количественно описать структуру расхождения. Выявленный пропорциональный характер межметодного расхождения свидетельствует о том, что оно не сводится к простому постоянному различию, а зависит от индивидуальных особенностей спортсмена (в частности, от исходной величины мышечной или жировой массы). Это делает невозможным использование единой поправочной константы для пересчета данных БИА в антропометрический эквивалент для всей выборки. Для дельт среднее расхождение было близко к нулю, что свидетельствует о сопоставимой средней чувствительности методов к изменениям состава тела. Однако широкие пределы согласия и пропорциональный компонент по дельтам у спортсменов с более выраженными изменениями указывают, что согласие по изменениям носит преимущественно групповой характер. Стоит отметить, что при расчете пределов согласия по Бланду-Альтману и ICC2 данные из пяти временных точек объединялись без учета внутрисубъектной кластеризации, основной лонгитудный аспект структуры данных был учтен в рамках линейных смешанных моделей.

Линейные смешанные модели дополнили классические методы, позволив разделить согласие на групповой и индивидуальный уровни. Модель стабильности расхождения показала отсутствие систематического дрейфа во времени: расхождения между методами носят структурный, а не случайный характер. Модели динамики зафиксировали у мужчин согласованное увеличение ММ (кг) при использовании обоих методов. У женщин антропометрия демонстрировала более выраженную чувствительность к снижению жировых показателей, в то время как БИА фиксировал лишь тенденцию. Модель временных траекторий показала параллельность кривых БИА и антропометрии на уровне групповых средних: взаимодействие «время × метод» было незначимым для всех показателей, т.е. методы описывают сходную динамику с постоянным вертикальным сдвигом. Вместе с тем модели со случайными наклонами выявили выраженную межиндивидуальную вариабельность траекторий, особенно по данным БИА у женщин и для жировых компонентов у мужчин, что означает: несмотря на параллельность траекторий на уровне групповых средних, индивидуальные кривые изменения показателей по БИА и антропометрии могут расходиться.

В условиях систематического межметодного расхождения при его пропорциональном характере антропометрия сохраняет определенное методологическое преимущество, обусловленное, прежде всего, наличием информационного обеспечения в области подготовки квалифицированных спортсменов и методических разработок, основанных на результатах многолетних, в том числе, лонгитюдных исследований, что особенно критично при необходимости нормативной интерпретации результатов (сравнение с существующими нормативами, разработанными с использованием антропометрии и именно для антропометрии). БИА, для которого аналогичного массива валидированных нормативов и шкал в спортивных популяциях пока не существует, при условии строгой стандартизации, является ценным инструментом для отслеживания текущих тенденций и относительных изменений, однако интерпретация его абсолютных значений и индивидуальной динамики, особенно у женщин, требует осторожности и не может опираться на антропометрические пороговые значения, зоны «нормы» и критерии значимых изменений.

Таким образом, оценка согласия между БИА и антропометрией в спортивной практике требует учета как уровня, так и динамики показателей, а также различия группового и индивидуального уровней анализа. Эти особенности необходимо иметь в виду при интерпретации данных и выборе метода мониторинга состава тела у спортсменов, особенно с учетом существующих нормативных шкал, разработанных именно на антропометрических измерениях.

К основным ограничениям исследования относятся небольшой размер выборки, принадлежность спортсменов к одному виду спорта и квалификационному уровню, отсутствие референтного метода, а также использование одной модели ВИА и одного антропометрического протокола, что ограничивает обобщаемость количественных оценок межметодного расхождения и согласия на другие приборы, алгоритмы расчета и спортивные дисциплины.

Заключение

Настоящее исследование показало, что в лонгитюдном спортивном контексте БИА и антропометрия демонстрируют высокую связь по абсолютным показателям мышечной и жировой массы, но систематически расходятся по уровням и характеру межметодного расхождения. БИА дает более низкие значения мышечной и более высокие - жировой массы по сравнению с антропометрией, причем это расхождение значительно по величине, стабильно во времени и для ряда показателей усиливается по мере роста уровня показателя. Межметодное расхождение отражает различия теоретических и расчетных моделей и не позволяет рассматривать методы как взаимозаменяемые без учета контекста интерпретации.

Анализ Бланда-Альтмана и линейные смешанные модели показали, что на уровне групповых средних временные траектории обоих методов параллельны, а межметодное расхождение остается неизменным, что обеспечивает согласие выводов о направлении и масштабах изменений в группах спортсменов. В то же время широкие пределы согласия и выраженная межиндивидуальная вариабельность разностей и временных наклонов, особенно по данным БИА у женщин и для жировых компонентов, указывают на ограниченное согласие методов на уровне индивидуальных лонгитюдных траекторий. Это подчеркивает необходимость оценки согласия между методами с учетом

межметодного расхождения, его устойчивости, возможного пропорционального компонента и различий между групповым и индивидуальным уровнями анализа.

Список литературы

Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И. Лабильные компоненты массы тела – критерии общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам. Методические рекомендации. М.: Скайпринт. 2013. 132 с.

Выборная К.В., Семенов М.М. Сравнение результатов оценки состава тела гребцов-академистов, полученных методами антропометрии и биоимпедансометрии на приборах ABC-01 Медасс и ACCUNIQ BC310 // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2024. №2. Публикация 3-6. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/3-6.pdf>. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2024-2-3-6>

Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука. 2006. 248 с.

Николаев Д.В., Щелыкалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека. М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ. 2016. 152 с.

Руднев С.Г., Анисимова А.В., Година Е.З., Задорожная Л.В., Пермякова Е.Ю., Хомякова И.А., Сипатрова А.Г., Зубко А.В. Методические вопросы биоимпедансного анализа: сопоставимость оборудования и влияние электродов на результат измерений // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2026. № 1. С. 85-103. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-1-7>

Abreu B., Henriques R., Figueiredo J. P. & Loureiro, H.. Body Composition Assessment of University Athletes: Comparison Between the Data Obtained by Bioelectrical Impedance and by Anthropometry. *International Journal of Kinanthropometry*, 2022, 2 (2), pp. 1–12. <https://doi.org/10.34256/ijk2221>

Ackland T.R., Lohman T.G., Sundgot-Borgen J. et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med.*, 2012, 42 (3), pp. 227–249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>

Baglietto N., Vaquero-Cristóbal R., Albaladejo-Saura M., Mecherques-Carini M. and Esparza-Ros F. Assessing skeletal muscle mass and lean body mass: an analysis of the agreement among dual X-ray absorptiometry, anthropometry, and bioelectrical impedance. *Front. Nutr.*, 2024, 11, 1445892. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1445892>

Foote D.M., Berkelhammer M., Marone J., Horswill C.A. Combining Anthropometry and Bioelectrical Impedance Analysis to Predict Body Fat in Female Athletes. *Journal of Athletic Training*, 2022, 57 (4), pp. 393-401. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0747.20>

Fügedi B., Szakály Z., Suszter L. Comparison of the results of bioelectric impedance analysis (BIA) and the anthropometry (Drinkwater-Ross & Parizkova) method in young elite athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 2023, 23 (1), pp. 247–254. <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.01030>

Knechtle B., Wirth A., Knechtle P., Rosemann T., Rüst C.A., Bescós R. A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes

using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutrición Hospitalaria*. 2011, 26 (6), pp. 1420–1427. <https://doi.org/10.1590/S0212-16112011000600032>

Lee R.C., Wang Z., Heo M., Ross R., Janssen I., Heymsfield S.B. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2000, 72 (3), pp.796-803. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.3.796>

Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1921, 4, pp.223–230.

Núñez F.J., Munguía-Izquierdo D., Suárez-Arrones L. Validity of Field Methods to Estimate Fat-Free Mass Changes Throughout the Season in Elite Youth Soccer Players. *Front. Physiol.*, 2020, 11 (16). <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00016>

Pérez-Castillo Í.M., Valiño-Marques A., López-Chicharro J., Segura-Ortiz F., Rueda R., Bouzamondo H. Bioelectrical Impedance Analysis in Professional and Semi-Professional Football: A Scoping Review. *Sports (Basel)*, 2025, 3 (10), art. 348. <https://doi.org/10.3390/sports13100348>

Pluncevic Gligoroska J., Manchevska S., Kostovski Z., Dejanova B., Maleska V. et al. Comparison of selected body composition parameters in karate athletes: Matiegka and bioelectrical impedance analysis *International Journal of Sport Culture and Science*, 2016, 4 (4), pp. 443–452. <https://doi.org/10.14486/IntJSCS598>

Seoane F., Yang L., Dai M., Zhao Z. Editorial: Multi-dimensional physiology: novel techniques and discoveries with bioimpedance measurements. *Front. Physiol.*, 2023, 14, 1243850. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1243850>

Thakur H.K., Pareek P.A., Sayyad M.G. Comparison of bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness to determine body fat percentage among young women. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 2022, 10 (1). <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.24>

Tornero-Aguilera J.F., Villegas-Mora B.E., Clemente-Suárez V.J. Differences in body composition analysis by DEXA, skinfold and BIA methods in young football players. *Children*, 2022, 9 (11), 1643. <https://doi.org/10.3390/children9111643>

References

Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I. 2013. *Labile components of body mass as criteria of general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads: Methodological guidelines*. Moscow: Skyprint. 132 p. (In Russ.)

Abreu B., Henriques R., Figueiredo J. P. & Loureiro, H.. Body Composition Assessment of University Athletes: Comparison Between the Data Obtained by Bioelectrical Impedance and by Anthropometry. *International Journal of Kinanthropometry*, 2022, 2 (2), pp. 1–12. <https://doi.org/10.34256/ijk2221>

Ackland T.R., Lohman T.G., Sundgot-Borgen J. et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med.*, 2012, 42 (3), pp. 227–249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>

Baglietto N., Vaquero-Cristóbal R., Albaladejo-Saura M., Mecherques-Carini M. and Esparza-Ros F. Assessing skeletal muscle mass and lean body mass: an analysis of the agreement among dual X-ray absorptiometry, anthro-

pometry, and bioelectrical impedance. *Front. Nutr.*, 2024, 11, 1445892. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1445892>

Foote D.M., Berkelhammer M., Marone J., Horswill C.A. Combining Anthropometry and Bioelectrical Impedance Analysis to Predict Body Fat in Female Athletes. *Journal of Athletic Training*, 2022, 57 (4), pp. 393–401. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0747.20>

Fügedi B., Szakály Z., Suszter L. Comparison of the results of bioelectric impedance analysis (BIA) and the anthropometry (Drinkwater-Ross & Parizkova) method in young elite athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 2023, 23 (1), pp. 247–254. <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.01030>

Knechtle B., Wirth A., Knechtle P., Rosemann T., Rüst C.A., Bescós R. A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutrición Hospitalaria*. 2011, 26 (6), pp. 1420–1427. <https://doi.org/10.1590/S0212-16112011000600032>

Lee R.C., Wang Z., Heo M., Ross R., Janssen I., Heymsfield S.B. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2000, 72 (3), pp.796–803. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.3.796>

Martirosov E.G., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. 2006. *Technologies and methods for determining human body composition*. Moscow: Nauka. 248 p. (In Russ.)

Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1921, 4, pp.223–230.

Nikolaev D.V., Shchelykalina S.P. 2016. *Lectures on bioimpedance analysis of human body composition*. Moscow: RIO TsNIOIZ. 152 p. (In Russ.)

Núñez F.J., Munguía-Izquierdo D., Suárez-Arrones L. Validity of Field Methods to Estimate Fat-Free Mass Changes Throughout the Season in Elite Youth Soccer Players. *Front. Physiol.*, 2020, 11 (16). <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00016>

Pérez-Castillo Í.M., Valiño-Marques A., López-Chicharro J., Segura-Ortiz F., Rueda R., Bouzamondo H. Bioelectrical Impedance Analysis in Professional and Semi-Professional Football: A Scoping Review. *Sports (Basel)*, 2025, 3 (10), art. 348. <https://doi.org/10.3390/sports13100348>

Pluncevic Gligoroska J., Manchevska S., Kostovski Z., Dejanova B., Maleska V. et al. Comparison of selected body composition parameters in karate athletes: Matiegka and bioelectrical impedance analysis *International Journal of Sport Culture and Science*, 2016, 4 (4), pp. 443–452. <https://doi.org/10.14486/IntJSCS598>

Rudnev S.G., Anisimova A.V., Godina E.Z., Zadorozhnaya L.V., Permyakova E.Yu., Khomyakova I.A., Sipatrova A.G., Zubko A.V. Methodological issues of bioimpedance analysis: comparability of equipment and the influence of electrodes on the measurement result. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2026. No 1, pp. 85–103. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-1-7>

Seoane F., Yang L., Dai M., Zhao Z. Editorial: Multi-dimensional physiology: novel techniques and discoveries with bioimpedance measurements. *Front. Physiol.*, 2023, 14, 1243850. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1243850>

Thakur H.K., Pareek P.A., Sayyad M.G. Comparison of bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness to determine body fat percentage among young women. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 2022, 10 (1). <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.24>

Tornero-Aguilera J.F., Villegas-Mora B.E., Clemente-Suárez V.J. Differences in body composition analysis by

DEXA, skinfold and BIA methods in young football players. *Children*, 2022, 9 (11), 1643. <https://doi.org/10.3390/children9111643>

Vybornaya K.V., Semenov M.M. Comparison of body composition assessment results in rowing athletes obtained by anthropometry and bioimpedancemetry using ABC-01 Medass and AccunIQ BC310. *Journal of New Medical Technologies. Electronic edition*, 2024, 18 (2), pp.108–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2024-2-3-6>

Информация об авторах/ Information about the authors

Абрамова Тамара Федоровна, д.б.н., начальник лаборатории проблем комплексного сопровождения спортивной подготовки и детско-юношеского спорта национального центра спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, г. Москва, Российская Федерация
abramova.t.f@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5671-3806>

Федотова Елена Викторовна, д.пед.н, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, г. Москва, Российская Федерация
fedotova.e.v@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3725-5651>

Полфунтикова Анастасия Викторовна, научный сотрудник лаборатории проблем комплексного сопровождения спортивной подготовки и детско-юношеского спорта национального центра спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, г. Москва, Российская Федерация
polfuntikova.a.v@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2779-5045>

Abramova Tamara F., D.Sci., Head of the Laboratory for Complex Support of Sports Training and Youth Sports at the National Sports Center, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, Russian Federation
abramova.t.f@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5671-3806>

Fedotova Elena V., D.Sci., Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Biochemistry, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, Russian Federation
fedotova.e.v@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3725-5651>

Polfuntikova Anastasia V. Researcher of the Laboratory of Complex Support for Sports Training and Youth Sports at the National Sports Center, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, Russian Federation
polfuntikova.a.v@vniifk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2779-5045>

Поступила в редакцию 21.04.2026.
Получена после доработки 23.06.2026.
Принята к публикации 23.06.2026.

Received 21.04.2026.
Revised 23.06.2026.
Accepted 23.06.2026.