УДК: 796.012.1:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У СПОРТСМЕНОВ

Турдиалиев Ш.Х., Мальков А.В.
Республиканский научно-практический центр спортивной медицины, Узбекистан.

APPLICATION OF AI- TECHNOLOGIES FOR EVALUATING ANTHROPOMETRIC INDICATORS IN ATHLETES

Turdialiyev Sh.X., Malkov A.V.
Republican Scientific and Practical Center for Sports Medicine, Uzbekistan.

SPORTCHILARDA ANTROPOMETRIK KO'RSATKICHLARNI BAHOLASH UCHUN AI- TEXNOLOGIYALARINI QO'LLASH

Турдиалиев Ш.Х., Мальков А.В.
Республика спорт тиббиёти илмий-амалий маркази, Ўзбекистон.

Аннотация. *Цель обзора — систематизировать современные ИИ-решения для цифровой антропометрии у спортсменов, оценить их точность, воспроизводимость и клиническую применимость в условиях массового УМО. Обобщены данные по смартфонным приложениям, 3D-сканерам и глубинным камерам с анализом метрик валидации (ICC, MAE, RMSE, LOA) и практических аспектов внедрения (время сканирования, стоимость, пропускная способность). Рассмотрены ограничения при работе с подростками и спортсменами с выраженной мускулатурой. Предложен путь внедрения комбинированного подхода (3D + смартфон) с локальной валидацией.*
Ключевые слова: *цифровая антропометрия, 3D-сканер, ИИ, спортивная медицина, валидация, воспроизводимость*

Annotation. *To organize digital anthropometry solutions enabled by artificial intelligence (AI) and evaluate their accuracy, reliability, and clinical utility in sports medicine settings. We summarize smartphone-based 2D/3D systems, 3D optical scanners, and depth-sensing devices that have been validated against reference standards (DXA, ISAK, 4C). Core metrics include ICC, MAE, RMSE, and LOA. Implementation parameters (scan time, cost, throughput) are discussed. Special attention is paid to athletic cohorts with low body fat and muscularity, where model bias may occur. A hybrid deployment pathway is proposed, combining cabin scanners with smartphone-based systems and local calibration.*
Keywords: *digital anthropometry, 3D scanner, artificial intelligence, sports medicine, validation, reliability*

Изоҳ. *Sport tibbiyotida raqamli antropometriya uchun SI (sun'iy intellekt) asosidagi yechimlarni tizimlashtirish va ularning aniqligi, takrorlanuvchanligi hamda klinik qo'llanilishini baholash muhim ahamiyat kasb etadi. Smartfon ilovalari, 3D optik skanerlar va chuqurlik kameralariga oid ilmiy ishlanmalar tahlil qilinadi. Baholash mezonlari sifatida ICC, MAE, RMSE va LOA indikatorlari ko'rib chiqiladi. Joriy etish imkoniyatlari (skan vaqti, xarajat, unumdorlik) ham yoritilgan xolatda bo'lishi inobatga olingan. Past yog'foizi va muskul massasiga ega sportchilar uchun modellar xatoligi muhokama qilinadi. 3D skaner va smartfon ilovalari kombinatsiyasi taklif etiladi.*
Калит сўзлар: *raqamli antropometriya, 3D skaner, sun'iy intellekt, sport tibbiyoti, aniqlik, qayta o'lchash ishonchliligi.*

Актуальность исследования. Современная спортивная медицина сталкивается с необходимостью проведения регулярных и стандартизированных обследований большого числа спортсменов. Один из обязательных компонентов углублённого медицинского осмотра (УМО) антропометрия — является трудоёмким и чувствительным к человеческому фактору процессом[2]. При обследовании более 20 спортсменов в день ручной сбор параметров (окружности тела, длины сегментов, рост, вес) требует значительных временных и кадровых ресурсов, что может снижать точность и воспроизводимость измерений. Цифровая антропометрия с использованием ИИ и 3D-технологий (оптические сканеры, смартфоны, глубинные камеры) позволяет значительно ускорить процесс, стандартизировать процедуру и обеспечить объективность[14,15]. Однако такие технологии должны быть тщательно валидированы, особенно при работе с подростками и профессиональными спортсменами, чьи морфологические характеристики могут выходить за пределы обучающих выборок ИИ-систем[8].

Цель исследования. Цель настоящего обзора — провести систематический анализ современных ИИ-решений в области цифровой антропометрии и определить их применимость для использования в рамках УМО спортсменов с учётом точности, верификации и организационных факторов.

Задачи исследования. Систематизировать существующие ИИ-решения для оценки антропометрических параметров (3D-сканеры, смартфонные приложения, Kinect и др.). Классифицировать решения по типу технологии, методам измерения, точности и стоимости. Изучить и сравнить данные о медицинской верификации и воспроизводимости (ICC, MAE, LOA и др.). Проанализировать ограничения технологий при использовании в спортивной популяции (смещения, ошибки, потребность в перекалибровке). Сформировать рекомендации по выбору, валидации и внедрению таких систем в практику спортивной медицины.

Методы исследования. Обзор выполнен на основе систематического поиска научной литературы в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar за период с 2015 по 2025 год. Включались оригинальные исследования, в которых цифровые методы оценки антропометрических параметров сравнивались с эталонными (DXA, ISAK, 4-компонентная модель и др.). Оценивались популяция, тип технологии, параметры точности (ICC, MAE, RMSE, LOA), повторяемость, стоимость, требования к внедрению. Дополнительно

учтены нормативные и этические аспекты применения ИИ в медицине.

Результаты. Анализ включённых исследований позволил выделить три основных класса технологий цифровой антропометрии, применяемых в спорте: смартфонные приложения (2D/3D), 3D-оптические сканеры и системы на базе глубинных камер. Смартфонные технологии: системы типа MeThreeSixty® и myBVI®, использующие 2D-фотографию или фотограмметрию, показали высокую точность по окружностям талии и бёдер — ICC ≥ 0.93, MAE от 0.5 до 1.9 см [4]. Однако индекс талия-бедра (WHR) демонстрирует умеренные смещения [9,11]. Приложение MeasureNet, использующее CNN, достигло RMSE ~0.015 и ICC ≈ 0.95 при определении WHR [5,14]. У подростков-спортсменов было выявлено систематическое смещение: %BF переоценён на +2–3%, а FFM занижен на ~1.5 кг [6,12], что подчёркивает необходимость локальной адаптации моделей. 3D-оптические сканеры: коммерческие сканеры (Fit3D, Styku, Size Stream) обеспечивают высокую точность в оценке состава тела и размеров тела. Валидационные исследования показали $R^2 \approx 0.90–0.95$ по %BF против DXA [1,2], ICC > 0.95 для окружностей [3]. Обзор Tinsley et al. [2] подтвердил соответствие данных 3D-сканеров четырёхкомпонентной модели состава тела. Многоцентровое исследование Wong et al. [3,15] показало высокую воспроизводимость по всему диапазону ИМТ и этнических групп. Глубинные камеры (Kinect, Azure Kinect): системы на базе RGB-D камер обеспечивают измерение длин сегментов тела с приемлемой точностью: ICC варьирует от 0.53 до 0.92 в зависимости от сегмента [9,10]. Сравнение с ручными измерениями или DXA показало смещения порядка ±1–2 см. Эти технологии привлекательны как бюджетная альтернатива, особенно в учебных и исследовательских проектах. Спортивные выборки: валидация в специфических атлетических популяциях остаётся ключевой задачей. Исследование Cataldi et al. [3,7] показало, что 3DO и BIA уступают по точности DXA и ADP у 70 элитных спортсменов, однако при корректной калибровке 3DO-методы показывают корреляцию с силовыми метриками. Таким образом, высокая точность достижима, но требует адаптации моделей к спортивным морфотипам.

Обсуждение. Результаты анализа демонстрируют значительный прогресс в области цифровой антропометрии, особенно в применении ИИ-усиленных технологий для массовых обследований спортсменов. Однако практическое внедрение требует учёта ряда ключевых факторов.

Преимущества ИИ-антропометрии. Основным преимуществом цифровых решений является высокая скорость обследования: 3D-сканеры способны обрабатывать до 60–80 человек в час, а смартфонные решения — около 30–40 [2,4,6]. Это делает их особенно привлекательными в условиях УМО, где ежедневно обследуется 20 и более спортсменов. Кроме того, высокая воспроизводимость (ICC> 0.93 для окружностей) и отсутствие зависимости от оператора обеспечивают более стабильные и объективные данные [3,4]. Ограничения и источники погрешностей. Несмотря на общую точность, у подростков и профессиональных спортсменов часто наблюдается смещение в оценке состава тела, особенно %BF и FFM [6,7]. Это связано с тем, что ИИ-модели обучены на обобщённых выборках и могут не учитывать морфологические особенности данной подгруппы. Также критичны такие факторы, как поза, одежда, освещение и гидратация [7,9].

Регуляторные и организационные аспекты. Большинство систем формально классифицируются как wellness-устройства и не имеют статуса медицинских изделий (нет 510(k) от FDA или CE-маркировки) [3]. Это означает, что для официального медицинского применения требуется локальная валидация по ISAK или многокомпонентной модели, а также соблюдение нормативов по защите персональных данных (GDPR, локальные законы).

Внедрение требует не только оборудования, но и подготовки персонала, стандартизации протоколов (поза, освещение, размещение), настройки контроля качества (метод TEM) и интеграции с существующими системами учёта.

Сравнение решений

Характеристика	3D-канер	Смартфон	Kinect/Depth
Время/ спортсмен	35–40 с	1–2 мин	1–2 мин
Пропускная способность	60–0/час	30–40/час	30–40/час
MAE по окружностям	0.8–0.9см	1.1–1.9 см	1.8–2.1 см
Стоимость	~$10–15k	минимальна	~$400
Требует оператора	да	нет	да

Практическая модель внедрения в УМО. Оптимальным подходом представляется гибридная модель: 3D-сканер — для основного потока спортсменов в условиях центра; Смартфон — для повторных обследований, выездных сессий или индивидуального мониторинга. Для повышения точности у спортсменов необходима локальная перекалибровка моделей, основанная на эталонных измерениях (DXA, ISAK, ручная лента), с возможным применением методов Passing–Bablok или анализа согласия Бланда–Альтмана [11, 12]. Таким образом, ИИ-антропометрия может значительно повысить эффективность и объективность спортивной медицины, при условии соблюдения стандартов и адаптации к специфике популяции.

Выводы. ИИ-технологии для цифровой антропометрии продемонстрировали высокую точность и воспроизводимость по ключевым параметрам (окружности, длины сегментов, состав тела), особенно при использовании 3D-сканеров и продвинутых мобильных решений. В условиях массового УМО (20+ спортсменов в день) цифровые решения значительно снижают временные и трудозатратные издержки, повышая стандартизацию обследований. Наиболее рациональным подходом является внедрение гибридной модели: стационарный 3D-сканер — как основной модуль; смартфонные решения — для мобильных, повторных или полевых обследований. Использование ИИ в спортивной медицине требует обязательной локальной валидации на спортсменах, контроля качества, а также этического и регуляторного соответствия (включая защиту персональных данных). Будущие направления включают внедрение систем самообучения, интеграцию с носимыми устройствами (wearables), а также построение локальных эталонных баз данных и референсных моделей для разных видов спорта.

Список литературы:

1. Ng BK, Hinton BJ, Fan B, et al. Clinical anthropometrics and body composition from 3D whole-body

surface scans. Eur J Clin Nutr. 2016;70(11):1234–1240.

2. Tinsley GM, Moore ML, Graybeal AJ, et al. Digital anthropometry via 3D optical scanning: evaluation of four commercial systems. Clin Nutr. 2020;39(6):1795–1801.

3. Wong MC, Graybeal AJ, McGrath R, et al. Digital anthropometry and body composition prediction using 3D optical scanning: a multicenter validation study. Am J Clin Nutr. 2023;117(3):505–516.

4. Graybeal AJ, Moore ML, Hinton BJ, et al. Equivalence of smartphone-based anthropometric measurements to traditional methods. Br J Nutr. 2023;129(5):812–821.

5. Choudhary S, Li Y, Fu H, et al. Smartphone camera-based waist-to-hip ratio estimation using deep learning. NPJ Digit Med. 2023;6(1):74.

6. Minetto MA, Rainoldi A, Pirri C, et al. Accuracy of smartphone-based body composition in youth soccer players: a DXA comparison. Sci Rep. 2023;13:17829.

7. Cataldi D, Marino M, Cova F, et al. Comparative validity of body composition methods in elite athletes. Clin Nutr. 2024;43(2):409–417.

8. Rumbo-Rodríguez L, Pérez-Ferreirós A, Fariña-López E, et al. Reproducibility and reliability of 3D body scanning for anthropometry: a systematic review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(12):6213.

9. Wang SA, Huang XY, Hsiao HF, et al. Validity of Azure Kinect for limb segment length estimation. Sci Rep. 2024;14:532.

10. Osmanoğlu UÖ, Aydemir BE. Kinect-based anthropometric measurement in adolescent female lifters. Sci Rep. 2025 (в печати).

11. Smith C, Majmudar K, Kim J, et al. Smartphone 3D photogrammetry vs tape for anthropometry. Obesity (Silver Spring). 2022;30(5):1048–1057.

12. Majmudar K, Smith C, Wang H, et al. Accurate body composition estimation from smartphone images using CNNs. NPJ Digit Med. 2022;5(1):114.

13. Mocini G, et al. Anthropometry and performance prediction in sports using 3D imaging. Nutrients. 2023;15(2):302.

14. Soileau L, Bautista D, Johnson B, et al. Automated anthropometry using depth-sensing cameras. Eur J Clin Nutr. 2016;70(4):475–481.

15. Medina-Inojosa JR, et al. Use of 3D scanning in body composition assessment: a review. Obes Open Access. 2016;2(1):1–8.