

PAPER

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СТОПЫ ШКОЛЬНИКОВ 11–12 ЛЕТ ГОРОДА ТАШКЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Ирисова Зиёда Рустамовна^{1,*}, Илхамова Малохат Уткуровна²,
Абулнийёзов Курбанбай Исмоилович³

¹докторант, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

²д.ф.т.н (PhD), доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

³к.т.н., доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

* irisovaziyoda9@gmail.com

Abstract

В данной статье проведён сравнительный анализ антропометрических измерений стопы 425 школьников 11–12 лет из школ города Ташкента, выполненных с использованием 3D-сканера INFOOT 2 и традиционных методов. Цель исследования заключалась в оценке различий в точности измерений, а также в выявлении параметров длины и обхвата стопы.

Key words: антропометрия стопы, школьники, 3D-сканер INFOOT, традиционный метод, корреляция, проектирование обуви.

Введение

Удобство обуви – это один из основных показателей качества обуви, которое обеспечивает нормальное функционирование и развитие стопы в процессе роста. В свою очередь, нормальное функционирование и развитие стопы определяет нормальное состояние всего организма, так как появление отклонений в стопе приводит к нарушениям во всем организме.

Поэтому, при проектировании обуви особое внимание уделяется форме обуви и соответствию формы стопы и ее размеров, т.е. оптимизации внутренних размеров обуви, особенно ее полнотным размерам, которым, несмотря на требования стандарта, практически не уделялось надлежащего внимания. А ведь использование обуви с несоответствующими полнотными размерами стопы, особенно подростками,

может вызвать различные деформации и патологии стопы, лечение и устранение которых в зрелом возрасте уже невозможно, приобретенная в детстве патология сопутствует человеку всю жизнь, создавая ему дискомфорт.

Современные методы антропометрии стопы позволяют получать точные данные, необходимые для проектирования обуви и клинической диагностики. У детей 11–12 лет, благодаря быстрым темпам роста, наблюдается большая изменчивость формы стопы, что делает данные измерения особенно важными. Традиционные методы (растушевка или плантография и измерения штангенциркулем) широко применяются на практике, но имеют ограничения по точности и полноте информации. В последние годы разработаны оптические 3D-сканеры (например, INFOOT 2), которые за считанные секунды создают точную трёхмерную модель стопы, фиксируя длину, ширину и объёмы конструкции стопы с погреш-

ностью порядка 1 мм. Применение 3D-сканирования позволяет снизить влияние субъективного фактора и измерять параметры стопы в трех плоскостях [1]. Цель настоящего исследования – сравнить традиционный плантографический метод и 3D-сканирование INFOOT 2 для оценки зависимости между длиной стопы и обхватом в пучках у мальчиков и девочек 11–12 лет, а также проанализировать статистические характеристики измерений (средние значения, дисперсии, коэффициенты вариации) и силу линейной связи.

Литературный обзор

Проблема подбора оптимальной обуви для детей и подростков широко освещается в научной литературе. В исследованиях [2, 3] подчеркивается, что использование обуви, несоответствующей анатомическим особенностям стопы, может привести к развитию деформаций, ухудшению осанки и нарушению опорно-двигательного аппарата. Как отмечает Елисеева Н.Н. [4], размеры и форма стопы у детей 11–12 лет подвержены активным изменениям в связи с фазой акселерации роста, что требует точных измерений при проектировании обуви.

Современные методы исследования стопы включают традиционные измерения с помощью штангенциркуля, плантографа и измерительной ленты [5]. Однако такие методы обладают высокой субъективной погрешностью, зависящей от оператора. В работах Зарецкой Л.Л. и др. [6] подчеркивается, что традиционная антропометрия ограничена в выявлении объемных характеристик стопы, а данные измерений часто недостаточны для создания точных обувных колодок.

Использование 3D-сканеров, таких как INFOOT 2, позволяет получать точные данные в трехмерном формате с минимальной погрешностью [7,8]. По мнению ряда исследователей [9,10], применение 3D-сканирования в практике проектирования обуви открывает новые возможности для индивидуализации колодок и повышения эргономических характеристик обуви. Система INFOOT 2 выделяется возможностью автоматического распознавания анатомических точек стопы, высоким разрешением сканирования и удобством интеграции данных в CAD-системы для последующего конструирования обуви [1].

Материалы и методы

Объектом исследования являлись стопы школьников 11–12 лет ($n=425$) пяти школ города Ташкента, включая 219 девочек и 206 мальчиков. Предметом исследования стали размеры и формы стопы, полученные различными методами измерения.

1. Традиционный метод: измерение длины и обхвата стопы в пучках с помощью штангенциркуля и плантографа (контактный метод).

2. 3D-сканирование: бесконтактное измерение формы и размеров стопы с использованием сканера INFOOT, работающего по принципу лазерного сканирования с автоматическим определением анатомических точек.

Антропометрические исследования стопы традиционным методом проводились по следующей программе:

- фиксация фамилии, имени, возраста ребенка, группы и даты обмера;
- определение значений длиннотных размерных признаков контактными методами таких как длина стопы (Д), длина стопы до конца пятого пальца (Д_{5п}), длина стопы до наружного (Д н.п) и внутреннего пучка (Д в.п) и др;
- определение поперечных размеров – обхваты в наружном (Он.п) и внутреннем пучках (Ов.п); обхват через пятку-

сгиб (Оп.сг), обхват в середине стопы (Ос);

– получение ширины стопы в пятке (Шп) в сечении 0,18Д, а так же ширину стопы по наружному и внутреннему пучку (Шн.пуч) (Шв.пуч).

Также по плантограмме определяли состояние сводов стопы и угол α отведения большого пальца.

При проведении обмеров использовалась стандартная методика. Обмеры снимались при равномерной опоре на обе стопы, когда расстояние между стопами было 15 см.

На основе полученных данных антропометрических исследований проводится их обработка методами математической статистики, которая проведена с использованием интегрированной электронной таблицы Excel.

Система 3D-сканирования стопы использует передовую оптическую технологию для быстрого захвата и построения 3D-изображения поверхности стопы, что значительно повышает эффективность и точность и упрощает процесс по сравнению с традиционными методами [1]. С помощью специальных маркеров INFOOT может распознавать до 19 анатомических точек и выполнять до 23 измерений, включая длину, ширину и обхват стопы.

Полученные данные сохраняются в собственном бинарном формате облака точек, но могут быть экспортированы в форматы CSV, DXF, STL и другие, совместимые с большинством CAD-программ.

Для получения анатомических характерных точек (положение кости и т. д.) стопы можно применить маркеры ориентиров к стопе. На основе этих ориентиров можно рассчитать до 37 различных измерений.

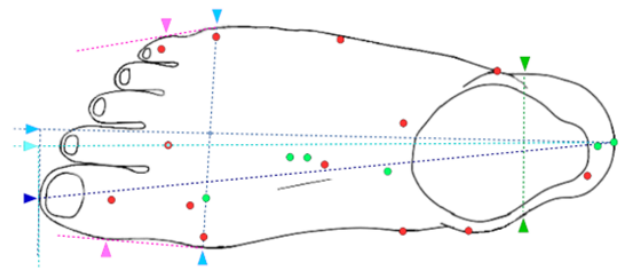


Figure 1. Примеры ориентиров и размеров

Все измерения проводились одним и тем же оператором в стандартной позиции стоя. Полученные данные включали длину стопы (L) и обхват в пучках (Op) для каждой стопы каждого ребенка; далее были рассчитаны статистические показатели (максимум, минимум, размах, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации) и выполнен регрессионный анализ линейной зависимости длины и обхвата.

Результаты

Результаты проведенного исследования вариационных показателей размеров стоп у мальчиков в Узбекистане, полученные с применением традиционного метода измерений и 3D-сканирования, представлены в таблицах-1,2. Анализ данных выявил ряд существенных различий между методами измерения, что свидетельствует о влиянии используемой методики на точность и вариативность полученных результатов.

Так, по данным традиционного метода, максимальные значения длины стопы (L) составили 262 мм, а по данным 3D-сканирования – 266 мм. Минимальные значения для традиционного метода – 218 мм, для 3D-сканирования – 217 мм.

Таблица 1. Вариационные показатели размеров стоп у мальчиков Узбекистана

Показатели вариации	Традиционный метод (мальчики)		3D-сканирование (мальчики)	
	L	Оп	L	Оп
Среднеарифметическое значение	235,2	222,2	236,2	232,1
Максимум	262	248	266	263
Минимум	218	208	217	213
Размах вариации	44	40	49	50
Среднее линейное отклонение	9,93	10,44	10,98	10,24
Дисперсия по генеральной совокупности	140,49	165,56	169,99	176,29
Дисперсия по выборке	143,36	168,94	173,46	179,89
Среднеквадратичное отклонение генеральное	11,85	12,87	13,04	13,28
Среднеквадратичное отклонение по выборке	11,97	13,00	13,17	13,41
Коэффициент вариации	5%	6%	6%	6%
Коэффициент осцилляции	19%	18%	21%	22%

Аналогичные различия наблюдаются и для обхвата стопы (Оп): максимальные значения при традиционном измерении составили 248 мм, при 3D-сканировании – 263 мм. Размах вариации для длины стопы составил 44 мм по традиционным измерениям и 49 мм по 3D-сканированию, что свидетельствует о более широком диапазоне измерений при использовании 3D-сканера.

Средние линейные отклонения также показали расхождения: для длины стопы (L) при традиционном методе составили 9,93 мм, при 3D-сканировании – 10,98 мм, что указывает на большую дисперсию данных при использовании 3D-метода. Аналогичные результаты наблюдаются и для обхвата стопы (Оп): среднее линейное отклонение составило – 10,46 мм при традиционном методе и 10,24 мм при 3D-сканировании.

Дисперсия по генеральной совокупности для длины стопы по традиционному методу составила 140,49, а по 3D-сканированию – 169,99, что также подтверждает большую изменчивость данных, полученных при 3D-измерениях. Для обхвата стопы наблюдается сходная картина: 165,56 против 176,29 соответственно.

Коэффициенты вариации остаются стабильными для обоих методов: 5% для длины и 6% для обхвата стопы. Однако коэффициенты осцилляции показали незначительное увеличение при использовании 3D-сканирования: для длины стопы (L) – 21% против 19% по традиционным данным, для обхвата стопы (Оп) – 22% против 18%.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что 3D-сканирование позволяет получить более детализированные и полные данные о размерах стопы, однако сопровождается увеличением диапазона вариаций, что следует учитывать при разработке конструкций обуви. Важно отметить, что различия в вариационных характеристиках подчеркивают необходимость стандартизации методик измерения и адаптации результатов под реальные условия использования.

Эти данные могут быть использованы для оптимизации проектирования обуви с учетом антропометрических особенностей стопы детей и подростков в Узбекистане.

Анализ полученных данных по вариационным показателям размеров стоп у девочек в Узбекистане, измеренных традиционным методом и с использованием 3D-сканирования, позволил выявить существенные различия, обусловленные спецификой методов измерения.

В первую очередь, различия касаются экстремальных значений размеров. Так, максимальная длина стопы (L) по данным традиционного метода составила – 252 мм, тогда как при 3D-сканировании – 253 мм. Минимальная длина стопы – 214 мм по традиционному методу и 206 мм по 3D-сканированию, что указывает на более широкий диапазон

фиксируемых размеров при использовании 3D-технологий. Размах вариации длины стопы составил 38 мм по традиционному методу и 47 мм по 3D-сканированию, что также подтверждает более полное отражение индивидуальных особенностей стоп при использовании 3D-сканирования. Для обхвата стопы (Оп) разброс данных еще более выражен: максимальные значения – 245 мм и 240 мм соответственно, минимальные – 175 мм (традиционный метод) и 179 мм (3D-сканирование), при этом размах вариации по обхвату стопы оказался значительно выше при традиционном измерении (70 мм против 61 мм).

Средние линейные отклонения также демонстрируют определенные расхождения: для длины стопы (L) они составили 9,13 мм при традиционном методе и 10,53 мм при

3D-сканировании, для обхвата стопы (Оп) 21,50 мм и 19,5 мм соответственно. Это говорит о том, что разброс данных по длине стопы увеличивается при использовании

3D-сканирования, а по обхвату стопы, наоборот, наблюдается некоторая стабилизация измеренных показателей.

Дисперсионный анализ также выявил существенные отличия. Дисперсия по генеральной совокупности для длины стопы (L) составила 116,14 при традиционном методе и 177,26 при 3D-сканировании, что указывает на большую изменчивость данных, полученных с помощью 3D-сканера. Для обхвата стопы (Оп) дисперсия по традиционному методу была значительно выше (537,94), чем при 3D-сканировании (423,5), что может быть обусловлено влиянием субъективных факторов при проведении традиционных измерений, таких как степень натяжения измерительной ленты или ошибка оператора.

Среднеквадратичные отклонения показывают близкие значения по длине стопы (L): 10,78 мм (традиционный метод) и 13,31 мм (3D-сканирование). По обхвату стопы (Оп) наблюдается снижение среднеквадратичного отклонения при 3D-сканировании: 23,19 мм против 20,58 мм, что подтверждает более высокую точность метода 3D-сканирования в измерении обхвата стопы.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ продемонстрировал, что 3D-сканирование обеспечивает более широкое покрытие диапазона индивидуальных особенностей стоп, особенно в части длины, и позволяет получать более стабильные показатели по обхвату. В то же время традиционный метод измерения дает меньшие значения диапазона и дисперсий, однако при этом сопровождается более высокой вариативностью результатов для обхвата стопы. Эти различия следует учитывать при разработке конструкций обуви для девочек школьного возраста в Узбекистане, а также при разработке стандартов и нормативных требований к обувным изделиям.

Результаты данного исследования подчеркивают важ-

Таблица 2. Вариационные показатели размеров стоп у девочек Узбекистана

Показатели вариации	Традиционный метод (девочки)		3D-сканирование (девочки)	
	L	Оп	L	Оп
Среднеарифметическое значение	235,3	207,8	234,2	214
Максимум	252	245	253	240
Минимум	214	175	206	179
Размах вариации	38	70	47	61
Среднее линейное отклонение	9,13	21,50	10,53	19,5
Дисперсия по генеральной совокупности	116,14	537,94	177,26	423,5
Дисперсия по выборке	119,12	551,73	181,81	434,36
Среднеквадратичное отклонение генеральное	10,78	23,19	13,31	20,58
Среднеквадратичное отклонение по выборке	10,91	23,49	13,48	20,84
Коэффициент вариации	5%	11%	6%	10%
Коэффициент осцилляции	16%	34%	20%	29%

ность внедрения 3D-сканирования в практику антропометрических исследований для более точного учета особенностей стопы при проектировании обуви.

Заключение и выводы

Заключение и выводы Проведенное сравнительное исследование антропометрических параметров стопы школьников 11–12 лет Ташкента выявило существенные различия между традиционным методом измерения и 3D-сканированием INFOOT 2.

- 3D-сканирование позволяет получить более широкий диапазон измерений по длине стопы и снижает вариативность данных по объему в пучках по сравнению с традиционным методом.

- Традиционный метод демонстрирует меньшие показатели размаха и дисперсий, но сопровождается более высокой субъективной погрешностью.

- Преимущества использования 3D-сканирования: высокая точность (погрешность менее 1 мм); быстрота проведения измерений (сканирование за 5–10 секунд); многофункциональность: определение до 37 параметров, включая длину, ширину, объемы; автоматическое определение анатомических точек, исключающее влияние оператора; гибкость использования: экспорт данных в форматы CAD (CSV, STL, DXF); поддержка стандартизации: результаты легко интегрируются в программное обеспечение для конструирования обуви. Таким образом, внедрение 3D-сканеров INFOOT 2 в антропометрические исследования детей и подростков позволяет повысить точность измерений, оптимизировать процесс проектирования обуви с учетом индивидуальных параметров пользователей. Результаты исследования подчеркивают необходимость использования современных технологий при разработке детской и подростковой обуви, особенно в условиях акселерации роста, характерной для школьников в возрасте 11–12 лет.

Использованная литература

1. Инструкция пользователя 3D-сканера INFOOT 2. – Osaka, Japan, 2020
2. Ганиева, М.А. Физиологические особенности развития стопы у детей школьного возраста // Педиатрия. – 2020. – №4. – С. 45–51.
3. Иванов, С.В., Смирнова Е.Л. Конструирование обуви для подростков с учетом антропометрических данных // Обувная промышленность. – 2021. – №5. – С. 12–17.

4. Елисеева, Н.Н. Биомеханика стопы и патологии у детей школьного возраста // Здоровье и Образование. – 2019. – №2. – С. 33–38.
5. ГОСТ 3927-88. Обувь детская. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
6. Зарецкая Л.Л., Головки И.П. Современные методы антропометрии стопы // Вестник ортопедии. – 2018. – №3. – С. 22–27.
7. Yick K.L., Lee T.Y., Ng S.P. 3D foot scanning: Design and analysis in footwear manufacturing // Int. J. Ind. Ergonomics. – 2015. – Vol. 48. – P. 67–76.
8. Luximon, A. Handbook of Footwear Design and Manufacture. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2021.
9. Chang W.R., Kim I.J. Comparison of traditional and 3D foot measurement techniques // Footwear Science. – 2017. – Vol. 9(1). – P. 15–24.
10. Zhang M., Mak A.F.T. Three-dimensional anthropometry of the foot: A review // Clinical Biomechanics. – 2018. – Vol. 59. – P. 1–8.