

УДК 004.93

DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-4-0-8

Недопекин А.Е.
Жилин В.В.

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЙ
ДЕФОРМАЦИИ СТОПЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, 424000, Россия

e-mail: agasfer911@yandex.ru, zhilin.valentin.72@gmail.com

Аннотация

В данной статье исследуется проблема плоско-вальгусной деформации стоп и предлагается новый подход к ее первичной диагностике, основанный на анализе изображений заднего отдела стоп. Собрана выборка из ~550 изображений, включающая как пациентов с патологией, так и здоровых людей. Изображения получены из медицинского центра, открытых источников и добровольцев. Изображения прошли предварительную обработку (фильтрация, стандартизация, сегментация) и аугментацию для повышения разнообразия данных. Представлены разработанные методы вычисления угла пронации путем анализа изображения заднего отдела стоп. Основным методом является комбинированный метод. Комбинированный метод состоит из двух ранее разработанных авторами методов определения угла пронации на основе изображения. Первый метод — пропорциональный, основан на определении ключевых анатомических точек путем анализа контура ноги. Второй метод использует модель глубокого обучения YOLO для автоматического определения анатомических точек. Результаты исследования показали, что комбинированный метод демонстрирует относительную погрешность в 14% для левой ноги и 16% для правой. Для подтверждения эффективности метода в реальных условиях необходимы клинические испытания.

Ключевые слова: вальгусная деформация стоп; комбинированный метод; угол пронации

Для цитирования: Недопекин А.Е., Жилин В.В. Метод определения плоско-вальгусной деформации стопы на основе анализа изображения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.9, №4, 2024. – С. 65-73. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-4-0-8

Недопекин А.Е.
Zhilin V.V.

**METHOD FOR DETERMINING FLAT-VALGUS DEFORMITY
OF THE FOOT BASED ON IMAGE ANALYSIS**

Mari State University, Lenin Square, 1, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russia

e-mail: agasfer911@yandex.ru, zhilin.valentin.72@gmail.com

Abstract

This article examines the problem of flat-valgus deformity of the feet and proposes a new approach to its primary diagnosis based on the analysis of images of the posterior part of the feet. A sample of ~550 images was collected, including both patients with pathology and healthy people. The images are obtained from the medical center, open sources and volunteers. The images have been preprocessed (filtering, standardization, segmentation) and augmented to increase the diversity of the data. The developed methods for calculating the pronation angle by analyzing the image of the posterior part of the feet are presented. The main method is the combined method. The combined method consists of two methods previously developed by the authors for determining the pronation angle based on an image. The first method is proportional, based on the identification of key anatomical points by analyzing the contour of the leg. The second method uses the YOLO deep learning model to automatically identify anatomical points. The results of the study showed that the combined method demonstrates a relative error of 14% for the left leg and 16% for the right. Clinical trials are needed to confirm the effectiveness of the method in real conditions.

Keywords: flat-valgus deformity of the feet; combined method; pronation angle

For citation: Nedopekin A.E., Zhilin V.V. Method for determining flat-valgus deformity of the foot based on image analysis // Research result. Information technologies. – Т.9, №4, 2024. – P. 65-73. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-4-0-8

ВВЕДЕНИЕ

Плоско-вальгусные стопы являются одной из наиболее распространённых отклонений стоп как в раннем, так и в пожилом возрасте. Плоско-вальгусной деформацией стоп (ПВДС) принято считать заваливание среднего отдела стоп внутрь и снижения свода стоп. Если рассматривать своды стоп по отдельности, то они выполняют функцию амортизации. Без амортизации вся ударная сила при ходьбе нагружает организм. Также возникают проблемы с равновесием и походкой из-за неправильного распределения нагрузки.

Согласно данным ряда исследователей [1, 3], плоско-вальгусная деформация стоп (ПВДС) преимущественно возникает в раннем возрасте и чаще всего является врожденной патологией [8]. Однако она может быть и приобретенным заболеванием, развитию которого способствуют неправильно подобранная или изношенная обувь, а также нездоровый образ жизни. В активной фазе роста организма, когда суставы, хрящи и сухожилия особенно эластичны, стопы становятся более подвержены внешним воздействиям.

На ранних этапах симптомы плоско-вальгусной деформации стопы зачастую слабо выражены, что затрудняет своевременную диагностику. По мере прогрессирования патологии пациенты начинают испытывать резкую усталость даже при минимальных физических нагрузках, а также частые боли в спине и суставах ног. Эти симптомы могут значительно снизить успеваемость и препятствовать активной жизнедеятельности, создавая дополнительные проблемы как в личной, так и в профессиональной сферах.

Учитывая высокую занятость населения и постоянные очереди в медицинских учреждениях, многие люди откладывают обращение к специалистам, что приводит к запущенным случаям, требующим хирургического вмешательства. В таких условиях возникает необходимость в создании системы дистанционной первичной диагностики, которая позволит пациентам самостоятельно оценить состояние своих стоп без необходимости посещения специализированных медицинских центров.

Использование современных технологий и алгоритмов компьютерного зрения может значительно упростить процесс диагностики, сделав его доступным и удобным для широкого круга пользователей. Такой подход не только позволит выявить проблему на ранних стадиях, но и поможет снизить нагрузку на медицинские учреждения, предоставляя пациентам возможность самостоятельно следить за состоянием своего здоровья.

Одной из характеристик наличия плоско-вальгусной деформации стоп является избыточная пронация пятки, которая проявляется в излишнем отклонении стопы внутрь при стоянии, ходьбе или беге.

Целью данной исследовательской работы является разработка метода для определения угла пронации заднего отдела стопы на основе анализа изображения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Существует множество способов диагностики заболеваний стоп, они делятся на клинические и инструментальные. К таким методам, например, относятся: подометрия, плантография, подоскопия, рентгенография, педография, клиническое обследование, метод мокрых пяток [4].

Подометрия используется для измерения давления на стопу, что помогает оценить её функциональное состояние.

Плантография позволяет визуализировать стопу через отпечатки, анализируя распределение нагрузки и форму сводов.

Подоскопия предполагает исследование анатомических особенностей стопы с помощью специального устройства.

Рентгенография помогает выявить костные деформации и изменения в структурах стопы.

Педография регистрирует распределение давления на стопу во время движения, что позволяет оценить биомеханику.

Клиническое обследование включает общую оценку состояния стопы на основе истории болезни и физических признаков.

Метод мокрых пяток использует анализ отпечатков мокрой стопы для определения типа свода.

Все эти методы проверены временем и помогают определять патологию, но требуют специальных инструментов, знаний и специалиста.

Еще одним клиническим инструментом является FPI-6 (Foot Posture Index-6) [14]. Этот инструмент представляет собой шкалу, состоящую из шести критериев, которые суммируются для получения общей оценки, используемой для определения положения стопы.

Критерии FPI-6 включают следующие параметры:

- Пальпация головки таранной кости — оценка ее положения и подвижности.
- Осмотр изгиба или кривизны над и под латеральной лодыжкой — определение состояния латеральной стороны стопы.
- Позиция пятки во фронтальной плоскости — анализ выравнивания пятки.
- Возвышение в области таранно-ладьевидного сустава — оценка его высоты и формы.
- Конгруэнтность медиального продольного свода — проверка согласованности и целостности свода.
- Приведение/отведение переднего отдела стопы относительно заднего — оценка относительного положения передней и задней части стопы.

Методы определения степени деформации: оценка плантограммы и рентгенограммы, проба Джека, симптом подглядывающих пальцев, угол наклона пяточной кости и другие диагностические подходы [7].

Стопа может принимать различные позиции: если она вывернута наружу, это называется пронацией; если внутрь — супинацией. Нейтральная пронация характеризуется тем, что стопа не отклонена ни в одну из сторон, что наблюдается, когда человек просто стоит [13].

Термины пронация и супинация описывают положение стопы в пределах нормы, то есть отклонение от нейтральной пронации в среднем по ряду источников не превышает 5° - 7° [9, 11, 12], в случае если считать нормой 0° . Если стопы вывернуты более чем на 7° наружу, это состояние называют гиперпронацией, а если внутрь — гипопронацией. Такие отклонения требуют внимания и консультации врача.

Если рассматривать именно диагностику ПВДС, то для его определения достаточно вычислить угол пронации заднего отдела стопы в положении стоя с помощью медицинского измерительного прибора гониометра [10]. Если угол пронации более 7° , то имеется вальгусная деформация стопы. Знание угла пронации заднего отдела стопы позволяет оценить степень плоско-вальгусной деформации.

Для вычисления угла пронации необходимо на заднем отделе стопы разметить анатомические точки, это точки, относительно которых будут построены оси на ногах пациента. Затем вычисляется угол между этими осями. На практике встречаются два варианта разметки анатомических точек, вариант с 4 точками [12] и вариант с 3 точками [15]. На рисунке 1 представлены оба варианта, на нем обе ноги левые.

Для варианта с 4 анатомическими точками представленного на рисунке 1 (вариант а), первая точка находится на бугорке пяточной кости. Вторая точка расположена на уровне таранной кости, где ахиллово сухожилие прикрепляется к задней части кости пятки. Третья точка на уровне медиальной лодыжки. Четвёртая точка находится по центру задней части голени, на расстоянии, равном трети высоты голени, выше третьей точки. Ось k проходит через точки 1 и 2, а ось l — через точки 4 и 3. Угол, образованный между этими осями, представляет собой угол пронации.

Рассмотрим вариант с 3 точками, пример которой приведена на рисунке 1, под вариантом (b). Согласно рисунку, первая точка расположена на бугорке пяточной кости, а вторая точка расположена на уровне таранного сустава, и третья точка расположена по центру задней части

голени, на расстоянии, равном трети части голени от второй точки. Первая и вторая точка формируют ось k , вторая и третья точка формируют ось l . Угол α формируемая между осью k и l является углом пронации.

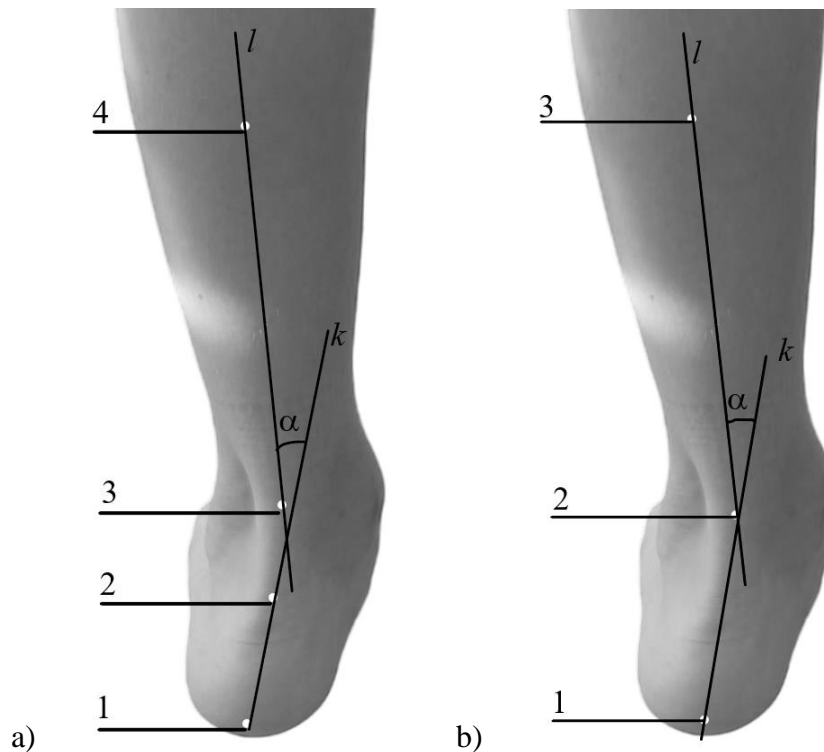


Рис. 1. Расположение точек: а) вариант с 4 точками; б) вариант с 3 точками
Fig. 1. Location of points: a) the 4-point option; b) the 3-point option

Разработка метода для первичного определения ПВДС будет основана на методе определения трех анатомических точек. Обусловлено это тем, что метод требует определения меньшего числа точек для идентификации, что упрощает и ускоряет процесс анализа и обработки изображений. Сокращение количества точек также уменьшает долю ошибок при аннотации данных.

ДАННЫЕ

В ходе исследовательской работы было собрано около 550 изображений заднего отдела стоп. Эта выборка включает в себя изображения, предоставленные медицинским центром «Тохо-Мед» (г. Йошкар-Ола), а также данные из открытых источников, таких как Kaggle и Roboflow. Дополнительно часть изображений была получена во время открытого семинара, где добровольцы(желающие) из школы № 18 (г. Йошкар-Ола) согласились участвовать в исследовании и предоставили данные.

Выборка была смешанной: примерно 80% данных составляют изображения людей с патологическими изменениями, в то время как оставшиеся 20% представляют собой изображения без явных признаков отклонения.

Все изображения прошли обработку и были оценены на соответствие установленным критериям. Предварительная обработка набора изображений состоит из следующих этапов:

1. Удаления изображения с плохим качеством съемки, с низкой разрешающей способностью, с помехами и бликами.
2. Стандартизация размеров изображения.
3. Присвоение каждому изображению уникального идентификатора.

После чего все изображения были сегментированы и аугметированы, подробности этой обработки приведены в [5].

Помимо обработки и сегментаций, набор данных был увеличен посредством применения методов аугментации, так как для методов, основанных на модели машинного обучения данных в текущем количестве недостаточно [2].

РАЗРАБОТАННЫЕ МЕТОДЫ

Первый метод – пропорциональный, основывается на определении ключевых анатомических точек путем анализа контура каждой ноги [6]. Контур каждой из ног по вертикали делится на три части, например, в пропорции 1%-30%-75% снизу вверх, где 1% соответствует первой точке, 30% соответствует второй точке, 75% соответствует третьей точке. А затем в каждой из этих частей определяется горизонтальное сечение, где и будет расположена анатомическая точка. На основе полученных точек для каждой ноги вычисляется угол пронации, который затем сравнивается с истинным углом. В ходе исследования были выявлены несколько оптимальных пропорций, что позволило добиться относительной ошибки определения угла пронации до 32% для левой ноги и 26% для правой.

Второй метод основан на использовании модели глубокого обучения YOLO, обученной на 520 изображениях. Этот метод автоматически определяет регионы, в которых располагаются ноги, и в каждом из этих регионов выявляет ключевые анатомические точки в соответствии с разметкой, выполненной для обучения [6]. При использовании данного подхода относительная ошибка определения угла пронации составила 24% для левой ноги и 29% для правой.

Третий метод представляет собой комбинацию первых двух, учитывающую их недостатки и ошибки. При применении пропорционального метода возникают трудности в определении второй анатомической точки, поскольку для каждой ноги требуется своя уникальная пропорция. Если вторая точка определяется выше или ниже уровня таранной кости, это приводит к неверному расчету угла пронации. Первые и третьи анатомические точки демонстрируют наибольшую стабильность результатов, даже при использовании одной постоянной пропорции для всех тестовых данных.

В свою очередь, метод, основанный на глубоких нейронных сетях, показывает лучшие результаты в определении второй анатомической точки, чем в определении первой и третьей. Это связано с тем, что характерным признаком для определения второй анатомической точки является выделяющееся ахиллово сухожилие на уровне таранной кости и выпуклости медиальной и латеральной лодыжки.

В методе, основанном на комбинации двух методов, пропорциональный подход отвечает за поиск первой и третьей анатомической точки, а второй за определение второй анатомической точки с помощью модели глубокого обучения YOLO.

Обобщенный алгоритм комбинированного метода представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Обобщенный алгоритм комбинированного метода
Fig. 2. The generalized algorithm of the combined method

Комбинированный подход состоит из следующих этапов:

1. Загрузка тестового изображения.
2. Предобработка изображения: стандартизация размера изображения, сегментация ног (удаление заднего фона), подготовка изображения к следующей стадии.
3. Поиск ключевых анатомических точек с помощью модели YOLO.
4. Поиск ключевых анатомических точек с помощью пропорционального метода.
5. Вычисление угла пронации на основании найденных (определенных) анатомических точек.
6. Визуализация результатов, отображение вычисленного угла и ключевых точек на изображении задней части стопы.

Кроме того, данный подход исключает ошибки, возникающие у пропорционального метода и метода на основе глубокого обучения, и демонстрирует высокую отказоустойчивость: если один из методов не справляется с определением точки, система может использовать результаты другого метода для формирования результата.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Оценивание результата тестирования пропорционального метода проводилось на 30 тестовых изображениях, которые не были использованы при разработке и тестировании методов. Согласно правилу, вручную были расставлены 3 анатомические точки на изображениях и вычислены углы пронации для каждой из ног. Далее данная процедура была проведена с помощью комбинированного подхода на данных 30 изображениях.

График получившихся результатов приведены на рисунке 3 и 4.

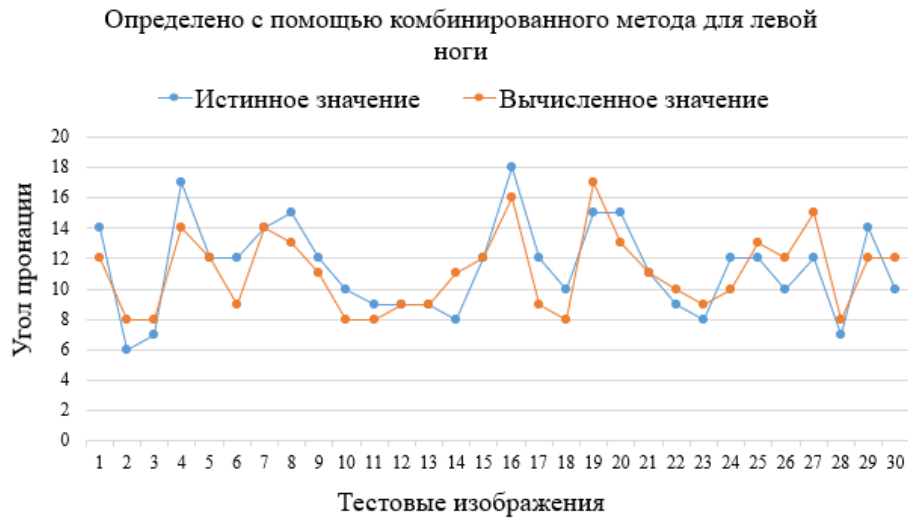


Рис. 3. График для левой ноги
Fig. 3. The graph for the left leg

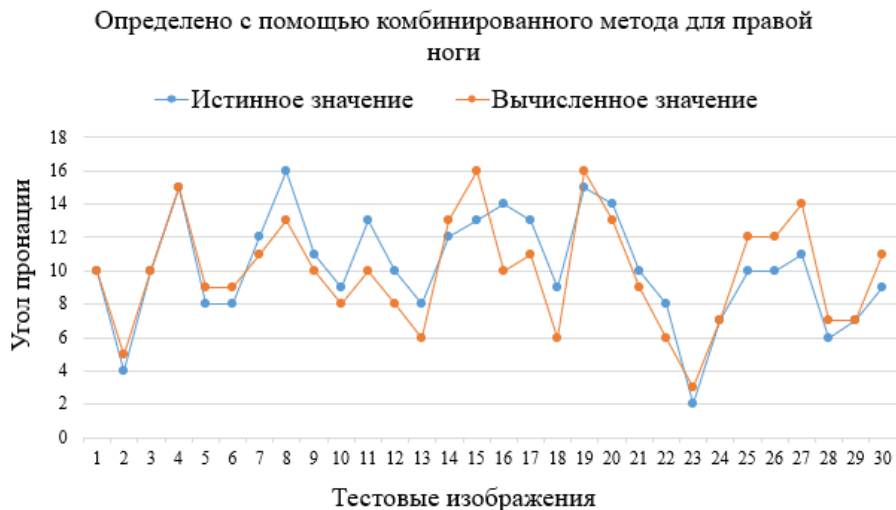


Рис. 4. График для правой ноги
Fig. 4. The graph for the right foot

На основании анализа 30 тестовых изображений были получены следующие результаты: относительная погрешность для левой ноги составляет 14%, а для правой ноги — 16%. Эти данные свидетельствуют о том, что комбинированный метод демонстрирует приемлемую точность в определении углов пронации, что может быть применима в диагностике плоско-вальгусной деформации стопы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании представлен комбинированный подход для вычисления угла пронации заднего отдела стопы, который позволяет определить наличие плоско-вальгусной деформации.

Полученные результаты демонстрируют относительную ошибку определения угла пронации: для правой ноги 16% и для левой ноги 14%, что подтверждает эффективность использования как пропорционального метода, так и модели глубокого обучения YOLO в комбинации друг с другом.

Однако следует учитывать, что сравнения проводились исключительно на изображениях пациентов. В данном случае сопоставлялись углы пронации, вычисленные специалистом на изображении, и углы, полученные анализом того же изображения с помощью разработанных

методов. Остается открытым вопрос о том, насколько изображения могут искажать реальные данные.

Для более точной оценки эффективности предложенного подхода необходимо провести клинические тесты, сравнивая результаты, полученные при аннотировании анатомических точек непосредственно на пациентах и на изображениях. Эти тесты позволят подтвердить надежность метода в реальных условиях и выявить возможные источники ошибок. Кроме того, это даст возможность адаптировать методику к различным анатомическим особенностям пациентов, что повысит ее практическую значимость.

Список литературы

1. Донской А.В. Лечение плоско-вальгусных деформаций стоп с вертикальным положением таранной кости // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2009. – № 1. – С. 123.
2. Жилин В.В. Применение модели YOLO для автоматического определения ключевых точек на изображениях заднего отдела стопы для диагностики плоско-вальгусной деформации стопы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2024. – №07. – С. 79-81.
3. Ковалев Е.В., Пирогова Н.В., Рыжов П.В. Алгоритм хирургического лечения плоско-вальгусной деформации стоп у детей и подростков // Актуальные вопросы детской хирургии: Сборник научных работ, Самара, 17 февраля 2005 года / Под редакцией М.А. Барской. Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2005. – С. 53-57.
4. Конарева Ю.С. О распространенных методах диагностики деформаций стоп человека // Технологии, дизайн, наука, образование в контексте инклюзии: Сборник научных трудов. Том Часть 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2018. С. 54-63.
5. Недопекин А.Е., Жилин В.В. Сегментация изображений для задачи диагностики плоско-вальгусной деформации стоп // Научный результат. Информационные технологии. – 2024. – Т. 9. – № 1. – С. 46-57.
6. Недопекин А.Е., Жилин В.В. Методы детекции ключевых анатомических точек для определения угла пронации заднего отдела стопы // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 6. – С. 43-48.
7. Процко В.Г., Тадж А.А., Олейник А.В. Классификация плоско-вальгусной деформации стоп у взрослых, метод определения степени деформации // Сборник научных трудов, посвященный 25-летию кафедры травматологии и ортопедии Российского университета дружбы народов, Москва, 25 марта 2017 года. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2017. – С. 356-362.
8. Щекин О.В., Щекин А.О. Консервативное лечение врожденной плоско-вальгусной деформации стоп у детей // Запорожский медицинский журнал. – 2011. – Т. 13. – № 1. – С. 33-36.
9. Examination of a Foot Mounted IMU-based Methodology for Running Gait Assessment / Young F., Mason R., Wall C., Morris R., Stuart S., Godfrey A. // Frontiers in Sports and Active Living. 2022. – No 4.
10. Ikuta Y., Nakasa T., Fujishita H, et al. An association between excessive valgus hindfoot alignment and postural stability during single-leg standing in adolescent athletes // BMC Sports Sci Med Rehabil. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – p. 64.
11. Jonson S.R., Gross M.T. Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen // J Orthop Sports Phys Ther. 1997. – Vol. 25. – No. 4. – pp. 253-263.
12. Langley B., Cramp M., Morrison S. Clinical measures of static foot posture do not agree // Journal of Foot and Ankle Research. – 2016. – Vol. 9. – No. 45.
13. Nigg B., Behling A.-V., Hamill J. Foot pronation // Footwear Science. – 2019. – No 11. – pp. 131-134.
14. Oleksy L., Mika A., Lukomska-Górny A., Marchewka A. Intrarater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) applied as a tool in foot assessment in children and adolescents // Medical Rehabilitation. – 2010. – No. 14. – pp. 18-28.
15. Umardani Y., Wibowo DB, Caesarendra W., Suprihanto A. Calculation of the Rearfoot Angle Representing Flatfoot from Comparison to the Cavanagh Arch Index // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – No. 13. – p. 6764.

References

1. Donskoj A.V. Treatment of flat-valgus deformities of the feet with vertical position of the talus bone // Medical Bulletin of the North Caucasus. – 2009. – No. 1. – p. 123.
2. Zhilin V.V. Application of the YOLO model for automatic detection of key points on images of the rear part of the foot for diagnosing flat-valgus deformity of the foot // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. – 2024. – No. 7. – pp. 79-81.
3. Kovalev E.V., Pirogova N.V., Ryzhov P.V. Algorithm of surgical treatment of flat-valgus deformity of feet in children and adolescents // Topical issues of pediatric surgery: Collection of scientific papers, Samara, February 17, 2005 / Edited by M.A. Barskaya. Samara: LLC IPK Sodruzhestvo, 2005. – pp. 53-57.
4. Konareva Yu.S. On common methods of diagnosing deformities of human feet // Technologies, design, science, education in the context of inclusion: A collection of scientific papers. Volume Part 2. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art)", 2018. – pp. 54-63.
5. Nedopekin A.E., Zhilin V.V. Image segmentation for the task of diagnosing flat-valgus deformity of the feet // Research result. Information technologies. – 2024. – Vol. 9. – No. 1. – pp. 46-57.
6. Nedopekin A.E., Zhilin V.V. Methods for detecting key anatomical points to determine the angle of pronation of the posterior part of the foot // Modern high-tech technologies. – 2024. – No. – 6. – pp. 43-48.
7. Protsko V.G., Taj A.A., Oleinik A.V. Classification of flat-valgus deformity of feet in adults, a method for determining the degree of deformation // Collection of scientific papers dedicated to the 25th anniversary of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, March 25, 2017. – Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), 2017. – pp. 356-362.
8. Shchekin O.V., Shchekin A.O. Conservative treatment of congenital flat-valgus deformity of the feet in children // Zaporizhia medical Journal. – 2011. – Vol. 13. – No. 1. – pp. 33-36.
9. Examination of a Foot Mounted IMU-based Methodology for Running Gait Assessment / Young F., Mason R., Wall C., Morris R., Stuart S., Godfrey A. // Frontiers in Sports and Active Living. 2022. – No 4.
10. Ikuta Y., Nakasa T., Fujishita H, et al. An association between excessive valgus hindfoot alignment and postural stability during single-leg standing in adolescent athletes // BMC Sports Sci Med Rehabil. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – p. 64.
11. Jonson S.R., Gross M.T. Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen // J Orthop Sports Phys Ther. 1997. – Vol. 25. – No. 4. – pp. 253-263.
12. Langley B., Cramp M., Morrison S. Clinical measures of static foot posture do not agree // Journal of Foot and Ankle Research. – 2016. – Vol. 9. – No. 45.
13. Nigg B., Behling A.-V., Hamill J. Foot pronation // Footwear Science. – 2019. – No 11. – pp. 131-134.
14. Oleksy L., Mika A., Lukomska-Górny A., Marchewka A. Intrarater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) applied as a tool in foot assessment in children and adolescents // Medical Rehabilitation. – 2010. – No. 14. – pp. 18-28.
15. Umardani Y., Wibowo DB, Caesarendra W., Suprihanto A. Calculation of the Rearfoot Angle Representing Flatfoot from Comparison to the Cavanagh Arch Index // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – No. 13. – p. 6764.

Недопекин Александр Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики

Жилин Валентин Валерьевич, аспирант

Nedopekin Alexander Evgenievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Science

Zhilin Valentin Valeryevich, Post-Graduate Student