



Разработка ортопедической стельки новой конструкции для коррекции нарушений ходьбы

С.Н. Захаров^{1,*}, Б.Б. Курышев², Ю.И. Пиголкин¹

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

² ООО Лечебно-восстановительный центр «ОДА», Владивосток, Россия

РЕЗЮМЕ

Современные ортопедические стельки часто не обеспечивают необходимой динамической адаптации к естественной биомеханике стопы. Жесткие конструкции традиционных моделей ограничивают физиологическую подвижность, что может приводить к дискомфорту и прогрессированию деформаций. Необходима разработка новых решений, способных адаптироваться к индивидуальным особенностям пациента.

Цель исследования: разработка ортопедической стельки новой конструкции для реабилитации пациентов с различными видами плоскостопия.

Материалы и методы. Исследование проводилось с использованием комплексного подхода, включающего 3D-моделирование на основе рентгенографических данных, биомеханический анализ распределения нагрузок, инженерные расчеты с применением САD-систем, а также клинические испытания с участием 163 пациентов. Для оценки эффективности использовались методы подометрии, motion-трекинга и анкетирования.

Результаты. Разработана принципиально новая конструкция ортопедической стельки, включающая пять металлических направляющих и систему демпферов. Клинические испытания показали, что 98 % пациентов отметили повышение комфорта при ходьбе, а 88,9 % — улучшение стабильности стопы. Конструкция обеспечивает физиологичное распределение нагрузок, снижая воздействие на суставы и позвоночник.

Заключение. Полученные результаты подтверждают перспективность применения данной стельки в клинической практике. Разработка открывает новые возможности в ортопедии, сочетая точную анатомическую поддержку с динамической коррекцией движений.

Ключевые слова: ортопедические стельки, плоскостопие, биомеханика стопы, 3D-моделирование, индивидуальные медицинские изделия, реабилитация

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Захаров С.Н., Курышев Б.Б., Пиголкин Ю.И. Разработка ортопедической стельки новой конструкции для коррекции нарушений ходьбы. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(4):37–44. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.4.1>

Поступила в редакцию: 07.07.2025

Принята к публикации: 19.11.2025

Online first: 29.01.2026

Опубликована: 24.03.2026

* Автор, ответственный за переписку

Development of a new orthopedic insole design for the correction of walking disorders

Sviatoslav N. Zakharov^{1*}, Boris B. Kuryshev², Yuri I. Pigolkin¹

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

² ODA Treatment and Rehabilitation Center LLC, Vladivostok, Russia

ABSTRACT

Modern orthotic insoles often fail to provide the necessary dynamic adaptation to the natural biomechanics of the foot. The rigid designs of traditional models limit physiologic mobility, which can lead to discomfort and progression of deformities. This determines the need to develop new solutions capable of adapting to the individual characteristics of the patient.

Purpose of the study — development of an orthopedic insole of a new design for rehabilitation of patients with different types of flat feet.

Materials and methods. The study was conducted using a comprehensive approach, including 3D modeling based on radiographic data, biomechanical analysis of load distribution, engineering calculations using CAD-systems, as well as clinical trials involving 163 patients. Podometrics, motion-tracking and questionnaire methods were used to evaluate the effectiveness.

Results. A fundamentally new orthopedic insole design was developed, including five metal guides and a system of dampers. Clinical trials showed that 98 % of patients reported improved walking comfort and 88.9 % improved foot stability. The design provides physiologic load distribution, reducing the impact on the joints and spine.

Conclusion. The results obtained confirm the promising application of this development in clinical practice. The development opens new opportunities in orthopedics, combining accurate anatomical support with dynamic correction of movements.

Keywords: orthopedic insoles, flat feet, foot biomechanics, 3D modeling, individual medical devices, rehabilitation.

Conflicts of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Zakharov S.N., Kuryshev B.B., Pigolkin Yu.I. Development of a new orthopedic insole design for the correction of walking disorders. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(4):37–44. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.4.1>

Received: 07 July 2025

Accepted: 19 November 2025

Online first: 29 January 2026

Published: 24 March 2026

*Corresponding author

1. Введение

Ортопедические стельки давно признаны в медицине одним из наиболее эффективных способов коррекции нарушений стопы. Они применяются для лечения и профилактики таких распространённых патологий, как плоскостопие, вальгусная и варусная деформации, пяточная шпора, а также для снижения нагрузки на суставы и позвоночник. На данный момент существует огромное разнообразие ортопедических стелек, которые различаются не только по степени жесткости и назначению (профилактические, лечебные, спортивные), но и по материалам изготовления (силикон, термопластик, натуральная кожа, углеродное волокно) и дизайну (каркасные, бескаркасные, индивидуальные, готовые) [1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 16].

Однако, несмотря на постоянное развитие технологий, многие современные модели стелек обладают существенным недостатком — они не способны в полной мере адаптироваться к естественным микродвижениям стопы во время ходьбы. Это связано с тем, что традиционные конструкции имеют фиксированную форму и жесткие поддерживающие элементы, которые ограничивают физиологическую биомеханику. В результате стопа не может двигаться естественно, что приводит

к дискомфорту, повышенной утомляемости, а в некоторых случаях — к прогрессированию деформаций и ухудшению состояния пациента [6, 7, 8, 14].

В связи с этим перед производителями ортопедической продукции стоит важная задача — разработать инновационные решения, которые позволят стелькам динамически подстраиваться под анатомические особенности и биомеханику конкретного человека. Перспективными направлениями в этой области являются использование «умных» материалов с памятью формы и регулируемой жесткостью, внедрение 3D-печати для создания полностью индивидуальных стелек, применение сенсоров и технологий искусственного интеллекта для анализа нагрузки.

Цель исследования — разработка ортопедической стельки новой конструкции для реабилитации пациентов с различными видами плоскостопия.

2. Материалы и методы

Нами проведена разработка ортопедической стельки особой конструкции, получившей название конструкционной опоры стопы человека (КОСЧ). При ее создании применялся комплексный междисциплинарный подход, сочетающий методы клинической медицины,

биомеханики и инженерного проектирования. Основой для создания конструкции послужили детальные анатомические исследования с использованием рентгенографии с масштабной металлической сеткой, позволившие точно определить пространственное расположение костных структур стопы и построить их 3D-модели.

Биомеханический анализ включал компьютерное моделирование распределения нагрузок при различных фазах ходьбы и статическом положении, что позволило рассчитать оптимальные параметры кривизны пяти основных опорных направляющих.

Инженерная разработка основывалась на принципах теоретической механики с анализом тангенциальных составляющих движения и расчетом центров тяжести отдельных костных элементов. Производился подбор материалов — металлических сплавов с требуемыми упруго-прочностными характеристиками для направляющих и современных эластомеров для амортизирующих элементов. Производственный процесс включал использование САД-систем для точного моделирования, станков с ЧПУ для изготовления прототипов и технологий 3D-печати для создания индивидуальных компонентов.

Клинические испытания проводились на 163 добровольцах (78 мужчин, 85 женщин) в возрасте от 18 до 89 лет с применением подометрических исследований

(163 наблюдения, 100%) и motion-трекинга (125 наблюдений) для оценки эффективности стельки у пациентов с различными типами патологий стопы. Каждый из них подвергался осмотру в начале и конце исследования. Участникам также была проведена плантография в положении стоя, проводился опрос испытуемых по поводу их самочувствия (табл. 1, 2). Проведено анкетирование испытуемых (153 наблюдения, 93,87%).

Анализ статистических данных был основан на применении методов дескриптивной и сравнительной статистики. Для описания центральной тенденции и разброса данных использовались среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (SD). Для оценки эффективности вмешательства рассчитано среднее изменение показателя (Δ).

Для определения статистической значимости результатов внутри каждой группы применен парный t -критерий, так как проводились повторные измерения на одних и тех же испытуемых до и после применения стельки.

3. Результаты исследования

Нами создана принципиально новая конструкция стельки (рис.), в основе которой лежат пять металлических направляющих, расположенных таким образом, чтобы точно повторять анатомические изгибы

Таблица 1

Распределение участников исследования по полу и возрасту

Table 1

Distribution of study participants by gender and age

Пол	Мужчины (N абс., % отн.)	Женщины (N абс., % отн.)
Возраст 18–40 лет	21 (12,88 %)	23 (14,11 %)
Возраст 40–65 лет	27 (16,56 %)	27 (16,56 %)
Возраст более 65 лет	30 (18,40 %)	35 (21,47 %)
Всего	78 (47,85 %)	85 (52,15 %)

Таблица 2

Распределение испытуемых по патологиям стопы

Table 2

Distribution of subjects by foot pathology

Патология	Всего (n = 163)	Мужчины (n = 78)	Женщины (n = 85)
Плосковальгусная деформация стоп	98 (60,1 %)	40 (51,3 %)	58 (68,2 %)
в т.ч. с синдромом гиперпронации	75 (46,0 %)	30 (38,5 %)	45 (52,9 %)
Продольно-поперечное плоскостопие	112 (68,7 %)	55 (70,5 %)	57 (67,1 %)
в т.ч. с метатарзалгией	63 (38,7 %)	28 (35,9 %)	35 (41,2 %)
Вальгусная деформация 1-го пальца стопы (Hallux Valgus)	67 (41,1 %)	15 (19,2 %)	52 (61,2 %)
Степень I	25 (15,3 %)	8 (10,3 %)	17 (20,0 %)
Степень II	42 (25,8%)	7 (9,0%)	35 (41,2%)
Пяточная шпора (плантарный фасциит)	34 (20,9 %)	12 (15,4 %)	22 (25,9 %)
Полая стопа (Pes Cavus)	18 (11,0 %)	10 (12,8 %)	8 (9,4 %)
Состояние после травм опорно-двигательного аппарата	21 (12,9 %)	15 (19,2 %)	6 (7,1 %)

стопы — от пяточной кости до головок плюсневых костей. Каждая направляющая имеет кривизну, соответствующую естественному своду стопы, при этом их высота пропорционально уменьшается от пятки к пальцам, создавая плавный поддерживающий контур.

Основное преимущество конструкции КОСЧ — она не просто поддерживает стопу, а активно помогает движению, позволяет создать дополнительный импульс, облегчая шаг и снижая нагрузку на суставы стопы и вышележащие отделы. Это делает ходьбу более легкой и естественной.

Как известно, плюсневые кости имеют плотную структуру, тогда как другие кости стопы состоят из более мягкой губчатой ткани. Наши наблюдения в области биомеханики стопы показывают, что оптимальная конструкция направляющих должна повторять естественное расположение костных балок (трабекул), которые формируются в ответ на нагрузку в процессе жизни. Данный принцип был реализован в конструкции стельки.

В зоне пятки расположен мягкоупругий ложемент, повторяющий форму пяточной кости и обеспечивающий комфорт при ходьбе. Все пять направляющих

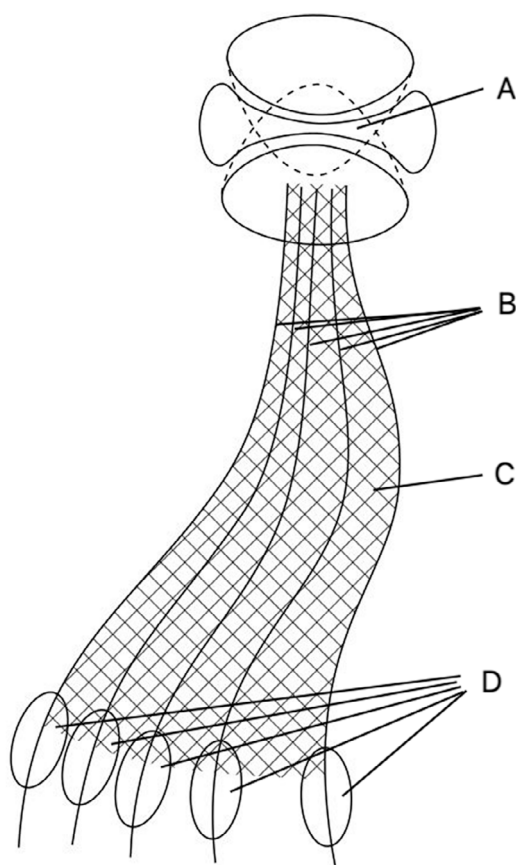


Рис. Схема конструктивной опоры стопы человека: А — пяточный ложемент; В — направляющие, соответствующие форме сводов стопы; С — сетка; D — муфты
Fig. Construction of the orthopedic insole: A — heel support; B — guides corresponding to the shape of the arches of the foot; C — mesh; D — couplings

соединены между собой металлической сеткой с ячейками размером $0,5 \times 1,0 \times 2,0$ мм, что обеспечивает необходимую подвижность конструкции. Для дополнительной амортизации система оснащена четырьмя демпферами, которые гасят ударные нагрузки как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Конструкция КОСЧ работает по принципу «многого» амортизатора: при движении стопы направляющие создают оптимальный момент силы, облегчая фазу отталкивания и обеспечивая правильное распределение нагрузки. При этом вся система покрыта мягким эластичным материалом, что делает ее использование комфортным в любой обуви. Особенность КОСЧ заключается в том, что она не просто механически поддерживает стопу, а активно взаимодействует с ней, подстраиваясь под индивидуальные особенности биомеханики и обеспечивая естественное движение.

Проведенное исследование с использованием плантографии и motion-трекинга наглядно продемонстрировало комплексное улучшение биомеханических показателей ходьбы при использовании разработанных нами ортопедических стелек (табл. 3). В рамках кинематического анализа было зафиксировано, что стелька эффективно стабилизирует пяточный отдел и поддерживает свод, что привело к значительному снижению чрезмерной пронации и достижению более нейтрального, физиологического положения стопы в фазе опоры. Что особенно важно, эта коррекция на уровне стопы положительно повлияла на вышележащие суставы: было отмечено уменьшение вальгусной девиации колена и внутренней ротации бедра, что говорит о снижении нагрузки на весь опорно-двигательный аппарат (табл. 4).

Со стороны кинетики разработанная нами стелька показала высокие результаты в перераспределении нагрузки. Давление по поверхности подошвы стало распределяться значительно равномернее, что привело к выраженному снижению пиковых нагрузок в ранее перегруженных зонах, таких как области пятки и головок плюсневых костей. Кроме того, была значительно улучшена амортизационная функция: наша стелька эффективно поглощает ударную нагрузку в момент контакта с поверхностью (табл. 5).

Мы также зафиксировали положительную динамику по временным и пространственным параметрам ходьбы (табл. 6). У испытуемых увеличилась длина шага за счет повышения стабильности и комфорта, возросла симметрия шага и отмечалась тенденция к увеличению скорости ходьбы как следствие возросшей эффективности локомоции.

Проведенное анкетирование испытуемых показало, что при различных патологиях стопы, включая плоскостопие и вальгусную деформацию, участники отмечали стабильность положения стопы (136 наблюдений, 88,89% опрошенных) и удобство при ношении (150 наблюдений, 98,04% опрошенных). По мнению респондентов, изделие позволило работать стопе, как если бы

Таблица 3

Влияние КОСЧ на коррекцию угла пронации стопы

Table 3

The effect of orthopedic insole on the correction of the pronation angle of the foot

Группа	n	Стопа	Исходные значения (M ± SD)	После коррекции (M ± SD)	Δ (Изменение)	p-value
Все	163	Все	10,44° ± 2,31°	6,27° ± 1,38°	-4,17°	< 0,01
		Правая	10,52° ± 2,40°	6,33° ± 1,45°	-4,19°	< 0,01
		Левая	10,36° ± 2,22°	6,21° ± 1,31°	-4,15°	< 0,01
Мужчины	78	Все	10,32° ± 2,15°	6,18° ± 1,42°	-4,14°	< 0,01
		Правая	10,40° ± 2,25°	6,24° ± 1,48°	-4,16°	< 0,01
		Левая	10,24° ± 2,05°	6,12° ± 1,36°	-4,12°	< 0,01
Женщины	85	Все	10,55° ± 2,45°	6,35° ± 1,34°	-4,20°	< 0,01
		Правая	10,64° ± 2,53°	6,42° ± 1,40°	-4,22°	< 0,01
		Левая	10,46° ± 2,37°	6,28° ± 1,28°	-4,18°	< 0,01

Примечание: n — количество испытуемых; M ± SD — среднее значение ± стандартное отклонение; Δ — среднее изменение показателя.
Note: n — sample size; M ± SD — mean ± standard deviation; Δ — mean change in the indicator.

Таблица 4

Влияние индивидуальных ортопедических стелек (КОСЧ) на коррекцию вальгусной девиации коленного сустава

Table 4

The effect of individual orthopedic insoles on the correction of valgus deviation of the knee joint

Группа	n	Нога	Исходные значения (M ± SD)	После коррекции (M ± SD)	Δ (Изменение)	p-value
Все	163	Все	6,85° ± 1,92°	2,78° ± 1,15°	-4,07°	< 0,01
		Правая	6,92° ± 1,97°	2,82° ± 1,18°	-4,10°	< 0,01
		Левая	6,78° ± 1,87°	2,74° ± 1,12°	-4,04°	< 0,01
Мужчины	78	Все	6,70° ± 1,85°	2,65° ± 1,08°	-4,05°	< 0,01
		Правая	6,77° ± 1,90°	2,69° ± 1,11°	-4,08°	< 0,01
		Левая	6,63° ± 1,80°	2,61° ± 1,05°	-4,02°	< 0,01
Женщины	85	Все	6,99° ± 1,98°	2,89° ± 1,21°	-4,10°	< 0,01
		Правая	7,07° ± 2,03°	2,95° ± 1,24°	-4,12°	< 0,01
		Левая	6,91° ± 1,93°	2,83° ± 1,18°	-4,08°	< 0,01

Примечание: n — количество испытуемых; M ± SD — среднее значение ± стандартное отклонение; Δ — среднее изменение показателя.
Note: n — sample size; M ± SD — mean ± standard deviation; Δ — mean change in the indicator.

Таблица 5

Влияние индивидуальных ортопедических стелек (КОСЧ) на распределение пикового давления под стопой

Table 5

The effect of individual orthopedic insoles on the distribution of peak pressure under the foot

Группа	n	Стопа	Исходные значения (M ± SD), кПа	После коррекции (M ± SD), кПа	p-value
Все	163	Все	478,5 ± 85,2	312,7 ± 54,3	< 0,01
		Правая	485,7 ± 86,9	315,9 ± 55,1	< 0,01
		Левая	471,3 ± 83,1	309,5 ± 53,2	< 0,01
Мужчины	78	Все	492,3 ± 80,1	325,8 ± 52,0	< 0,01
		Правая	498,5 ± 82,5	328,6 ± 53,0	< 0,01
		Левая	486,1 ± 77,4	323,0 ± 50,8	< 0,01
Женщины	85	Все	466,1 ± 88,5	300,5 ± 55,1	< 0,01
		Правая	473,9 ± 89,8	304,2 ± 56,0	< 0,01
		Левая	458,3 ± 86,8	296,8 ± 53,9	< 0,01

Примечание: n — количество испытуемых; M ± SD — среднее значение ± стандартное отклонение.
Note: n — sample size; M ± SD — mean ± standard deviation.

Таблица 6

Влияние ортопедических стелек на кинематические параметры ходьбы на основе данных motion-трекинга

Table 6

The effect of orthopedic insoles on the kinematic parameters of walking based on motion tracking data

Параметр / Группа	Всего случаев (n = 125)	Мужчины (n = 58)	Женщины (n = 67)
Увеличение длины шага	118 (94,4 %)	55 (94,8 %)	63 (94,0 %)
Повышение симметрии шага	121 (96,8 %)	56 (96,6 %)	65 (97,0 %)
Субъективное улучшение комфорта ходьбы	122 (97,6 %)	57 (98,3 %)	65 (97,0 %)

она была здоровой: улучшен подъем, распределение нагрузки и снижено давление на колени и тазобедренные суставы. Наблюдение за участниками показало уменьшение ударной нагрузки — стопа не «расплющивалась», а сохраняла правильную форму, улучшен баланс — даже в плотной обуви стопа оставалась стабильной. Ношение стельки способствовало корректной работе мышц, поскольку не было избыточного напряжения в голених и коленях.

4. Обсуждение

Стопа — это сложный механизм, где кости и суставы работают как амортизаторы. Современная обувь блокирует естественные движения, а большинство стелек не способствуют решению данной проблемы, поскольку не позволяют стопе двигаться правильно. В их конструкции не учтено то, что плюсневые кости работают как рычаги, смягчая удары при ходьбе. В плотной обуви мышцы стопы не могут полноценно работать, из-за чего нагрузка распределяется неправильно.

Использование рентгена с металлической сеткой и 3D-моделирования позволяет точно определять индивидуальную анатомию стопы пациента и создать индивидуальную стельку на станках с ЧПУ. Благодаря этому становится возможным корректировать даже сложные деформации стопы.

Производство нашей стельки возможно из разных материалов — металла для высоких нагрузок (например, для спортсменов или военных) и термопластика для повседневного использования. Изделие изготавливается индивидуально под размер стопы, а процесс

Вклад авторов:

Захаров С.Н. — написание и научное редактирование рукописи, научная обработка данных.

Курьшев Б.Б. — разработка конструкции изделия, организация и проведение эксперимента, получение и обработка данных.

Пиголкин Ю.И. — научное консультирование, критический пересмотр и научное редактирование рукописи и одобрение окончательного варианта рукописи.

можно автоматизировать с помощью пресс-форм и штамповки. Однако для массового производства нужны дополнительные исследования, чтобы подобрать оптимальные материалы под разный вес и интенсивность движения.

Участники испытаний отметили, что носить новую конструкцию очень удобно. Анализ результатов наблюдений и motion-трекинга показал, что разработанная система эффективно корректирует движения при ходьбе, способствуя формированию физиологических паттернов движения.

5. Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что разработанная ортопедическая стелька принципиально превосходит аналоги за счет точного воспроизведения естественной биомеханики стопы и динамической адаптации к индивидуальным особенностям пациента. Ключевые преимущества включают анатомически точную поддержку свода стопы, снижение ударных нагрузок на суставы и универсальность применения при различных патологиях. Клинические испытания показали высокую эффективность и комфорт при использовании без периода адаптации. Перспективы внедрения связаны с возможностью массового производства с использованием современных материалов и 3D-технологий для индивидуального изготовления. Данная разработка открывает новые возможности в ортопедии, предлагая принципиально иной подход к коррекции нарушений стопы, сочетающий инновационные решения с физиологичным воздействием.

Authors' contributions:

Sviatoslav N. Zakharov — writing and scientific editing of the manuscript, scientific data processing.

Boris B. Kuryshev — product design development, organization and conduct of the experiment, acquisition and processing of data.

Yuri I. Pigolkin — scientific consultation, critical revision and scientific editing of the manuscript, and approval of the final version of the manuscript.

Список литературы

References

1. Курьшев Б.Б., Пиголкин Ю.И. Опорное устройство для свода стопы человека. Патент на изобретение RU 2852855 C1, 16.12.2025. Заявка № 2025103907 от 21.02.2025.
2. Стельки для обуви, р. 35–36. Яндекс Маркет [интернет]. Режим доступа: Интернет-ресурс: https://market.yandex.ru/product--stelki-dlia-obuvi/136888057?sku=103120964777&uniqueId=1073323&do-waremd5=0NQr41YezKgSMPgDdlJlGQ&utm_term=62380485%7C136888057&clid=1601&utm_source=yandex&utm_medium=search&utm_campaign=ymp_offer_dp_dom_model_mrksr_top_bko_dyb_search_rus&utm_content=cid%3A115706981%7Cgid%3A5547520555%7Caid%3A1870026716275229206%7Cph%3A54395143849%7Cpt%3Apremium%7Cpn%3A1%7Csrc%3Aanone%7Cst%3Asearch%7Crid%3A54395143849%7Ccgcid%3A0&yclid=4834148699255341055 (дата обращения 19.06.2025).
3. Стельки для обуви, р-р 41–45. Яндекс Маркет [интернет]. Режим доступа: https://market.yandex.ru/product--stelki-dlia-obuvi-r-r-41-45-para-universalnykh-stelek-chernogotsveta/1039308890?utm_term=62380485%7C1039308890&clid=1601&utm_source_service=web&utm_source=yandex&utm_medium=search&utm_campaign=ymp_offer_dp_dom_model_mrksr_top_bko_dyb_search_rus&utm_content=cid:115706981|gid:5547520555|aid:1870026716275229206|ph:54395143849|pt:premium|pn:2|src:none|st:search|rid:54395143849|cgcid:0&src_pof=1648&wprid=1750325585539632-5473873389267874566-balancer-l7leveler-kubr-yp-sas-210-BAL&icookie=Q6XyytXWgMfAvtEFaToLGF5objxBO9fGRI%2BIRDyOGV%2B%2BUdpgFRKmeoSPhruJaazl%2B8BruUa2TCqzlbNQ%2FrDvRfobBU%3D&yclid=1017108968261025791&extdata=CgUKAzE4ORCzkQYY0bLPw gZYAmIKMTIxMTMzNDsxOA== (дата обращения 19.06.2025).
4. Тарг С.М. Центр инерции (центр масс). В: Прохоров А.М. (гл. ред.). Физическая энциклопедия. Т. 5. Москва: Большая российская энциклопедия; 1999.
5. Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека. Москва: Медгиз; 1963.
6. Капанджи А. Нижняя конечность. Функциональная анатомия. Москва: Эксмо; 2020.
7. Инсарова Н.И., Лещенко В.Г. Элементы биомеханики. Минск: БГМУ; 2005.
8. Антонов В.Ф., Козлова Е.К., Черныш А.М. Физика и биофизика. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2010.
9. Chen H., Sun D., Fang Y., Gao S., Zhang Q., Bíró I., Tafferner-Gulyás V., Gu Y. Effect of orthopedic insoles on lower limb motion kinematics and kinetics in adults with flat foot: a systematic review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024;12:1435554. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1435554>
10. Zuñiga J., Moscoso M., Padilla-Huamantínco P.G., Lazo-Porras M., Tenorio-Mucha J., Padilla-Huamantínco W., Tinco-pa J.P. Development of 3D-printed orthopedic insoles for patients with diabetes and evaluation with electronic pressure sensors. *Designs*. 2022;6(5):95. <https://doi.org/10.3390/designs6050095>
11. Ma C.Z.-H., Wong D.W.-C., Wan A.H.-P., Lee, W.C.-C. Effects of orthopedic insoles on static balance of older adults wearing thick socks. *Prosthetics and orthotics international*. 2018;42(3):357–362. <https://doi.org/10.1177/0309364617752982>
12. Zhang X., Xing X., Huo H. Design principle and biomechanical function of orthopedic insoles. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*. 2020;24(23):3744–3750. (In Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2691>
13. Jafarzadeh E., Soheilifard R., Ehsani-Seresht A. Design optimization procedure for an orthopedic insole having a con-

1. Kuryishev B.B., Pigolkin Yu.I. Supporting device for the human foot arch. Patent for invention RU 2852855 C1, 16.12.2025. Application No. 2025103907 dated 21.02.2025.
2. Insoles for shoes, size 35–36. Yandex Market [internet]. Available at: Интернет-ресурс: https://market.yandex.ru/product--stelki-dlia-obuvi/136888057?sku=103120964777&uniqueId=1073323&do-waremd5=0NQr41YezKgSMPgDdlJlGQ&utm_term=62380485%7C136888057&clid=1601&utm_source=yandex&utm_medium=search&utm_campaign=ymp_offer_dp_dom_model_mrksr_top_bko_dyb_search_rus&utm_content=cid%3A115706981%7Cgid%3A5547520555%7Caid%3A1870026716275229206%7Cph%3A54395143849%7Cpt%3Apremium%7Cpn%3A1%7Csrc%3Aanone%7Cst%3Asearch%7Crid%3A54395143849%7Ccgcid%3A0&yclid=4834148699255341055 (accessed 19 June 2025). (In Russ.).
3. Insoles for shoes, size 41–45. Yandex Market [internet]. Available at: https://market.yandex.ru/product--stelki-dlia-obuvi-r-r-41-45-para-universalnykh-stelek-chernogotsveta/1039308890?utm_term=62380485%7C1039308890&clid=1601&utm_source_service=web&utm_source=yandex&utm_medium=search&utm_campaign=ymp_offer_dp_dom_model_mrksr_top_bko_dyb_search_rus&utm_content=cid:115706981|gid:5547520555|aid:1870026716275229206|ph:54395143849|pt:premium|pn:2|src:none|st:search|rid:54395143849|cgcid:0&src_pof=1648&wprid=1750325585539632-5473873389267874566-balancer-l7leveler-kubr-yp-sas-210-BAL&icookie=Q6XyytXWgMfAvtEFaToLGF5objxBO9fGRI%2BIRDyOGV%2B%2BUdpgFRKmeoSPhruJaazl%2B8BruUa2TCqzlbNQ%2FrDvRfobBU%3D&yclid=1017108968261025791&extdata=CgUKAzE4ORCzkQYY0bLPw gZYAmIKMTIxMTMzNDsxOA== (accessed 19 June 2025). (In Russ.).
4. Targ S.M. Center of inertia (center of mass). In: Prokhorov A.M. (ed.). *Physical Encyclopedia*. Vol. 5. Moscow: Great Russian Encyclopedia; 1999. (In Russ.).
5. Sineĭnikov R.D. Atlas of human anatomy. Moscow: Medgiz Publ.; 1963. (In Russ.).
6. Kapandzhi A. The lower limb. Functional anatomy. Moscow: Eksmo Publ.; 2020. (In Russ.).
7. Insarova N.I., Leshchenko V.G. Elements of biomechanics. Minsk: Belarusian State Medical University; 2005. (In Russ.).
8. Antonov V.F., Kozlova E.K., Chernysh A.M. Physics and biophysics. Moscow: GEOTAR-Media Publ.; 2010. (In Russ.).
9. Chen H., Sun D., Fang Y., Gao S., Zhang Q., Bíró I., Tafferner-Gulyás V., Gu Y. Effect of orthopedic insoles on lower limb motion kinematics and kinetics in adults with flat foot: a systematic review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024;12:1435554. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1435554>
10. Zuñiga J., Moscoso M., Padilla-Huamantínco P.G., Lazo-Porras M., Tenorio-Mucha J., Padilla-Huamantínco W., Tinco-pa J.P. Development of 3D-printed orthopedic insoles for patients with diabetes and evaluation with electronic pressure sensors. *Designs*. 2022;6(5):95. <https://doi.org/10.3390/designs6050095>
11. Ma C.Z.-H., Wong D.W.-C., Wan A.H.-P., Lee, W.C.-C. Effects of orthopedic insoles on static balance of older adults wearing thick socks. *Prosthetics and orthotics international*. 2018;42(3):357–362. <https://doi.org/10.1177/0309364617752982>
12. Zhang X., Xing X., Huo H. Design principle and biomechanical function of orthopedic insoles. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*. 2020;24(23):3744–3750. (In Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2691>
13. Jafarzadeh E., Soheilifard R., Ehsani-Seresht A. Design optimization procedure for an orthopedic insole having a con-

tinuously variable stiffness/shape to reduce the plantar pressure in the foot of a diabetic patient. *Medical Engineering & Physics*. 2021;98:44–49. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2021.10.008>

14. Li Y., Xiaoli H., Ye N., Songjian X., Li L., Qianqi H., Yin-
ing Y., Li C. Effect of orthopedic insoles on spinal deformity and walking in adolescents with idiopathic scoliosis summary. *Frontiers in Pediatrics*. 2023;11:1259746.

15. Yick K.L., Tse C.Y. Chapter 14 — The use of textiles and materials for orthopedic footwear insoles. In: **Luximon A.** (ed.). *Handbook of Footwear Design and Manufacture*. Woodhead Publishing; 2021, pp. 361–388. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821606-4.00012-0>

16. Zhou X., Zeng Q., Liao Z., Lu P., Zou J., Li S., Huang G. Application of customized orthopedic insoles in the treatment of flatfoot. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*. 2022;26(28):4587–4592. (In Chinese). <https://doi.org/10.12307/2022.318>

tinuously variable stiffness/shape to reduce the plantar pressure in the foot of a diabetic patient. *Medical Engineering & Physics*. 2021;98:44–49. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2021.10.008>

14. Li Y., Xiaoli H., Ye N., Songjian X., Li L., Qianqi H., Yin-
ing Y., Li C. Effect of orthopedic insoles on spinal deformity and walking in adolescents with idiopathic scoliosis summary. *Frontiers in Pediatrics*. 2023;11:1259746.

15. Yick K.L., Tse C.Y. Chapter 14 — The use of textiles and materials for orthopedic footwear insoles. In: **Luximon A.** (ed.). *Handbook of Footwear Design and Manufacture*. Woodhead Publishing; 2021, pp. 361–388. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821606-4.00012-0>

16. Zhou X., Zeng Q., Liao Z., Lu P., Zou J., Li S., Huang G. Application of customized orthopedic insoles in the treatment of flatfoot. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*. 2022;26(28):4587–4592. (In Chinese). <https://doi.org/10.12307/2022.318>

Информация об авторах:

Захаров Святослав Николаевич*, к.м.н., ассистент кафедры судебной медицины ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0107-9649> (zakharov.swyatoslaw@yandex.ru)

Курьшев Борис Борисович, врач — травматолог-ортопед, ООО Лечебно-восстановительный центр «ОДА», Россия, 690001, Владивосток, ул. Муравьева-Амурского, 7/9 (kuryshhev.boris@mail.ru)

Пиголкин Юрий Иванович, член-корр. РАН, профессор, д.м.н., заведующий кафедрой судебной медицины ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-4931> (pigolkin_yu_i@staff.sechenov.ru)

Information about the authors:

Svyatoslav N. Zakharov*, Cand. Sci. (Medicine), Assistant of the Department of Forensic Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 8/2 Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0107-9649> (zakharov.swyatoslaw@yandex.ru)

Boris B. Kuryshhev, Orthopedic and Trauma Surgeon, «ODA» Medical and Rehabilitation Center LLC, 7/9 Muravyov-Amursky str., Vladivostok, 690001, Russia. (kuryshhev.boris@mail.ru)

Yuri I. Pigolkin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Medicine), Head of the Department of Forensic Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 8/2 Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-4931> (pigolkin_yu_i@staff.sechenov.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author