

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2026, Том 11, № 1 / 2026, Vol. 11, Iss. 1 <https://kostumologiya.ru/issue-1-2026.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/27TLKL126.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Жуковская, Т. В. Аспекты создания биомеханически обоснованной повседневной обуви для женщин в периоды гормональной трансформации / Т. В. Жуковская, Н. В. Тихонова // Костюмология. — 2026. — Т. 11. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/27TLKL126.pdf>.

For citation:

Zhukovskaya T.V., Tikhonova N.V. Biomechanical design aspects of women's everyday footwear for hormonal transition periods. *Journal of Clothing Science*. 2026;11(1): 27TLKL126. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/27TLKL126.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ

УДК 685.34.016

Жуковская Татьяна Владимировна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический институт», Казань, Россия

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: zhukovskayatv@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4006-6691>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=792962

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57219987044>

Тихонова Наталья Васильевна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический институт», Казань, Россия

Заведующий кафедрой, профессор

Доктор технических наук, доцент

E-mail: nata.tikhonova.81@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=750903

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

**Аспекты создания биомеханически
обоснованной повседневной обуви для женщин
в периоды гормональной трансформации**

Аннотация. Беременность и менопауза не являются нозологическими единицами, в международной классификации болезней они относятся к физиологическим факторам, влияющим на состояние здоровья. Довольно часто, данное влияние проявляется в изменении биомеханики стопы и может приводить к первоначально незаметным, но имеющим накопительный эффект вторичным нарушениям функции опорно-двигательного аппарата. При этом, в проектировании повседневной обуви доминируют эстетические критерии, тогда как функция здоровьесбережения обуви часто редуцируется до субъективного ощущения удобства. Данное аналитическое исследование фокусируется на функции плантарного апоневроза — фасции стопы (продольный и поперечный своды), как ключевом элементе естественной амортизации локомоций и рассматривает различные проектные подходы, в том числе трибологию материалов внутренней поверхности обуви и особенностей внутриобувных

интерфесов (областей взаимодействия стопы, чулочно-носочного изделия и внутренней поверхности обуви), как управляемый инженерный фактор, влияющий на сдвиговые нагрузки тканей поверхности стопы и условия работы плантарного апоневроза.

Целью исследования является анализ возможности применения существующих проектных ортопедических, спортивных и других решений в процесс создания биомеханически обоснованной повседневной обуви для женщин в периоды гормональной трансформации для обеспечения выполнения обувью здоровьесберегающей функции, в том числе стабильной работы плантарного апоневроза.

Работа выполнена в формате проблемно-ориентированного аналитического обзора. Доказано, что проектирование повседневной обуви для данной целевой группы целесообразно вести как разработку системы условий: анатомический объем, пространство для работы сводов стопы; сегментированная механика низа обуви (умеренная амортизация при сохранении устойчивости и локализованной гибкости); адаптивная фиксация на стопе без выраженной компрессии и целевое зональное регулирование триботехнических характеристик материалов внутренней поверхности обуви.

Ключевые слова: биомеханика стопы; здоровьесберегающая повседневная обувь; гормональная трансформация; плантарный апоневроз; внутриобувное пространство; триботехнические характеристики; трибология материалов

Введение

Беременность и менопауза не относятся к заболеваниям [1; 2] и являются естественными физиологическими периодами жизни женщины. Тем не менее, данные периоды нередко сопровождаются системными изменениями связочного аппарата, обусловленными переменой гормонального баланса и способными влиять на биомеханику опоры и ходьбы. Так, в работе [3] показано, что беременность сопровождается устойчивыми изменениями параметров стопы — понижением высоты сводов (продольного и поперечного), удлинением и расширением стопы, сохраняющиеся после родоразрешения. Во время беременности женщины часто отмечают отеки и боли в стопах, как и пожилые женщины, в этой группе боли в стопе беспокоят 25 % опрошенных [4]. Учитывая тот факт, что в пожилом возрасте боли в стопе приводят к ограничению мобильности [5], а изменения в стопе, возникшие во время беременности, могут иметь накопительный эффект [6], повседневную обувь можно рассматривать как потенциальный инструмент снижения вероятности нарушений функций опорно-двигательного аппарата (ОДА) с возрастом женщины.

При этом, рынок повседневной обуви нередко ориентирован преимущественно на эстетические критерии, а вопросы сохранения функций стопы (здоровьесбережения) часто отступают на второй план [7]. Авторы [8] обзора, посвященного созданию обуви для пожилых людей, подчеркивают необходимость целевого проектирования обуви в первую очередь под функциональные запросы и измененную морфологию стопы данной группы, что косвенно указывает на несоответствие массового предложения.

Следует отметить, что наиболее недооцененной при создании конструкции повседневной обуви остается роль плантарного апоневроза (ПА) — фасции стопы, ключевой компоненты естественной амортизации и сохранения сводчатой архитектуры, представляющей собой упругую связку [9]. Экспериментальные данные по упругой функции ПА как структуры, возвращающей энергию в фазу отталкивания показаны в работе [10].

Важно отметить, что в обозначенные периоды гормональной трансформации механические характеристики ПА меняются, так при беременности, его растяжимость увеличивается [11],

дополнительными стрессовыми факторами для его работы являются быстрое увеличение массы вследствие роста плода и смещение центра масс. В результате происходит не только смена локомоторного паттерна, но и изменение формы и размеров стопы как таковой. В менопаузу и постменопаузу эластичность ПА снижается, ухудшается его амортизационная функция, а ударные нагрузки передаются выше по цепи без погашения, что подтверждается с применением эластографического подхода [12].

При этом, в ортопедической практике широко применяется практика стабилизации сводов стопы за счет специальных вкладных стелек, однако, имеются данные об их влиянии на параметры постурального контроля в период постменопаузы [13], что требует тщательного подбора таких приспособлений. В это же время, связь эффективности работы ПА и трибологии внутриобувного интерфейса чаще всего исследуется в работах, посвящённых спортивной биомеханике [14].

Материалы и методы исследования

Работа выполнена в формате аналитического обзора, ориентированного на выявление причинно-следственных связей проектных решений по разработке повседневной обуви для целевой группы населения. Методологически обзор построен как сопоставление и интеграция результатов трех взаимодополняющих сегментов: (1) биомеханика сводов и роль ПА, (2) прикладные проектные решения для обуви, предложенные в смежных областях (ортопедическая, диабетическая, спортивная), (3) трибология внутриобувного интерфейса, с последующей оценкой возможности их проецирования на применение в проектировании повседневной обуви для женщин в периоды гормональной трансформации. Принцип отбора источников заключается во включении работ, в которых анализируются по меньшей мере один вышеперечисленных вопросов. Логика работы реализована как последовательная проблемно-ориентированная схема: физиологические предпосылки и перестройка механики стопы в периоды гормональной трансформации организма женщины и их накопительный эффект; внутриобувные условия, необходимые для сохранения функции ПА; критическая оценка подходов и решений из смежных сегментов; составление концептуальной рамки по проектированию повседневной обуви для целевой группы населения. Тем самым, работа направлена на перевод разрозненных эмпирических данных и прикладных решений в форму проектно-значимых критериев, пригодных для дальнейшей экспериментальной валидации и инженерной реализации.

Результаты исследования

Систематизация отобранных по заявленным условиям публикаций показывает, что периоды гормональной трансформации женского организма сопровождаются изменениями механических характеристик связочного аппарата и, как следствие — изменением не только кинематики сводов, но и биомеханики стопы. В публикации [15] авторы подчеркивают, что беременность сопровождается снижением высоты и ригидности продольного и поперечного сводов, причем часть таких изменений сохраняется и после родов. В другой работе [16] показано уменьшение высоты сводов от I к III триместру и рост как ширины, так и длины стопы, сопровождаемые изменениями площади контакта стопы с поверхностью и перераспределением нагрузки по плантарной поверхности стопы.

В ряде работ предполагаемым механизмом рассматривается сочетание увеличения механической нагрузки и повышения растяжимости ПА, что усиливает деформацию свода стопы при ходьбе [17]. В этой логике дальнейшее изменение геометрии стопы интерпретируются как результат воздействия длительной нагрузки [18]. Дополнительные данные о вызванных

повышенной нагрузкой изменениях параметров свода показывают исследования по спортивной биомеханике [19], где авторы отмечают, что даже у тренированных спортсменов циклическая повышенная нагрузка способна временно изменять геометрию свода стопы и связанные с ней параметры.

В менопаузе направление изменений ПА иное: данные исследований [20], включая эластографию, подтверждают тезис о снижении эластичности и упругости связочного аппарата в этот возрастной период, обсуждается также [21] сопутствующее изменение постурального контроля, что подчеркивает значимость параметров ПА именно в этом сегменте целевой группы. В сумме это позволяет интерпретировать период менопаузы, как состояние, при котором снижение эластичности и упругости ПА потенциально снижает его амортизационную функцию, усиливая роль компенсаторных механизмов и перераспределение плантарных нагрузок, что клинически созвучно росту частоты встречаемости метатарзалгии, артроза плюснефаланговых суставов, вальгусной деформации большого пальца стопы и нарушений локомоторного паттерна [22].

В связи с вышеизложенным, можно заключить, что физиологические периоды гормональной перестройки женского организма сопровождаются не всегда внешне заметными, но биомеханически существенными изменениями в работе сводов стопы. Данные изменения имеют накопительный характер и могут проявляться со временем, по мере длительной регулярной нагрузки. При этом, большинство инженерных проектных решений в обуви ориентировано преимущественно на уменьшение уже возникших симптомов — боли, усталости, локального дискомфорта. Условия, при которых в повседневной обуви могла бы сохраняться нормальная функциональная динамика сводов, обсуждаются значительно реже. По этой причине, в проведенном далее анализе научных публикаций, представляется необходимым совместно рассматривать биомеханику стопы и инженерные решения из смежных областей проектирования обуви.

Анализ публикаций по ортопедическим решениям в обуви показывает, что эффективность каждого решения подтверждается чаще всего по показателям перераспределения плантарной нагрузки и субъективному ощущению удобства [23]. В частности, данные по применению ортезов с поддержкой свода стопы в спортивной ходьбе и беге демонстрируют снижение пикового давления в ряде зон плантарной поверхности стопы [24], что указывает на работу вкладного приспособления (стельки), как внешнего стабилизатора. Действительно, ортопедические решения часто функционируют по принципу статической поддержки: они реконфигурируют опорную поверхность и ограничивают амплитуду движения медиальной части продольного свода, что наглядно демонстрируется в исследованиях [25], оценивающих реакцию костей стопы под нагрузкой с использованием 3D-визуализации. В рамках парадигмы «стабилизация приводит к снижению перегрузок» такое решение оправдано, однако для здоровьесберегающей функции повседневной обуви возникает скрытый конфликт целей: снижение нагрузки не эквивалентно сохранению физиологической кинематики сводов и функции ПА. Иначе говоря, ортез удерживает свод от чрезмерного проседания и перегрузки, но одновременно уменьшает работу свода как амортизирующего механизма в динамике.

Для целевой группы указанное противоречие приобретает принципиальный характер. При беременности повышенная растяжимость ПА делает свод более податливым; в менопаузу, напротив, снижение эластичности ухудшает растяжение и упругое сокращение. В обоих случаях требуются особые условия для работы ПА при контролируемых нагрузках в специальных условиях, а не изоляция стопы от деформации как таковой. В практическом смысле это смещает проектный фокус со стабилизации свода на создание внутриобувных условий, обеспечивающих необходимый объем движения, оптимальное распределение нормальных и сдвиговых нагрузок и соответствующие триботехнические характеристики материалов внутренней поверхности обуви.

Особенно наглядно ограничения подхода стабилизирующей защиты, в том числе и от сдвиговых нагрузок, проявляются при переносе инженерных решений из сегмента обуви для диабетической стопы, где матрица рисков и целевые критерии проектирования принципиально иные. Так, синтез результатов исследований по профилактике диабетических язв стопы показывает, что конструктивная логика обуви для диабетической стопы формируется вокруг приоритета сохранности тканей поверхности стопы. В клинических рекомендациях [26] эффективность обуви и стелек для больных диабетом оценивают главным образом по тому, насколько они способствуют снижению плантарной и сдвиговой нагрузок при ходьбе. Отсюда вытекают и характерные конструктивные приемы: мягкие материалы, обеспечивающие более полный контакт стопы со стелькой, метатарзальные вставки, амортизирующие элементы и рокер-профиль подошвы, способствующие разгрузке участков стопы с высоким плантарным давлением [27].

Важной особенностью данной области является то, что механические критерии риска язвообразования шире, чем высокое плантарное давление, в работе [28] подчеркнут интегральный характер нагрузки на ткани плантарной поверхности стопы, включающий нормальное давление, сдвиговое напряжение, объем повседневной активности и разгрузочные мероприятия. Данные о влиянии сдвиговых нагрузок и их роли в язвообразовании [29] подтверждают, что обувь для больных диабетом создается с учетом минимизации травматического действия нагрузок при прочих исходных предпосылках (нейропатия и др.).

Вместе с этим, указанная матрица рисков принципиально не совпадает с задачей проектирования повседневной обуви для женщин в период гормональной трансформации. Для диабетической стопы главным фактором является снижение болевой чувствительности тканей при сниженной их регенерирующей способности, высокий риск возникновения механической травмы, остающейся незаметной для человека [30]. В этой связи, при проектировании обуви для таких потребителей используются решения, изменяющие кинематику переката: обеспечивающие повышенную мягкость и разгрузку переднего отдела стопы [31]. В контексте создания обуви для целевой группы необходим поиск промежуточной парадигмы: повседневная обувь должна снижать нормальную и сдвиговую нагрузку, но не сдерживать механизм естественной амортизации тела человека.

Если перенос инженерных решений из обуви для диабетической стопы ограничен другой матрицей риска, то следующий часто используемый «источник технологий» — спортивная обувь, также требует критической оценки, поскольку создается под принципиально другие сценарии нагрузки и критерии эффективности. Следует заметить, что именно спортивную обувь часто используют беременные женщины для повседневной носки с того момента, с которого ходить в привычных моделях обуви в повседневной жизни становится тяжело.

Анализ публикаций, посвященных разработке спортивной обуви, показывает, что именно в этом сегменте разработано большое число вариантов конструктивных решений, снижающих ударные нагрузки и смягчающих момент переката стопы. В этом сегменте разработаны многослойные подошвы [32–34] с локализацией участков по жесткости-мягкости [35], рокер-профили подошвы различной конфигурации [36–40], а также амортизирующие элементы [41; 42]. При этом, влияние перечисленных решений на биомеханику стопы нельзя считать однозначным. Один и тот же инженерный прием может по-разному отражаться на плантарной нагрузке, устойчивости и эффективности движения, поэтому зависимость между конструкцией обуви и ее функциональным эффектом не сводится к зависимости, в которой увеличение амортизации автоматически трактуется как безусловное преимущество.

Авторы работы [43] обращают внимание на то, что амортизирующие элементы обуви способны влиять на механику шага и бега не только напрямую, через изменение внешних

условий контакта, но и опосредованно — через перенастройку нейромышечного ответа. В частности, отмечено, что при беге более мягкая подошва не всегда сопровождается уменьшением ударной нагрузки и в отдельных случаях сопровождается ее ростом. С учетом этого, можно предположить, что при измененных механических характеристиках ПА внешняя амортизация также приведет к изменению стратегии опоры и переката, а следовательно, и к нарушению равновесия. Особенно это важно для целевой группы, у которой обувь не должна ухудшать постуральный контроль, ослаблять тактильную и проприоцептивную информативность контакта с опорой. Исследования, посвященные постуральной стабильности, показывают, что увеличение толщины и мягкости низа обуви может изменять стратегию поддержания равновесия [44; 45], что в условиях переменного характера дорожных покрытий в городской среде усиливается.

Исследования по влиянию на биомеханику стопы подошв с наличием рокер-профиля различного типа показывают, что такое решение может эффективно снижать пиковую нагрузку передней части стопы в движении [46], однако, с увеличением степени изгиба опорной поверхности, ухудшается показатель статического баланса у части носчиков. При этом, параметры, оптимальные для бега (повторяющиеся ударные нагрузки, высокая скорость, измененный характер контакта), не обязательны для длительной ходьбы в условиях городских улиц, особенно при измененной упругости и эластичности ПА в периоды гормональной трансформации.

На этом этапе можно заключить, что спортивная обувь является важным источником технологий проектирования, однако не является готовым решением для повседневного использования женщинами во время беременности и менопаузы. Для указанной целевой группы необходима адаптация проектных принципов, разработанных для спортивной обуви: достаточная амортизация без потери стабильности, оптимальная геометрия переката, а также решения, поддерживающие естественную механику ПА при пешем передвижении в условиях городской среды.

Таким образом, анализ научных публикаций, посвященных вопросам создания обуви с позиции биомеханики позволяет выделить комплекс условий, при которых повседневная обувь может поддерживать физиологическую работу продольного и поперечного сводов стопы не за счет подмены их функций, а через создания условий для их естественной работы. В инженерном смысле эти условия могут быть сгруппированы следующим образом: геометрические (впорность, распорная жесткость, форма носочной части) [47]; кинематические (опорная жесткость, высота приподнятости пяточной части [48], изгибная жесткость [49]).

Анализ научных публикаций по проблемам изучения триботехнических характеристик материалов показывает, что «трибология обуви» в прикладных исследованиях чаще обсуждается в дух относительно плоских плоскостях: (1) взаимодействие ходовой части подошвы с грунтом [50] и (2) профилактика повреждений кожи в результате фреттинга [51–53]. Однако для задач проектирования биомеханически обоснованной здоровьесберегающей повседневной обуви для женщин в период гормональной трансформации принципиальным становится третий, менее очевидный, но системообразующий аспект: трение определяет сдвиговые нагрузки и характер микродвижения стопы, в том числе «паразитное проскальзывание» (лишнее) относительно стельки и подкладки обуви, а значит влияет не только на кожу поверхности стопы, но и на кинематику опоры, условия работы ПА и устойчивость человека в целом.

С этой точки зрения необходимо отметить, что, во-первых, современная распространенная точка зрения на происхождение мозолей однозначно трактует их как результат повторяющейся сдвиговой или фреттинговой деформации кожных покровов, что важно, потому что обсуждение трения таким образом переводится из поверхностного взаимодействия в механику внутритканевых сдвигов. Так, при фиксированной геометрии обуви, изменение коэффициента трения напрямую

меняет амплитуду и распределение сдвиговых деформаций в мягких тканях, а значит и вероятность как повреждения кожи, так и дискомфорта, провоцирующего компенсаторные изменения походки.

Во-вторых, в системе «стопа — чулочно-носочное изделие — внутренняя поверхность обуви» трение является параметром распределения сдвигового напряжения. Наличие чулочно-носочного изделия (ЧНИ) само по себе способно менять трибологические параметры взаимодействия, так, исследования [55], направленные на измерение коэффициента трения (μ) в обуви, демонстрируют, что вклад ЧНИ в трение существенен и должен рассматриваться как проектный фактор. В такой интерпретации, можно сформулировать принцип — в разных зонах внутренней опорной поверхности обуви (вкладной стельки) требуются разные значения μ . Там, где критична стабилизация положения стопы (например, в пяточной зоне), умеренно повышенное трение может снижать нежелательные микросдвиги и повышать управляемость. В это же время, в зонах, где риск фреттинга максимален, предпочтительными являются материалы с низким коэффициентом трения. В этом случае, речь идет не о «высоком» или «низком» значении μ вообще, а о зональной настройке триботехнических характеристик материалов внутриобувного пространства.

Выявленные взаимосвязи позволяют говорить о трибологии внутриобувных контактов не только как о частной характеристике материалов, но и как о совокупности параметров, которыми в принципе можно целенаправленно управлять при проектировании обуви. Их значение состоит в том, что через режим трения можно одновременно влиять на риск повреждения поверхностных слоев кожи, эффективность переката и условия, в которых работают продольный и поперечный своды стопы. В связи с этим материалы внутренней поверхности обуви, варианты отделки и локальные инженерные решения целесообразно выбирать не изолированно, а как элемент единой функциональной системы управления трением при разработке повседневной обуви для женщин в периоды гормональной трансформации.

Установленные в результате анализа научных публикаций закономерности позволяют выделить сектор научного противоречия: при наличии развитых решений для ортопедической и спортивной обуви отсутствует целостная концептуальная модель повседневной обуви, в которой трибологические параметры внутриобувных контактов целенаправленно управляются для обеспечения функции сводов стопы в условиях гормональной трансформации.

Обсуждение

Синтез рассмотренных вопросов исследования позволяет установить область, обойденную вниманием научных интересов проектирования обуви: при наличии значительного массива данных о перестройке стопы в физиологические периоды и их возможных клинических последствий, развитых подходах к защите тканей стопы от повреждений, вызванных фреттингом, отсутствует целостная проектная модель, связывающая динамику сводов стопы с трибологией внутриобувных контактов в условиях повседневной эксплуатации.

Здесь нужно отметить, что, во-первых, предлагаемые решения остаются фрагментарными по оси «биомеханика — трибология». Биомеханические исследования, фиксирующие устойчивые изменения параметров сводов, в том числе после родов, обычно интерпретируют их через нагрузку и растяжимость связочного аппарата, но не переводят найденные закономерности в требования к трибологическим свойствам материалов внутренней поверхности обуви. Аналогично, трибологические исследования традиционно сосредоточены либо на риске фрикционных и реже — фреттинговых повреждений кожи, либо на измерительных аспектах, при этом роль трения в биомеханике эффективного переката и условий работы сводов стопы

при проектировании повседневной обуви в массовом производстве остается недостаточно концептуализированной.

Во-вторых, распределение исследований по прикладным контекстам смещено: трибологические и «нагрузочные» модели преимущественно развиваются в сегментах, где доминирует иная матрица рисков — спорт и клиническая картина. Например, сформулирована интегральная концепция «стресса тканей плантарной поверхности стопы» (plantar tissue stress) [56], которая прямо включает давление, сдвиговую нагрузку в обуви для больных диабетом, объем активности и приверженность разгрузке; что позволяет управлять риском образования язв, но целевая функция оптимизации — безопасность тканей при нейропатическом риске отличается от задач физиологически нормальной, но функционально уязвимой группы. В результате, даже когда параметры сдвиговой нагрузки признаются критическими, они чаще связываются с профилактикой язв, а не с поддержанием упругой динамики ПА в повседневной ходьбе.

В-третьих, недостаточно разработаны критерии такого режима трения, который был бы описан не только с точки зрения сохранности кожных покровов, но и в отношении функциональную биомеханику стопы. Современные представления рассматривают повреждение кожи поверхности стопы как следствие повторяющихся сдвиговых деформаций и фреттинга, поэтому и целесообразно понимать не просто как триботехническую характеристику поверхности материала, а как фактор, влияющий на распределение сдвиговых нагрузок [57]. Это обосновывает то, что при разработке повседневной обуви трибологию внутриобувного взаимодействия целесообразно учитывать как самостоятельный объект проектирования, а не как сопутствующее свойство выбранных материалов. Полученные в результате анализа опубликованных научных данных указывают на необходимость применения в этом вопросе системного подхода, при котором конгруэнтность внутренней формы обуви динамическим параметрам стопы, особенности реакции опоры, уровень фиксации стопы в обуви и параметры внутриобувного контакта рассматриваются совместно. Такой подход представляется адекватным при проектировании женской повседневной обуви на период гормональной трансформации, нежели прямое заимствование из спортивных и ортопедических решений. В этом случае данные о кумулятивных латентных изменениях стопы во время и после беременности обретают практическое инженерное значение, поскольку речь заходит о создании обуви, поддерживающей контролируемую работу сводов стопы в повседневной жизни.

Выводы

Установленные в результате проведенного анализа научных данных взаимосвязи и наличие вопросов, обойденных вниманием исследователей, позволяет говорить о необходимости составления концептуальных требований к проектированию повседневной биомеханически обоснованной здоровьесберегающей обуви для женщин в период гормональной трансформации, а именно — сохранение функциональности ПА за счет (1) обеспечения оптимальной свободы работы сводов; (2) условий для естественного переката стопы; (3) оптимального уровня нормальных и сдвиговых нагрузок. Социальная значимость таких требований определяется тем, что речь идет о массовом производстве обуви как о доступном инструменте сохранения функций стопы и предотвращения ограничения самостоятельности в пожилом возрасте. С прикладной точки зрения важным преимуществом предложенного подхода к проектированию обуви является возможность реализации установленных требований в массовом сегменте, так как значительная часть проектных мер относится к выбору конструктивных параметров, технологически реализуемых в серийном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Colgrove, N. No, pregnancy is not a disease / N. Colgrove, D. Rodger // *Journal of medical ethics*. — 2025. — Vol. 51. — No. 1. — P. 45–47. DOI: 10.1136/jme-2024-109922.
2. Santoro N. Understanding the menopause journey // *Climacteric*. — 2025. — Vol. 28. — No. 4. — P. 384–388. DOI: 10.1080/13697137.2024.2445303.
3. Segal, N.A. Pregnancy leads to lasting changes in foot structure / N.A. Segal, E.R. Boyer, P. Teran-Yengle, N.A. Glass, H.J. Hillstrom, H.J. Yack // *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. — 2013. — Vol. 92. — No. 3. — P. 232–240. DOI: 10.1097/PHM.0b013e31827443a9.
4. Gates, L.S. Prevalence of foot pain across an international Consortium of Population-Based cohorts / L.S. Gates, N.K. Arden, M.T. Hannan, E. Roddy, T.K. Gill, C.L. Hill, ... & Y.M. Golightly // *Arthritis Care & Research*. — 2019. — Vol. 71. — No. 5. — P. 661–670. DOI: 10.1002/acr.23829.
5. Menz, H.B. Foot pain and mobility limitations in older adults: the Framingham Foot Study / H.B. Menz, A.B. Dufour, V.A. Casey, J.L. Riskowski, R.R. McLean, P. Katz, M.T. Hannan // *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. — 2013. — Vol. 68. — No. 10. — P. 1281–1285. DOI: 10.1093/gerona/glt048.
6. Zangão, M.O.B., Changes in foot biomechanics during pregnancy and postpartum: Scoping review / M.O.B. Zangão, A.F. Poeira, M. Branco, R. Santos-Rocha // *International journal of environmental research and public health*. — 2024. — Vol. 21. — No. 5. — P. 638. DOI: 10.3390/ijerph21050638
7. Davis, A. "Good for older ladies, not me": how elderly women choose their shoes / A. Davis, A. Murphy, T.P. Haines // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. — 2013. — Vol. 103. — No. 6. — P. 465–470. DOI: 10.7547/1030465.
8. Jellema, A.H. Shoe design for older adults: evidence from a systematic review on the elements of optimal footwear / A.H. Jellema, T. Huysmans, K. Hartholt, T.J. Van Der Cammen // *Maturitas*. — 2019. — Vol. 127. — P. 64–81. DOI: 10.1016/j.maturitas.2019.06.003.
9. Hicks, J.H. The mechanics of the foot: II. The plantar aponeurosis and the arch / J.H. Hicks // *Journal of Anatomy*. — 1954. — Vol. 88. — No. Pt 1. — P. 25.
10. Ker, R.F. The spring in the arch of the human foot / R.F. Ker, M.B. Bennett, S.R. Bibby, R.C. Kester, R.M. Alexander // *Nature*. — 1987. — Vol. 325. — No. 6100. — P. 147–149.
11. Schauberger, C.W. Peripheral joint laxity increases in pregnancy but does not correlate with serum relaxin levels / C.W. Schauberger, B.L. Rooney, L. Goldsmith, D. Shenton, P.D. Silva, A. Schaper // *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. — 1996. — Vol. 174. — No. 2. — P. 667–671.
12. Jiang, Z.Z. Elasticity evaluation of the plantar fascia: a shear wave elastography study involving 33 early-stage plantar fasciopathy subjects / Z.Z. Jiang, H.L. Shen, Q. Zhang, G. Ye, X.C. Li, X.T. Liu // *Frontiers in Physiology*. — 2022. — Vol. 13. — P. 1060728. DOI: 10.3389/fphys.2022.1060728.
13. Karataş, L. The effect of medial longitudinal arch height and medial longitudinal arch support insoles on postural balance in perimenopausal women / L. Karataş, D. Vuralli, Z. Günendi // *Turkish Journal of Medical Sciences*. — 2019. — Vol. 49. — No. 3. — P. 755–760. DOI: 10.3906/sag-1808-39.

14. Kim I.J. Tribology model to characterise shoe friction and wear behaviours and its application to evaluating traction properties // *Surface Topography: Metrology and Properties*. — 2022. — Vol. 10. — No. 4. — C. 045016. DOI:10.1088/2051-672X/ac9e0d.
15. Wetz, H.H. Changes in shape and size of the foot during pregnancy / H.H. Wetz, J. Hentschel, B. Drerup, L. Kiesel, N. Osada, U. Veltmann // *Der Orthopade*. — 2006. — Vol. 35. — No. 11. — P. 1126–1130.
16. Conder, R. The biomechanics of pregnancy: a systematic review / R. Conder, R. Zamani, M. Akrami // *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. — 2019. — Vol. 4. — No. 4. — P. 72. DOI: 10.3390/jfmk4040072.
17. Alvarez, R. Dimensional changes of the feet in pregnancy / R. Alvarez, I.A. Stokes, D.E. Asprinio, S. Trevino, T. Braun // *JBJS*. — 1988. — Vol. 70. — No. 2. — P. 271–274.
18. Bohemen, E.K. Flatfeet in pregnancy / E.K. Bohemen, N.S. Gendi // *British Journal of Rheumatology*. — 1996. — Vol. 35. — No. 4. — P. 396–397. DOI: 10.1093/rheumatology/35.4.396-a.
19. Fukano, M. Foot posture alteration and recovery following a full marathon run / M. Fukano, T. Inami, K. Nakagawa, T. Narita, S. Iso // *European Journal of Sport Science*. — 2018. — Vol. 18. — No. 10. — P. 1338–1345. DOI: 10.1080/17461391.2018.1499134.
20. Schillizzi, G. Evaluation of plantar fasciopathy shear wave elastography: a comparison between patients and healthy subjects / G. Schillizzi, F. Alvitri, C. D'Ercole, D. Elia, F. Agostini, M. Mangone, ... & V. Cantisani // *Journal of Ultrasound*. — 2021. — Vol. 24. — No. 4. — P. 417–422. DOI: 10.1007/s40477-020-00474-7.
21. Saghazadeh, M. Foot arch height and rigidity index associated with balance and postural sway in elderly women using a 3D foot scanner / M. Saghazadeh, K. Tsunoda, T. Okura // *Foot Ankle Online Journal*. — 2014. — Vol. 7. — No. 1. — P. 10–3827.
22. Jelen, K. Shape characteristics of the foot arch: dynamics in the pregnancy period / K. Jelen, Z. Tetkova, L. Halounova, K. Pavelka, T. Koudelka, P. Ruzicka // *Neuroendocrinology Letters*. — 2005. — Vol. 26. — No. 6. — P. 752–756.
23. Che, H. Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort / H. Che, B.M. Nigg, J. De Koning // *Clinical Biomechanics*. — 1994. — Vol. 9. — No. 6. — P. 335–341.
24. McMillan, A. Effect of foot orthoses on lower extremity kinetics during running: a systematic literature review / A. McMillan, C. Payne // *Journal of Foot and Ankle Research*. — 2008. — Vol. 1. — No. 1. — P. 13. DOI: 10.1186/1757-1146-1-13.
25. Kido, M. Effect of therapeutic insoles on the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: a three-dimensional loading computed tomography study / M. Kido, K. Ikoma, Y. Hara, K. Imai, M. Maki, T. Ikeda, T. Kubo // *Clinical Biomechanics*. — 2014. — Vol. 29. — No. 10. — P. 1095–1098. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2014.10.005.
26. Lord, M. A study of in-shoe plantar shear in patients with diabetic neuropathy / M. Lord, R. Hosein // *Clinical Biomechanics*. — 2000. — Vol. 15. — No. 4. — P. 278–283. DOI: 10.1016/S0268-0033(99)00076-5.
27. Ahmed, S. Footwear and insole design features that reduce neuropathic plantar forefoot ulcer risk in people with diabetes: a systematic literature review / S. Ahmed, A. Barwick, P. Butterworth, S. Nancarrow // *Journal of Foot and Ankle Research*. — 2020. — Vol. 13. — No. 1. — P. 30. DOI: 10.1186/s13047-020-00400-4.

28. Lazzarini, P.A. Measuring plantar tissue stress in people with diabetic peripheral neuropathy: a critical concept in diabetic foot management / P.A. Lazzarini, R.T. Crews, J.J. van Netten, S.A. Bus, M.E. Fernando, P.J. Chadwick, B. Najafi // *Journal of Diabetes Science and Technology*. — 2019. — Vol. 13. — No. 5. — P. 869–880. DOI: 10.1177/1932296819849092.
29. Yavuz, M. Plantar shear stress distributions in diabetic patients with and without neuropathy / M. Yavuz // *Clinical Biomechanics*. — 2013. — Vol. 29. — No. 2. — P. 223. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2013.11.003.
30. Wrobel, J.S. Diabetic foot biomechanics and gait dysfunction / J.S. Wrobel, B. Najafi // *Journal of Diabetes Science and Technology*. — 2010. — Vol. 4. — No. 4. — P. 833–845. DOI: 10.1177/193229681000400411.
31. Paton, J.S. A comparison of customised and prefabricated insoles to reduce risk factors for neuropathic diabetic foot ulceration: a participant-blinded randomised controlled trial / J.S. Paton, E.A. Stenhouse, G. Bruce, D. Zahra, R.B. Jones // *Journal of Foot and Ankle Research*. — 2012. — Vol. 5. — No. 1. — P. 31. DOI: 10.1186/1757-1146-5-31.
32. Seul, A. The influence of materials on footwear behaviour: A finite element simulation study / A. Seul, A. Mihai, M. Costea, A. Bodoga, A. Curteza // *Materials*. — 2023. — Vol. 16. — No. 22. — P. 7203. DOI: 10.3390/ma16227203.
33. Jones, A.D. STrain Analysis and Mapping of the Plantar Surface (STAMPS): A novel technique of plantar load analysis during gait / A.D. Jones, S.R. Crossland, J.E. Nixon, H.J. Siddle, D.A. Russell, P.R. Culmer // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. — 2023. — Vol. 237. — No. 7. — P. 841–854. DOI: 10.1177/09544119231180880.
34. Bruvere, D.D. Mechanisms, Economy, and Performance of Advanced Footwear Technology in Endurance Running — A Review / D.D. Bruvere, E. Bernans // *Muscles*. — 2025. — Vol. 5. — No. 1. — P. 2. DOI: 10.3390/muscles5010002.
35. Morio, C.Y.M. A multidisciplinary approach to the engineering of footwear cushioning: A practical example of gym training shoes / C.Y.M. Morio, L. Bouten, S. Duraffourg, N. Delattre // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*. — 2022. — Vol. 236. — No. 1. — P. 5–16. DOI: 10.1177/1754337120981585.
36. Hutchins, S. The biomechanics and clinical efficacy of footwear adapted with rocker profiles — Evidence in the literature / S. Hutchins, P. Bowker, N. Geary, J. Richards // *The Foot*. — 2009. — Vol. 19. — No. 3. — P. 165–170. DOI: 10.1016/j.foot.2009.05.002.
37. Reints, R. Effects of flexible and rigid rocker profiles on in-shoe pressure / R. Reints, J.M. Hijmans, J.G. Burgerhof, K. Postema, G.J. Verkerke // *Gait & Posture*. — 2017. — Vol. 58. — P. 287–293. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.08.012.
38. Santo, A.S. Rocker-bottom, profile-type shoes do not increase lower extremity muscle activity or energy cost of walking / A.S. Santo, J.L. Roper, J.S. Dufek, J.A. Mercer // *The Journal of Strength & Conditioning Research*. — 2012. — Vol. 26. — No. 9. — P. 2426–2431. DOI: 10.1519/jsc.0b013e31823f8b79.
39. Sobhani, S. Biomechanics of running with rocker shoes / S. Sobhani, E.R. van den Heuvel, R. Dekker, K. Postema, B. Kluitenberg, S.W. Bredeweg, J.M. Hijmans // *Journal of Science and Medicine in Sport*. — 2017. — Vol. 20. — No. 1. — P. 38–44. DOI: 10.1016/j.jsams.2016.04.008.

40. Sobhani, S. Effect of rocker shoes on plantar pressure pattern in healthy female runners / S. Sobhani, E. van den Heuvel, S. Bredeweg, B. Kluitenberg, K. Postema, J.M. Hijmans, R. Dekker // *Gait & Posture*. — 2014. — Vol. 39. — No. 3. — P. 920–925. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.12.005.
41. Verdejo, R. Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles / R. Verdejo, N.J. Mills // *Journal of Biomechanics*. — 2004. — Vol. 37. — No. 9. — P. 1379–1386. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2004.01.022.
42. Sun, X. Systematic review of the role of footwear constructions in running biomechanics: Implications for running-related injury and performance / X. Sun, W.K. Lam, X. Zhang, J. Wang, W. Fu // *Journal of Sports Science & Medicine*. — 2020. — Vol. 19. — No. 1. — P. 20. DOI: 10.52082/jssm.2020.20.
43. Kulmala, J.P. Running in highly cushioned shoes increases leg stiffness and amplifies impact loading / J.P. Kulmala, J. Kosonen, J. Nurminen, J. Avela // *Scientific Reports*. — 2018. — Vol. 8. — No. 1. — P. 17496. DOI: 10.1038/s41598-018-35932-2.
44. Hausselle, J. An interventional exploratory study to assess the effect of footwear on postural stability and strategy during quiet standing / J. Hausselle, A.G. Haddox, J. Kasitz, A. Azoug // *International Biomechanics*. — 2021. — Vol. 8. — No. 1. — P. 63–74. DOI: 10.1080/23335432.2021.1978311.
45. Ramanathan, A.K. The influence of shoe sole's varying thickness on lower limb muscle activity / A.K. Ramanathan, E.J. Parish, G.P. Arnold, T.S. Drew, W. Wang, R.J. Abboud // *Foot and Ankle Surgery*. — 2011. — Vol. 17. — No. 4. — P. 218–223. DOI: 10.1016/j.fas.2010.07.002.
46. Teng, J. Effects of midsole thickness on ground reaction force, ankle stability, and sports performances in four basketball movements / J. Teng, F. Qu, S. Shen, S.W. Jia, W.K. Lam // *Sports Biomechanics*. — 2025. — Vol. 24. — No. 2. — P. 341–354. DOI: 10.1080/14763141.2022.2158672.
47. Bajraszewski, K.J. Footwear Toe-Box Shape and Medial Forefoot Pressures in Women With Hallux Valgus / K.J. Bajraszewski, P.Q. Lim, A.K. Buldt, S.E. Hurn, K.J. Mickle, E. Roddy, ... & H.B. Menz // *Journal of Foot and Ankle Research*. — 2025. — Vol. 18. — No. 2. — P. e70041. DOI: 10.1002/jfa2.70041.
48. Wang, M. The influence of heel height on strain variation of plantar fascia during high heel shoes walking-combined musculoskeletal modeling and finite element analysis / M. Wang, S. Li, E.C. Teo, G. Fekete, Y. Gu // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. — 2021. — Vol. 9. — P. 791238. DOI: 10.3389/fbioe.2021.791238.
49. Stephen, C.H.N. The effects of running shoe longitudinal bending stiffness and midsole energy return on oxygen consumption and ankle mechanics and energetics: A systematic review and meta-analysis / C.H.N. Stephen, L.A. Kelly, R.W. Schuster, L.E. Diamond // *Journal of Sport and Health Science*. — 2025. — Vol. 14. — P. 101069. DOI: 10.1016/j.jshs.2024.101069.
50. Yavuz, M. Plantar shear stress distribution in athletic individuals with frictional foot blisters / M. Yavuz, B.L. Davis // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. — 2010. — Vol. 100. — No. 2. — P. 116–120. DOI: 10.7547/1000116.
51. Przepiórka, J. Problems of tribologic characterization of shoe–walking surface friction pairs / J. Przepiórka, M. Szczerek // *Tribologia*. — 2018. — Vol. 282. — No. 6. — P. 125–129.

52. Alexandrov, S.P. Factors of the design of the fretting phenomenon in the development of health saving shoes / S.P. Alexandrov, T.V. Zhukovskaya // *Fundamental and applied problems of materials creation and phases of technologies for textile industry*. — 2021. — P. 9–17. DOI: 10.32743/fun.app.probl.2021.9-17.
53. DeBois, I.J. Tribology of the sock-skin Interface — the influence of different fabric parameters on sock friction / I.J. DeBois, E. Agarwal, A. Kapoor, K. Mathur // *Journal of Foot and Ankle Research*. — 2022. — Vol. 15. — No. 1. — P. 61. DOI: 10.1186/s13047-022-00578-9.
54. Przepiórka, J. Footwear safety in the light of scientific research / J. Przepiórka, M. Szczerek // *Tribologia*. — 2023. — No. 4. — P. 65–77.
55. Eun, J. A novel method to measure the static coefficient of friction for socks / J. Eun, J. Ryue, S. Park, K. Lee // *Sensors*. — 2022. — Vol. 22. — No. 15. — P. 5525. DOI: 10.3390/s2215552.
56. Patry, J. Plantar pressures, plantar forces, and their influence on the pathogenesis of diabetic foot ulcers: a review / J. Patry, R. Belley, M. Côté, M.L. Chateau-Degat // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. — 2013. — Vol. 103. — No. 4. — P. 322–332. DOI: 10.7547/1030322.
57. Kirkham, S. The effect of hydration on the risk of friction blister formation on the heel of the foot / S. Kirkham, S. Lam, C. Nester, F. Hashmi // *Skin Research and Technology*. — 2014. — Vol. 20. — No. 2. — P. 246–253. DOI: 10.1111/srt.12136.

Zhukovskaya Tatiana Vladimirovna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: zhukovskayatv@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4006-6691>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=792962

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57219987044>

Tikhonova Natalya Vasilievna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: nata.tikhonova.81@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=750903

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

Biomechanical design aspects of women's everyday footwear for hormonal transition periods

Abstract. Pregnancy and menopause are not nosological entities; in the International Classification of Diseases, they are classified as physiological factors affecting health status. This influence often manifests as changes in foot biomechanics, potentially leading to initially subtle but cumulatively effective secondary impairments of the musculoskeletal system's function. Meanwhile, everyday footwear design is dominated by aesthetic criteria, while its health-preserving function is frequently reduced to subjective comfort perception. This analytical study focuses on the plantar aponeurosis function — foot fascia (longitudinal and transverse arches) — as a key element of natural shock absorption during locomotion, and examines various design approaches, including the tribology of insole lining materials and features of in-shoe interfaces (foot-sock-insole interaction zones), as an engineerable factor influencing shear loads on foot skin tissues and plantar aponeurosis performance.

The research aims to analyze the feasibility of applying existing orthopedic, athletic, and other design solutions to create biomechanically substantiated everyday footwear for women during periods of hormonal transformation, ensuring the shoe's health-preserving function, including stable plantar aponeurosis operation.

The work is structured as a problem-oriented analytical review. It demonstrates that designing everyday footwear for this target group should be approached as a system of conditions: anatomical volume and space for foot arch function; segmented shoe sole mechanics (moderate cushioning with preserved stability and localized flexibility); adaptive foot fixation without pronounced compression; and targeted zonal regulation of tribotechnical characteristics of insole lining materials.

Keywords: foot biomechanics; health-preserving everyday footwear; hormonal transformation; plantar aponeurosis; footwear microclimate; tribotechnical characteristics; materials tribology