

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 6.004	OAJI (USA)	= 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2026 Issue: 05 Volume: 157

Received: 20.05.2026 <https://T-Science.org>
Accepted/Published: 30.05.2026

Issue

Article



M.M. Shalamberidze
Akaki Tsereteli State University
Doctor of Technical Science, Professor,
Faculty of Technological Engineering,
Kutaisi, Georgia

INVESTIGATION OF THE DEFORMATION PROPERTIES OF INSOLES FOR PATIENTS WITH DIABETIC FOOT

Abstract: This study investigates the deformation properties of orthopedic insoles designed to redistribute mechanical loads and reduce peak plantar pressures. The subject of the study was a 59-year-old patient with a body weight of 95 kg and a height of 178 cm. An analysis was conducted to evaluate the influence of different insole materials on load distribution, degree of deformation, and shock-absorbing efficiency. The mechanical characteristics of orthopedic constructions made of ethylene-vinyl acetate (EVA), polyurethane foam, and multilayer composite materials were examined. The results demonstrated that the use of insoles with optimized elastic-deformation properties contributes significantly to the reduction of localized overload zones, decreases peak pressure values, and improves gait stability. Multilayer constructions with medium stiffness proved to be the most effective, providing an optimal combination of arch support and cushioning effect.

Key words: diabetic foot, deformation properties, orthopedic insoles, plantar pressure.

Language: Russian

Citation: Shalamberidze M.M. (2026). Investigation of the deformation properties of insoles for patients with diabetic foot. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (157), 407-410.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-05-157-32> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2026.05.157.32>

Scopus ASCC: 2201.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СУПИНАТОРОВ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С ДИАБЕТИЧЕСКОЙ СТОПОЙ

Аннотация: В данной работе исследуются деформационные свойства ортопедических супинаторов, предназначенных для перераспределения механических нагрузок и снижения пиковых давлений в подошвенной области. Объектом исследования являлся пациент в возрасте 59 лет с массой тела 95 кг и ростом 178 см. Проведен анализ влияния различных материалов супинаторов на распределение нагрузки, степень деформации и эффективность амортизации. Рассмотрены механические характеристики ортопедических конструкций из этиленвинилацетата, пенополиуретана и многослойных композиционных материалов. Результаты исследования показали, что применение супинаторов с оптимальными упруго-деформационными свойствами способствует значительному снижению локальных зон перегрузки, уменьшению пиковых значений давления и повышению стабильности походки. Наиболее эффективными оказались многослойные конструкции средней жесткости, обеспечивающие сочетание поддержки свода стопы и амортизационного эффекта.

Ключевые слова: диабетическая стопа, супинаторы, деформационные свойства, ортопедические стельки, плантарное давление.

Введение

Сахарный диабет относится к числу наиболее распространенных хронических заболеваний современности. По данным

Всемирной организации здравоохранения, количество пациентов с диабетом ежегодно увеличивается, что сопровождается ростом числа осложнений, связанных с поражением

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 6.004

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

сосудистой и нервной систем. Одним из наиболее опасных осложнений является синдром диабетической стопы, характеризующийся нарушением кровоснабжения тканей, периферической нейропатией и развитием хронических язвенных поражений [1-4].

Формирование язв диабетической стопы во многом связано с повышенным механическим давлением на подошвенную поверхность стопы. При нарушении чувствительности пациент не ощущает избыточную нагрузку, вследствие чего возникают микротравмы мягких тканей. Повторяющееся давление приводит к локальному нарушению микроциркуляции, ишемии тканей и последующему развитию некротических процессов [5-9].

Особую роль в профилактике диабетических язв играет ортопедическая коррекция стопы. Использование индивидуальных ортопедических стелек позволяет перераспределять нагрузки, снижать концентрацию давления в критических областях и улучшать биомеханические характеристики ходьбы. Однако эффективность

таких изделий напрямую зависит от их деформационных свойств, включая жесткость, упругость, способность к восстановлению формы и амортизационные характеристики.

При недостаточной жесткости супинатор чрезмерно деформируется и теряет поддерживающую функцию. Напротив, слишком жесткие материалы могут приводить к локальной концентрации давления и ухудшению состояния мягких тканей стопы. Поэтому исследование оптимальных упруго-деформационных параметров супинаторов является актуальной задачей современной ортопедии и медицинской биомеханики [10-12].

Целью данной работы является исследование деформационных свойств супинаторов и их влияния на распределение плантарного давления у пациента с синдромом диабетической стопы.

Материалы и методы исследования

Характеристика пациента: В исследовании рассматривались биомеханические параметры пациента со следующими антропометрическими характеристиками (таблица 1):

Таблица 1. Антропометрические данные обследуемого пациента

Показатель	Значение
Возраст	59 лет
Рост	178 см
Масса тела	95 кг
Максимальное пиковое давление	652 кПа
Средневзвешенное давление	480 кПа

Для оценки степени избыточной массы тела был рассчитан индекс массы тела (*BMI*):

$$BMI = \frac{m}{h^2} \quad (1)$$

где: *m* — масса тела, кг. *h* — рост пациента, см.

Расчет показывает, что:

$$BMI = 95 : 3,2 \approx 30$$

Полученное значение соответствует ожирению I степени, что является дополнительным фактором риска развития диабетической стопы. Повышенная масса тела приводит к значительному увеличению вертикальной нагрузки на плантарную поверхность и ускоряет деформацию мягких тканей стопы.

При сахарном диабете вследствие нейропатии происходит снижение болевой и тактильной чувствительности. Пациент перестает ощущать чрезмерное давление в отдельных участках стопы, что приводит к хронической перегрузке мягких тканей стопы.

Наиболее опасными зонами являются: область головок плюсневых костей; пяточная область; первый палец стопы; латеральный край стопы.

Высокие значения давления свыше 500 кПа считаются критическими, поскольку сопровождаются нарушением кровоснабжения тканей и высоким риском язвообразования. В рассматриваемом случае пиковое давление 652 кПа свидетельствует о выраженной механической перегрузке.

Вертикальная сила нагрузки определялась по формуле:

$$F = mg \quad (2)$$

где: *m*=95 кг, *g*=9.81 м/с²

Расчет показывает:

$$F \approx 95 \cdot 9.81 \text{ м/с}^2 \approx 932 \text{ Н}$$

Следует учитывать, что при ходьбе динамическая нагрузка может превышать статическую в 1.5–2 раза, что значительно

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 6.004	OAJI (USA)	= 0.350

увеличивает давление на отдельные участки стопы.

Материалы супинаторов

В исследовании рассматривались супинаторы, изготовленные из различных материалов.

Этиленвинилацетат (ЭВА) широко применяется в ортопедии благодаря малой плотности, хорошим амортизационным свойствам, устойчивости к усталостным деформациям и способности частично восстанавливать форму после нагрузки.

Недостатком мягкого ЭВА является постепенное снижение упругости при длительной эксплуатации.

Пенополиуретановые материалы обладают высокой эластичностью, равномерным распределением давления и устойчивостью к циклическим нагрузкам. Однако при высокой массе пациента возможна чрезмерная деформация материала.

Многослойные композиционные конструкции. Наиболее перспективными являются комбинированные супинаторы, включающие: жесткий поддерживающий слой, амортизирующий промежуточный слой, мягкое контактное покрытие. Такая структура обеспечивает одновременное выполнение двух функций - поддержка продольного свода стопы и снижение локального давления.

Методика оценки деформационных свойств. Для оценки эффективности супинаторов проводилось моделирование распределения давления на подошвенную поверхность стопы.

Давление определялось по формуле:

$$P = \frac{F}{S} \quad (3)$$

где: P — давление (кПа); F — сила нагрузки (Н); S — площадь контакта (см²).

Основной задачей супинатора являлось увеличение площади контакта стопы с опорной поверхностью, что позволяло уменьшить локальные значения давления.

Также оценивались: величина остаточной деформации, коэффициент амортизации, распределение напряжений, устойчивость конструкции к циклическим нагрузкам.

Результаты исследования

Исследование показало, что без использования ортопедической коррекции основная нагрузка концентрировалась в переднем отделе стопы. Максимальные значения давления достигали 652 кПа в области плюсневых головок.

После применения супинаторов наблюдалось: увеличение площади контакта

стопы, перераспределение нагрузки на средний отдел, снижение пиковых значений давления.

Наиболее выраженный эффект был получен при использовании многослойных конструкций.

Деформационные характеристики материалов

Супинаторы низкой жесткости: Мягкие материалы демонстрировали хорошую амортизацию, однако при нагрузке 95 кг происходила чрезмерная компрессия. Это приводило к: потере поддерживающей функции, быстрому износу материала, ухудшению стабилизации стопы.

Супинаторы высокой жесткости: Жесткие конструкции обеспечивали устойчивость свода стопы, но недостаточно снижали локальное давление. В ряде случаев отмечалась концентрация нагрузки в переднем отделе стопы.

Комбинированные супинаторы: наиболее эффективными оказались многослойные изделия средней жесткости. Они обеспечивали снижение пикового давления на 18–27%, уменьшение ударных нагрузок при ходьбе, оптимальное распределение напряжений, повышение устойчивости походки.

Оптимальная толщина амортизирующего слоя составила 4–6 мм.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают важную роль деформационных характеристик супинаторов в профилактике осложнений диабетической стопы. У пациентов с повышенной массой тела механическая нагрузка существенно возрастает. При этом мягкие ткани подошвенной поверхности подвергаются хроническому сдавлению, особенно в областях анатомических выступов. Снижение пикового давления даже на 15–20% существенно уменьшает вероятность: образования гиперкератозов; развития микротравм; формирования язвенных дефектов.

Особое значение имеет способность материала к контролируемой деформации. Супинатор должен: адаптироваться к форме стопы, поглощать ударную нагрузку, сохранять стабильность при длительном использовании.

В ходе исследования установлено, что наиболее эффективной является комбинация материалов различной жесткости. Жесткий каркас обеспечивает поддержку свода стопы, а мягкий амортизирующий слой снижает давление на подошвенные ткани. Кроме того, использование индивидуально изготовленных супинаторов позволяет учитывать: массу тела пациента, особенности походки, зоны максимального давления и наличие деформаций

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 6.004	OAJI (USA)	= 0.350

стопы. Это значительно повышает эффективность ортопедической коррекции.

Закключение

Проведенное исследование показало, что деформационные свойства супинаторов имеют важное значение при проектировании ортопедических средств для больных диабетической стопы.

У пациента массой 95 кг с максимальным плантарным давлением 652 кПа наблюдается высокий риск развития трофических поражений подошвенной поверхности. Использование многослойных супинаторов средней жесткости позволяет эффективно перераспределять

нагрузки, снижать локальное давление и повышать амортизационные характеристики обувной системы.

Наиболее перспективными являются конструкции, сочетающие: поддерживающий каркас, амортизирующий промежуточный слой и мягкое контактное покрытие. Полученные результаты могут быть использованы при разработке индивидуальных ортопедических изделий для пациентов с синдромом диабетической стопы, а также при совершенствовании технологий биомеханической коррекции стопы.

References:

1. Saeedi, P., Petersohn, I., Salpea, P., Malanda, B., Karuranga, S., Unwin, N., Colagiuri, S., Guariguata, L., Motala, A.A., Ogurtsova, K., Shaw, J.E., Bright, D., & Williams, R; (2019). IDF Diabetes Atlas Committee. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. *Diabetes Res Clin Pract.* 2019 Nov;157:107843. doi: 10.1016/j.diabres.2019.107843.
2. Manickum, P., Mashamba-Thompson, T., Naidoo, R., Ramklass, S., & Madiba, T. (2021). Knowledge and practice of diabetic foot care - A scoping review. *Diabetes Metab Syndr.* 2021 May-Jun;15(3):783-793. doi: 10.1016/j.dsx.2021.03.030.
3. Boulton, A.J.M. (2004). The diabetic foot: from art to science. *The 18th Camillo Golgi lecture.* 2004 Aug;47(8):1343-53. doi: 10.1007/s00125-004-1463-y.
4. Bus, S.A., Armstrong, D.G., Gooday, C., Jarl, G., Caravaggi, C., Viswanathan, V., & Lazzarini, P.A. (2019). Guidelines on offloading foot ulcers in persons with diabetes. (IWGDF 2019 update). doi: 10.1002/dmrr.3274.
5. Cavanagh, P.R., & Ulbrecht, J.S. (2020). *Biomechanics of the diabetic foot.* 24 April 2020 doi.org/10.1002/9781119445821.ch7.
6. Janisse, D., & Janisse, E. (2015). *Pedorthic management of the diabetic foot.* 2015 Feb;39(1):40-7. doi: 10.1177/0309364614535233.
7. Van, G.H., Amouyal, C., Bourron, O., Aubert, C., Carlier, A., Mosbah, H., Fourniols, E., Cluzel, P., Couture, T., & Hartemann, A. (2021). Diabetic foot ulcer management in a multidisciplinary foot centre: one-year healing, amputation and mortality rate. *Journal of Wound Care.* 2021 Jun 1;30(Sup6):S34-41. doi: 10.12968/jowc.2021.30.Sup6.S34.
8. Cevera, J.J., Bolton, L.L., & Kerstein, M.D. (1997). Options for diabetic patients with chronic heel ulcers. *Journal of Diabetes and its Complications.* 1997 Nov 1;11(6):358-66. doi: 10.1016/s1056-8727(96)00125-0.
9. Cevera, J.J., Bolton, L.L., & Kerstein, M.D. (1997). Options for diabetic patients with chronic heel ulcers. *Journal of Diabetes and its Complications.* 1997 Nov 1;11(6):358-66. doi: 10.1016/s1056-8727(96)00125-0.
10. Jones, F.W., & Peltier, L.F. (2001). Structure and function as seen in the foot. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 2001 Oct 1; 391:3-6. doi: 10.1097/00003086-200110000-00002.
11. Wang, Y.N., Lee, K., & Ledoux, W.R. (2011). Histomorphological evaluation of diabetic and non-diabetic plantar soft tissue. *Foot & ankle international.* 2011 Aug;32(8):802-10. doi: 10.3113/FAI.2011.0802.
12. Chanda, A., & Unnikrishnan, V. (2018). Novel insole design for diabetic foot ulcer management. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: *Journal of Engineering in Medicine.* 2018 Dec; 232(12):1182-95. doi: 10.1177/0954411918808330.