

УДК 531/534: [57+61]

## **СПОСОБ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯГКИХ ТКАНЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТОПЫ**

**В.А. Щуров, Н.В. Сазонова, И.В. Щуров**

Федеральное государственное учреждение «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий», Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, e-mail: office@ilizarov.ru

**Аннотация.** Предложен способ оценки биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы с использованием аппаратно-программного комплекса «Диаслед-Скан», основанный на процентном сопоставлении максимальной нагрузки на отделы стопы при стоянии и ходьбе. У здоровых людей и пациентов с заболеваниями и травмами нижних конечностей показатель демпфирующих свойств мягких тканей опорной поверхности стопы зависит от уровня двигательной активности пациентов и, в меньшей степени, – от массы тела, а также от уровня системного артериального давления крови.

**Ключевые слова:** стопа, демпфирующие свойства тканей, аппаратно-программный комплекс «Диаслед-Скан».

### **ВВЕДЕНИЕ**

При заболеваниях конечностей, связанных с системным поражением соединительной ткани, боль, утомляемость и нарушение функции появляются в первую очередь в области суставов, поскольку недостаточность биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы в значительной мере компенсируется при использовании обуви. В то же время доступность мягких тканей стопы для биомеханического тестирования, в том числе при ходьбе, делает их привлекательными для диагностики возрастных и системных патологических изменений. Локомоцию в условиях применения метода Илизарова можно осуществлять в период терапевтической реабилитации с частичной или полной нагрузкой на поврежденную конечность [2, 6]. Для пациентов с заболеваниями и переломами нижних конечностей при ходьбе характерно появление на опорной поверхности стопы зон локальной перегрузки, снижение нагрузки на носок [1, 3, 4].

Жировая клетчатка подошвенной части стопы не участвует в трофике, а её объём не меняется даже при недостаточном питании. Упругость междольковых перегородок превращает жировую клетчатку в несжимаемый септированный гель. При приложении усилия давление, согласно закону Паскаля, распределяется по всем направлениям одинаково. Эти особенности, в совокупности с утолщенной кожей опорной поверхности стопы, позволяют мягким тканям эффективно снижать статические нагрузки, возникающие при стоянии [5, 7].

Известны способы определения биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы, основанные на оценке величины прилагаемого извне давления, достаточного для перекрытия артериального русла тканей, определяемого

по изменению окраски поверхности кожи или исчезновению пульсации артериол [5]. Однако данные способы имеют ряд ограничений, в частности не могут использоваться при ходьбе.

При ходьбе возникают добавочные кратковременные ударные нагрузки переднего и заднего толчка, в демпфировании которых могут принимать участие жидкие среды, в частности кровь, заполняющая кровеносные сосуды. В вертикальном положении тела давление в артериях стопы достигает 200 мм рт. ст., а давление перекрытия, возникающее при приложении внешнего усилия, должно быть выше давления в артериолах [5].

Авторами предлагается способ, основанный на сопоставлении средней величины максимальных значений нагрузки на различные отделы стопы при стоянии и при ходьбе. Получаемое в результате частное от деления показателей переводится в проценты и обозначается как показатель демпфирующих свойств тканей (ДСТ). Диагностическая сущность показателя в том, что для повышения адаптации к дополнительно возникающим ударным нагрузкам требуется динамическая тренировка (ходьба, бег). По мере функциональной тренировки изменяются структурная основа и биомеханические свойства тканей опорной поверхности стопы. Это приводит к повышению как показателя статической нагрузки, так и показателя ДСТ.

### ОБЪЁМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено с использованием компьютерного диагностического комплекса «Диаслед-Скан» (Россия). Больной находится в позе стоя, опираясь стопами на тензометрические тарированные стельки, вложенные в обувь. Регистрируются максимальные значения нагрузки на четырёх участках стопы (пяточном, своде стопы, головках плюсневых костей и пальцево). Находится среднее значение показателей максимальной нагрузки на данные участки ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ). Затем процедура измерения повторяется при ходьбе. Показатель ДСТ определяется как частное от деления показателей при стоянии ( $P_c$ ) и ходьбе ( $P_d$ ):

$$\text{ДСТ} = (P_c/P_d) \cdot 100\%.$$

Чем выше показатель ДСТ при обследовании больных без дополнительных средств опоры, тем выше способность мягких тканей стопы противостоять повреждающему действию нагрузки за счет перераспределения давления по всей площади опорной поверхности.

В исследованиях приняли участие несколько групп обследуемых: 13 спортсменов 18–24 лет (26 конечностей), 72 мужчины 20–70 лет с остеоартрозом нижних конечностей и 365 женщин в возрасте от 20 до 75 лет с различными стадиями гонартроза (в основном первой и второй) до и в различные сроки после комплексного консервативного лечения (физиотерапевтического, медикаментозного, лечебной физкультуры). Кроме того, обследованы 34 больных мужского пола 20–60 лет в процессе лечения закрытых переломов костей голени по методу Илизарова.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее высокие показатели ДСТ, обусловленные жесткостью кожных покровов, а также толщиной и структурой подкожной клетчатки, отмечены у спортсменов, занимающихся легкой атлетикой ( $83\% \pm 5\%$ ). У борцов показатель ниже на 25% и близок к значениям показателя у мужчин с начальными стадиями остеоартроза (таблица). При третьей стадии остеоартроза, когда снижена двигательная активность больных, показатель ДСТ составляет всего  $53\% \pm 2\%$ .

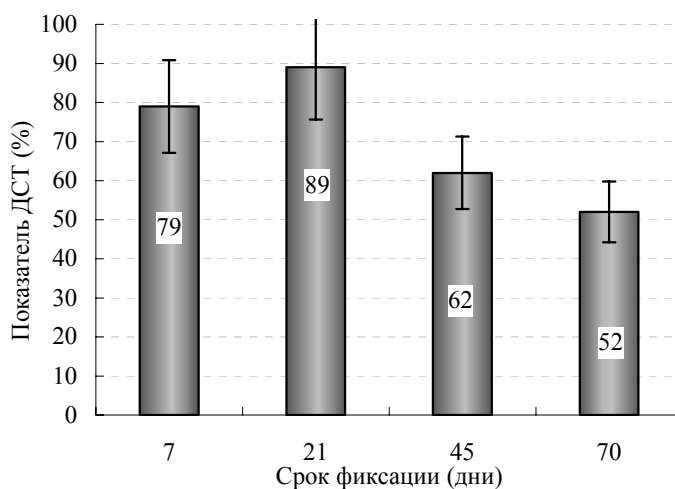


Рис 1. Показатель ДСТ стопы интактной конечности в процессе лечения больных с закрытыми переломами костей голени

У больных с переломами костей голени нагрузка на поврежденную конечность как при стоянии, так и при ходьбе неполная, поскольку часть нагрузки, особенно при ходьбе, приходится на дополнительные средства опоры. В этот период относительно низкая нагрузка приходится не только на поврежденную, но и на интактную конечность, вследствие чего в первые недели после травмы показатель ДСТ увеличен (рис. 1). К третьей неделе лечения показатель статической нагрузки на интактную конечность достигает  $(1,37 \pm 0,15)$  кг/см<sup>2</sup>. По мере лечения происходит постепенная нормализация опорно-динамической функции и уменьшение показателя ДСТ интактной конечности до  $52\% \pm 2\%$  (рис. 1).

У больных женского пола показатели нагрузки на подошвенную поверхность стоп в статике и при ходьбе с увеличением стадии заболевания изменяются недостоверно и растут с увеличением возраста до 55 лет. Этот прирост обуславливается возрастным увеличением массы тела женщин за пределы 80 кг (рис. 2).

Нагрузка на отделы стопы увеличивается и с возрастным приростом уровня систолического артериального давления крови (рис. 3). Это подтверждает роль гидродинамического фактора в обеспечении биомеханических свойств тканей. Наибольшая величина ДСТ наблюдается при оптимальной величине систолического давления, которое для данной группы больных составляет не 120, а 135 мм рт. ст. (рис. 4).

Таблица

Нагрузка на отделы стопы у обследуемых мужского пола в статике и динамике ( $M \pm m$ )

| Группы обследуемых     | N  | Статическая нагрузка (кг/см <sup>2</sup> ) | Динамическая нагрузка (кг/см <sup>2</sup> ) | Показатель ДСТ |
|------------------------|----|--|---|----------------|
| Легкоатлеты            | 14 | $1,41 \pm 0,19$                            | $1,70 \pm 0,18$                             | 83%            |
| Борцы                  | 12 | $1,06 \pm 0,16$                            | $1,70 \pm 0,17$                             | 62%            |
| Больные с гонартрозом: |    |  |   |                |
| первая стадия          | 18 | $0,98 \pm 0,09$                            | $1,68 \pm 0,13$                             | 58%            |
| вторая стадия          | 48 | $1,12 \pm 0,07$                            | $1,86 \pm 0,08$                             | 60%            |
| третья стадия          | 6  | $0,86 \pm 0,17$                            | $1,63 \pm 0,22$                             | 53%            |

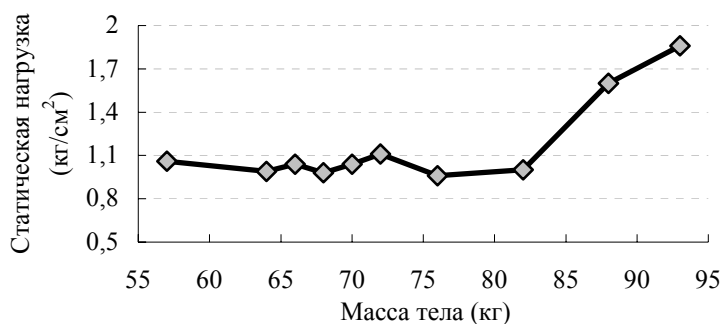


Рис. 2. Зависимость максимальной статической нагрузки на отделы стопы от массы тела обследуемых женщин

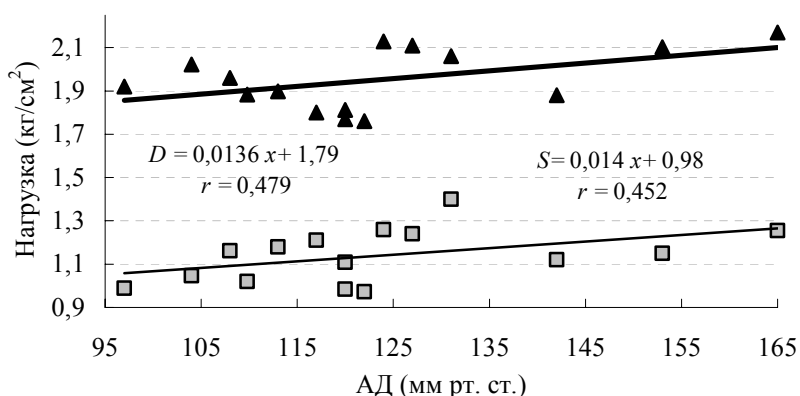


Рис. 3. Зависимость нагрузки на отделы стопы при стоянии и ходьбе у женщин с гонартрозом от уровня артериального давления (АД)

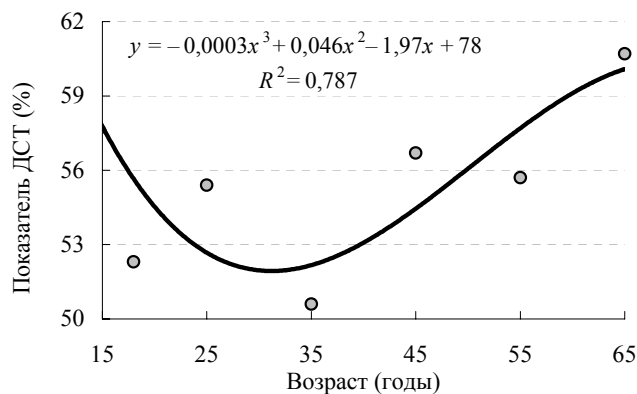


Рис. 4. Возрастная динамика показателя ДСТ у женщин с различными стадиями гонартроза до лечения

Показатель ДСТ по мере увеличения возраста обследуемых до 30 лет снижается за счет относительно большего прироста нагрузки при ходьбе. В последующие десятилетия значения показателя ДСТ имеют тенденцию к увеличению в условиях относительно большего повышения статического компонента нагрузки (см. рис. 4).

Показатель ДСТ становится больше по мере увеличения возраста женщин до 45 лет, а затем его величина стабилизируется (см. рис. 4).

У больных мужского пола возрастное увеличение показателя ДСТ начинается после 55 лет и связано со снижением максимальных значений нагрузки на отделы стопы при ходьбе. Показатель ДСТ у мужчин на различных стадиях заболевания 53–60%, у обследуемых женского пола 57–63%.

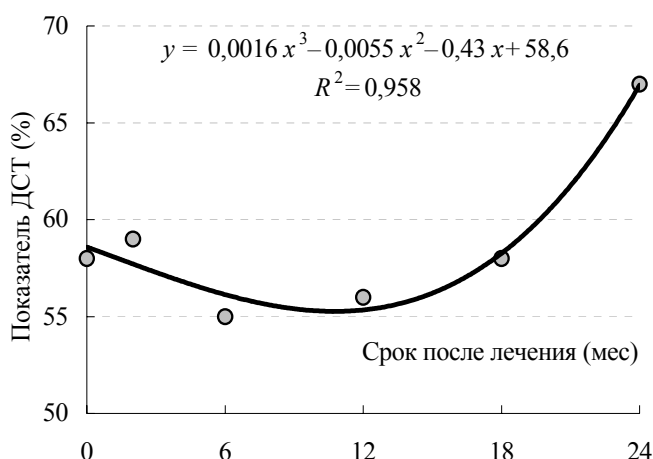


Рис. 5. Показатель ДСТ у больных с первой стадией гонартроза в различные сроки после окончания консервативного лечения

После окончания лечения больных женского пола с гонартрозом первой стадии показатель ДСТ повышается на 16% (рис. 5). Это повышение выявляется не сразу, а по мере восстановления силы мышц и двигательной активности больных. Причем повышение обусловлено в основном увеличением показателя статической нагрузки. У больных с третьей стадией гонартроза, у которых не наблюдается существенной прибавки двигательной активности, величина показателя ДСТ после окончания лечения практически не меняется.

Таким образом, предложен способ оценки демпфирующих свойств тканей, представляющий собой соотношение максимумов нагрузки в позе стоя и при ходьбе. У здоровых людей и пациентов с заболеваниями и травмами нижних конечностей показатель ДСТ опорной поверхности стоп зависит от их биомеханических свойств, определяемых уровнем двигательной активности, массой тела, а также уровнем системного артериального давления крови.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутицкий, И.К. Исследование функции стопы при последствиях закрытых переломов пяточной кости / И.К. Крутицкий, А.С. Малыгин, Л.М. Смирнова, В.А. Кудрявцев // Вестник гильдии протезистов-ортопедов. – 1999. – № 1. – С. 37–39.
2. Кудрин, Б.И. Влияние уровня перелома большеберцовой кости на восстановление функции конечности в условиях фиксации отломков аппаратом Илизарова / Б.И. Кудрин, В.А. Щуров // Вестн. хирургии. – 1982. – Т. 128, № 3. – С. 110–113.
3. Скворцов, Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки / Д.В. Скворцов. – М., 1996. – С. 345.
4. Смирнова, Л.М. Использование аппаратно-программного комплекса “ПлантоСкан” для объективной оценки анатомо-функционального состояния стопы / Л.М. Смирнова, Е.Е. Аржанникова, В.А. Кудрявцев, Л.Е. Войнова // Вестник гильдии протезистов-ортопедов. – 2002. – № 2. – С. 55–58.
5. Щуров, В.А. Метод исследования биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы / В.А. Щуров // Ортопед. травматол. – 1986. – № 3. – С. 32–34.
6. Щуров, В.А. Оценка опорной функции стопы при лечении по Илизарову больных с переломами костей голени / В.А. Щуров, Л.Ю. Горбачева // III Всерос. конф. по биомеханике: тез. – Н. Новгород, 1996. – С. 202–203.
7. Sarrafian, S.K. Anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographic, functional / S.K. Sarrafian. – Philadelphia: J.B. Lippincott company, 1993. – P. 616.

## A TECHNIQUE TO EVALUATE THE BIOMECHANICAL PROPERTIES OF FOOT SUPPORTING SURFACE SOFT TISSUES

V.A. Shchurov, N.V. Sazonova, I.V. Shchurov (Kurgan, Russia)

In the paper, authors propose a technique to evaluate the biomechanical properties of foot supporting surface soft tissues by computer-assisted complex “Diasled-Scan” based on the percentage comparison of maximal loads on foot parts at standing and during walking. In normal subjects and in patients with diseases and injuries of lower limbs, the index of damping properties of foot supporting surface soft tissues depends on patients’ locomotor activity level and on body mass to a lesser extent, as well as on the level of blood systemic arterial pressure.

*Получено 14 сентября 2008*

### **Сведения об авторах**

Владимир Алексеевич Щуров, г.н.с. Федерального государственного учреждения «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий», office@ilizarov.ru

Наталья Владимировна Сазонова, заместитель главного врача по амбулаторно-поликлинической работе Федерального государственного учреждения «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий», office@ilizarov.ru

Щуров Илья Владимирович, аспирант Федерального государственного учреждения «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий», office@ilizarov.ru