

УДК 616.728.48-001.5-089

ЧУФИЦКИЙ С.В., КАЛИНКИН О.Г.

НИИ травматологии и ортопедии Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького
Кафедра биофизики Донецкого национального университета

ВЫСОТА КАБЛУКОВ НОСИМОЙ ОБУВИ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ НАГРУЗКУ НА ГОЛЕНОСТОПНЫЙ СУСТАВ

Резюме. С помощью математического моделирования показано, что увеличение высоты каблуков носимой обуви существенно повышает нагрузку на костно-связочный аппарат голеностопного сустава и может служить причиной как артрозных проявлений, так и увеличения суммарного эффекта травмирующей силы, приводящей к повреждению элементов сустава.

Повреждения голеностопного сустава относятся к наиболее частым травмам, составляя, по данным отечественных и зарубежных авторов, от 10,2 до 26,1 % всех повреждений опорно-двигательного аппарата [2, 8]. В имеющейся литературе основное внимание уделяется вопросам диагностики, лечения и реабилитации больных с этой патологией [1, 2, 5–7]. В меньшей степени затронуты вопросы профилактики этого вида повреждений, при том что причины и механизм повреждений голеностопного сустава изучены достаточно полно [5, 8]. Среди причин, приводящих к его повреждениям, выделяют угол вальгусного отклонения оси большеберцовой кости и вальгированное положение пяточной кости [4], которые в определенных условиях способствуют чрезмерным нагрузкам на голеностопный сустав и его повреждениям. К таким условиям можно отнести модель и состояние носимой обуви, в частности высоту каблука. В доступных нам работах мы не нашли сведений о влиянии высоты каблука носимой обуви на нагрузку, испытываемую костно-связочным аппаратом голеностопного сустава.

Цель исследования — изучить влияние высоты каблука на величину силовых нагрузок, воздействующих на костно-связочный аппарат голеностопного сустава.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели была использована доработанная нами математическая модель голеностопного сустава, предложенная В.И. Евсеевым [3, 4].

В основу математической модели голеностопного сустава положено влияние увеличения угла пронации стопы на степень повреждения голеностопного сустава. В норме этот угол может достигать 7–10°, он ограничен лодыжечной вилкой и связочным аппаратом, стабилизирующими голеностопный сустав [4]. В.И. Евсеевым

[3] предложены формулы для расчета сил, действующих на наружную (1) и внутреннюю (2) лодыжку, а также на дельтовидную связку (3), т.е., как подчеркивает сам автор, универсальные уравнения биомеханики голеностопного сустава, позволяющие получить количественное значение сил, действующих на сустав:

$$F_a = -F_b \frac{\cos D}{\cos(A + B - D)}, \quad (1)$$

$$F_b = P \sin \gamma h \frac{1}{b + Q \frac{\cos D}{\cos(A + B - D)}}, \quad (2)$$

$$F_d = \frac{F_b \sin B - F_a \sin A}{\cos(B - D)}, \quad (3)$$

$$Q = 2l \cos A - a - b \cos(A + B), \quad (4)$$

где A — угол наружной лодыжки, образуемый с продольной осью вращения голени, B — угол внутренней лодыжки, D — угол, образуемый дельтовидной связкой и голенью в целом, a и b — длины наружной и внутренней лодыжки соответственно, h — высота рычага пронации стопы (в данном случае высота пяточной кости), P — вес тела, $2L$ — ширина блока таранной кости, γ — значение угла пронации.

Предложенные формулы позволяют проследить за изменениями нагрузки в голеностопном суставе сразу по трем показателям, однако они не учитывают особенности носимой обуви и, в частности, влияние высоты каблука. В доработанной нами модели для учета этих особенностей значения необходимых характеристик использовались не в виде усредненных значений, а в виде матриц с определенным шагом от минимального значе-

ния к максимальному. При добавлении в математическую модель значения высоты (h) каблука мы исходили из того, что если в каждой из предложенных В.И. Евсеевым формул (1) и (3) заменить F_b на соответствующее выражение (2), то станет очевидным, что в каждом из трех уравнений, определяющих нагрузки на лодыжки и дельтовидную связку, есть общий множитель — синус угла пронации, вес тела и высота ($P \cdot h \cdot \sin \gamma$). Если остальную часть выражений представить в виде коэффициентов, то можно довольно просто изменять значения веса тела и высоты. Таким образом, в формулы можно ввести высоту каблука.

Все расчеты проводились с помощью программы MathLab [9]. Начальные значения, занесенные в программу MathLab, имеют следующий вид:

$a = [1,8; 1,9; 2; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4];$
 $b = [1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8];$
 $A = [91; 92; 93; 94; 95; 96; 97];$
 $B = [109; 110; 111; 112; 113; 114; 115];$
 $\gamma = [4; 5; 6; 7; 8; 9; 10];$
 $D = 45.$

Все дальнейшие расчеты выполнялись согласно формулам (1–3) при весе тела, равном 70 килограммов, а также при условии, что сустав находился в своем естественном положении, т.е. без обуви. Затем расчеты выполнялись еще раз при тех же условиях, но уже при наличии обуви с каблуком заданной высоты. Максимальное значение высоты каблука при расчетах составило 8 сантиметров.

Результаты исследования и их обсуждение

В естественном положении голеностопного сустава при минимальных длинах лодыжек (1,8 и 1,2 см для наружной и внутренней соответственно), а также при минимально возможных суставных углах (A, B, γ) значения нагрузок на наружную и внутреннюю лодыжки, а также на дельтовидную связку составили: 14,27, 8,5 и 10,3 кг соответственно. При наличии в модели каблука высотой 8 см, при тех же минимальных размерах лодыжек и суставных углов, нагрузка распределится следующим образом: 28,17 кг для наружной, 17,06 кг для внутренней лодыжки и 20,52 кг для дельтовидной связки. Полученные результаты представлены графически (рис. 1–3).

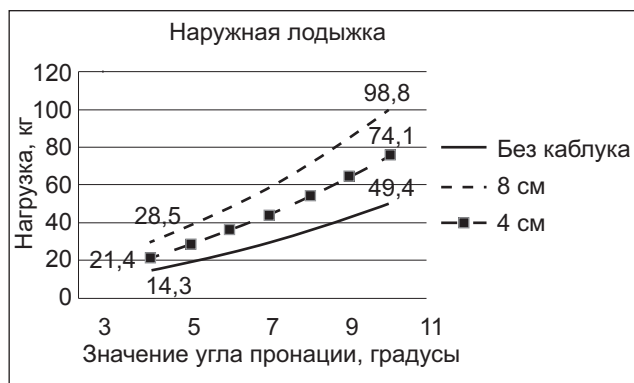


Рисунок 1. Нагрузка (кг), приходящаяся на наружную лодыжку

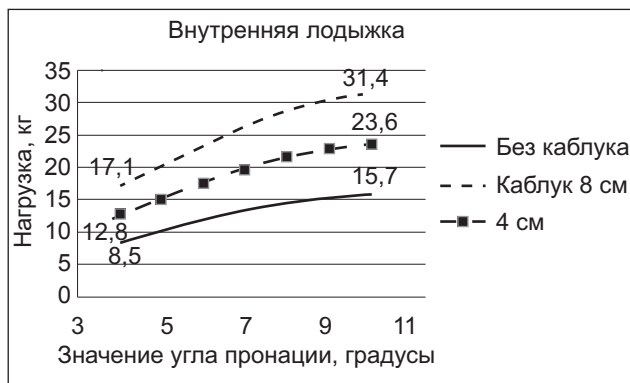


Рисунок 2. Нагрузка (кг), приходящаяся на внутреннюю лодыжку

На каждом графике пунктирной линией обозначена модель, в которую включен каблук высотой 8 см; пунктирной линией с квадратами обозначена модель, в которую включен каблук высотой 4 см; сплошной линией обозначена модель при естественном положении голеностопного сустава (босая нога).

Таким образом, доработанная нами математическая модель позволяет рассчитать нагрузку на лодыжки и дельтовидную связку как в естественных условиях, так и при использовании модельной обуви с высоким каблуком. Программа направлена не только на получение этих данных, но и на наглядную демонстрацию влияния такого фактора, как качество обуви, на увеличение вероятности повреждений в области голеностопного сустава.

При наличии каблука высотой 8 см нагрузка на костно-связочный аппарат голеностопного сустава возрастает почти в два раза. Постоянное ношение обуви с высокими каблуками может служить причиной формирования артрозных изменений в суставе, а значительное увеличение суммарного силового эффекта травмирующей силы на голеностопный сустав — приводить к повреждению его элементов.

Выводы

1. Доработанная математическая модель голеностопного сустава позволяет рассчитать нагрузки на лодыжки и дельтовидную связку с учетом антропометрических данных отдельного человека, а также позволяет оценить

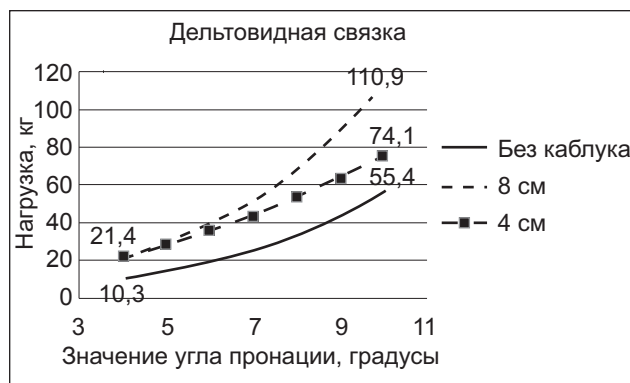


Рисунок 3. Нагрузка (кг), приходящаяся на дельтовидную связку

влияние высоты каблука как на отдельные элементы, так и на голеностопный сустав в целом.

2. При наличии каблука высотой 8 см нагрузка на костно-связочный аппарат голеностопного сустава возрастает почти в два раза.

3. Постоянное ношение обуви с высокими каблуками может послужить причиной формирования артрозных изменений в суставе, а значительное увеличение суммарного силового эффекта травмирующей силы на голеностопный сустав — приводить к повреждению его элементов.

Список литературы

1. Бойков В.П. Новый подход к проблеме реабилитации пациентов с тяжелыми повреждениями голеностопного сустава / В.П. Бойков, Г.А. Иваничев, К.С. Чермаков // Казан. мед. журн. — 2008. — Т. 89, № 2. — С. 184-186.
2. Бур'янов О.А. Оптимізація способів лікування дистального епіметафіза великогомілкової кістки / О.А. Бур'янов, В.П. Кваша, Муаяд Мохаммад Аль Хадж Хусейн Ююб // Травма. — 2008. — Т. 9, № 4. — С. 396-398.
3. Евсеев В.И. Математическое обоснование механизма переломов малоберцовой кости и повреждений меж-

берцового синдесмоза. Клиника и лечение повреждений голеностопного сустава. — Казань, 1975. — С. 32-42.

4. Евсеев В.И. Биомеханические особенности голеностопного сустава. Клиника и лечение повреждений голеностопного сустава. — Казань, 1975. — С. 19-31.
5. Евсеев В.И. Биомеханические нарушения в голеностопном суставе деформирующего артроза. — Л., 1977. — С. 128-133.
6. Корж Н.А. Роль лечебной иммобилизации в профилактике инфекционных осложнений при открытых повреждениях голеностопного сустава / Н.А. Корж, Г.В. Бец, В.Г. Бец // Травма. — 2009. — Т. 8, № 3. — С. 343-348.
7. Стоянов А.В. Хирургическое лечение больных с застарелыми пронационными подвывихами в голеностопном суставе: Дис... д-ра мед. наук. — СПб., 2005. — 145 с.
8. Тяжелов А.А., Карпинский М.Ю., Мусса-Джехад Махмуд, Ефимов Р.В. Анатомо-биомеханические особенности голеностопного сустава // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2003. — № 3. — С. 42-46.
9. www.mathworks.com/products/matlab

Получено 21.11.11 □

Чуфитський С.В., Калінкін О.Г.

НДІ травматології та ортопедії Донецького національного медичного університету ім. М. Горького
Кафедра біофізики Донецького національного університету

ВИСОТА ПІДБОРІВ ВЗУТТЯ, ЩО НОСИТЬСЯ, — ЧИННИК, ЯКИЙ ВИЗНАЧАЄ НАВАНТАЖЕННЯ НА ГОМІЛКОВОСТОПНИЙ СУГЛОБ

Резюме. За допомогою математичного моделювання показано, що збільшення висоти підборів взуття, що носить, підвищує навантаження на кістково-зв'язковий апарат гомілковостопного суглоба й може служити причиною як артрозних проявів, так і збільшення сумарного ефекту травмуючої сили, що призводить до ушкодження елементів суглоба.

Chufitsky S.V., Kalinkin O.G.

R&D Institute of Traumatology and Orthopedics of Donetsk National Medical University named after M. Gorky
Department of Biophysics of Donetsk National University, Donetsk, Ukraine

SHOE HEEL HEIGHT AS A FACTOR DETERMINING THE LOAD ON ANKLE JOINT

Summary. It is shown by means of mathematical simulation, that heel heightening of footwear significantly increases the load on the bone-ligament complex and can cause both arthrosis manifestations and increase total effect of injuring forces resulting in the damage of joint elements.