

УДК 616.718.5/.6-001.5-089.22(045)

Механические свойства системы «голень – фиксирующая повязка» при переломах дистальных метаэпифизов костей голени (pilon)

И. В. Стойко¹, И. А. Суббота², И. Г. Бэц²

¹ КУЗ «Харьковская городская многопрофильная больница № 18». Украина

² ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М. И. Ситенко НАМН Украины», Харьков

Rational orthotics is necessary for early functional treatment of fractures of the pilon. Objective: to study the mechanical properties of the system «shin – fixing bandage» in case of fractures of the distal metaepiphysis of the shin bones. The study was conducted on mathematical models comprising a tibia, fibula, calcaneus, talus, navicular and three cuneiform bones, their articular surfaces, muscle tissue and fixing bandages of two types - cast and made of plastic materials Softcast / Scotchcast. Stress-strain condition of models was evaluated by means of the finite element analysis. It was found that level of stresses arising in bone structures and fixing elements in cases of pilon fractures stabilization using bandages made of cast or plastic materials was identical. Conclusion: orthoses made of combinations of polymeric materials Softcast / Scotchcast may be used for functional stabilization of pilon fractures. Key words: fractures of the distal metaepiphysis of shin bones, osteosynthesis, orthotics, functional stabilization, biomechanics, mathematical modeling.

Раціональне ортезування необхідне для забезпечення раннього функціонального лікування переломів pilon. Мета роботи: вивчити механічні властивості системи «гомилка – фіксувальна пов'язка» в разі переломів дистального метаепіфіза кісток гомилки. Дослідження проводили на математичних моделях, містивших великогомілкову, мало-гомілкову, п'яткову, надп'яткову, човноподібну і три клиноподібних кістки, їх зчленівні суглобові поверхні, м'язову тканину і фіксувальні пов'язки двох типів — гіпсову та з пластичних матеріалів Softcast/Scotchcast. Напружено-деформований стан моделей оцінювали за допомогою методу кінцевих елементів. Встановлено ідентичний рівень напружень, які виникають у кісткових структурах і фіксувальних елементах, у випадку стабілізації переломів pilon за допомогою пов'язок із гіпсу або пластичних матеріалів. Висновок: ортези, виготовлені з комбінацій полімерних матеріалів Softcast/Scotchcast, можуть використовуватися для функціональної стабілізації за умов переломів pilon. Ключові слова: переломи дистального метаепіфіза кісток гомилки, остеосинтез, ортезування, функціональна стабілізація, біомеханіка, математичне моделювання.

Ключевые слова: переломы pilon, остеосинтез, ортезирование, функциональная стабилизация, биомеханика, математическое моделирование

Введение

Интенсивное развитие способов и средств остеосинтеза открыло широкие перспективы для раннего функционального лечения при повреждениях опорно-двигательной системы различного характера и локализации. Однако в отношении переломов pilon нельзя уверенно утверждать, что какой-либо современный метод хирургической стабилизации

отломков надежно обеспечивает возможность раннего функционального лечения.

Очевидно, что для обеспечения раннего функционального лечения этих повреждений необходимо продуманное рациональное ортезирование.

Теория и практика лечебной иммобилизации короткими гипсовыми и пластмассовыми повязками [1–3] стала значительным шагом к реализа-

ции задачи функционального лечения переломов. В этой связи наше внимание привлекла концепция, предложенная в начале 90-х годов прошлого столетия исследователями из Роттердамского университетского госпиталя [4]. Она была основана на двух законах физики:

- 1) сила, приложенная к закрытой наполненной газо-жидкостной колонне, распределяется равномерно во всех направлениях (закон Паскаля);
- 2) жидкость при нормальных условиях не сжимается.

Если представить длинный сегмент опорно-двигательной системы (например голень), фиксированный повязкой (тутором), в виде такой колонны, то повышение давления в ней за счет мышечных сокращений должно привести к эффекту дополнительной стабилизации отломков.

Однако, для реализации этого эффекта фиксирующая повязка должна обладать двумя свойствами:

- 1) эффективно предотвращать смещение отломков при внешних нагрузках;
- 2) иметь способность изменять свою форму в соответствии с изменениями контуров сегмента при мышечном сокращении (иначе она будет мешать функции мышц) и при этом не растягиваться, увеличивая длину окружности и внутренний объем повязки (в противном случае давление внутри «колонны» не повысится и эффект стабилизации не реализуется).

В последние годы в Украине представлено множество пластических материалов для ортезирования. Они обладают важными свойствами, улучшающими качество жизни пациента, — это тонкостенные и легкие повязки, не разрушающиеся в воде и позволяющие выполнять процедуры личной гигиены. Такие материалы применяют вместо гипсовых повязок на основе рекламной информации и минимума технологических сведений для пользователей, представляемых торговыми фирмами.

В поисках возможностей раннего функционального лечения переломов *pilon* нам представилась перспективной приведенная выше концепция, получившая название «функциональной стабилизации». Однако было бы неправильно использовать пластические материалы для ортезирования, не имея фактических данных об их физических свойствах и возможностях изготовленных из них ортезов, применительно к требованиям раннего функционального лечения при переломах *pilon*. Из двух указанных свойств фиксирующих повязок для реализации эффекта функциональной стабилизации основным считаем способность предотвращать смещение отломков при внешних воздействиях. Поэтому целе-

сообразно сравнить по этому признаку повязки из материалов Softcast/Scotchcast с гипсовой повязкой.

Цель исследования: изучить механические свойства системы «голень – фиксирующая повязка» при переломах дистального метаэпифиза костей голени.

Материал и методы

В лаборатории биомеханики ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М. И. Ситенко НАМН Украины» были проведены математические исследования механических свойств системы «голень – фиксирующая повязка» в условиях иммобилизации при переломах дистальных метаэпифизов костей голени (*pilon*).

Для решения поставленной задачи разработана математическая модель голени, включающая большеберцовую, малоберцовую, пяточную, таранную, ладьевидную и три клиновидных кости, суставные поверхности которых контактируют между собой посредством хрящевой ткани. Модель также содержит мышечную ткань и фиксирующую повязку. Внешний вид модели представлен на рис. 1. Кроме того, моделировали перелом *pilon* (рис. 2).

Рассматривали фиксирующие повязки двух типов: из пластического материала и гипсовую. Гипсовая повязка представляет собой монолитную оболочку вокруг голени с охватом голеностопного сустава и пятки. Повязка из пластического материала — это конструкция из двух полос с механическими свойствами материала Scotchcast. Первая полоса проходит по всей длине голени с двух сторон с охватом пятки в виде «стремени», вторую располагают по задней поверхности голени, также по всей ее длине. По окружности голени смоделирована оболочка со свойствами более мягкого материала Softcast.

Механические свойства искусственных материалов (табл. 1), использованных при моделировании, были получены нами в результате экспериментальных исследований, а биологических тканей взяты из работ В. А. Березовского 1990 [5]. К проксимальной суставной поверхности большеберцовой кости

Таблица 1
Механические свойства материалов и биологических тканей, использованных при моделировании

Элементы модели	Модуль упругости Юнга (E), МПа	Коэффициент Пуассона (μ)
Кортикальная кость	18 350,0	0,30
Губчатая кость	330,0	0,30
Хрящ	10,5	0,49
Мышечная ткань	1,0	0,45
Гипс	4 000,0	0,30
Scotchcast	1 200,0	0,30
Softcast	650,0	0,30

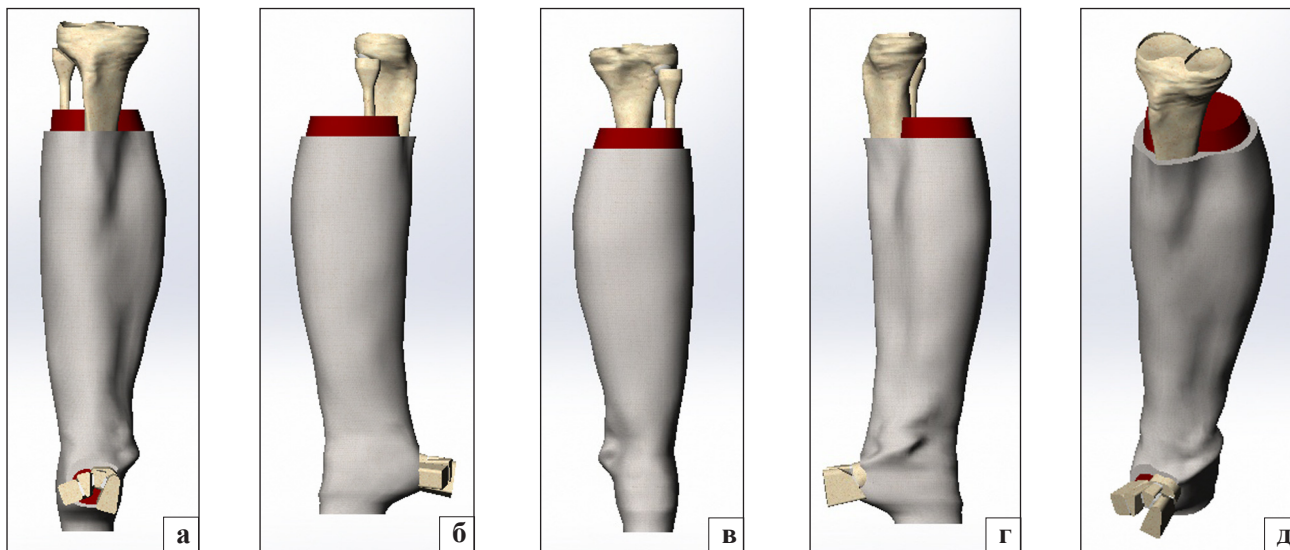


Рис. 1. Модель голени с фиксирующей повязкой (внешний вид в разных проекциях): а) спереди; б) с латеральной стороны; в) сзади; г) с медиальной стороны; д) общий вид

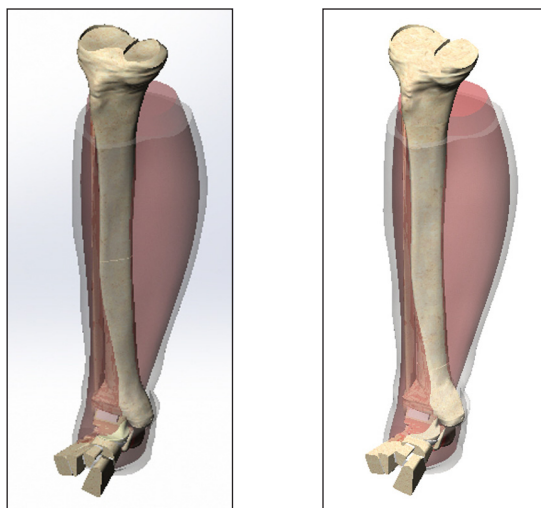


Рис. 2. Модель перелома дистального метаэпифиза костей голени (pilon)

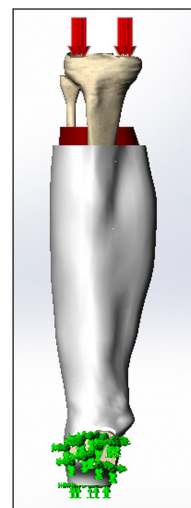


Рис. 3. Схема нагружения модели: осевая вертикальная нагрузка

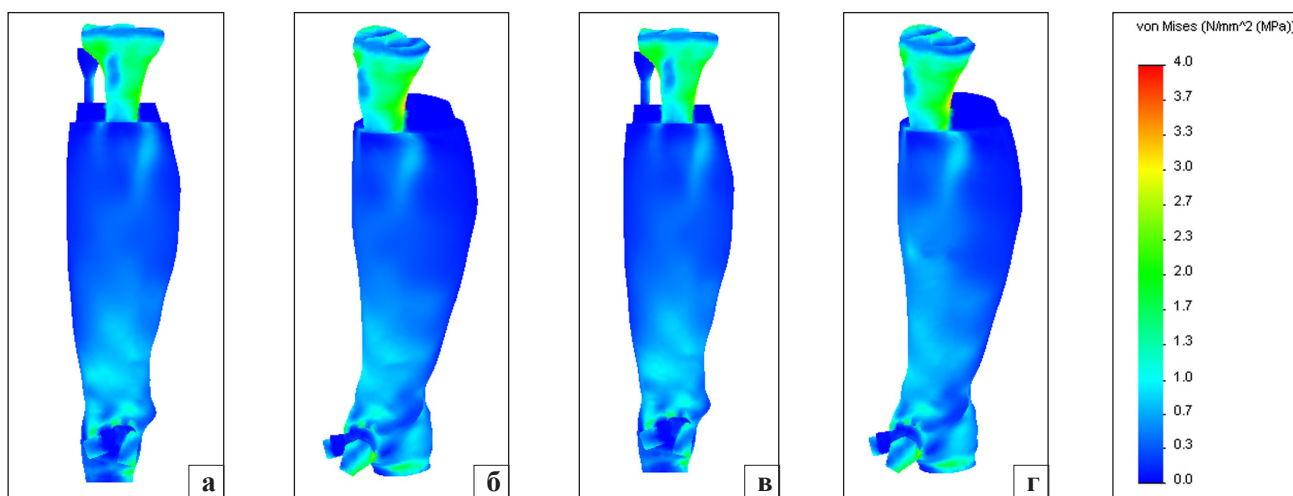


Рис. 4. Распределение напряжений в фиксирующей повязке под действием осевой вертикальной нагрузки на модель голени с переломом pilon большеберцовой кости: а, б) гипсовая повязка; в, г) повязка из пластических материалов Softcast/Scotchcast

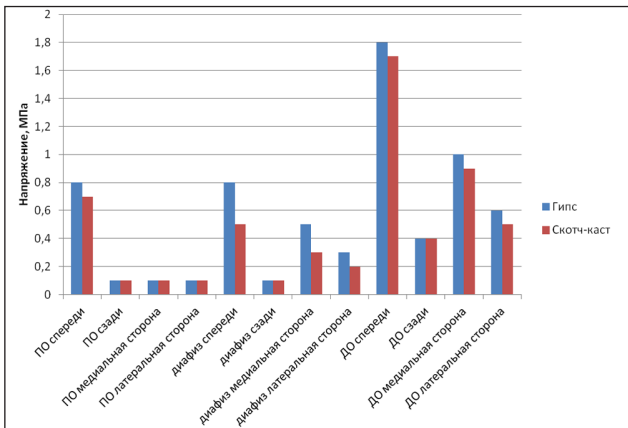


Рис. 5. Диаграмма значений максимальных напряжений, действующих в фиксирующей повязке под влиянием осевой вертикальной нагрузки на модель голени с переломом pilon большеберцовой кости (ПО — проксимальный отдел, ДО — дистальный)

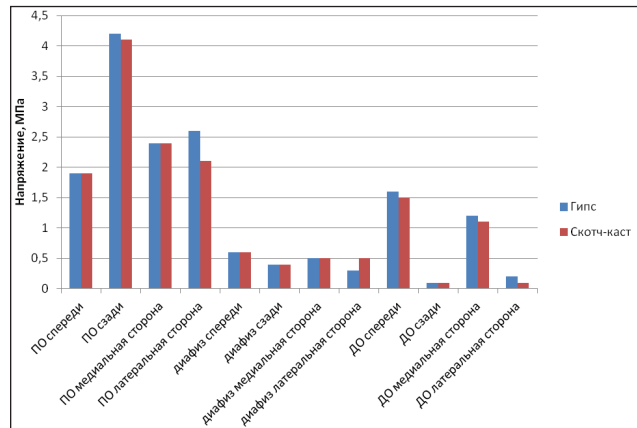


Рис. 7. Диаграмма значений максимальных напряжений, действующих в костных элементах под действием осевой вертикальной нагрузки на модель голени с переломом pilon большеберцовой кости (ПО — проксимальный отдел, ДО — дистальный)

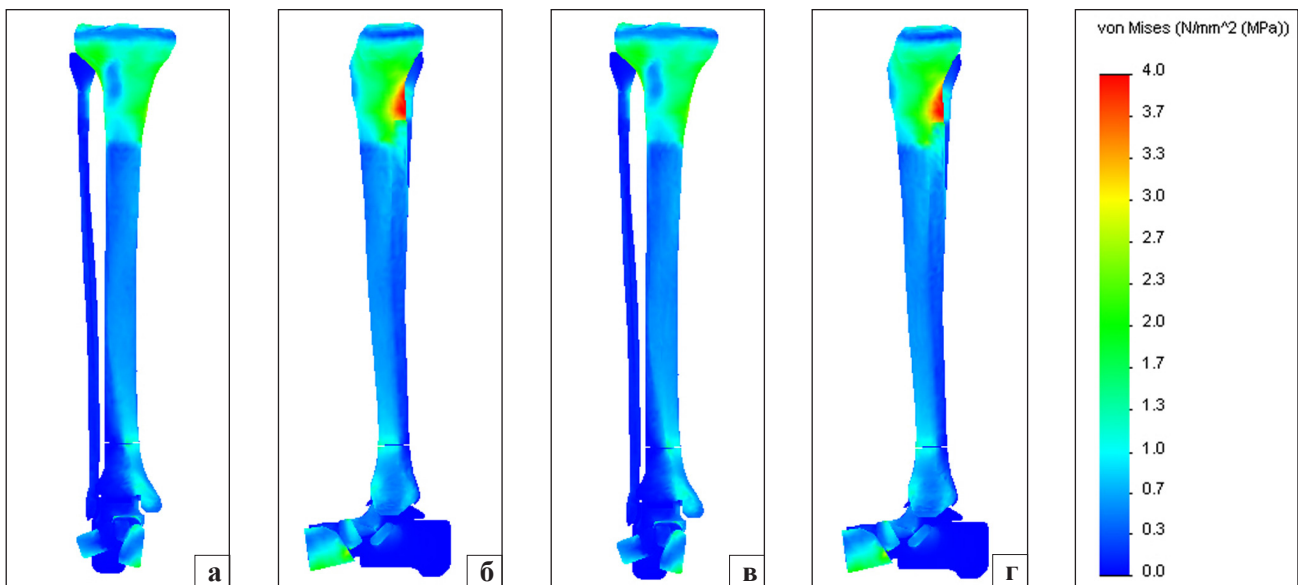


Рис. 6. Картина распределения напряжений в костных элементах модели голени с переломом pilon большеберцовой кости под действием осевой вертикальной нагрузки: а, б) гипсовая повязка; в, г) повязка из пластического материала

в направлении сверху вниз прикладывали вертикальную распределенную нагрузку величиной 700 Н. Опорная поверхность стопы модели была жестко закреплена.

Схема нагружения модели представлена на рис. 3.

Исследование напряженно-деформированного состояния моделей осуществляли с использованием метода конечных элементов. В качестве критерия оценки напряженного состояния моделей использовали напряжения по Мизесу [6].

Моделирование системы «голень – фиксирующая повязка» выполняли с помощью системы автоматизированного проектирования SolidWorks, а расчеты напряженно-деформированного состояния моделей — программного комплекса CosmosM [7].

Результаты и их обсуждение

Исследованы модели фиксации переломов pilon большеберцовой кости повязками из гипса и комбинации материалов Softcast/Scotchcast.

На рис. 4 приведена картина распределения напряжений в фиксирующих повязках под действием на модель вертикальной осевой нагрузки.

Как видим, напряжения величиной более 1,0 МПа возникают только на передней поверхности дистального отдела как гипсовой повязки, так и повязки из пластических материалов. В остальных отделах повязки уровень напряжений незначительный.

Сравнить величины максимальных напряжений в фиксирующих повязках при стабилизации переломов pilon большеберцовой кости под действием

Таблица 2

Максимальные значения напряжений в элементах модели голени с переломом *pilon* большеберцовой кости под действием осевой вертикальной нагрузки

Зона модели	Вид повязки			
	гипсовая		пластическая	
	Максимальное напряжение, МПа			
	кость	повязка	кость	повязка
Проксимальный отдел:				
– спереди	1,9	0,8	1,9	0,7
– сзади	4,2	0,1	4,1	0,1
– медиальная сторона	2,4	0,1	2,4	0,1
– латеральная сторона	2,6	0,1	2,1	0,1
Середина диафиза:				
– спереди	0,6	0,8	0,6	0,5
– сзади	0,4	0,1	0,4	0,1
– медиальная сторона	0,5	0,5	0,5	0,3
– латеральная сторона	0,3	0,3	0,5	0,2
Дистальный отдел:				
– спереди	1,6	1,8	1,5	1,7
– сзади	0,1	0,4	0,1	0,4
– медиальная сторона	1,2	1	1,1	0,9
– латеральная сторона	0,2	0,6	0,1	0,5

осевых нагрузок можно на диаграмме (рис. 5), где показано, что различия в величинах напряжений, действующих в различных отделах фиксирующих повязок из гипса и пластических материалов под влиянием осевой вертикальной нагрузки на модель, минимальны и не превышают 0,3 МПа.

На рис. 6 изображено распределение напряжений в костных элементах моделей под действием осевой вертикальной нагрузки. Как видим, картина напряженно-деформированного состояния моделей при использовании гипсовой и пластической повязок практически одинакова. Максимум напряжений выявлен в проксимальном отделе большеберцовой кости, пиковые значения напряжений определены на его задней поверхности.

На диаграмме (рис. 7) показано, что по максимальным значениям напряжений в костных фрагментах модели с гипсовой повязкой и повязкой из пластических материалов практически идентичны. Расхождения значений максимальных напряжений находятся на уровне статистической погрешности.

Абсолютные значения максимальных напряжений в различных отделах и элементах моделей голени с переломом *pilon* большеберцовой кости под действием осевой вертикальной нагрузки представлены в табл. 2.

Проведенное исследование позволяет сделать заключение, что при фиксации переломов *pilon* большеберцовой кости иммобилизующими повязками из гипса и пластических материалов под действием осевой вертикальной нагрузки уровень напряжений, возникающих как в самой повязке, так и в костных элементах, практически идентичен.

Выводы

Взяв за «эталон» гипсовую повязку «сапожок», применявшуюся для лечебной иммобилизации при переломах дистальных метаэпифизов костей голени на протяжении многих десятилетий, проведена сравнительная оценка механических свойств системы «голень – фиксирующая повязка» из комбинаций полимерных материалов Softcast/Scotchcast. При этом «стремя» и продольная полоса по задней поверхности голени и пятки, изготовленные из более жесткого Scotchcast, выполняли армирующую функцию. Циркулярные туры из Softcast обладают гибкостью без способности растягиваться, что подразумевает возможность изменения формы при мышечных сокращениях (второе условие реализации эффекта «функциональной стабилизации»).

Таким образом, исследованы не просто свойства повязки из полимерных материалов, а вполне конкретная конструкция повязки по основному критерию функционального предназначения — фиксирующим свойствам. В результате установлено, что новая повязка по данному признаку не уступает «эталонным» показателям гипсовой повязки «сапожок». Полученные результаты позволяют предположить, что применение этой повязки приведет к положительному клиническому эффекту.

Список литературы

1. Беллер Л. Техника лечения переломов конечностей / Л. Беллер. — М.; Л., 1937.
2. Sarmiento A. Closed functional treatment of fractures / A. Sarmiento, L. L. Latta. — Berlin: Springer-Verlag, 1981. — 609 p.
3. Корж А. А. Функциональное лечение диафизарных пере-

- ломов / А. А. Корж, А. К. Попсуйшапка, Е. М. Маковоз // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1987. — № 8. — С. 1–7.
4. Работа с софткастом / ООО «ЗМ». — К., 2010. — 127 с.
5. Березовский А. А. Биофизические характеристики тканей человека / А. А. Березовский, Н. Н. Колотилов. — К.: Наукова думка, 1990. — 224 с.
6. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. — М.: Мир, 1978. — 519 с.
7. Аламовский А. А. SolidWorks/CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Аламовский. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 432 с.

Статья поступила в редакцию 23.01.2014

MECHANICAL PROPERTIES OF THE SYSTEM «SHIN – FIXING BANDAGE» IN CASES OF FRACTURES OF THE DISTAL METAEPHYSIS' OF SHIN BONES (PILON)

I. V. Stoyko¹, I. A. Subbota², I. G. Bets²

¹ CHI «Kharkiv City Multidisciplinary Hospital № 18». Ukraine

² SI «Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Science of Ukraine», Kharkiv