

УДК 616.71-001.5-089.84-001.2

БИЛИНСКИЙ П.И., ЧАПЛИНСКИЙ В.П., АНДРЕЙЧИН В.А.

Национальная академия последипломного образования им. П.Л. Шупика, г. Киев

Самборская центральная районная больница

Ивано-Франковский национальный медицинский университет

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ОСТЕОСИНТЕЗА ПРИ КОСОМ ПЕРЕЛОМЕ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ КОНТАКТНЫМИ И МАЛОКОНТАКТНЫМИ ПЛАСТИНАМИ (сообщение второе)

**Резюме.** Представлены результаты компьютерного моделирования контактного и малоконтактного многоплоскостного остеосинтеза (ММО) косого перелома большеберцовой кости. Анализировалась величина микроподвижности фрагментов, напряжения пластины, шурупов и кости при физиологической нагрузке. Исследования показали, что после предварительной фиксации отломков репозиционным шурупом ММО обеспечивает наилучшие условия для репаративной регенерации.

**Ключевые слова:** косой перелом, большеберцовая кость, контактный и малоконтактный остеосинтез, метод конечных элементов.

### Введение

Эффективность лечения переломов определяется многими факторами. В значительной степени она зависит от надежности фиксации фрагментов. Последняя осуществляется различными фиксаторами и устройствами. Основная их задача состоит в обеспечении оптимальных условий для течения репаративной регенерации. Жесткость фиксации, напряжение пластины можно исследовать с помощью метода конечных элементов [2]. Особенности использования данной методики для оценки биомеханических возможностей фиксатора при поперечных переломах большеберцовой кости представлены нами в первом сообщении. Поперечная линия излома характеризуется малой площадью контакта между фрагментами. Это требует особых условий для их сращения [1]. Наши исследования показали, что их могут обеспечить малоконтактные многоплоскостные фиксаторы (ММФ). Они имеют значительные преимущества по сравнению с полноконтактными одноплоскостными пластинами (ПОП). Большой интерес представляют результаты теоретического анализа моделирования фиксационных возможностей этих фиксаторов для остеосинтеза косых переломов большеберцовой кости. Они могут послужить основой для разработки эффективной методики оперативного лечения этих повреждений.

### Материалы и методы

Для теоретических исследований механических аспектов пластинчатого остеосинтеза косого перелома предлагается конечноэлементная модель косого перелома под углом  $45^\circ$  в центральной части большеберцовой кости. Осевой зазор между торцевыми поверхностями фрагментов в месте перелома составляет 1,5 мм. Для каждого из двух сопоставляемых способов фиксации созданы модели с шестью и восемью кортикальными шурупами, как было принято при рассмотрении поперечного перелома. При косой линии излома имеется возможность предварительной стабилизации фрагментов репозиционным шурупом. Это значительно усиливает жесткость фиксации. Изучение влияния такого остеосинтеза на микроподвижность фрагментов, напряжение пластин, шурупов, кости представляет большой интерес. Моделирование такой ситуации мы включили в наше исследование. Упомянутые модели показаны на рис. 1 и 2.

Характер закрепления и нагружения моделей полностью соответствует рассмотренному выше случаю поперечного перелома. Следует иметь в

© Билинский П.И., Чаплинский В.П., Андрейчин В.А., 2013

© «Травма», 2013

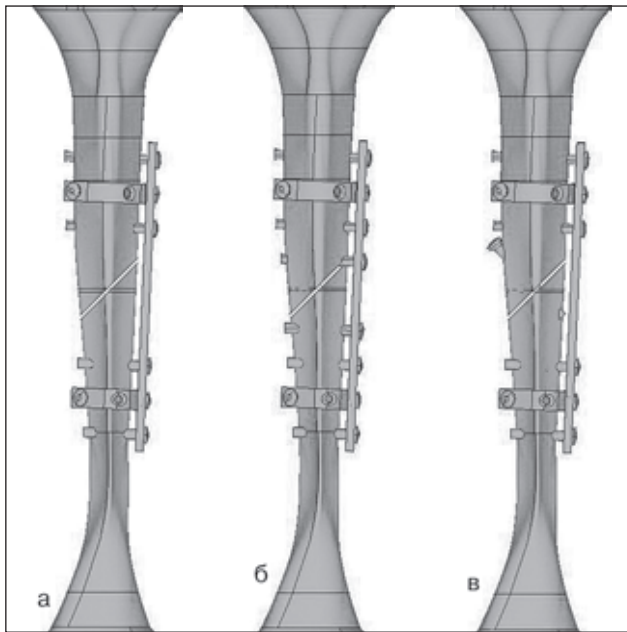
© Заславский А.Ю., 2013

виду, что при отсутствии соприкосновения фрагментов кости в месте перелома передача нагрузки осуществляется только посредством фиксатора. Это означает, что форма перелома (поперечный, косой и т.д.) в данном случае никак не влияет на взаимную подвижность фрагментов и напряженное состояние фиксатора. Поэтому особенности фиксации, обусловленные наличием косого перелома, могут быть обнаружены только при рассмотрении контактных задач, т.е. когда нагрузка приводит к соприкосновению фрагментов кости в месте перелома. Указанная оговорка не распространяется на модели с репозиционным шурупом (см. рис. 1в и 2в), поскольку они не имеют аналогов при поперечном переломе. Кроме того, как показано ниже, репозиционный шуруп существенно ограничивает подвижность фрагментов кости в зоне перелома и препятствует их соприкосновению при заданном уровне внешних нагрузок.

Поэтому изучение упомянутых моделей (в дальнейшем для краткости именуемых моделями с 7 шурупами) не требует рассмотрения контактных задач.

Контактные пары, созданные на торцевых поверхностях фрагментов в месте перелома, показаны на рис. 3, при этом для вариантов малоконтактной и полноконтактной фиксации они полностью идентичны.

Участок модели в зоне перелома и его деформированное состояние при действии осевого сжатия и поперечной нагрузки для двух способов фиксации с использованием различного числа шурупов показаны на рис. 4–6 (вид сбоку).



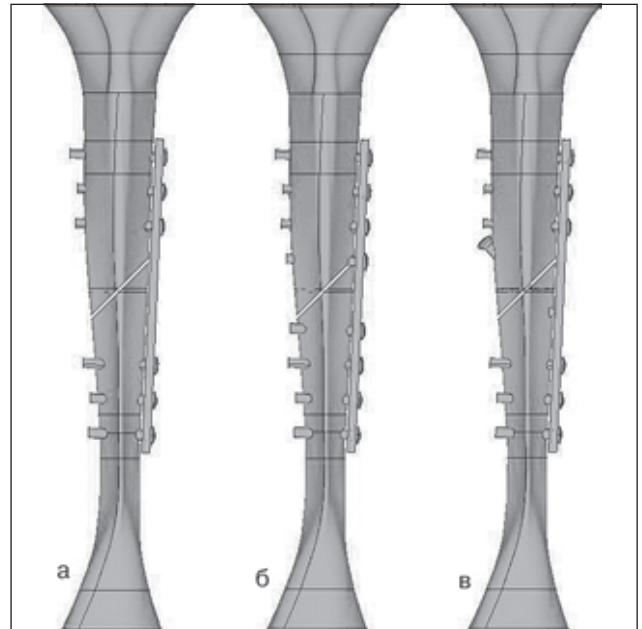
**Рисунок 1. Модели малоконтактной фиксации косого перелома: а — 6 шурупами; б — 8 шурупами; в — с репозиционным шурупом в месте перелома**

## Результаты и обсуждение

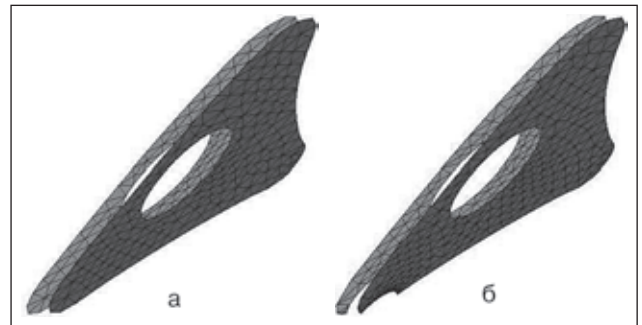
Ниже приведены некоторые результаты для случая осевого сжатия силой  $F_x = 800$  Н. В частности, найдены поля контактных давлений ( $P_a$ ) при двух способах фиксации. Практика показала явную не состоятельность фиксации ПОП 6 шурупами, поэтому данных по такой фиксации мы не предоставляем. Относительные перемещения точек на торцевых поверхностях фрагментов при фиксации 8 и 7 шурупами содержатся в табл. 1, 2.

Согласно приведенным данным, при использовании восьми шурупов большая взаимная подвижность фрагментов вдоль осей  $x$  и  $y$  имеет место в основном при малоконтактной фиксации; в направлении  $z$  относительные смещения меньше, при малоконтактной фиксации они сравнительно невелики.

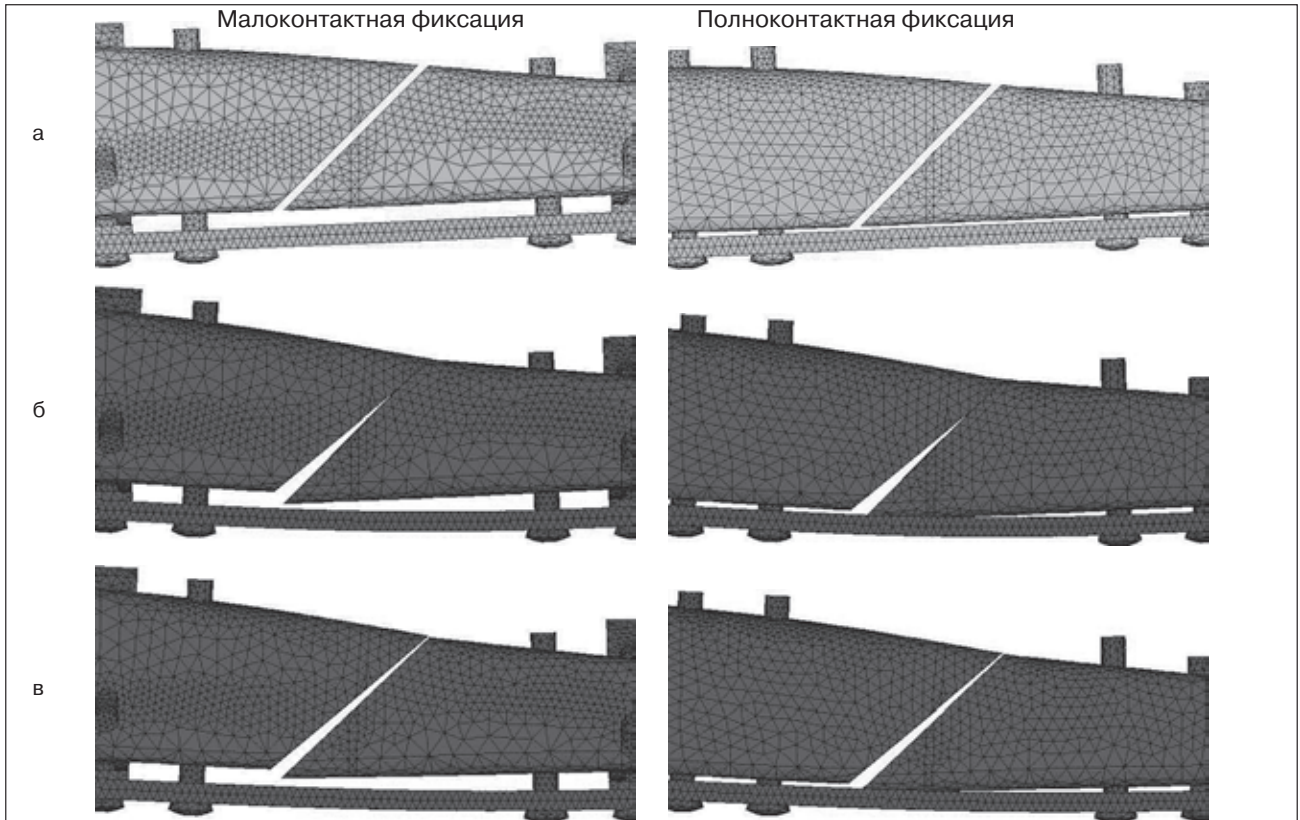
Наличие добавочного шурупа в месте перелома, как следует из табл. 2, заметно снижает взаимную



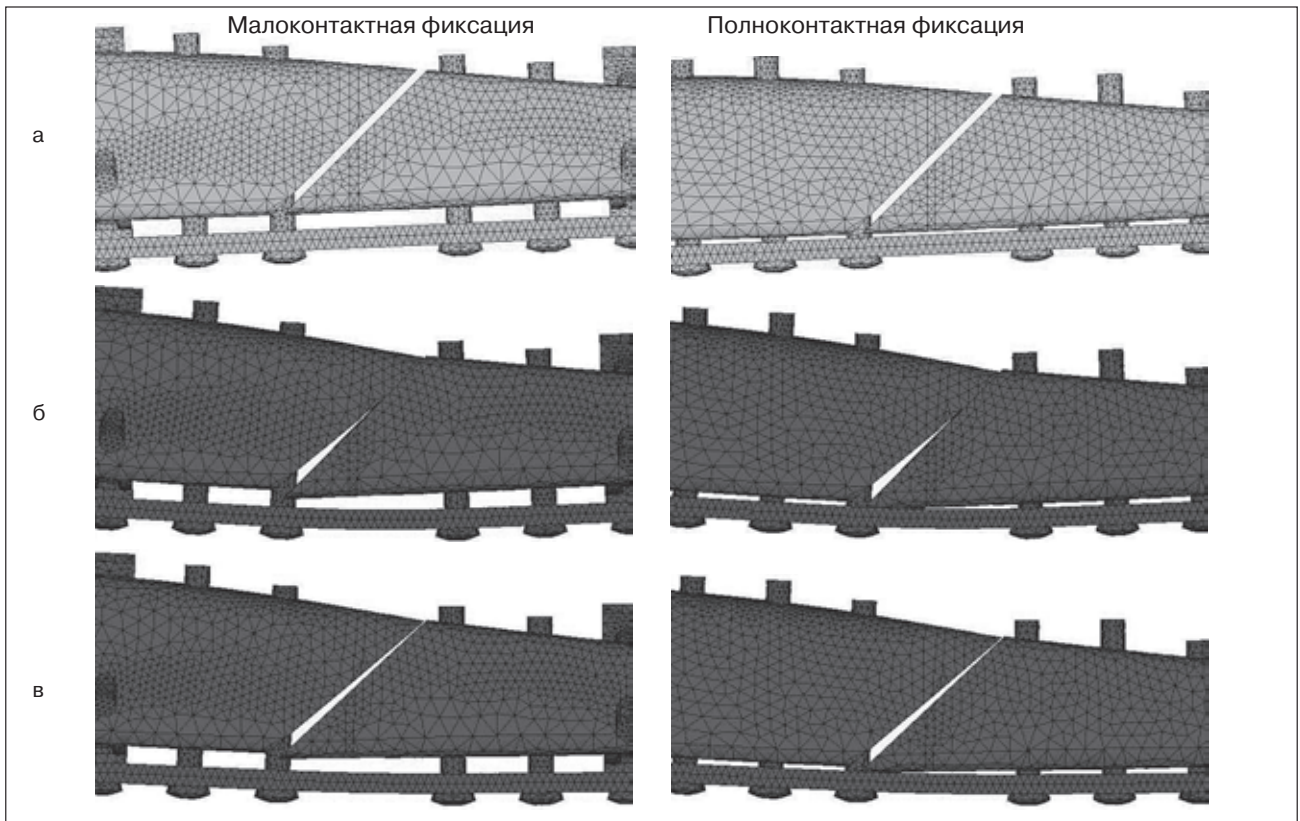
**Рисунок 2. Модели полноконтактной фиксации косого перелома: а — 6 шурупами; б — 8 шурупами; в — с репозиционным шурупом в месте перелома**



**Рисунок 3. Контактные пары в моделях остеосинтеза косого перелома: а — 6 шурупами; б — 8 шурупами**



**Рисунок 4.** Зона косо́го перелома при фиксации 6 шурупами: а — исходная конфигурация; б — осевое сжатие силой  $F_x = 800 \text{ Н}$ ; в — изгиб силой  $F_y = 100 \text{ Н}$



**Рисунок 5.** Зона косо́го перелома при фиксации 8 шурупами: а — исходная конфигурация; б — осевое сжатие силой  $F_x = 800 \text{ Н}$ ; в — изгиб силой  $F_y = 100 \text{ Н}$

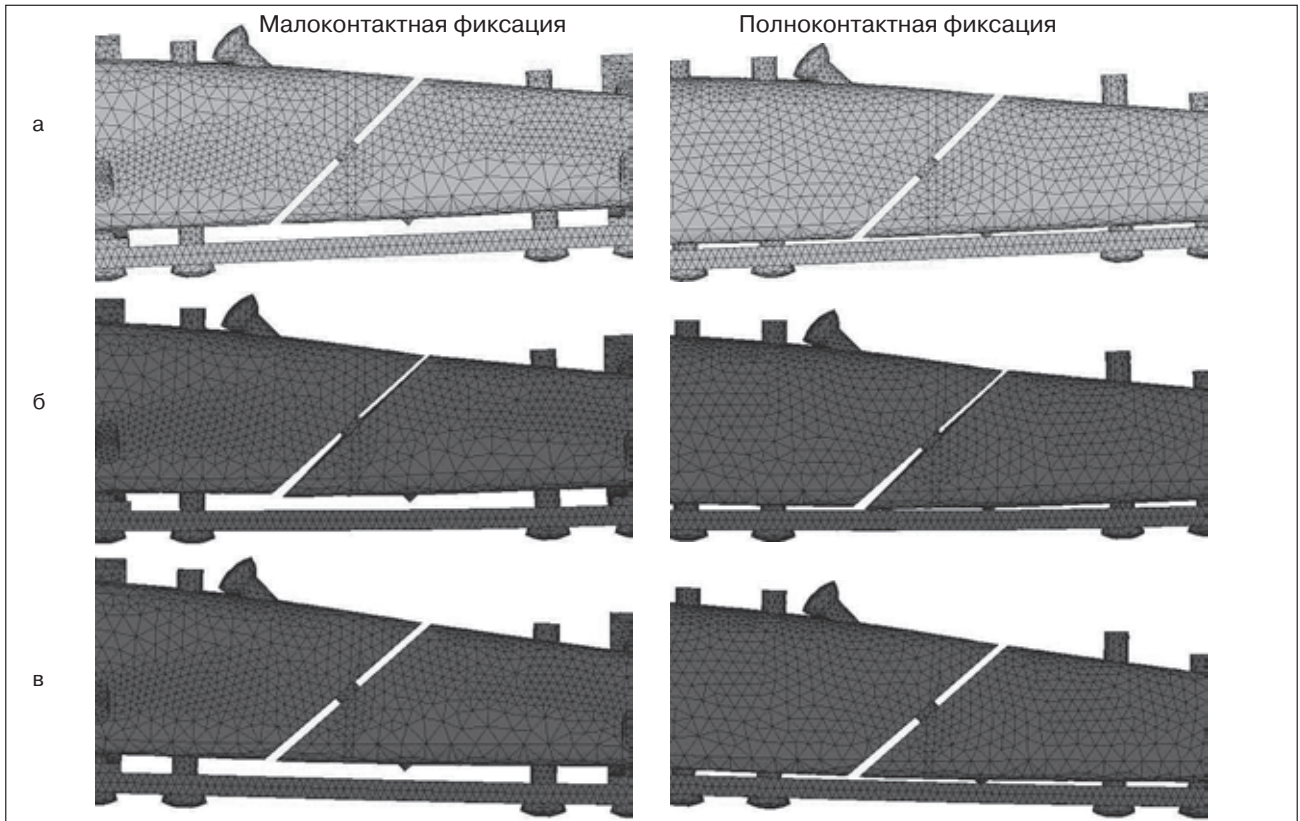


Рисунок 6. Зона косо́го перелома при фиксации 7 шурупами: а – исходная конфигурация; б – осевое сжатие силой  $F_x = 800 \text{ Н}$ ; в – изгиб силой  $F_y = 100 \text{ Н}$

Таблица 1. Взаимное смещение фрагментов при осевом сжатии силой  $F_x = 800 \text{ Н}$ , фиксация 8 шурупами

Точка на поверхности	Способ фиксации					
	малоконтактный			полноконтактный		
	$\Delta u_x, \text{ мм}$	$\Delta u_y, \text{ мм}$	$\Delta u_z, \text{ мм}$	$\Delta u_x, \text{ мм}$	$\Delta u_y, \text{ мм}$	$\Delta u_z, \text{ мм}$
a	0,9893	0,3302	0,0324	0,8675	0,2884	0,0333
b	1,7671	-0,3852	0,0190	1,6658	-0,4808	0,0227
c	1,1441	0,2078	0,0330	1,0233	0,1566	0,0348
d	0,2393	1,0949	0,0482	0,1119	1,0600	0,0500

Таблица 2. Взаимное смещение фрагментов при осевом сжатии силой  $F_x = 800 \text{ Н}$ , фиксация 7 шурупами

Точка на поверхности	Способ фиксации					
	малоконтактный			полноконтактный		
	$\Delta u_x, \text{ мм}$	$\Delta u_y, \text{ мм}$	$\Delta u_z, \text{ мм}$	$\Delta u_x, \text{ мм}$	$\Delta u_y, \text{ мм}$	$\Delta u_z, \text{ мм}$
a	0,0328	0,0821	0,0223	0,0348	0,0831	0,0230
b	0,1647	-0,0232	0,0078	0,1648	-0,0308	0,0080
c	0,0830	0,0508	0,0184	0,0846	0,0510	0,0188
d	0,0140	0,1163	0,0364	0,0152	0,1223	0,0369

подвижность фрагментов вдоль осей  $x$  и  $y$ , при этом оба способа фиксации обнаруживают довольно близкие показатели. Малоконтактная фиксация во всех точках по 3 осям имеет значительные преимущества.

Поля интенсивностей напряжений в планке для рассматриваемого случая нагружения и двух способов фиксации приведены в табл. 3, 4.

Как видно из табл. 1–3, малоконтактная фиксация обеспечивает более низкий уровень напряжений в пластине при использовании шести либо восьми шурупов. При меньшем количестве шурупов на них падает значительная часть напряжения. Наличие добавочного репозиционного шурупа (табл. 4) существенно снижает нагрузку на планку, шурупы и центральную часть кости. Если сравнивать фиксацию 8 шурупами с вариантом 6 шурупами, то наблюдается перераспределение нагрузки, когда большая ее часть воспринимается фиксатором с локализацией области наибольших напряжений вблизи свободных отверстий планки, а меньшая доля приходится на кость.

Следующим вариантом нагружения синтезированной кости является изгиб перпендикулярно плоскости планки поперечной нагрузкой  $F_y = 100$  Н. Согласно полученным данным, фиксация 8 шурупами по сравнению с вариантом с 6 шурупами

увеличивает жесткость соединения, что выглядит вполне очевидным. Добавочный репозиционный шуруп минимизирует взаимную подвижность фрагментов. При этом ММФ обеспечивает более жесткую фиксацию по сравнению с ПОП.

Изучение полей интенсивностей напряжений в пластинах для рассматриваемого случая нагружения двух способов фиксации перелома показало, что при полноконтактной фиксации пластина и шурупы подвержены большей нагрузке по сравнению с малоконтактной фиксацией, при этом наибольшие напряжения в пластине превышают предел текучести для вариантов с шестью и восемью шурупами. Добавочный шуруп в месте перелома заметно разгружает пластину. Центральная часть кости при использовании репозиционного шурупа и ММФ испытывает меньшее напряжение.

Изучение варианта нагружения синтезированной кости — изгиба в плоскости пластины при действии поперечной нагрузки  $F_z = 100$  Н показало, что после стабилизации фрагментов репозиционным шурупом малоконтактная фиксация обеспечивает сравнительно большую жесткость. Следует отметить меньшее напряжение центральной части кости и шурупов, что создает оптимальные условия для репаративной регенерации.

**Таблица 3. Напряженное состояние составных частей модели синтезированной кости при осевом сжатии силой  $F_x = 800$  Н, фиксация 8 шурупами**

Характеристика напряженного состояния	$\sigma_{i\max}$ , Па	
	Малоконтактный	Полноконтактный
Способ фиксации		
Пластина	$0,91490 \cdot 10^9$	$0,10389 \cdot 10^{10}$ (+14 %)
Шурупы	$0,53892 \cdot 10^9$	$0,59383 \cdot 10^9$ (+10 %)
Полукольца	$0,39035 \cdot 10^8$	–
Винты	$0,13205 \cdot 10^8$	–
Центральная зона кости	$0,53930 \cdot 10^8$	$0,55674 \cdot 10^8$ (–31 %)
Краевые зоны кости	$0,85163 \cdot 10^7$	$0,75606 \cdot 10^7$ (–11 %)

**Таблица 4. Напряженное состояние составных частей модели синтезированной кости при осевом сжатии силой  $F_x = 800$  Н, фиксация 7 шурупами**

Характеристика напряженного состояния	$\sigma_{i\max}$ , Па	
	Малоконтактный	Полноконтактный
Способ фиксации		
Пластина	$0,90163 \cdot 10^9$	$0,99619 \cdot 10^9$ (–17 %)
Шурупы	$0,41887 \cdot 10^9$	$0,42058 \cdot 10^9$ (+0 %)
Полукольца	$0,87986 \cdot 10^8$	–
Винты	$0,17229 \cdot 10^8$	–
Центральная зона кости	$0,13071 \cdot 10^9$	$0,13835 \cdot 10^9$ (+6 %)
Краевые зоны кости	$0,10086 \cdot 10^8$	$0,90675 \cdot 10^7$ (–10 %)

Таблиця 5. Сопоставление по уровню напряжений двух способов фиксации косого перелома 7-ю шурупами

Величина нагрузки	Способ фиксации			
	малоконтактный		полноконтактный	
	Фиксатор	Кость	Фиксатор	Кость
$F_x = 800 \text{ Н}$	■	■	–	–
$F_y = 100 \text{ Н}$	■	■	–	–
$F_z = 100 \text{ Н}$	–	■	■	–

Сравнение полученных данных дает возможность сопоставить два способа фиксации с точки зрения напряженного состояния. Символ «■» означает предпочтительный вариант, т.е. меньший уровень напряжений. Исследования показали, что остеосинтез фрагментов большеберцовой кости контактными пластинами с 6 шурупами не обеспечивает стабильной фиксации. Более предпочтительной при косых переломах является фиксация 8 шурупами, особенно для ПОП. Наличие репозиционного шурупа значительно улучшает условия репаративной регенерации (табл. 5).

Репозиционный шуруп улучшает фиксационные возможности ММФ, создает условия для первичного сращения фрагментов при косой линии излома. Полученные теоретические данные о микрорухомости фрагментов, уровне напряжения пластины, шурупов, кости при разных способах фиксации дают возможность разработать эффективную методику ММО косых переломов большеберцовой кости, а также предложить наиболее оптимальную конструкцию фиксатора для его реализации.

## Заключение

Таким образом, для косого перелома большеберцовой кости малоконтактный способ остеосинтеза после фиксации фрагментов репозиционным шурупом представляется более выгодным и перспективным по сравнению с традиционным полноконтактным. Установка контактной пластины при наличии репозиционного шурупа порой является очень проблематичной. Остеосинтез ММФ исключает такие проблемы.

## Список литературы

1. Битчук Д.Д. Экспериментально-математическое обоснование малоконтактного кортикального остеосинтеза при поперечных диафизарных переломах большеберцовой кости: Автореф. дис... канд. мед. наук: спец. 14.01.21 «травматология и ортопедия» / Дмитрий Денисович Битчук. — Харьков, 2007. — 27 с.
2. Корж М.О. Теоретичне дослідження мікрорухомості фрагментів кістки та напруженого стану пластини при малоконтактному і повноконтактному остеосинтезі / М.О. Корж, П.І. Білінський // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2004. — № 1. — С. 25-29.

Получено 18.07.13 □

Білінський П.І., Чаплинський В.П., Андрейчин В.А.  
Національна академія післядипломної освіти  
ім. П.Л. Шупика, м. Київ  
Самбірська центральна районна лікарня  
Івано-Франківський національний медичний  
університет

### ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ БІОМЕХАНІЧНИХ АСПЕКТІВ ОСТЕОСИНТЕЗУ ПРИ КОСОМУ ПЕРЕЛОМІ ВЕЛИКОГОМІЛКОВОЇ КІСТКИ КОНТАКТНИМИ ТА МАЛОКОНТАКТНИМИ ПЛАСТИНАМИ (повідомлення друге)

**Резюме.** Представлені результати комп'ютерного моделювання контактної та малоконтактної багатоплощинної остеосинтезу (МБО) косого перелому великогомілкової кістки. Аналізувалася величина мікрорухомості фрагментів, напруження пластины, шурупів і кістки при фізіологічному навантаженні. Дослідження показали, що після попередньої фіксації уламків репозиційним шурупом МБО забезпечує найкращі умови для репаративної регенерації.

**Ключові слова:** косий перелом, великогомілкова кістка, контактний і малоконтактний остеосинтез, метод кінцевих елементів.

Bilinsky P.I., Chaplinsky V.P., Andreychin V.A.  
National Medical Academy of Postgraduate Education  
named after P.L. Shupik, Kyiv  
Sambor Central Regional Hospital  
Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk,  
Ukraine

### THEORETICAL ANALYSIS OF BIOCHEMICAL ASPECTS OF OSTEOSYNTHESIS BY CONTACT AND LOW-CONTACT PLATES IN OBLIQUE FRACTURE OF TIBIA (The Second Report)

**Summary.** The results of computer simulation of contact and low-contact multiplanar fixation (MPF) of oblique fracture of the tibia are given. We had analyzed the value of micromobility of fragments, tension of the plates, screws and bone during physiological load. Studies have shown that after preliminary fixation of bone fragments with reposition screw MPF provides the best conditions for reparative regeneration.

**Key words:** oblique fracture, tibia, contact and low-contact fixation, finite element method.