

УДК 616.717.4-001.5-089.22

© Науменко Л.Ю., Носивец Д.С., 2010

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ФИКСАЦИИ ПЕРЕЛОМОВ ДИСТАЛЬНОГО МЕТАЭПИФИЗА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

Науменко Л.Ю., Носивец Д.С.*

*Днепропетровская государственная медицинская академия; *ЗАО «Научно-медицинский центр» «Клиника семейной медицины»*

Науменко Л.Ю., Носивец Д.С. Моделирование напряженно-деформированного stanu при фиксации переломов дистального метаэпифиза плечевой кисти // Украинский морфологический альманах. – 2010. – Том 8, №3. – С. 89-92.

Авторами статьи выполнено моделирование напряженно-деформированного stanu при різних способах фиксации переломов дистального метаэпифиза плечевой кисти за допомогою математического моделирования и метода конечных элементов. На підставі міжнародної класифікації переломів групи АО/ASIF змодельовані шість типів переломів (типи 13A1; 13A2; 13A3; 13B1; 13C1 та 13C3), на яких виконано моделювання фіксації відламків спицями, гвинтами, пластинами, апаратом Г.А.Ілізарова і методом комбінованого остеосинтезу. На підставі проведених розрахунків визначені показання до вибору способу фіксації та доведені переваги накісткового і комбінованого остеосинтезу.

Ключові слова: плечова кістка, переломи, моделювання.

Науменко Л.Ю., Носивец Д.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния при фиксации переломов дистального метаэпифиза плечевой кости // Украинский морфологический альманах. – 2010. – Том 8, №3. – С. 89-92.

Авторами статьи выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния при различных способах фиксации переломов дистального метаэпифиза плечевой кости при помощи математического моделирования и метода конечных элементов. На основании международной классификации переломов группы АО/ASIF смоделировано шесть типов переломов (типы 13A1; 13A2; 13A3; 13B1; 13C1 и 13C3), на которых выполнено моделирование фиксации отломков спицами, винтами, пластинами, аппаратом Г.А.Илизарова и методом комбинированного остеосинтеза. На основании проведенных расчетов определены показания к выбору способа фиксации и доказаны преимущества на костного и комбинированного остеосинтеза.

Ключевые слова: плечевая кость, переломи, моделирование.

Naumenko L.Yu., Nosivets D.S. Design of the tensely-deformed state during fixing of distal humerus fractures // Украинский морфологический альманах. – 2010. – Том 8, №3. – С. 89-92.

By the authors of the article has been performed the modeling of the tensely-deformed state for different methods of fixing distal humerus fractures through the mathematical design and method of eventual elements. On the basis of international fractures classification by the AO/ASIF group six types of fractures (types 13A1; 13A2; 13A3; 13B1; 13C1 and 13C3) were modeled, on which the design fixing of fractures by pins, screws, plates, external fixation by the G.A.Ilizarov and method of combined osteosynthesis was performed. On the basis of the conducted calculations are certain to the choice of method of fixing and advantages of plate fixation and combined osteosynthesis.

Key words: humerus, fractures, design.

Несмотря на постоянное усовершенствование технологий оперативных вмешательств «творческий» подход травматологов при выборе способа фиксации фрагментов перелома привел к тому, что хирургическое лечение переломов дистального метаэпифиза плечевой кости (ДМПК) в 18-85% случаев приводит к неудовлетворительным результатам, а каждый пятый пациент становится инвалидом. При этом, несмотря на фиксацию фрагментов перелома, 10-18% осложнений обусловлено необходимостью длительной иммобилизации локтевого сустава (ЛС) из-за которой в 15,2-20,5% развиваются контрактуры, анкилозы и параартикулярные оссификаты [3,4,7-12,16,19,22,25,26].

Цель работы – выполнить моделирование напряженно-деформированного состояния при различных способах фиксации переломов ДМПК для определения показаний и противопоказаний к ним.

Материал и методы. Для изучения распределения напряженно-деформированного состо-

яния (НДС) в элементах костной ткани проведен математический эксперимент, который состоял из двух этапов:

1. определение величины внешних нагрузок, воздействующих на ДМПК путем решения задачи кинематики и кинестатики;
2. определение особенностей НДС элемента «кость – инородное тело – кость» путем оценки уровня напряжений в костной ткани ДМПК.

В задачах использовались усредненные данные о физических характеристиках материала костной ткани. Модуль упругости (модуль Юнга) кортикального слоя кости принимался равным 785 КПа, предельно допустимое напряжение – 240 КПа, коэффициент Пуассона – 0.48. Для спонгиозной костной ткани модуль упругости полагался равным 380 КПа.

Первый этап реализации математической модели заключался в решении механических задач кинематики и кинестатики с целью определения величины нагрузки, действующей на ДМПК в момент приложения к дистальному

отделу предплечья внешних усилий. Основная сложность первого этапа заключалась в переходе от найденных обобщенных усилий к конкретному виду их распределения, что было сделано при решении известной в механике задачи Герца. Определение нагрузок проводилось с помощью уравнений равновесия различных подсистем костей верхней конечности, выделяемых из полной системы с помощью сечений, проводимых через ДМПК. Геометрические параметры системы определялись прямым измерением на рентгенограммах нагруженных костей верхней конечности. Рентгенограммы были выполнены при функциональной нагрузке 20Н, созданной приложением силы к дистальному отделу предплечья. Из решения задачи кинематики и кинестатики многосвязного механизма установлено, что в зоне ЛС действует растягивающее усилие с результирующей 80-90Н.

Второй этап математической модели был наиболее сложен и важен. Ядро математической модели на этом этапе представлено методом конечных элементов (МКЭ). С использованием современных приемов программирования результирующее распределение было представлено в удобном для анализа напряжений графическом виде при помощи специально разработанного для данного исследования программного комплекса, который был проверен на ряде тестовых задач механики, имеющих известные решения, а также на ряде экспериментальных исследований задач биомеханики с использованием голографической интерферометрии. Объектом исследования на втором этапе была система «кость – инородное тело – кость». Под инородным телом подразумевалась совокупность технологических элементов, используемых для фиксации фрагментов перелома ДМПК – спицы, винты, пластины, аппарат Г.А.Илизарова, комбинированный остеосинтез [1,2,5,6,13-15,17,18,20,21,23,24]. При этом с точки зрения механики фиксация спицами и винтами рассматривалась как однотипный способ фиксации. В случае простого перелома ДМПК без смещения фрагментов из указанной комбинации исключался элемент «инородное тело», т.е. комбинация записывалась в виде «кость-кость». Объект исследовался в какой-либо выделенный момент своего движения, при этом считалось, что все его составляющие (элементы кости и инородного тела) в этот момент неподвижны относительно друг друга, т.е. задача, рассматривалась как квазистатическая и при необходимости рассмотрения всего движения рассматривалась серия таких моментов.

На основании международной классификации переломов группы АО/ASIF смоделировано шесть типов переломов ДМПК (рис.1), на которых в последующем выполнено моделирование фиксации отломков четырьмя различными способами. Рассматривались способы фиксации фрагментов перелома ДМПК спицами-винтами, пластинами, аппаратом Г.А.Илизарова и методом комбинированного остеосинтеза [1,2,5,6,13-15,17,18,20,21,23,24].

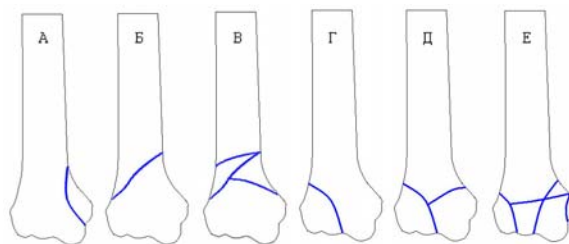


Рисунок 1. Модели переломов ДМПК во фронтальном сечении согласно классификации группы АО/ASIF: А – тип 13А1; Б – тип 13А2; В – тип 13А3; Г – тип 13В1; Д – тип 13С1; Е – тип 13С3.

Результаты и их обсуждение. На рис.2 представлены поля напряжений по четвертой теории прочности, возникающие при фиксации перелома типа 13С1 спицами-винтами, пластинами, аппаратом Г.А.Илизарова и методом комбинированного остеосинтеза.

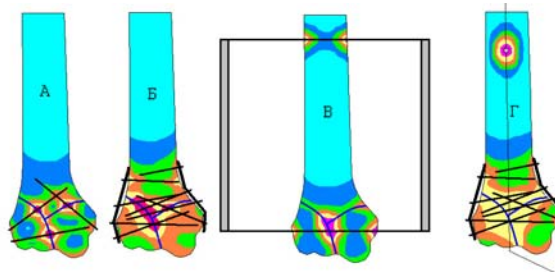


Рисунок 2. Поля напряжений по четвертой теории прочности, возникающие при фиксации перелома типа 13С1: А – спицами-винтами; Б – пластинами; В – аппаратом Г.А. Илизарова; Г – способом комбинированного остеосинтеза.

При анализе силовых полей отмечены невысокие всплески напряжений вблизи фиксирующих элементов при фиксации пластинами и способом комбинированного остеосинтеза с быстрым затуханием в направлении основного массива кости. Максимальные напряжения не превышают предельно допустимых значений. Выделяются случаи с применением спиц-винтов и аппарата Г.А. Илизарова – фиксаторы, проведенные через отломки костной ткани, препятствуют плотному контакту с основным массивом кости, что приводит к низким напряжениям, т.е. кость практически разгружена. Столь низкое усилие соприкосновения отломков кости может привести к их смещению и длительному процессу консолидации.

Обобщая проведенные расчеты по анализу НДС в системе «кость – инородное тело – кость», можно сделать следующие выводы:

- распределение НДС в костном материале быстро затухает по мере удаления от зоны контактного взаимодействия отломков. Как правило, на расстоянии 1-1,5 диаметра кости напряженное состояние становится практически однородным;
- способы фиксации отломков с использованием пластин и комбинированного остеосинтеза, близки между собой по принципу механиче-

ского действия и создают достаточное усилие сжатия отломков с основным массивом кости и между собой;

- в расчетных случаях с применением пластин и комбинированного остеосинтеза максимальные напряжения не превышали уровня предельно допустимых напряжений, что говорит о приемлемости рассмотренных способов фиксации;
- использование для фиксации спиц, винтов и аппарата Г.А.Илизарова при переломах с наличием большого количества костных фрагментов приводит к снижению плотности прилегания отломков к массиву кости, что может приводить к смещению отломков и/или увеличению длительности процесса консолидации;
- представленные результаты справедливы только для начального послеоперационного периода, поскольку костный материал обладает высоким значением показателя релаксации, то уже через сутки уровень напряжений в кости в значительной мере снизится. Иначе говоря, полученное распределение напряжений допустимо воспринимать в качестве верхней оценки для возможных напряжений в системе «кость – инородное тело – кость», включая период последующей реабилитации.

Выводы:

1. Сравнительное биомеханическое моделирование напряженно-деформированного состояния при различных способах фиксации переломов ДМПК свидетельствует о преимуществах накостного и комбинированного остеосинтеза.
2. Показаниями для гипсовой иммобилизации являются внутрисуставные переломы без смещения или внесуставные переломы со смещением фрагментов до 2 мм с перспективой консолидации в течение 4 недель.
3. Метод постоянного скелетного вытяжения имеет ограниченное применение вследствие трудности восстановления конгруэнтности суставной поверхности и показан при надмыщелковых переломах ДМПК типа 13А2.
4. Показаниями для фиксации фрагментов перелома спицами являются переломы типа 13А1; 13В1-В3.
5. Показаниями для остеосинтеза винтами являются переломы типа 13А1; 13А2; 13В1-В3.
6. Показаниями для остеосинтеза пластиной являются переломы типа 13А1-А3; 13В1; 13В2; 13С1-С3.
7. Применение аппарата Г.А. Илизарова с моноцентрическим шарниром связано с неполным воспроизведением сгибательно-разгибательных и просупинационных движений в ЛС и трудностями восстановления конгруэнтности суставной поверхности при многооскольчатых переломах поэтому показаниями для его применения считаем переломы типа 13А1; 13А2; 13В1; 13В2; 13С1; 13С2.
8. Показаниями для комбинированного остеосинтеза являются переломы всех типов и необходимость дополнительной фиксации для ранней мобилизации локтевого сустава при недо-

статочной стабильности остеосинтеза спицами, винтами и пластинами.

9. Методом выбора при переломах ДМПК являются фиксация пластинами и комбинированный остеосинтез вследствие возможности анатомической репозиции, стабильной фиксации фрагментов перелома и ранней мобилизации локтевого сустава в послеоперационном периоде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Декларацийний патент на корисну модель № 11631 У Україна, МПК А 61 В 17/94. Апарат для оперативного лікування контрактур ліктьового суглоба [Текст] / Науменко Л.Ю., Бойко І.В., Носівець Д.С., Ліфаренко Є.Л., Нестеренко С.О.; заяв. 28.02.2005; опуб. 16.01.2006; Бюл. № 1.
2. Декларацийний патент на корисну модель № 8412 У Україна, МПК А 61 В 17/56. Спосіб оперативного лікування контрактур ліктьового суглоба [Текст] / Бойко І.В., Науменко Л.Ю., Носівець Д.С.; заяв. 04.10.2004; опуб. 15.08.2005; Бюл. № 8.
3. Дергачов, В.В. Лікування переломів дистального епіметафіза плечової кістки стержневими апаратами [Текст]: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.01.21 / Дергачов Віталій Вікторович – Харків, 2005. – 15 с.
4. Носівець, Д.С. Сучасні підходи до реабілітації хворих з переломами дистального метаепіфіза плечової кістки (огляд літератури) [Текст] / Д.С.Носівець, І.В.Бойко, Л.Ю.Науменко // Вісн. ортоп., травматол. протез. – 2009. – №1. – С.71-74.
5. Спосіб комбінованого остеосинтезу при переломах дистального метаепіфізу плечової кістки [Текст]: інформаційний лист / Л.Ю.Науменко, І.В.Бойко, Д.С.Носівець // Український державний НДІ медико-соціальних проблем інвалідності МОЗ України. – Київ, 2009. – №237. – 4 с.
6. Бойко, І.В. Сравнительный анализ напряжений при различных вариантах системы «кость-аппарат внешней фиксации» в области локтевого сустава [Текст] / И.В.Бойко, О.С.Раджабов, Д.С.Носивец // Запорож. мед. журн. – 2006. – Т.2, № 5(38). – С.26-32.
7. Горшун, Д.Е. Профилактика осложнений после функционально-восстановительных операций на локтевом суставе [Текст]: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.22 / Горшун Дмитрий Евгеньевич – Нижний Новгород, 2007. – 23 с.
8. Зоря, В.И. Повреждения локтевого сустава [Текст] / В.И. Зоря, А.В. Бабовников. – М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2010. – 464 с.
9. Морозов, Д.С. Лечение внутрисуставных переломов дистального отдела плечевой кости [Текст]: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.22 / Морозов Дмитрий Сергеевич – Москва, 2009. – 22 с.
10. Науменко, Л. Ю. Программа медицинской

- реабилитации при переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Комплексная реабилитация: наука и практика. – 2010. – №2. – С.26-34.
11. Науменко, Л.Ю. Анализ ошибок и осложнений при лечении переломов дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Вісн. ортоп., травматол. протез. – 2009. – №3. – С.79-83.
12. Науменко, Л.Ю. Индивидуальная программа медицинской реабилитации при полных внутрисуставных переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Укр. журн. екстрем. мед. ім. Г.О. Можасва. – 2009. – Т.10, №2. – С.75-78.
13. Науменко, Л.Ю. Моделирование движений в локтевом суставе в одноплоскостном аппарате внешней фиксации с шаровым шарниром [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: Тезисы VI Международной конференции. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2009. – 236 с. – С.47-48.
14. Науменко, Л.Ю. Оперативное лечение пациентов с переломами дистального метаэпифиза плечевой кости методом комбинированного остеосинтеза [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Травматол. ортоп. России. – 2009. – №1. – С.16-20.
15. Науменко, Л.Ю. Преимущества одноплоскостного аппарата внешней фиксации с шаровым шарниром в лечении пациентов с полными внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Гений ортопедии. – 2009. – №2. – С.114-120.
16. Науменко, Л.Ю. Сравнительная характеристика методов оперативного лечения при переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Травма. – 2009. – Т.10, №3. – С.301-307.
17. Науменко, Л.Ю. Сравнительный анализ напряжений при различных вариантах системы «кость-шарнирный одноплоскостной аппарат внешней фиксации» в области локтевого сустава [Текст] / Л.Ю. Науменко, И.В. Бойко, Д.С. Носивец, О.С. Раджабов // Ортопед. травматол. – 2007. – № 1. – С.39-43.
18. Науменко, Л.Ю. Сравнительный анализ результатов моделирования разгибания предплечья в локтевом суставе при наличии одноплоскостных аппаратов внешней фиксации [Текст] / Л.Ю. Науменко, Д.С. Носивец // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: Тезисы VI Международной конференции. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2009. – 236 с. – С.46-47.
19. Носивец, Д.С. Индивидуальная программа реабилитации при переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Дмитрий Сергеевич Носивец // Материалы III Всероссийской конференции молодых ученых, организованной Воронежской государственной медицинской академией им. Н.Н. Бурденко и Курским государственным медицинским университетом / под ред. проф. И.Э. Есауленко и проф. В.А. Лазаренко. – Воронеж, 2009. – Т.2. – 319 с. – С.114-117.
20. Носивец, Д.С. Использование шарнирного аппарата внешней фиксации в лечении пациентов с внутрисуставными переломами дистального отдела плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, И.В. Бойко, Л.Ю. Науменко // Вестн. курортол. физиотер. – 2008. – Т.14, №3. – С.88-90.
21. Носивец, Д.С. Комбинированный остеосинтез в реабилитации пациентов с внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, И.В. Бойко, Л.Ю. Науменко // Ортопед. травматол. – 2008. – № 4. – С.108-111.
22. Носивец, Д.С. Комплексное восстановительное лечение при переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, Л.Ю. Науменко // Ортопед. травматол. – 2009. – №3. – С.43-48.
23. Носивец, Д.С. Преимущества аппарата внешней фиксации с шаровым шарниром при внутрисуставных переломах дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, Л.Ю. Науменко // Травма. – 2008. – Т. 9, № 4. – С.437-441.
24. Носивец, Д.С. Преимущества комбинированного остеосинтеза в лечении пациентов с внутрисуставными переломами дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, Л.Ю. Науменко // Вісн. морськ. мед. – 2009. – №2 (44). – С.108-113.
25. Носивец, Д.С. Хирургическая реабилитация больных с переломами дистального отдела плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, Л.Ю. Науменко // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми реабілітації інвалідів». – Вінниця, 2009. – С.57-62.
26. Носивец, Д.С. Хирургическое лечение больных с переломами дистального метаэпифиза плечевой кости [Текст] / Д.С. Носивец, В.В. Варин, Л.Ю. Науменко // Травма. – 2010. – Т.11, №3. – С.282-287.