УДК 616.71-001.5-90.84:669.295

БЕЛОВ М.Е.[1], ВАСИЛОВ В.М.[2], ДУДКО А.Г.[3], ОЛЕКСЮК И.С.[3], ШАЙКО-ШАЙКОВСКИЙ А.Г.[1]
[1] Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича
[2] Черновицкая областная клиническая больница
[3] Буковинский государственный медицинский университет, г. Черновцы

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ФИКСИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КОРПУСЕ ПЛАСТИНЫ ПРИ НАКОСТНОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ

Резюме. *Рассмотрена методика математического моделирования напряженно-деформированного состояния материала фиксаторов при накостном остеосинтезе с помощью метода конечных элементов, а также пути оптимизации вариантов размещения фиксирующих элементов на корпусе накостного фиксатора для минимизации напряжений, возникающих при взаимодействии костной ткани и фиксирующих винтов. Приведены результаты моделирования для деформации растяжения-сжатия.*

Ключевые слова: *накостный остеосинтез, фиксирующие винты, моделирование.*

Введение

Лечение переломов и повреждений костей опорно-двигательного аппарата вследствие производственного и бытового травматизма, несчастных случаев, техногенных катастроф, спортивного травматизма — важная и актуальная проблема, стоящая перед травматологами. Поиск оптимальных и эффективных путей ее решения невозможен без совместного, комплексного подхода специалистов-медиков, инженеров, конструкторов, материаловедов, специалистов в области биомеханики и сопротивления материалов, математического моделирования.

Одной из основных причин потери трудоспособности и смерти являются травмы, полученные в результате дорожно-транспортных происшествий, ежегодно в мире регистрируют 50 млн пострадавших, 5 млн человек становятся инвалидами, 1,2 млн — гибнут [2].

В современных технологиях лечения все чаще используют оперативные способы лечения, которые гораздо более эффективны, чем консервативные, при которых пострадавшие вынуждены в течение нескольких недель (а в особо тяжелых случаях — и нескольких месяцев и даже лет) находиться в обездвиженном состоянии на больничной койке [2]. Как известно, в современных условиях значительная часть травматологических больных лечится оперативным путем [3].

Материалы и методы

Среди известных видов внутреннего и внешнего остеосинтеза наиболее доступным и распространенным видом является накостный остеосинтез, при котором отломки и фрагменты поврежденной кости фиксируются и скрепляются с помощью специальных накостных пластин. При проведении статического, компрессионного или динамического остеосинтеза в зависимости от типа и вида перелома, его сложности и расположения (косые, винтовые, поперечные, оскольчатые, диафизарные, метафизарные) требуется использование соответствующей накостной фиксирующей конструкции (плоской, двухплоскостной, угловой пластины).

Иммобилизация костных фрагментов перелома производится с помощью накостного фиксатора (пластины) и фиксирующих элементов (винтов). Правильное размещение фиксирующих винтов на корпусе накостной пластины для достижения надежной фиксации при минимальных напряжениях в местах контакта кости и винтов является важной медицинской и инженерной задачей. Количество их, направление введения и, главным образом, месторасположение до сих пор являются предметом дискуссии среди специалистов-травматологов [3].

© Белов М.Е., Василов В.М., Дудко А.Г., Олексюк И.С., Шайко-Шайковский А.Г., 2014
© «Травма», 2014
© Заславский А.Ю., 2014

В медицинской практике широкое распространение нашли пластины с минимальным контактом, имеющие двенадцать отверстий для проведения фиксирующих винтов. Эти отверстия расположены в шахматном порядке для удобства проведения фиксирующих винтов и создания надежной фиксации элементов биотехнической системы «фиксатор — костные отломки».

Особенно важным является оптимальное расположение фиксирующих винтов при проведении компрессионного или статического остеосинтеза.

В работе с помощью метода конечных элементов и программы Solid Works Simulation Xpress смоделировано и проанализировано напряженно-деформированное состояние материала накостного фиксатора. Конструкция изготовлена из биоинертной стали 12Х18Н9Т. Рассмотрена деформация осевого сжатия усилием 1000 Н, которое учитывает не только максимальный вес пациента, но и возможность возникновения динамических нагрузок при потере равновесия пациентом в процессе ходьбы в реабилитационный период.

Результаты исследования

С помощью специально разработанного алгоритма нами смоделировано последовательное крепление накостных конструкций с помощью 3, 4, 5 и 6 винтов с каждой стороны от линии перелома. Число возможных комбинаций из n элементов (отверстий) по m штук (винтов) определялось по известной из комбинаторики формуле:

$$\tilde{N}_n^m = \frac{A_n^m}{P \cdot m} = \frac{n!}{m! \cdot (n-m)!},$$

где P_n — число перестановок из n элементов; A_m — число размещений из n элементов по m.

Таблица 1. Число возможных комбинаций крепления при использовании разного количества винтов для остеосинтеза

Вариант крепления	Число отверстий n	Число винтов m	Число комбинаций C_n^m
1	6	3	20
2	6	4	15
3	6	5	6
4	6	6	1

Возможное число комбинаций для каждого варианта фиксации и определенного m — числа фиксирующих винтов показано в табл. 1.

Математическое компьютерное моделирование последовательно всех возможных вариантов крепления при разном количестве фиксирующих винтов позволило определить возникающие при этом напряжения, перемещения, деформации и запас прочности материала конструкции накостного фиксатора.

Общий вид накостного фиксатора и номера отверстий, использованных при моделировании, показаны на рис. 1.

Варианты крепления, при которых эти параметры были минимальными, являлись наиболее предпочтительными и оптимальными, а варианты крепления, при которых перечисленные выше параметры были максимальными, следует признать неудачными и нежелательными для практического использования.

В табл. 2 в левой части показаны номера отверстий, при использовании которых достигается оптимальный вариант крепления накостного фиксатора, а в правой части этой таблицы — наименее предпочтительный.

На рис. 2, 3, 4 для удобства анализа и наглядности представлены оптимальные (а) и менее предпочтительные (б) варианты расположения фиксирующих элементов.

Обсуждение результатов

В особо тяжелых случаях, при оскольчатых или раздробленных переломах, для надежности фиксации используются все 6 отверстий для установки фиксирующих элементов.

Аналогичные исследования параметров напряженно-деформированного состояния материала

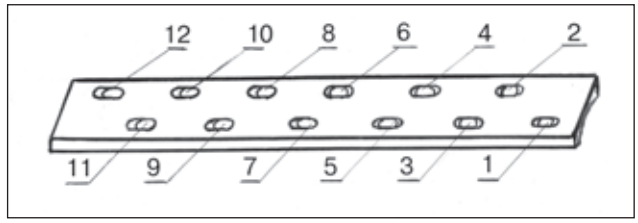

Рисунок 1. Общий вид накостной пластины с номерами отверстий для фиксирующих винтов

Таблица 2. Оптимальный и наименее предпочтительный варианты крепления корпуса накостного фиксатора

Общее число фиксирующих винтов	Оптимальное расположение фиксирующих винтов	Наименее удачное расположение фиксирующих винтов
	Номера винтов	Номера винтов
3	1, 4, 6, 7, 9, 12	2, 4, 6, 7, 9, 11
4	1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 12	2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11
5	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12

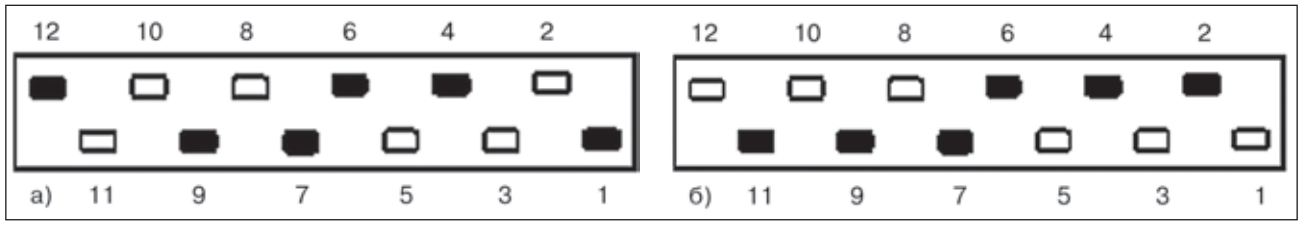

Рисунок 2. Оптимальное (а) и менее предпочтительное (б) размещение фиксирующих винтов в случае использования 3 фиксирующих винтов по одну сторону линии перелома

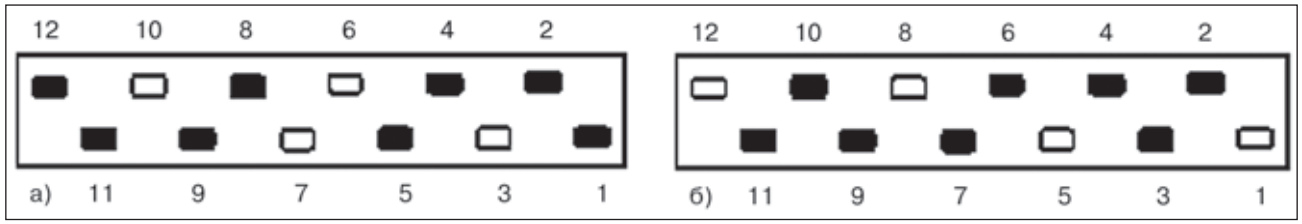

Рисунок 3. Оптимальное (а) и менее предпочтительное (б) размещение фиксирующих винтов в случае использования 4 фиксирующих винтов по одну сторону линии перелома

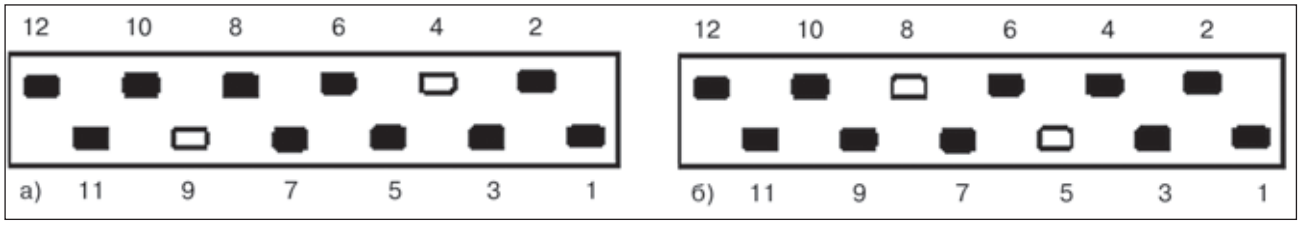

Рисунок 4. Оптимальное (а) и менее предпочтительное (б) размещение фиксирующих винтов в случае использования 5 фиксирующих винтов по одну сторону линии перелома

накостных фиксаторов осуществлены также для деформации кручения и изгиба в 2 плоскостях — фронтальной и сагиттальной.

Во фронтальной плоскости моделирование проведено для двух вариантов изгиба: в медиолатеральном направлении (раскрытия стыка перелома) и латеромедиальном направлении (закрытия стыка). Учет деформаций изгиба в обоих направлениях во фронтальной плоскости очень важен для правильного понимания общей картины накостного остеосинтеза.

Анализ совокупности полученных в результате моделирования данных позволяет выработать практические рекомендации лечащим врачам-травматологам для последующего использования в медицинской практике.

Выводы

1. Предложена методика компьютерного моделирования для оценки параметров напряженно-деформированного состояния материала накостных фиксаторов при разном числе и расположении фиксирующих элементов.

2. Результаты проведенного математического моделирования позволяют выделить наиболее рациональные и наименее удачные варианты расположения фиксирующих элементов при заранее заданном их количестве.

3. Предложенная методика моделирования позволяет выделить оптимальные и наименее удачные варианты расположения фиксирующих элементов при всех видах простых деформаций.

4. Использование принципа суперпозиции позволяет распространить полученные результаты на все виды сложных деформаций.

5. Полученные расчетным путем выводы полностью подтверждаются результатами практической медицинской оперативной деятельности.

Список литературы

1. *Тяжелов О.А. Математичне моделювання діафізарних деформацій довгих кісток / О.А. Тяжелов, Н.Д. Політаєва, К.К. Романенко [та ін.] // Ортопедія, травматологія і протезування. — 2010. — № 3. — С. 61-63.*
2. *Гайко Г.В. Діафізарні переломи в структурі травм опорно-рухової системи у населення України / Г.В. Гайко, А.В. Калашніков, В.А. Боєр [та ін.] // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2006. — № 31. — С. 84-87.*
3. *Романенко К.К. Функции и виды пластин и винтов в современном остеосинтезе / К.К. Романенко, А.И. Белостоцкий, Д.В. Прозоровский, Г.Г. Голка // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2010. — № 1. — С. 68-75.*

Получено 06.05.14

Бєлов М.Є.[1], Васілов В.М.[2], Дудко О.Г.[3], Олексюк І.С.[3], Шайко-Шайковський О.Г. [1]
[1] Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича
[2] Чернівецька обласна клінічна лікарня
[3] Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ФІКСУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КОРПУСІ ПЛАСТИНИ ПРИ НАКІСТКОВОМУ ОСТЕОСИНТЕЗІ

Резюме. Розглянута методика математичного моделювання напружено-деформованого стану матеріалу фіксаторів при накістковому остеосинтезі за допомогою методу скінченних елементів, а також шляхи оптимізації варіантів розташування фіксуючих елементів на корпусі накісткового фіксатора з метою мінімізації напружень, що виникають при взаємодії кісткової тканини і фіксуючих гвинтів. Наведено результати моделювання для деформації розтягування-стискання.

Ключові слова: накістковий остеосинтез, фіксуючі гвинти, моделювання.

Belov M.Ye.[1], Vasilov V.M.[2], Dudko A.G.[3], Oleksyuk I.S.[3], Shaiko-Shaikovsky A.G.[1]
[1]Chernivtsi National University named after Yu. Fedkovich
[2]Chernivtsi Regional Clinical Hospital
[3]Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

METHOD OF COMPUTER-AIDED MODELING AND OPTIMIZATION OF FIXING ELEMENTS LOCATION ON PLATE BODY IN EXTERNAL FIXATION

Summary. There is considered a technique of mathematical modeling of the stress-strain state of fixation device in osteosynthesis using the finite element method, as well as ways to optimize fixing elements location on the body of external plate to minimize the stresses arising from the interaction of bone tissue and fixing screws. Simulation results for the stress-strain deformation are given.

Key words: external fixation, fixing screws, modeling.