

УДК 616.71-001.5-089.2:004.942](045)

Методика компьютерной оптимизации размещения фиксирующих элементов на корпусе наkostной пластины при ротационных воздействиях

А. Г. Шайко-Шайковский¹, М. Е. Белов¹, И. С. Олексюк², А. Г. Дудко²,
Е. И. Бурсук³, Д. К. Леник³, Н. Н. Шваб³

¹ Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича. Украина

² Буковинский государственный медицинский университет, Черновцы. Украина

³ Черновицкая областная клиническая больница. Украина

Objective: To determine the best options for placing of fixing and locking screws on the hull of the plate for fixation of transverse diaphyseal fractures to prevent rotational effects on biomechanical system «bone fragments – extramedullary fixateur». Methods: Using the finite element analysis we evaluated the stress-strain state of material of the fixateur at different options of placing for fixing and locking screws on the hull of the plate, and the value for linear displacements under rotational effects on the biomechanical system. Bust of possible options for placement of screws was conducted with using of mathematical tools of combinatorics. Results: The best options of fixation causing minimal strain in extramedullary plates if using three to five screw mount of each part of the fixateur to the bone fragments were selected. A comparative analysis of calculations in the case of tensile strain-compressing extramedullary fixateur under conditions of osteosynthesis of diaphyseal fractures and use the same amount of screws. General lows for location of the fixing and locking elements of a biomechanical system for strain tensile-compression and torsion allowing to improve the stability and quality of osteosynthesis for the treatment of transverse diaphyseal fractures of long bones have been established. Conclusion: the proposed method of computer simulation for estimation of the parameters of stress-strain state of the plates' material under conditions of varying number and location of fixing elements for torsion. There were determined the most rational and the least successful versions for placing of fixing components in the case of a pre-set number of them. Key words: computer modeling, extramedullary osteosynthesis, fixing elements, rotational forces.

Мета: визначити оптимальні варіанти розміщення фіксувальних і блокувальних гвинтів на корпусі накісткової пластины за умов фіксації поперечних діафізарних переломів для попередження ротацийних впливів на біомеханічну систему «кісткові відламки – накістковий фіксатор». Методи: за допомогою методу кінцевих елементів оцінювали напружено-деформований стан матеріалу фіксатора за різних варіантів розміщення фіксувальних і блокувальних гвинтів на корпусі пластины, а також величину лінійних переміщень за ротацийних впливів на біомеханічну систему. Перебір можливих варіантів розміщення гвинтів проведено за допомогою математичного апарату комбінаторики. Результати: відібрано найоптимальніші варіанти кріплення, за яких виникають мінімальні напруження в матеріалі накісткових пластин у випадках використання трьох-п'ятигвинтового кріплення кожної частини фіксатора до кісткових відламків. Проведено порівняльний аналіз результатів розрахунків у разі деформацій розтягнення-стискання для накісткового фіксатора за умов остеосинтезу діафізарних переломів і використання такої самої кількості гвинтів. Встановлено загальні закономірності розташування фіксувальних і блокувальних елементів біомеханічної системи для деформацій розтягнення-стискання і кручення, дає змогу підвищити стабільність і якість остеосинтезу для лікування поперечних діафізарних переломів довгих кісток. Висновки: запропонована методика комп'ютерного моделювання для оцінювання параметрів напружено-деформованого стану матеріалу накісткових фіксаторів за умов різної кількості і розташування фіксувальних елементів для деформації кручення. Визначено найраціональніші та найменш вдалі варіанти розташування фіксувальних компонентів у разі заздалегідь заданій їх кількості. Ключові слова: комп'ютерне моделювання, накістковий остеосинтез, фіксувальні елементи, ротацийні сили.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, наkostный остеосинтез, фиксирующие элементы, ротационные воздействия

Введение

Лечение переломов и повреждений костей опорно-двигательной системы остается важной и актуальной проблемой. Поиск и совершенствование оптимальных путей разрешения этой проблемы невозможны без совместных усилий медиков-травматологов и специалистов в области биомеханики, материаловедения, сопротивления материалов и компьютерного моделирования.

Современные методики лечения травм и переломов костей все чаще содержат хирургические способы лечения [1], которые более эффективны, чем консервативные, когда пострадавшие вынуждены в течение нескольких недель (а в особо тяжелых случаях и нескольких месяцев, и даже лет) находиться на больничной койке в обездвиженном состоянии [2].

Внутренний остеосинтез диафизарных переломов в зависимости от вида и типа подразделяют на накостный и интрамедуллярный. Накостный остеосинтез является одним из наиболее доступных и распространенных способов фиксации, при котором отломки сломанной кости скрепляют с помощью специальных накостных пластин, имеющих ряд отверстий для проведения фиксирующих и блокирующих винтов. В зависимости от типа и вида диафизарного перелома (поперечные, косые, винтовые, оскольчатые), а также его локализации конструкции таких фиксаторов имеют соответствующую форму и размеры. Формы и края отверстий для винтов также могут быть различными, что дает возможность создавать статический, динамический или компрессионный остеосинтез.

Очень важным и до конца нерешенным вопросом остается способ крепления накостной пластины к кортикальной кости с помощью фиксирующих винтов. Их количество, направление проведения и главным образом месторасположение до сих пор является предметом споров и дискуссий у специалистов-травматологов [1–3].

В медицинской практике при накостном остеосинтезе диафизарных переломов бедренных костей применяют пластины с минимальным контактом, имеющие 12 отверстий для проведения фиксирующих и блокирующих винтов. Следует заметить, что существует множество типов и видов накостных пластин разных размеров и с разным количеством отверстий для их крепления. Так, для лечения переломов фаланг пальцев используют узкие облегченные мини пластины с двумя-тремя отверстиями с каждой стороны от линии перелома. Для остеосинтеза длинных костей необходимы массивные пластины с достаточно большим количеством

отверстий для фиксирующих и блокирующих винтов, что существенно ослабляет корпус пластины. Однако недостаточное их количество не оставляет врачу-травматологу выбора места фиксации.

В работе [6] авторами предложена методика оценки прочности корпуса пластины, учитывающая концентрацию напряжений по краям отверстий для фиксирующих элементов. Было обосновано минимально возможное расстояние между центрами отверстий, при котором не происходит недопустимого ослабления корпуса фиксатора. Расположение отверстий в один ряд на корпусе пластины также негативно сказывается на сопротивлении системы ротационным воздействиям. Значительно более эффективным вариантом размещения отверстий является их расположение в шахматном порядке (для удобства проведения фиксирующих винтов независимо от места и геометрии линии перелома) и создания надежной фиксации всех элементов биотехнической системы «фиксатор – костные отломки».

При этом особенно важным является оптимальное расположение фиксирующих винтов для создания стабильного остеосинтеза, учитывая все виды простых и сложных нагрузок, действующих на биотехническую систему.

Цель исследования: разработка методики оптимального научно обоснованного варианта размещения фиксирующих и блокирующих винтов на корпусе пластин при накостном остеосинтезе, учитывающей весь комплекс внешних нагрузок на биомеханическую систему «кость – фиксатор».

Материал и методы

В работе с помощью метода конечных элементов и программы Solid Works Simulation Xpress смоделировано и проанализировано напряженно-деформированное состояние материала накостного фиксатора, конструкция которого изготовлена из биоинертной стали 12Х18Н9Т. Силовое воздействие имитировали двумя равными и противоположно направленными моментами, приложенными к обоим концам накостной пластины [4].

Настоящая работа является логическим продолжением предыдущей [7], где были рассмотрены случаи воздействия на биомеханическую систему осевых нагрузок, накостная пластина, методика исследований и методологический подход.

Для достижения поставленной цели с помощью специально разработанного алгоритма последовательно моделировали крепление накостных конструкций посредством 3–6 винтов по обе стороны от линии поперечного диафизарного перелома.

Таблица 1
Количество возможных комбинаций крепления пластины при использовании разного числа винтов для создания наkostного остеосинтеза

| Вариант крепления | Количество | | |
|-------------------|--------------|-----------|---------------------|
| | отверстий, n | винтов, m | комбинаций, C_n^m |
| 1 | 6 | 3 | 20 |
| 2 | 6 | 4 | 15 |
| 3 | 6 | 5 | 6 |
| 4 | 6 | 6 | 1 |

Таблица 2
Оптимальные варианты размещения фиксирующих и блокирующих винтов на корпусе пластины при ротационных воздействиях

| Количество винтов | Номер отверстий | |
|-------------------|-----------------|--------------|
| 3 | 2.4.5 | 8.9.11 |
| 4 | 2.3.4.5 | 8.9.10.11 |
| 5 | 1.2.3.4.5 | 8.9.10.11.12 |

Число возможных комбинаций из n элементов (отверстий) по m штук (винтов) определяли по известному из комбинаторики выражению:

$$C_n^m = \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (1)$$

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

Возможное количество комбинаций для каждого из указанных вариантов фиксации, определяемого из m числа фиксирующих винтов, представлено в табл. 1.

На рис. 1 показан общий вид наkostной пластины с указанием номеров отверстий, использованных при моделировании.

Результаты и их обсуждение

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

Наиболее предпочтительными считались варианты крепления, при которых такие параметры, как напряжения, деформации и перемещения, были минимальными. В табл. 2 приведены номера отверстий для наиболее предпочтительного крепления наkostного фиксатора винтами при их разном количестве. На рис. 2 для удобства анализа и наглядности представлено оптимальное размещение фиксирующих и блокирующих винтов при ротационных внешних воздействиях на корпус наkostной пластины при остеосинтезе поперечных диафизарных переломов.

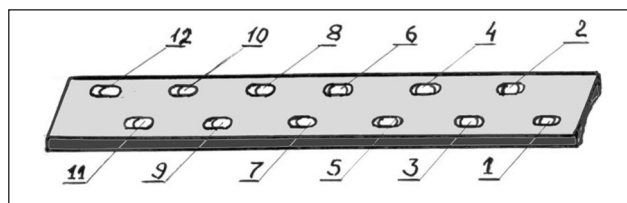


Рис. 1. Общий вид наkostной пластины с номерами отверстий для фиксирующих и блокирующих винтов

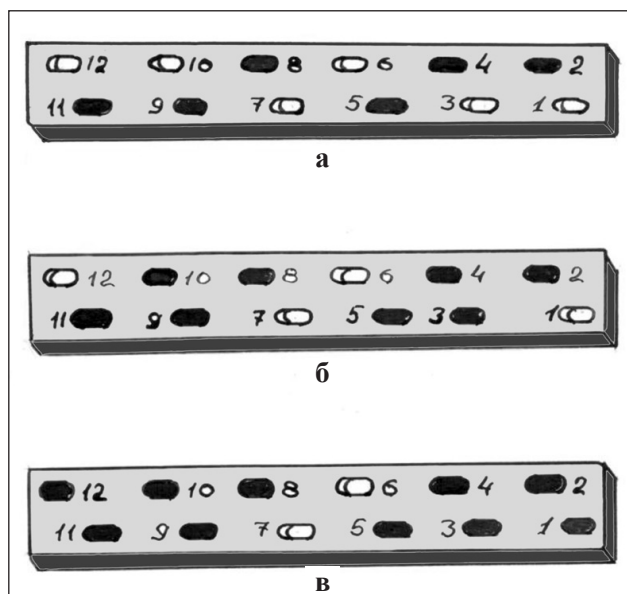


Рис. 2. Оптимальное размещение фиксирующих и блокирующих винтов для остеосинтеза поперечных диафизарных переломов бедренной кости при ротационных воздействиях на биомеханическую систему «костные фрагменты – наkostный фиксатор»: трех (а), четырех (б) и пяти (в) винтов по обе стороны перелома

В особо сложных случаях, при оскольчатых или раздробленных переломах, для создания надежного стабильного остеосинтеза используются все 6 отверстий как для фиксирующих, так и для блокирующих винтов.

На рис. 3 показаны результаты расчетов, полученных с помощью метода конечных элементов, и напряжения в материале наkostных фиксаторов при разном количестве элементов крепления.

На выбор количества винтов для фиксации и блокирования влияет вид и тип перелома, поэтому окончательное решение о создании того или иного вида остеосинтеза принимает лечащий врач-травматолог. Сопоставление результатов компьютерного моделирования для аналогичного вида переломов с использованием той же наkostной пластины при деформациях растяжения-сжатия [7] и кручения позволило сделать следующие заключения [4]:

- при использовании по три фиксирующих и блокирующих винта совпадают номера двух винтов (4, 9);

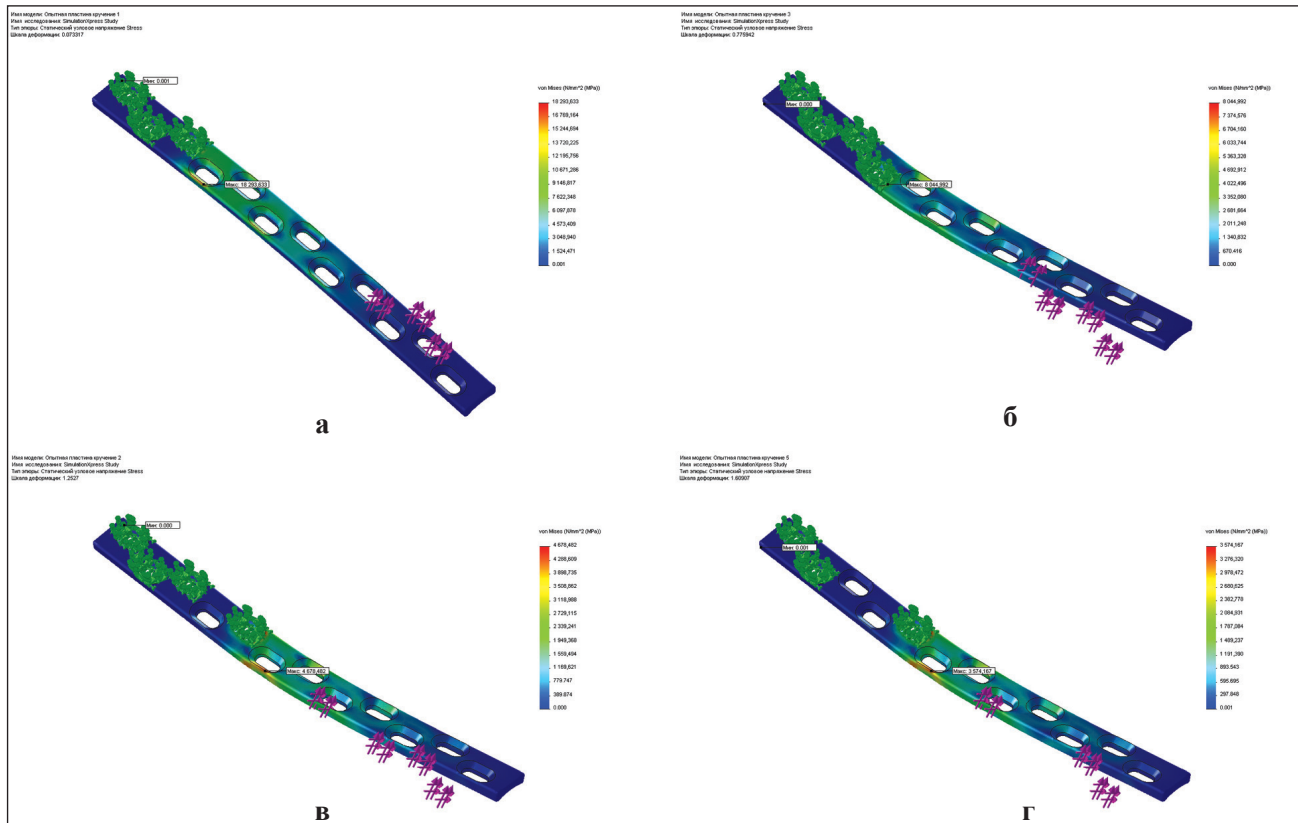


Рис. 3. Распределение напряжений в материале накостной пластины при разном количестве элементов фиксации в 3-х винтовом (а, г) и 4-х винтовом (б, в) креплении корпуса пластины к кортикальному веществу костной ткани при использовании для остеосинтеза разных отверстий на корпусе

- в случае применения по четыре фиксирующих и блокирующих винта совпадают номера четырех винтов (2, 5 и 8, 11);
- при использовании соответственно по пять винтов совпадают номера пяти винтов (1, 2, 3, 5 и 8, 10, 11, 12).

Эти результаты позволяют обобщить исследования и использовать их в наиболее распространенных реальных случаях сложных видов воздействия на биомеханическую систему «костные отломки – фиксатор».

Анализ полученных результатов позволяет выработать практические рекомендации врачам-травматологам для последующего использования в медицинской практике.

В дальнейших исследованиях мы планируем выполнить математическое моделирование также косых, винтовых, оскольчатых переломов диафиза, а также подобным образом проанализировать переломы верхней и нижней трети бедренной кости.

Выводы

Предложена методика компьютерного моделирования для оценки параметров напряженно-деформированного состояния материала накостных

фиксаторов при разном количестве и расположении фиксирующих элементов для деформации кручения.

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

Список литературы

1. Гайко Г. В. Стан і проблеми ортопедо-травматологічної допомоги населенню України / Г. В. Гайко, А. В. Калашніков, Є. В. Лимар // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2004. — № 2. — С. 5–9.
2. 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. — № 1. — С. 84–87.
3. 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, doi: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872010168-75>.
4. Mathematical modeling and optimal allocation of fixing elements on plate body in osteosynthesis / A. Shaiko-Shaikovskij, M. Belov, S. Bilik [et al.] // The Advanced Science open access Journal, CHINA. — December. — 2013. — P. 28–30.
5. World report on road traffic injury prevention / edited by Margie Peden ... [et al.] // World Health Organization. — Geneva, 2004. — 217 p.
6. Моделювання та оцінка параметрів напружено-деформованого

ваного стану накісткових конструкцій для остеосинтезу / О. Г. Шайко-Шайковський, М. Є. Білов, І. С. Олексюк, О. Г. Дудко // Літопис травматології та ортопедії. — 2014. — № 1–2. — С. 226.

7. Методика автоматизованого моделювання і оп-

тимізація розміщення фіксувальних елементів на корпусі пластини при накістному остеосинтезі / М. Е. Белов, В. М. Васильов, А. Г. Дудко, І. С. Олексюк, А. Г. Шайко-Шайковський // Травма. — 2014. — Т. 15, № 3. — С. 23–26.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872014426-30>

Стаття постувила в редакцію 06.07.2014

METHOD OF THE COMPUTER OPTIMIZATION OF FIXING ELEMENTS PLACING ON THE HULL OF THE PLATE UNDER ROTATIONAL EFFECTS

A. G. Shaiko-Shaikovskii¹, M. E. Belov¹, I. S. Oleksyuk², A. G. Dudko², E. I. Bursuk³,
D. K. Lenik³, N. N. Shvab³

¹ Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. Ukraine

² Bukovinian State Medical University, Chernivtsi. Ukraine

³ Chernivtsi Regional Clinical Hospital. Ukraine