

УДК 620.171.3:616-001.5

Особливості механічних випробувань систем остеосинтезу

Шидловський¹ М.С., Заховайко¹ О.П., Димань² М.М., Мусієнко¹ О.С.¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна² Інститут електрозварювання імені Євгена Патона НАН України

Анотація. Розглянуто різні способи вимірювання характеристик жорсткості та міцності систем «кістка з переломом – засіб фіксації». Систематизовано способи вимірювання деформацій систем остеосинтезу, що враховують характер дії зовнішніх навантажень і дозволяють порівнювати різні системи остеосинтезу. Рекомендовано раціональне розташування препаратів при випробуваннях з врахуванням особливостей будови кісток та реальних навантажень, що виникають при функціонуванні опорно-рухової системи. Запропоновано використовувати характеристики жорсткості систем «кістка - засіб фіксації» при дії осьового стискання, поперечного згину і кручення, у тому числі в циклічних режимах; розглянуті систем остеосинтезу з найбільш поширеними способами фіксації переломів для вибору оптимальних з точки зору якості способів закріплення відламків при переломах. Встановлено, що показники стабільності систем остеосинтезу, виміряні в процесі циклічних випробувань, більш чутливі до типу засобу фіксації і можуть бути використані для ранжирування цих систем за мірою механічної надійності. Результати досліджень, одержані за допомогою цих методів, впроваджені в хірургічну практику при виборі оптимальних конструкцій засобів фіксації та раціонального розташування фіксуєчих елементів..

Ключові слова: остеосинтез, переломи кісток, засоби фіксації переломів, деформації, жорсткість, зміщення точок переломів.








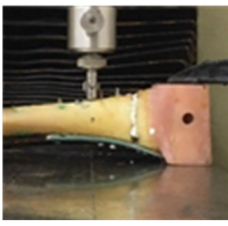





Вступ. Однією з актуальних задач сучасної травматології та ортопедії є розробка нових та удосконалення відомих методів лікування переломів та інших пошкоджень кісток опорно-рухового апарату. Виконання цих важливих для клінічної практики задач потребує проведення експериментальних та теоретичних досліджень надійності систем остеосинтезу (ОС), що розробляються та впроваджуються в хірургічну практику. Оптимізація механічних і геометричних параметрів засобів фіксації переломів (ЗФП) є актуальною проблемою, яку можна розв'язати, на наш погляд, переважно експериментальним шляхом.



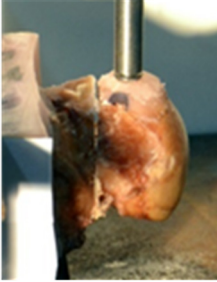





Прямі експериментальні дослідження поведінки систем ОС на натурних об'єктах (нефіксованих препаратах) при реальних видах і рівнях зовнішніх навантажень на сьогодні є найпростішим та, головне, найнадійнішим способом оцінки якості та механічної надійності зазначених систем. Застосування експериментальних методів обумовлено також необхідністю обов'язкової перевірки результатів розрахунків на натурних біологічних об'єктах для підтвердження одержаних результатів.

Методи досліджень. В лабораторії біомеханіки КПІ імені Ігоря Сікорського протягом останніх років розроблені методи випробувань ЗФП, призначених для фіксації переломів кісток різної форми і які виконують свої основні функції при різних рівнях навантажень, включаючи їх циклічні зміни. Результати досліджень, одержаних за допомогою цих методів, впроваджені в хірургічну практику при виборі оптимальних конструкцій засобів фіксації, раціонального розташування фіксуєчих елементів тощо.

Для зручності систематизації, всі методи та методики згруповані за 9-ма напрямками згідно з характерними ознаками (спосіб закріплення, напрями та режими навантаження, рівні навантаження). Всі групи методів представлені у вигляді таблиці, в якій надані зображення об'єктів під час випробувань та короткі відомості про спосіб випробування.

Таблиця. Способи закріплення та навантаження систем остеосинтезу: кістки з модельованими переломами та засобами фіксації

 <p>1-1</p>	  <p>1-2 1-3</p>	<p>Випробування стержневих апаратів зовнішньої фіксації переломів стегнових та великогомілкових кісток [1, 2]. <i>Види випробувань: стиск (1-1), кручення (1-2), згин (1-3).</i> Режими навантаження статичні та циклічні. Діапазони навантажень від 20 до 100 Н. Швидкість деформування від 2.5 до 100 мм/хв.</p>
 <p>2-1</p>	  <p>2-2 2-3</p>	<p>Випробування пластин для фіксації переломів та корекційних остеотомій великогомілкових кісток [3, 4]. <i>Види випробувань: стиск (2-1), згин (2-2), кручення (2-3).</i> Режими навантаження статичні та циклічні. Діапазони навантажень від 20 до 100 Н. Швидкість деформування 2.5 мм/хв.</p>
 <p>3-1</p>	 <p>3-2</p>	<p>Випробування пластин для фіксації переломів великогомілкових кісток. Еластичні матеріали в діастазі моделювали регенеративну кісткову тканину [5]. <i>Види випробувань: стиск (3-1), згин (3-2).</i> Навантаження до 100 Н. При випробуваннях на стиск зусилля прикладали з ексцентриситетом відносно поверхні пластини</p>
 <p>4-1</p>	 <p>4-2</p>	<p>Випробування засобів фіксації переломів вертлюжної ділянки стегнової кістки [1]. <i>Види випробувань: стиск (4-1), згин (4-2).</i> Навантаження при статичному та циклічному деформуванні до 200 ... 800 Н. Швидкість деформування 5 ... 25 мм/Н. Число циклів деформування до 50.</p>
 <p>5-1</p>	  <p>5.2 5-3</p>	<p>Випробування жорсткості зв'язку стегнової кістки з ендопротезом шляхом моделювання спонгіозної кісткової тканини [6]. <i>Види випробувань: стиск (5-1), згин (5-2), кручення (5-3).</i> Навантаження при статичному деформуванні до 1000 Н. Швидкість деформування 5 ... 25 мм/Н.</p>

 <p>6-1</p>	 <p>6-2</p>	<p>Випробування фіксації переломів проксимального епіфізу великогомілкової кістки за допомогою гвинтів [1]. <i>Види випробувань: навантаження стиском через дистальний метаепіфіз стегнової кістки (6-1), навантаження через медіальний виросток великогомілкової кістки (6-2).</i> Навантаження при статичному деформуванні до 1000 Н, при циклічному - до 800 Н.</p>
 <p>7-1</p>	 <p>7-2</p>	<p>Випробування засобів фіксації переломів гвинтами, що фіксують переломи тіла та шийки таранної кістки [7]. <i>Види випробувань: навантаження зсувом відламку таранної кістки (7-1), навантаження зсувом відламку аж до руйнування (7-2).</i> Навантаження при статичному деформуванні до 600 Н, при циклічному - до 200 Н.</p>
 <p>8-1</p>	 <p>8-2</p>	<p>Випробування засобів фіксації переломів п'яних кісток шпильками, гвинтами (для гвинтоподібних переломів), інтрамедулярними стрижнями, апаратами зовнішньої фіксації та мініпластинами з гвинтами [8]. <i>Види випробувань: стиск (8-1), згин (8-2), кручення (8-3).</i> Навантаження при статичному деформуванні до 50 Н, при циклічному - до 20 Н.</p>
 <p>9-1</p>	 <p>9-2</p>	<p>Випробування засобів фіксації переломів нижньої щелепи (пластини різних конструкцій) з застосуванням системи позиціонування зразка [9]. <i>Види випробувань: згин (9-1), зсув (9-2).</i> Навантаження при статичному деформуванні до 100 Н, при циклічному - до 50 Н.</p>

Методика випробувань [1]

Підготовка зразків. Вибір анатомічних об'єктів, типів пошкоджень та засобів фіксації переломів здійснювали хірурги-травматологи, що брали участь в дослідженнях. При цьому перевага віддавалася практично найважливішим з точки зору травматології та найменш дослідженим на теперішній час системам. Консервація препаратів виконувалася заморожуванням до температури -18°C , розморожування - у 0,9% розчині натрію хлориду протягом 24 год. при температурі $+37^{\circ}\text{C}$. Після цього хірурги проводили моделювання пошкодження кістки та її остеосинтез за допомогою різних елементів та апаратів фіксації за загальноприйнятими методиками.

Закріплення зразків. Для фіксації досліджуваних препаратів на робочому столі випробувальної машини використовували пластмасові опорні головки, які виготовлялись індивідуально для кожної кістки. Опори компенсують всі непаралельності сторін при закріпленні кістки для випробування. Опорні головки у вигляді паралелепіпедів попередньо виливали зі

спеціальної пластмаси (композиція акрилової групи швидкого холодного затвердіння, що застосовується для протезування в стоматології).

Навантаження зразків. Експерименти виконували з використанням універсальних випробувальних машин серії TIRAtest. Записували діаграми деформування зразків, а також в необхідних випадках виконували їх циклічне деформування, реєстрували процеси релаксації та повзучості. Кістки та засоби фіксації переломів закріплювали на знімних платформах, зв'язаних безпосередньо з рухомою траверсою машини. Навантаження на кістки та інші об'єкти передавали через сталеві стержні або кульки, що знижувало до мінімуму вплив додаткових деформацій в місці контакту. При стисканні, розтяганні, зсуві та згинанні навантаження передавали безпосередньо через кістку або засіб фіксації перелому. Крутний момент створювали навантаженням важеля, який закріплювали на кістці, а можливість виникнення при цьому згинального моменту усували спеціальними опорними підкладками.

Реєстрація переміщень уламків кістки. Застосовували спосіб реєстрації переміщень точок біологічних препаратів за допомогою цифрової фото- та відео зйомки [1, 10], що забезпечувало одночасне вимірювання зміщень різних точок біомеханічної системи «відламки кістки – фіксатор». При фотографуванні об'єкту було використано контрастні по відношенню до решти зображення точки (мітки). Контрастні мітки розміщували переважно у фронтальній та сагітальній площинах кістки, а кількість їх варіювали в межах від двох до дванадцяти. Перед початком випробування проводили фотографування ненавантаженого зразка, що в подальшому використовували як базове зображення. В процесі випробування дослідний зразок, включаючи контрастні точки, фотографували при різних величинах навантаження. Зображення у цифровому вигляді обробляли на комп'ютері, використовуючи стандартну систему управління цифровим зображенням. Масштаб визначали шляхом зйомки еталонної мірної плитки в аналогічних умовах. За результатами вимірювань переміщень окремих точок препарату розраховували величини їх взаємних переміщень.

Моделювання кісткової тканини (КТ). В окремих випадках було неможливо застосувати об'єкти з натурною КТ (спонгіозна КТ у місці з'єднання ніжки ендопротезу зі стегновою кісткою або регенерат КТ на різних етапах зрощування перелому). В цих випадках використали спеціально підібрані полімерні матеріали, що за механічними показниками відповідали натурній КТ [5, 6].

Просторове навантаження об'єктів. Для експериментального вивчення просторових переміщень точок перелому і взаємних кутів повороту розроблено і створено пристрій, що дозволяє відтворювати одночасну дію на систему «кістка з переломом - засіб фіксації» стискаючих, згинальних і ротаційних навантажень. У процесі навантаження передбачене цифрове фотографування області перелому з подальшим визначенням переміщень (взаємних зміщень) точок протилежних частин перелому [11].

Висновки. Розроблено методи та створено випробувальне обладнання для вимірювань показників жорсткості та міцності кісток різної конфігурації з пошкодженнями у вигляді переломів, що з'єднані засобами фіксації різних конструкції. Методики та відповідне обладнання дозволяють визначати функціональні показники ЗФП, зокрема реєструвати взаємні просторові переміщення уламків кісток та визначати допустимі навантаження на кінцівки, що не приводять до виникнення недопустимих переміщень та втрати несівної спроможності системи «кістка з переломом – ЗФП».

Список літератури

1. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с.
2. Шидловський М.С., Лакша А.М., Мусієнко О.С. Характеристики жорсткості стержневих апаратів фіксації вогнепальних переломів // В кн.: Міжнародна науково - технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», Том 1, м. Київ, 19 - 22 червня 2018 р.: Матеріали конференції – Київ: 2018. – С. 24-27.
3. Бур'янов О.А., Шидловський М.С., Омельченко Т.М., Димань М.М., Мусієнко О.С. Деформаційні характеристики систем фіксації, що застосовуються при переломах та корекційних остеотоміях дистального відділу великогомілкової кістки // Літопис травматології та ортопедії. – № 1-2 2017 (35-36). – С.129-133.
4. Shidlovskiy M, Dyman M., Omelchenko T. The tibial fractures fixation system deformation characteristics // Mechanics and Advanced Technologies № 3 (84), 2018. P. 52-60.
5. Шидловський М.С., Заховайко О.П., Мусієнко О.С. Вплив регенерації кісткової тканини на зміщення частин переломів під навантаженнями // Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта», м. Київ, 6 - 9 жовтня 2020 р.: Матеріали конференції – Київ: 2020. С. 27-30.
6. Шидловський Н.С., Бондар В.К., Мусієнко О.С., Димань М.М. Оцінка надійності з'єднання ендопротезів тазостегнового суглобу з кісткою з урахуванням фізіологічних навантажень // Літопис травматології та ортопедії. – № 1-2 2016 (33-34). – С.87-92.
7. Шидловський М.С., Турчин А.М., Омельченко Т.М., Димань М.М., Мусієнко О.С. Порівняльні характеристики стабільності різних способів фіксації переломів таранної кістки // Літопис травматології та ортопедії. – № 1-2 2016 (33-34). – С.156-162.
8. Шидловський М.С., Бур'янов О.А., Циганков М.А., Димань М.М., Мусієнко О.С. Визначення надійності різних систем остеосинтезу при переломах п'ястих кісток // Літопис травматології та ортопедії. – № 1-2 2016 (33-34). – С.163-167.
9. Pavlychuk T, Shydlovsky M, Kopychak A. A comparative biomechanical evaluation of different osteosynthesis techniques used for intracapsular condylar head fractures. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research. 9 (2019): 123-127.
10. M.S. Shidlovskiy, O.P. Zakhovajko, M.M. Dyman. Application of digital photography in biomechanical studies of osteosynthesis systems // Mechanics and Advanced Technologies. – № 1 (82), 2018. – P.123-129.
11. Shidlovskiy M. S., Dyman M. M., Zakhovaiko O. P., Odydko D. G. Spatial deformations of osteosynthesis systems. Message 2. Experimental results // Mechanics and Advanced Technologies № 2 (89), 2020, С. 29-35.

FEATURES OF MECHANICAL TESTS OF OSTEOSYNTHESIS SYSTEMS

Shidlovskiy M. S., Zakhovaiko O. P. Dyman M. M., Musiienko O.S.

Abstract. Various methods of measuring the characteristics of stiffness and strength of systems "bone with a fracture - a means of fixation" are considered. Methods for measuring deformations of osteosynthesis systems are systematized, which take into account the nature of the action of external loads and allow to compare different systems of osteosynthesis. The rational arrangement of drugs at tests taking into account features of a structure of bones and the real loadings arising at functioning of musculoskeletal system is recommended. It is proposed to use the stiffness characteristics of the systems "bone - means of fixation" under the action of axial compression, transverse bending and torsion, including in cyclic modes; considered systems of osteosynthesis with the most common methods of fixing fractures to select the optimal in terms of quality methods of fixing fragments in fractures. It is established that the stability indicators of osteosynthesis systems, measured in the process of cyclic tests, are more sensitive to the type of fixing means and can be used to rank these systems according to the degree of mechanical reliability. The results of research obtained using these methods are implemented in surgical practice in the selection of optimal designs of fixation devices and the rational location of fixing elements.

Keywords: osteosynthesis, bone fractures, means of fracture fixation, deformations, stiffness, displacement of fracture points.