

## БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОСТЕОСИНТЕЗА ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

*Виталие Кирилэ*

*Государственный университет медицины и фармации им. Н.Тестемицану, г. Кишинэу*

### БИОМЕХАНИЧНА ОЦІНКА МЕТОДІВ ОСТЕОСИНТЕЗУ ПЕРЕЛОМІВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ВІДДІЛУ ПЛЕЧОВОЇ КІСТКИ

**Резюме.** Экспериментально установлено, что остеосинтез переломів проксимального відділу плечової кістки Т-подібною пластиною дає кращі результати завдяки збільшенню контактної поверхні та жорсткості. Металеві імпланти (спиці, дріт) завдяки обмеженому контакту з кісткою та еластичним властивостям мінімізують стрес між кісткою та імплантатом, що характеризує їх як оптимальні для фіксації переломів плечової кістки.

**Ключові слова:** проксимальний відділ плечової кістки, еластична фіксація, внутрішня фіксація.

Существует множество научных работ по биомеханике при остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости (ПОПК). С этой целью используются разные типы внутренних фиксаторов, различные способы моделирования экспериментальных переломов, что делает невозможным их сравнение [1-3]. Выявление стабильности остеосинтеза при переломах ПОПК "in vivo" трудно выполнимо, потому что переломы происходят при разной интенсивности воздействующего фактора, сломанная кость может иметь различную степень остеопороза. Эти переломы характерны, в основном, для пожилых людей, которые часто имеют высокую степень остеопороза. При этом можно ожидать плохих результатов после фиксации переломов различными типами пластин, интрамедуллярными стержнями, спицами, внешними фиксаторами [4, 5]. Плечевой сустав человека является наиболее подвижным, выполняет движения в трех плоскостях: приведение и отведение, сгибание и разгибание, внутренняя и наружная ротации. Суммируя эти движения, плечевая кость подвергается изгибающим физиологическим нагрузкам в разных направлениях [6].

Необходима совместная функция суставов плечевого пояса, которые в силу своих сопутствующих действий выполняют полный объем движений в плечевом суставе [7]. Поэтому мы изучили воздействие прикладываемых сил на ПОПК в разных перпендикулярных направлениях в соот-

ветствии с тремя главными осями. Суммирование векторов этих сил позволило нам рассмотреть и оценить равнодействующую силу и провести анализ сопротивления фиксации под воздействием в любом направлении. Аксиальная компрессия не выполнялась, потому что, по предварительным расчетам, существенные изменения потенциала модифицированных фиксаторных устройств в этом эксперименте не предусмотрено.

**Цель исследования:** оценить крепления двух типов фиксаторов в остеосинтезе фрагментов ПОПК.

**Материал и методы.** Фрагменты плечевой кости взяты в Национальном центре судебно-медицинской экспертизы (Республика Молдова) от трупов в возрасте 41-84 лет. Для сравнительного эксперимента были использованы 10 плечевых костей длиной  $45 \pm 5$  см от 5 мужчин и 5 женщин. Средний возраст мужчин составил  $66,1 \pm 5,6$  лет, женщин –  $58,3 \pm 4,2$  лет. Костные фрагменты исследованы рентгенологически с целью определения состояния кости и для исключения каких-либо заболеваний. Каждая плечевая кость экзартикулирована таким образом, чтобы ПОПК остался неповрежденным. Мягкие ткани удалялись по всей длине кости. Дистальный отдел плечевой кости был удален на уровне метафиза для получения лучшей фиксации в устройстве. Сегменты плечевой кости хранились при температуре  $+4^{\circ}\text{C}$ , исследовались через 1-2 дня после изъятия.

Перелом ПОПК был имитирован на уровне хирургической шейки при помощи ручной пилы с антеролатеральной поверхности на 4 см дистальнее от самой высокой точки головки плечевой кости. Исследованные кости были разделены на две группы. Все тесты проводились при комнатной температуре в лаборатории кафедры сопротивления материалов Технического университета Молдовы. Аксиальная тракция проводилась с использованием германской серво-гидравлической машины FP-10 (рис. 1).

Проведены четыре типа воздействия силы в комплексе фиксации с применением тяги в различных направлениях: аксиальная тракция между фрагментами перелома, изгибание в плане остеосинтеза, перпендикулярный изгиб в плане остеосинтеза, торсия с изгибанием в плане остеосинтеза. Репозиция и фиксация фрагментов кости осуществлялись с использованием двух моделей остеосинтеза. Эксперимент повторен для каждого типа фиксатора по 5 раз: 1) Т-образная пластина с 5 отверстиями, которая была фиксирована в проксимальном фрагменте тремя спонгиозными шурупами диаметром 6,5 мм на уровне губчатой кости, дистальный фрагмент фиксирован четырьмя кортикальными шурупами 4,5 мм в диаметре (рис. 2); 2) остеосинтез четырьмя спицами диаметром 2,0 мм, пересекающимися в двух планах: 2 параллельные спицы – косо вниз через большой бугорок пересекающихся диафизарную ось через внутренний кортикальный слой кости, две другие параллельные спицы – косо вверх в плане оси головки плечевой кости от дистального фрагмента. Их устойчивость была увеличена наложением 8-образной металлической проволоки диаметром 0,8 мм (рис. 3).

В ходе исследования проксимальный и дистальный фрагменты ПОПК были зафиксированы стабильно. Через них проведены по одной спице, зафиксированные в полукольце 120 мм диаметром аппарата Илизарова. Спицы фиксации были проведены через верхний фрагмент на 2 см проксимальнее места индуцированной остеотомии и на 1 см медиальнее большого бугорка, через дистальный фрагмент – на 3 см выше его конца. Дистальный фрагмент плечевой кости подвергнут растягивающей силе с постепенным увеличением для определения стабильности использованных фиксаторов для остеосинтеза: проксимальный фрагмент плечевой кости + ме-

таллический фиксатор + дистальный фрагмент плечевой кости. Основным параметром определения стабильности остеосинтеза является межфрагментарный диастаз, принимая во внимание растущую приложенную силу.

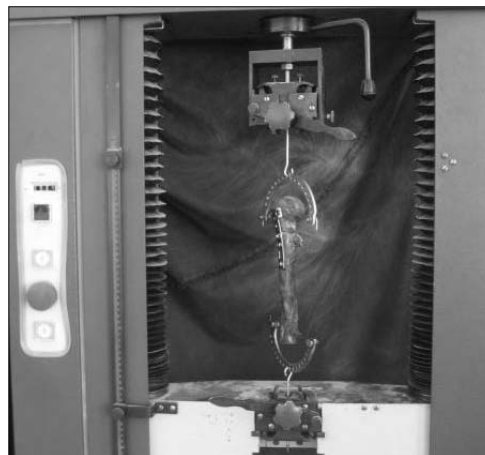


Рис. 1. Серво-гидравлическая машина FP-10 (Германия).

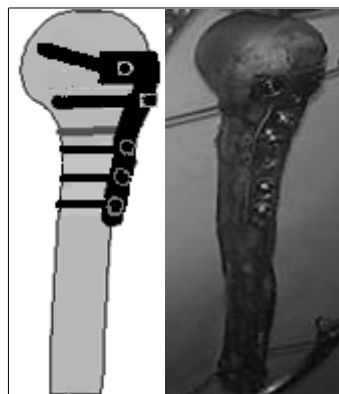


Рис. 2. Остеосинтез Т-образной пластиной.

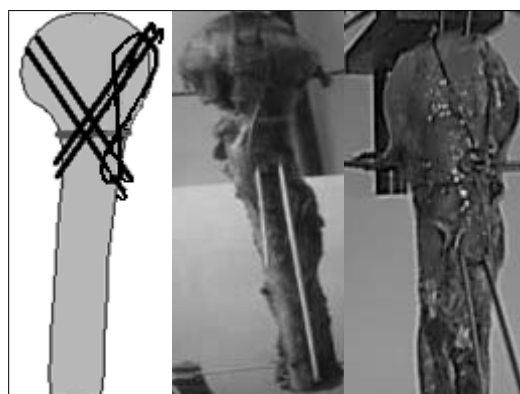


Рис. 3. Остеосинтез четырьмя спицами, пересекающимися в двух планах: 2 параллельные спицы – косо вниз через внутренний кортикальный слой кости, 2 другие параллельные спицы – косо вверх в головку плечевой кости с добавлением 8-образной металлической проволоки.

Все експерименти проведені в ідентичних умовах. Аксиальна тракція постійно збільшувалась, вимірювання були зроблені в Ньютон/силе. В відповідності з Міжнародною системою  $1\text{кг/сила} = 9,8 \text{ Ньютонів}$ , міжфрагментарний діапаз був виміряний в міліметрах з допомогою спеціальних колодок, які дозволили проводити вимірювання від  $0,01 \text{ мм}$ . Вимірювання проведені до отримання  $2,5 \text{ мм}$  діастази на антеролатеральній стороні, де був смодельований перелом з зміщенням дистального фрагмента плечової кістки відносно проксимального. Після реєстрації результатів при  $2,5 \text{ мм}$  діастазі експерименти були продовжені до повного зміщення по всій поверхні "перелома", до повної деградації остеосинтеза як проксимального так і дистального фрагментів з відповідними записами доходячого до повного руйнування костної структури.

#### Результати дослідження і їх аналіз.

Експеримент, проведений з різними типами фіксаторів, виявив деякі деталі в якості остеосинтеза і стані костної ткани, яка була підвргнута дії різних сил і напрямків. Для отримання стабільного остеосинтеза важливе значення має хороше кріплення шурупів в кістці для фіксації пластин. Реакція кістки в зоні контакту з фіксатором залежить від стану і здатності кістки підтримувати стабільність фіксації.

Фіксація фрагментів кістки Т-образною пластиною на рівні індукованої остеотомії забезпечує більш високу стійкість за рахунок збільшення поверхні контакту між кісткою і фіксатором, створюючи компресію пластини на кістку і утворюючи кореляцію між поверхнею кістки-пластини. В результаті отримується жорстка фіксація з міжфрагментарною компресією на кістку, здійснюваною спонгиозними шурупами на метафізі, що може бути асоційована з деградацією остеосинтезу за рахунок спонгиозної "м'якої" кістки.

Аксиальна тракція, дозована і строго контролювана, була зроблена з допомогою сервогидравлічної машини FP-10 як для Т-образної пластини, так і для фіксації пересікаючих спиць і 8-образної металічної проволоки. Т-образна пластина при аксиальній тракції при  $2,5 \text{ мм}$  діастазі виділила  $515,48 \pm 170,07 \text{ Н}$ , а деградація остеосинтезу

наступила при  $572 \pm 114,08 \text{ Н}$ . При дії тієї ж сили при  $2,5 \text{ мм}$  діастазі були виявлені  $315,56 \pm 87,61 \text{ Н}$  для остеосинтезу з 4 пересікаючими спицями в двох планах і 8-образною металічною проволокою, деградація остеосинтезу зафіксувала  $403,76 \pm 96,02 \text{ Н}$ .

Під дією сил чистого вигину Т-образна пластина витримала  $252,84 \pm 64,45 \text{ Н}$  при  $2,5 \text{ мм}$  діастазі, в той час як деградація фіксації відбулася на  $301,84 \pm 56,43 \text{ Н}$ . Остеосинтез з пересікаючими спицями в двох планах і 8-образною металічною проволокою зареєстрував  $172,48 \pm 37,7 \text{ Н}$  при  $2,5 \text{ мм}$  діастазі і  $209,72 \pm 28,51 \text{ Н}$  при деградації остеосинтезу.

Крутячий момент (момент торсії) змінюється в відповідності з Міжнародною системою одиниць в Ньютонах і Метрах (Нм). При повільній аплікації крутячого моменту з вигином для різних типів остеосинтезу до появи невідомого кута обертання (900) ПОПК навколо осі Т-образна пластина витримала  $213,64 \pm 53,19 \text{ Нм}$ , а при остеосинтезі пересікаючих спиць в двох планах і 8-образною металічною проволокою зареєстрував  $203,84 \pm 49,61 \text{ Нм}$ .

Жорстка фіксація Т-образною пластиною порівняно з еластичною фіксацією пересікаючих спиць в двох планах і 8-образною металічною проволокою при переломах ПОПК забезпечує підвищену стабільність на  $11,96\%$  при аксиальній тракції, на  $1,52\%$  в вигині в плані остеосинтезу, на  $30,83\%$  при перпендикулярному вигині в плані остеосинтезу і на  $1,55\%$  при торсії з вигином в плані остеосинтезу. Під дією 4 видів сил для моделей закріплених Т-образною пластиною ми отримали невідому деградацію костної ткани з втратою контакту імплантат-кістка, особливо в спонгиозній кістці, в той час як еластичні імплантати (спиць і 8-образна металічна проволока) завдяки обмеженому контакту з кісткою і еластичним властивостям ведуть до мінімізації стресу між кісткою-імплантатом, що робить їх оптимальними для фіксації переломів плечової кістки при повільній і остеопорозній кістці.

Статистичний аналіз підтвердив, що біпланерне введення спиць, а також транскортикальна внутрішня фіксація і їх стабілізація 8-образною металічною проволокою

ясно доказує збільшення жорсткості на рівні експериментального перелому і перетворює необоротну деградацію і деструкцію костної тканини. Експериментальні результати свідчать, що еластичні фіксатори використовуються переважно при остеопорозних переломах плечової кістки, характерних для похилої пацієнтів, в той час як жорсткі фіксатори можуть бути використані у молодих пацієнтів з "якісними" кістками після ретельного передопераційного обстеження.

**Висновки.** 1. С точки зору механічної міцності під впливом різних сил і в різних взаємно перпендикулярних планах остеосинтез Т-образної пластини показує кращі результати завдяки збільшенню контактної поверхні і жорсткості, але в разі "м'якої" кістки не може стабільно і жорстко фіксувати область перелому при сла-

бому кріпленні на рівні костної тканини, особливо спонгиозної, з необоротною деградацією остеосинтезу. 2. Металічні імпланти (спиці, проволочка) завдяки обмеженому контакту з кісткою і еластичним властивостям ведуть до мінімізації стресу між кісткою-імплантатом, що робить їх оптимальними для фіксації переломів плечової кістки при якісній і остеопорозній кістці, в той час як жорсткі фіксатори (металічні пластини) на фоні "м'якої" кістки ведуть до руйнування кістки з втратою контакту між металічним фіксатором і кісткою. 3. Добре розвинені м'язи можуть спотворити результати дослідження через існування додаткових факторів потенціальної підтримки м'яких тканин для деформуючих або дестабілізуючих сил, які існують в звичайних умовах.

#### Література

1. Fuchtmeier B. Proximal humerus fractures: a comparative biomechanical analysis of intra- and extramedullary implants / B.Fuchtmeier, R.May, R.Hente [et al.] // Arch. Orthop. Trauma Surg. – 2007. – Vol. 127, № 6. – P. 441-447.
2. Helmy N. New trends in treatment of proximal humerus fractures / N.Helmy, B.Hintermann // Clinical Orthopaedics and Related Research. – 2006. – № 422. – P. 100-108.
3. Lill H. Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be? A comparative mechanical study with new implants in human specimens / H.Lill, P.Hepp, J.Korner [et al.] // Arch. Orthop. Trauma Surg. – 2003. – Vol. 123, № 2-3. – P. 74-81.
4. Edwards L.S. Two-Part Surgical Neck Fractures of the Proximal Part of the Humerus. A Biomechanical Evaluation of Two Fixation Techniques / L.S.Edwards, A.N.Wilson, Z.Li-Qun [et al.] // The J. of Bone and Joint Surgery. – 2006. – Vol. 88. – P. 2258-2264.
5. Hepp P. Biology and Biomechanics in Osteosynthesis of Proximal Humerus. Fractures / P.Hepp, C.Josten // Eur. J. Trauma Emerg. Surg. – 2007. – Vol. 33. – P. 337-344.
6. Lill H. Mennen clamp-on plate fixation of periprosthetic fractures of the humerus after shoulder arthroplasty – a report on 3 patients / H.Lill, P.Hepp, T.Rose [et al.] // Acta Orthop. Scand. – 2004. – Vol. 75, № 6. – P. 772-774.
7. Hagino H. Case-control study of risk factors for fractures of the distal radius and proximal humerus among the Japanese population / H.Hagino, S.Fujiwara, E.Nakashima [et al.] // Osteoporosis Int. – 2004. – Vol. 15. – P. 226-230.

#### БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОСТЕОСИНТЕЗА ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

**Резюме.** Експериментально встановлено, що остеосинтез переломів проксимального відділу плечової кістки Т-образної пластини дає кращі результати завдяки збільшенню контактної поверхні і жорсткості. Металічні імпланти (спиці, проволочка) завдяки обмеженому контакту з кісткою і еластичним властивостям ведуть до мінімізації стресу між кісткою і імплантатом, що робить їх оптимальними для фіксації переломів плечової кістки.

**Ключові слова:** проксимальний відділ плечової кістки, еластична фіксація, внутрішня фіксація.

#### A BIOMECHANICAL EVALUATION OF THE METHODS OF FIXATION OF FRACTURES OF THE PROXIMAL PORTION

**Abstract.** It has been established experimentally that osteosynthesis of the fractures of the proximal portion of the humerus with the help of a T-shaped plate yields better results owing to an increase of a contact surface and rigidity. Metal implants (pins, wire) owing to a limited contact with the bone and elastic properties minimize stress between the bone and the implant, characterizing them as optimal for the purpose of fixation of the fractures of the humerus.

**Key words:** proximal humerus fracture, elastic fixation, internal fixation.

N.Testemitsianu State University of Medicine and Pharmacy (Kishineu, Moldova)

Надійшла 26.04.2011 р.

Рецензент – доц. П.С.Ковальчук (Чернівці)