УДК 616-001.58-616-085 *DOI: 10.22141/1608-1706.2.18.2017.102570*

Панасенко С.І.[1, 2], Ковальчук С.Б.[3], Гур'єв С.О.[1], Горик О.В.[3], Шейко В.Д.[2], Бурлака О.А.[3]
[1]ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України», м. Київ, Україна
[2]ВДНЗУ «Українська медична стоматологічна академія», м. Полтава, Україна
[3]Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Біомеханічні характеристики окремих методів остеосинтезу ребер

Резюме. *Аналітичний огляд джерел наукової інформації висвітлив ряд проблем у процесі зміни парадигми лікування переломів ребер при флотуючій грудній клітці. Рекомендації із занурювального остеосинтезу ребер мають контраверсивний характер стосовно класичних травматологічних рекомендацій щодо недоцільності цієї методики при тяжкій політравмі. Крім того, пряме перенесення технологій металоостеосинтезу довгих трубчастих кісток у методики остеосинтезу ребер не враховує їх гістоанатомічні та функціональні особливості, а доказова база всіх досліджень грунтується виключно на клінічних наслідках лікування. На сьогодні жодна наявна методика остеосинтезу ребер не має біотехнічного обгрунтування. У статті наведені результати експериментального порівняння біомеханічних характеристик найбільш поширених в Україні методів остеосинтезу ребер. Дослідження проводилося на 34 реброво-м'язових фрагментах грудної стінки свиней. В експериментальних умовах вивчалися характеристики жорсткості натурних реброві зразків до й після остеосинтезу за трьома методиками: 1) занурювальний інтрамедулярний метод за допомогою спиць; 2) позавогнищевий екстраплевральний метод за допомогою оригінального апарата зовнішньої фіксації; 3) занурювальний накістковий метод за допомогою пластин. Певні рівні необоротних деформацій на перших циклах статичних навантажень показали всі використані системи остеосинтезу, але найбільші їх значення спостерігалися при занурювальному остеосинтезі спицями та пластинами. Також відмічалася схильність до міграції окремих елементів із руйнуванням несучих структур ребер та появи люфтів в умовах статичних навантажень та незадовільні характеристики щодо відновлення жорсткості ребрового блоку. Позавогнищевий екстраплевральний остеосинтез за допомогою оригінального апарату зовнішньої фіксації на основі пластин-стрижнів дозволяє досягти значень жорсткості, наближених до фізіологічного рівня (в експерименті — 93 % від природної жорсткості).*

Ключові слова: *флотуюча грудна клітка; переломи ребер; остеосинтез*

Вступ

Флотуюча грудна клітка (ФГК) — варіант закритої травми грудей, що виникає у випадку фрагментарних переломів трьох та більше ребер і супроводжується феноменом парадоксального руху грудної стінки. В останнє десятиріччя з'явилася серія доказових досліджень, у яких обгрунтовано переваги металоостеосинтезу (МОС) ребер порівняно з консервативними методами лікування подібної травми, що кардинально змінило лікувальну доктрину при ФГК [1]. На сьогодні доведено, що МОС груднино-ребрового каркасу (ГРК) суттєво покращує клінічні наслідки лікування подібних травм. МОС ГРК створює умови для діагностики поєднаних ушкоджень, адекватного плеврального дренування, сприяє зменшенню болю, відновлює ефективне відкашлювання, зменшує тривалість штучної вентиляції легень та ліжкового режиму. Крім цього, спостерігаються кращі косметичні наслідки [2, 3].

При аналіз методів МОС ребер, що застосовуються в сучасній практиці лікування при ФГК, була виявлена тенденція до прямої екстраполяції травматологічних технологій занурювального МОС довгих кісток кінцівок

© «Травма», 2017
© Видавець Заславський О.Ю., 2017
© Trauma, 2017
© Publisher Zaslavsky O.Yu., 2017

Для кореспонденції: Панасенко Сергій Іванович, кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії № 2, Вищий державний навчальний заклад України «Українська медична стоматологічна академія», вул. Шевченка, 34, м. Полтава, 36011, Україна; e-mail: sipanas@mail.ru
For correspondence: Serhij Panasenco, PhD, Associate Professor at the Department of surgery N 2, Higher State Education Institution of Ukraine "Ukrainian Medical Stomatological Academy", Shevchenko st., 23, Poltava, 36011, Ukraine; e-mail: sipanas@mail.ru

[1–4]. Однак загальновідомо, що застосування занурювальних методик МОС у гострому періоді політравми суперечить класичним травматологічним принципам damage control [5, 6]. Крім того, несприятливі наслідки МОС ГРК пов'язані з можливістю ушкодження міжреберних нервів, розхитування пластин, міграції стрижнів, появи дискомфорту та незрощення переломів, що інколи вимагає повторних операцій [7, 8].

Мета дослідження: експериментально встановити абсолютні та порівняльні характеристики жорсткості реброво-м'язового блоку після МОС ребер різними методами.

Матеріали та методи

Дослідження виконувалися на 34 натурних зразках реброво-м'язових блоків (три суміжні ребра), виокремлених із ГРК свиней миргородської породи з ідентичними зоометричними характеристиками. Час від забою до експериментального дослідження становив 3–6 год. Підготовлені зразки за допомогою розробленого нами фіксатора фрагментів ребер (раціоналізаторська пропозиція ВДНЗУ «Українська медична стоматологічна академія» № 0062 від 26.12.2016) ставилися в умови поперечного згину із шарнірним закріпленням кінців розподіленим нормальним навантаженням. У ході дослідження вимірювалось абсолютне значення поперечного переміщення середнього перерізу зразка.

Результати та обговорення

Дослідження параметрів жорсткості систем остеосинтезу виконувалось на підготовлених зразках фрагментів грудної клітки свиней, що містили три суміжні ребра. Для зразків обирались фрагменти із V, VI і VII ребрами, які відокремлювались з одного боку поблизу бугорків суглоба, з іншого — у місці переходу в хрящову тканину так, щоб виокремити тіло ребра максимальної довжини, але без значних перепадів кривизни. Кінці ребер у зразках зачищались від м'яких та сполучних тканин на відстань ≈ 25 мм для кріплення в розробленому нами пристрої фіксації (рис. 1). Даний пристрій призначений для фіксації натурних зразків та створення умов їх згину поперечним нормальним, до поздовжньої поверхні, навантаженням із шарнірним закріпленням кінців зразка.

Опорні стійки (1 та 2) пристрою монтувались на жорсткій основі за допомогою болтів (13) і регулювалися по вертикалі таким чином, щоб забезпечити однаковий рівень по горизонталі для осей (7) пластин-фіксаторів. Опорні стійки 1 мають циліндричні виточки, у які вкладається вісь пластини-фіксатора, що забезпечує шарнірне нерухоме їх з'єднання. Опорні стійки 2 мають рівну гладку робочу поверхню, по якій ковзає вісь іншої пластини-фіксатора, що забезпечує шарнірне рухоме з'єднання.

Підготовлені кінці ребер вкладались у три циліндричні ложа (4), закріплені на жорсткій пластині (3) і попередньо, без надмірних зусиль, затискались за допомогою циліндричних притискних пластин (5)

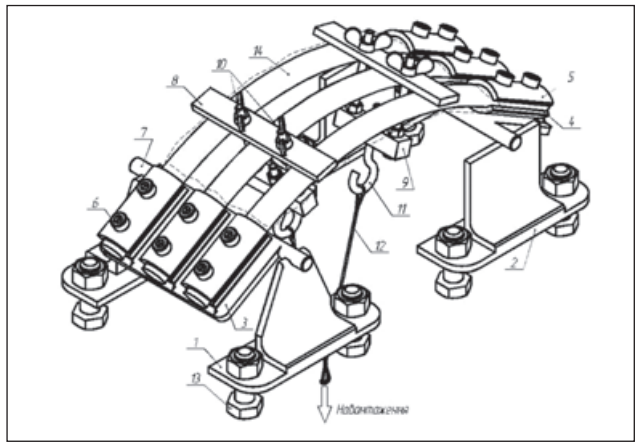

Рисунок 1. Схема пристрою фіксації з встановленим натурним зразком (пояснення в тексті)

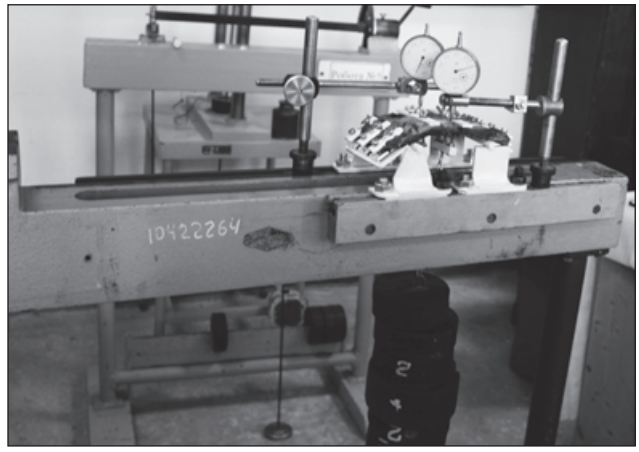

Рисунок 2. Випробування натурного зразка

гвинтами (6) так, щоб робоча довжина зразків була однаковою.

Закріплений у пластинах-фіксаторах зразок встановлювався на опорні стійки 1 та 2 і регулювався для забезпечення контакту осей (7) із робочими поверхнями стійок 1 та 2 шляхом зміщення кінців зразка у фіксаторах. Після цього гвинти (6) остаточно затягувались.

У визначених місцях зразка, симетрично відносно середнього перерізу, розміщувались натискні пластини (8). У їхні отвори через м'які тканини зразка вставлялись регулювальні гвинти (10) і на початку фіксувались смушковими гайками. На гачки (11) одягались тяжі (12) і створювалось невелике навантаження шляхом підвішування вантажу масою 2 К (4 кг). Смушковими гайками регулювалась довжина тяжів до досягнення симетричності обох гілок і перпендикулярності до осі зразка.

У середніх перерізах крайніх ребер на зовнішній поверхні зразків встановлювались металеві опорні підставки для контакту із вимірювальними пристроями, у ролі яких використовувались 2 індикаторні головки годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм (рис. 2).

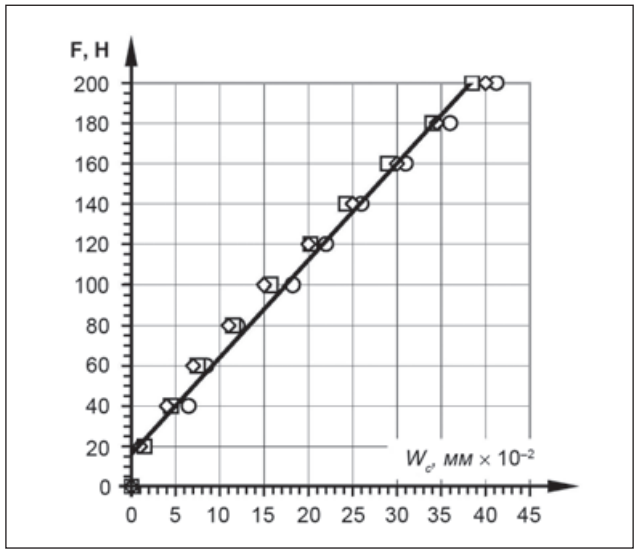

Рисунок 3. Дослідні залежності f = F (W_c) для натурних зразків у трьох повторах

Перед початком дослідження встановленому зразку надавалось початкове навантаження 50 Н для обтискання м'яких тканин та з'єднань у пристрої. Після витримування протягом однієї хвилини встановлювались індикаторні головки.

Випробування виконувалось шляхом ступеневого навантаження зразка вантажами вагою 20 Н, які підвішувались до навантажувача. На кожному кроці навантаження зразок витримувався протягом 1 хв, після чого знімались показники індикаторних головок. Кількість кроків навантаження дорівнювала 10, тобто максимальне навантаження становило 200 Н. Після досягнення максимального навантаження зразок розвантажувався до початкового рівня, і цикл навантаження повторювався. Кожне дослідження виконувалось у трьох повторах.

Результати випробування жорсткості натурних зразків наведено в табл. 1. Необхідно відмітити, що після циклу навантаження та розвантаження натурних зразків спостерігалось майже повне відновлення поперечних переміщень середніх перерізів, тобто зразок працював на стадії пружної роботи матеріалу ребер. Подібний висновок можна зробити і за побудованими графічно дослідними залежностями прикладеного навантаження F від переміщення середнього перерізу w_c (рис. 3), що добре апроксимуються лінійною залежністю. Отримана експериментально практично лінійна залежність дозволяє говорити про пружну роботу матеріалу ребер у діапазоні навантаження 20–200 Н. Отже, натурні зразки не доводились до стадії руйнування й могли бути використані для наступних досліджень параметрів жорсткості після відновлення цілісності різними методами остеосинтезу.

Після дослідження природної жорсткості ребра натурних зразків руйнувалися в центральній частині шляхом повного перелому без зняття пластин фіксатора та розділення м'язових тканин. Зразки зі штучними переломами в подальшому використовувалися для дослідження жорсткості в умовах остеосинтезу спицями (рис. 4а), апаратом зовнішньої фіксації (АЗФ) (рис. 4б) і після остеосинтезу пластинами (рис. 4в).

Після відновлення цілісності ребер одним із методів МОС проводилося дослідження жорсткості зразків вищеописаним способом.

Остеосинтез спицями здійснювався з використанням травматологічних спиць (ЦІТО) діаметром 1,8 мм, що встановлювались інтрамедулярно з точками входу та виходу на відстані близько 30 мм від місця штучного перелому ребра (рис. 4а). У ході випробування було відмічено поступову міграцію спиць у поздовжньому напрямку та зминання губчатої внутрішньої структури

Таблиця 1. Результати випробування жорсткості натурного та відновлених системами остеосинтезу зразків

Навантаження, *F (H)*	Поперечне переміщення середнього перерізу зразка, w_c, мм			
	Натурний зразок (n = 34)	Зразки після відновлення системами остеосинтезу		
		Спиці (n = 11)	Апарат (n = 12)	Пластини (n = 11)
20	0,01	0,19	0,02	0,07
40	0,05	0,52	0,04	0,24
60	0,07	0,86	0,07	0,42
80	0,11	1,06	0,11	0,60
100	0,16	1,64	0,15	0,83
120	0,20	2,03	0,19	1,06
140	0,24	2,53	0,25	1,28
160	0,29	3,00	0,30	1,49
180	0,34	3,53	0,35	1,71
200	0,39	4,10	0,43	1,95

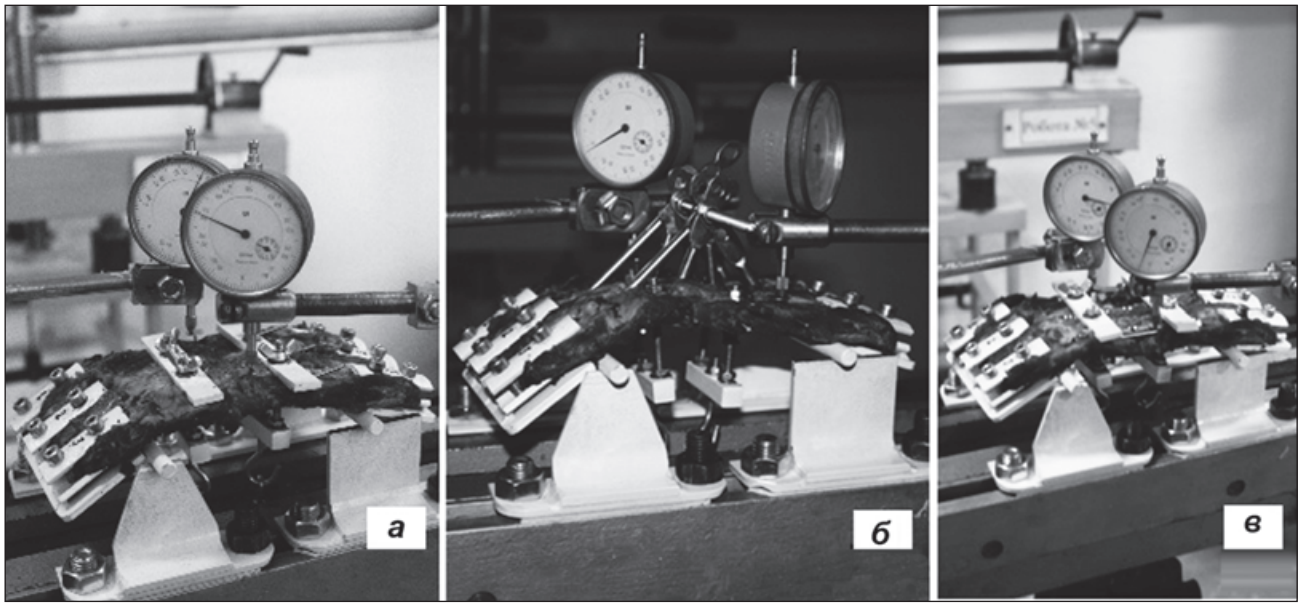

Рисунок 4. Випробування зразків після остеосинтезу: а) спицями; б) апаратом зовнішньої фіксації; в) накістковими пластинами

ребер, а повного відновлення зразків після зняття навантаження в повторах не спостерігалось.

АЗФ монтувався у базовій комплектації для остеосинтезу переломів ребер по одній лінії з двома несучими пласкими парами пластин-стрижнів, з'єднаних жорсткою різьбовою штангою та додатковими фіксуючими стрижнями, що забезпечували передачу згинаючого моменту (рис. 4б). У ході випробування після першого повтору спостерігались залишкові деформації системи, очевидно, пов'язані з обтисканням матеріалу ребер у зоні контакту зі спицями та незначними пластичними деформаціями спиць. У подальших повторах спостерігалось практично повне відновлення зразка після зняття навантаження. Міграції спиць та руйнування тканини ребер не було.

У випадку занурювального остеосинтезу пластинами використовувались хірургічні накісткові титанові пластини для остеосинтезу довгих кісток кінцівок. Фіксація пластин здійснювалась у двох точках з кожного боку від штучного перелому гвинтами діаметром 4,5 мм. Після виконання першого повтору в усіх відновлених зразках було відмічено значні залишкові деформації пластин, що, однак, були відсутні в наступних повторах. Це свідчить про підвищення межі текучості матеріалу пластин після пластичного деформування в першому повторі і подальшу їх пружну роботу в наступних повторах. Після випробування було відмічено незначний люфт у кріпленні пластин до ребер.

Результати дослідження жорсткості зразків, відновлених системами остеосинтезу, наведені в табл. 1. Графічне зображення залежностей $f = F(w_c)$ разом з апроксимуючими кривими подано на рис. 5.

Наведені в табл. 1 та на рис. 5 результати дослідження жорсткості натурних та відновлених системами МОС ребрових блоків показують, що зразки, цілісність яких була відновлена з використанням стрижневого апарату, показують жорсткість, що практично збігається з жорсткістю натурних зразків. У той же час системи МОС із використанням спиць ЦІТО та накістних пластин не дозволяють досягти фізіологічної жорсткості ГРК.

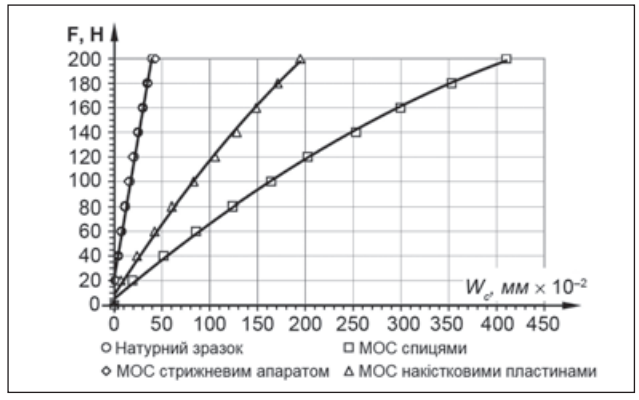

Рисунок 5. Порівняльні графіки залежностей $f = F(w_c)$ натурного та синтезованих зразків

Для відносної кількісної оцінки жорсткості досліджуваних зразків можна використати усереднену жорсткість як середнє значення тангенса кута між дотичною до кривої деформування та віссю w_c (рис. 5):

$$\bar{D} = \frac{\delta \bar{F}}{\delta \bar{w}_c}, \qquad (1)$$

де $\delta \bar{w}_c$ — середнє значення приросту переміщень на прирості навантаження $\delta \bar{F}$.

За результатами, наведеними в табл. 1, усереднена жорсткість натурних зразків становить $D_{н.з.} = 466 \times \times 10^3$ Н/м, зразків із МОС стрижневим апаратом — $D_{с.а.} = 435 \cdot 10^3$ Н/м, зразків із МОС спицями —

$D_{с.к.} = 46 \cdot 10^3$ Н/м, зразків із МОС накістковими пластинами — $D_{н.п.} = 96 \cdot 10^3$ Н/м.

Отже, найгірші характеристики щодо відновлення природної жорсткості ГРК в умовах статичних навантажень мають методики МОС спицями ЦІТО та накістковими пластинами — 10 та 21 % від природної жорсткості відповідно. МОС із використанням стрижневого апарату дозволяє на 93 % відновити жорсткість ГРК.

Висновки

1. У ході досліджень усі використані системи МОС на перших циклах навантаження показали певні рівні необоротних деформацій. Найбільші необоротні деформації були отримані при занурювальному МОС спицями та пластинами.

2. При занурюваному МОС ребер спицями та пластинами відмічена виражена тенденція до міграції елементів МОС із руйнуванням несучих структур ребер та появою люфтів в умовах статичних навантажень та незадовільні характеристики стосовно відновлення жорсткості ГРК.

3. Позавогнищевий екстраплевральний МОС із використанням АЗФ на основі пластин-стрижнів дозволяє досягти значень жорсткості, найближчих до фізіологічного рівня — до 93 % природної жорсткості.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Simon B. Management of pulmonary contusion and flail chest: an Eastern Association for the Surgery of Trauma practice management guideline / B. Simon, J. Ebert, F. Bokhari, J. Capella, T. Emhoff, T. Hayward 3rd, A. Rodriguez, L. Smith; Eastern Association for the Surgery of Trauma // J. Trauma Acute Care Surg. — 2012. — № 73 (5 Suppl. 4). — P. 351-361. PMID: 23114493 DOI: 10.1097/TA.0b013e31827019fd.

2. Dehghan N. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank / N. Dehghan, C. de Mestral, M.D. McKee, E.H. Schemitsch, A. Nathens // J. Trauma Acute Care Surg. — 2014. — № 76(2). — P. 462-468. PMID: 24458051 DOI: 10.1097/TA.0000000000000086.

3. Doben A.R. Surgical rib fixation for flail chest deformity improves liberation from mechanical ventilation / A.R. Doben, E.A. Eriksson, C.E. Denlinger, S.M. Leon, D.J. Couillard, S.M. Fakhry, C.T. Minshall // J. Crit. Care. — 2014. — № 29(1). — P. 139-143. PMID: 24075300 DOI: 10.1016/j.jcrc.2013.08.003.

4. Nirula R. Rib fracture repair: indications, technical issues, and future directions / R. Nirula, J.J. Diaz Jr, D.D. Trunkey, J.C. Mayberry // World J. Surg. — 2009. — № 33(1). — P. 14-22. PMID: 18949513 DOI: 10.1007/s00268-008-9770-y.

5. Панасенко С.І. Методологічні парадокси на тлі зміни парадигми хірургічної тактики при травматичній нестабільності грудинно-ребрового каркасу / С.І. Панасенко, В.Д. Шейко, С.О. Гур'єв та ін. // Клінічна хірургія. — 2013. — № 8. — С. 54-56. PMID:24171291.

6. Lichte P. Damage control orthopedics: current evidence / P. Lichte, P. Kobbe, D. Dombroski, H.C. Pape // Curr. Opin. Crit. Care. — 2012. — № 18(6). — P. 647-650. PMID: 23037876 DOI: 10.1097/MCC.0b013e328359fd57.

7. Anavian J. Surgical management of multiple painful rib nonunions in patient with a history of severe shoulder girdle trauma: a case report and literature review / J. Anavian, S.T. Guthrie, P.A. Cole // J. Orthop. Trauma. — 2009. — № 23(8). — P. 600-604. PMID: 19704277. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181a15e90

8. Cacchione R.N. Painful nonunion of multiple rib fractures managed by operative stabilization / R.N. Cacchione, J.D. Richardson, D. Seligson // J. Trauma. — 2000. — № 48(2). — P. 319-321. PMID: 10697096.

Отримано 14.03.2017

Панасенко С.И.[1], Ковальчук С.Б.[3], Гурьев С.Е.[1], Горик А.В.[3], Шейко В.Д.[2], Бурлака А.А.[3]
[1]ГУ «Украинский научно-практический центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф МЗ Украины», г. Киев, Украина
[2]ВГУЗУ «Украинская медицинская стоматологическая академия», г. Полтава, Украина
[3]Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

Биомеханические характеристики отдельных методов остеосинтеза ребер

Резюме. Аналитический обзор источников научной информации высветил ряд проблем в процессе изменения парадигмы лечения переломов ребер при флотирующей грудной клетке. Рекомендации по погружному остеосинтезу ребер имеют контраверсивный характер по отношению к травматологическим рекомендациям относительно нецелесообразности этой методики при тяжелой политравме. Кроме этого, прямое перенесение технологий металлоостеосинтеза длинных трубчатых костей в методики остеосинтеза ребер не учитывает их гистоанатомические и функциональные особенности, а доказательная база всех исследований основывается исключительно на клинических эффектах лечения. Ни одна из имеющихся методик остеосинтеза ребер не имеет биотехнического обоснования. В статье приведены результаты экспериментального сравнения биомеханических характеристик наиболее распространенных в Украине методов остеосинтеза ребер. Исследование проводилось на 34 реберно-мышечных фрагментах грудной стенки свиней. В эксперименте изучались характеристики жесткости натурных реберных образцов до и после металлоостеосинтеза по различным методикам: 1) погружной интрамедуллярный метод с помощью спиц; 2) внеочаговый экстраплевральный метод с помощью оригинального аппарата внешней фиксации; 3) погружной накостный метод с помощью пластин. Определенные уровни необратимых деформаций на первых циклах статических нагрузок показали все использованные системы остеосинтеза, но наибольшие их значения наблюдались при погружном остеосинтезе спицами и пластинами. Также были отмечены склонность к миграции отдельных элементов с раз-

рушением несущих структур ребер и появлением люфтов в условиях статических нагрузок и неудовлетворительные характеристики относительно восстановления жесткости реберного блока. Внеочаговый экстраплевральный остеосинтез при помощи оригинального аппарата внешней фиксации на основе пластин-стержней позволяет достичь значений жесткости, наиболее близких к физиологическому уровню (в эксперименте — 93 % естественной жесткости).

Ключевые слова: флотирующая грудная клетка; переломы ребер; остеосинтез

S.I. Panasenko[1, 2], S.B. Kovalchuk[3], S.O. Guriev[1], O.V. Goryk[3], V.D. Shejko[2], O.A. Burlaka[3]
[1]State Institution "Ukrainian Scientific and Practical Center of Emergency Medical Care and Disaster Medicine of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv, Ukraine
[2]Higher State Educational Institution of Ukraine "Ukrainian Medical Stomatological Academy", Poltava, Ukraine
[3]Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine

Biomechanical characteristics of individual methods of rib osteosynthesis

Abstract. ***Background.*** The analytical review of the sources of scientific information considered a number of problems in the process of changing the paradigm of the treatment of rib fractures with a floating chest. The recommendations for internal osteosynthesis of ribs have controversial nature in relation to the traumatological recommendations on the inexpediency of this methodology in case of severe polytrauma. In addition, a direct extrapolation of the osteosynthesis techniques of long bones in the techniques of the rib osteosynthesis does not take into account their histoanatomical and functional features, and the evidence base of all the studies is based only on the clinical effects of treatment. None of the existing methods of rib osteosynthesis have biotechnical justification. The article presents the results of an experimental comparison of the biomechanical characteristics of the rib osteosynthesis methods most common in Ukraine. ***Materials and methods.*** The study was conducted with the use of 34 ribs and muscular fragments of the thoracic wall of pigs, and the experiment included the study of stiffness characteristics of native rib samples before and after the osteosynthesis according to various methods: 1 — internal intramedullary method with the use of wires; 2 — extrafocal extrapleural method with the use of original external fixation device; 3 — internal extramedullary method with the use of plates. The rib and muscular blocks were fixed in the hinge device developed by us, which has the dial detecting heads that facilitated the dosage static stepped loads. ***Results.*** Certain levels of irreversible deformities in the first cycles of static loads revealed all of the used osteosynthesis systems, but their greatest values were registered during the internal osteosynthesis with the wires and plates. Also, the tendency of individual elements to migrate with the destruction of the ribs bearing structures and the emergence of backlash under static loads were noticed, as well as poor characteristics of restoring the rib block stiffness. ***Conclusions.*** The extrafocal extrapleural osteosynthesis with the original external fixation device based on plates-rods enables to achieve the stiffness values closest to the physiological level (in the experiment, the natural stiffness amounted to 93 %).

Keywords: floating chest; rib fractures; osteosynthesis