

УДК 620.171.3:616.71-001.5-089.227.84

М. Димань¹, к.т.н., с.досл.; А. Лакша², д.м.н., проф., О. Фомін³, к.м.н., доц.

¹ Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, Україна

² Українська військово-медична академія, Україна

³ Військово-медичний клінічний центр Центрального регіону, Україна

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ОСТЕОСИНТЕЗУ СКЛАДНИХ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК ТАЗУ

Анотація. Робота присвячена дослідженню механічних характеристик фіксації складних переломів кісток таза у ділянці крижово-клубового з'єднання та верхньої і нижньої гілок лобкової кістки, які можуть виникати внаслідок поранення високошвидкісними снарядами що ранять. Досліджено деформаційні характеристики систем остеосинтезу складних переломів тазових кісток за допомогою паралельного введення спонгіозних гвинтів зі стабілізацією стрижневим апаратом зовнішнім фіксації та за допомогою армування із застосуванням накісткової реконструктивної пластини при циклічних навантаженнях. Удосконалення конструкції, використання нових матеріалів та методів їх виготовлення дозволить ефективно використовувати властивості наявних біомедичних матеріалів, покращити експлуатаційні характеристики, скоротити терміни лікування а також покращити якість життя поранених.

Ключові слова: біомеханіка, остеосинтез, стабільність фіксації перелому, кістки тазу, ураження високошвидкісними снарядами (осколки, кулі).

M. Dyman, Ph.D.; A. Laksha, Ph.D., Prof.; O. Fomin, Ph.D., Assoc. Prof.

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF OSTEOSYNTHESIS SYSTEMS OF COMPLEX FRACTURES OF PELVIC BONES

Abstract. The work is devoted to the study of mechanical characteristics of osteosynthesis systems of complex fractures of pelvic bones in the area of the ice-club joint and upper and lower branches of the pubic bone, which can occur as a result of injury by high-velocity projectiles that injure. Deformation characteristics of osteosynthesis systems of complex fractures of pelvic bones by means of parallel insertion of spongy screws with stabilization by rod apparatus of external fixation and by means of reinforced with application of extramedullary reconstructive plate under cyclic loads are investigated. The improvement of the design, the use of new materials and methods of their manufacture and coating will allow to effectively use the properties of available biomedical materials, improve the performance, reduce the duration of treatment and also improve the quality of life of the injured.

Keywords: biomechanics, osteosynthesis, stability of fracture fixation, pelvic bones, damage by high-velocity projectiles (rocket fragments, bullets).

Системи остеосинтезу мають бути достатньо стабільними при довготривалому лікуванні, яке може супроводжуватися компресійними, згинальними та ротаційними навантаженнями кісток.

Аналітичне визначення взаємних зміщень уламків кісток під дією навантажень є достатньо складною проблемою, у зв'язку з особливостями механічних характеристик кісткової тканини (в'язко-пружні ефекти, анізотропія, неоднорідність модулів пружності) та складною тримірною конфігурацією кісток. Експериментальні дослідження жорсткості та стабільності фіксації на натурних препаратах при реальних видах та рівнях навантажень на сьогодні дає найбільш достовірні результати.

Надалі окрім загальної деформації всієї системи «кістка з переломом – система остеосинтезу» будемо розглядати також взаємні зміщення частин кістки під дією фізіологічних навантажень. Як характеристики стабільності будемо розглядати ступінь зміни цих зміщень у часі під дією довготривалих циклічних навантажень.

Актуальність проблеми. Вибір способу остеосинтезу складних переломів тазових кісток при ураженні високошвидкісними раними снарядами пов'язано з масовістю цих переломів в Україні на даний час. Такі переломи відносять до найтяжчих пошкоджень і становлять 5–10 % від усіх випадків. Близько 90% переломів кісток тазу мають поєднаний і множинний характер. Летальність при поєднаних переломах становить 20–80%, при ізольованих – 6–19%. Інвалідами залишаються 40–56% травмованих. При хірургічному лікуванні, застосовуються декілька методів, зокрема, фіксація гвинтами, накістковими реконструктивними пластинами, стрижневим апаратом зовнішньої фіксації [1,2,3].

Мета роботи. Розробка методики проведення натурального експерименту і вивчення деформаційних характеристик засобів остеосинтезу складних переломів тазових кісток людини отриманих високошвидкісними снарядами, що ранять (осколки, кулі), в залежності від типу фіксатора та його розташування під дією циклічних навантажень.

Об'єкти досліджень. При остеосинтезі переломів кісток тазу, використовували стандартні спонгіозні гвинти діаметром 5 мм, довжиною 110 мм та з кроком різьби 2 мм. Реконструктивну накісткову пластину довжиною 84 мм і товщиною 2 мм, з гвинтами діаметром 6,5 мм і довжиною 45 мм. Для стабілізації був використаний стандартний стрижневий апарат зовнішньої фіксації. На **рис.1** зображено моделі систем остеосинтезу кісток тазу, які були досліджені.

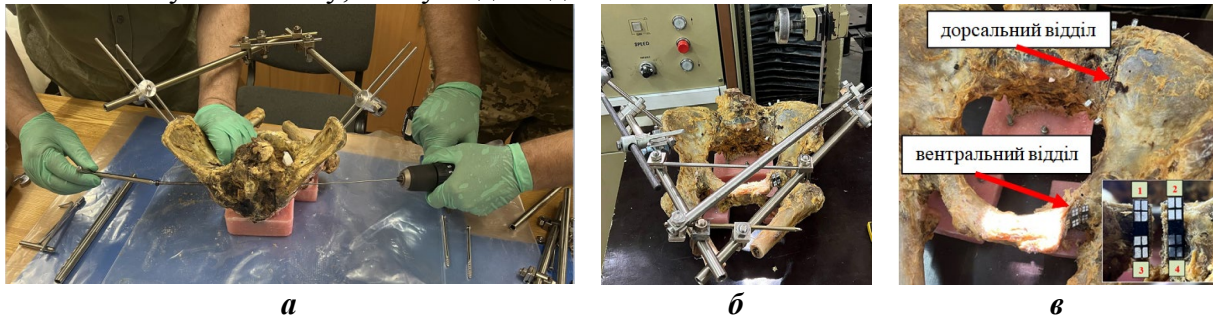


Рис. 1 – Моделювання і фіксація перелому (а), тазова кістка на робочому столі випробувальної машини при випробуванні в режимі циклічних навантажень при згині (б), позначення відділів тазової кістки та схема нумерації ідентифікаційних маркерів (в)

Підготовка зразків до випробувань. Використовували анатомічні препарати тазових кісток трупів людей, які померли від пошкоджень та захворювань, не пов'язаних з патологією опорно-рухового апарата.

Перед випробуваннями на всіх зразках тазових кісток моделювали прямі переломи в дорсальному та вентральному відділах. Переломи моделювали шляхом поперечної остеотомії осциляторною пилкою та фіксували двома способами: 1) в дорсальному відділі шляхом паралельного введення спонгіозних гвинтів та стабілізацією зовнішнім стрижневим апаратом фіксації (СО1) та 2) в дорсальному відділі шляхом паралельного введення гвинтів та армування в вентральному відділі із застосуванням накісткової реконструктивної пластини і стабілізацією зовнішнім стрижневим апаратом фіксації (СО2) [4].

Для виключення сторонніх деформацій у місцях контакту зразків з випробувальним обладнанням та для закріплення досліджуваних препаратів на

робочому столі випробувальної машини використовували пластикові опори (Протакрил М), що виготовляють індивідуально для кожної кістки [5].

Як ідентифікаційні маркери (*рис.1в*) для реєстрації переміщень точок перелому використовували прямокутні пластинки, виготовлені з листового ПВХ які нерухомо закріплювали до кісткової тканини в вентральному та дорсальному відділах тазової кістки.

Для вимірювання переміщень на відстані 100 мм від зразка встановлювали цифрову фотокамеру. За допомогою програмного забезпечення для обробки цифрових зображень вимірювали відстані між ідентифікаційними мітками в pixel і за допомогою масштабного коефіцієнту перераховували величини відстаней в міліметрах. Масштабний коефіцієнт визначали попереднім фотографуванням калібру з відомим розміром. Розрахунок переміщень точок перелому під дією навантажень детально описано у роботах [6,7].

Методика випробувань. Досліджена зміна жорсткості систем остеосинтезу під дією циклічних навантажень, що імітують навантаження на опорно-руховий апарат людини під час ходьби. Для аналізу способів фіксації використовуємо відносні величини – відношення відповідного зміщення до прикладеного навантаження (приведені переміщення λ) та величини, зворотні до приведених зміщень (жорсткості С). Приведені переміщення характеризують деформацію системи під дією навантаження величиною 1 Н. Жорсткості систем - це навантаження, яке необхідно прикласти до зразка для виникнення в ньому деформації в 1 мм. Ці характеристики відображають біомеханічні властивості лінійних систем, в яких деформації прямо пропорціональні навантаженням.

Тазові кістки з модельованими переломами та системами остеосинтезу закріплювали на робочому столі універсальної випробувальної машини [4] за допомогою спеціальних струбцин. Зусилля на зразок при випробуваннях передавали за допомогою сталевого стрижня діаметром 5 мм, закріпленого на динамометрі (*рис.1б*).

За допомогою програми з комплекту програмного забезпечення випробувальної машини TIRAtest-2151 здійснювали цикли «навантаження – розвантаження» препаратів в інтервалі між двома заданими значеннями сили. Швидкість деформування зразка становила 0,5 мм/хв. Попереднє навантаження становило 10 Н. Кількість циклів становила – 100. Зусилля $P_{\min} = 20$ Н, а зусилля P_{\max} змінювали від 50 Н, 75 Н, 100 Н. Реєстрацію переміщень здійснювали на 1, 2, 5, 10, 20, 50 та 100-му циклах.

Результати випробувань. Для порівняльного аналізу використані результати, що одержані при значеннях $P_{\min} = 20$ Н та $P_{\max} = 100$ Н.

Результати експериментів та розрахунків представлені в табл. 1 та на рис. 2.

Табл. 1. Приведені переміщення вентральної точки перелому λ^V (мм/Н) на 100-му циклі

| Навантаження | Тип фіксації | |
|--------------------|--------------|-------|
| | CO 1 | CO 2 |
| $P_{\min} = 20$ Н | 0,081 | 0,039 |
| $P_{\max} = 100$ Н | 0,027 | 0,009 |

При дії циклічних згинальних навантажень найбільшу жорсткість мають системи фіксації в дорсальному відділі шляхом паралельного введення гвинтів та армування в вентральному відділі із застосуванням накісткової реконструктивної пластини і стабілізацією зовнішнім стрижневим апаратом фіксації (C02).

Жорсткості фіксації вентральної точки перелому

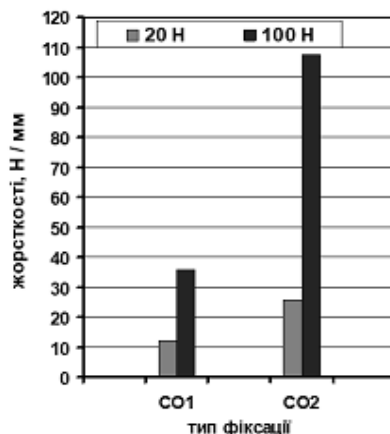


Рис. 2 – Жорсткості фіксації переломів C^V (Н/мм), розраховані по приведеним переміщенням вентральної точки перелому на 100-му циклі при навантаженнях 20 Н та 100 Н

Висновки. Розроблені методика та програма випробувань моделей тазових кісток з модельованими складними переломами та системами остеосинтезу. Одержані характеристики жорсткості систем фіксації моделей тазових кісток під дією циклічного навантаження при згині. Встановлено, що за більшістю вимірних характеристик перевагу мають система остеосинтезу, а саме фіксація в дорсальному відділі шляхом паралельного введення спонгіозних гвинтів та армування в вентральному відділі із застосуванням накісткової реконструктивної пластини і стабілізацією зовнішнім стрижневим апаратом фіксації ($CO2$).

Перелік посилань

1. Лікування поранених з бойовими ушкодженнями живота (за досвідом АТО/ООС): монографія / за ред. К.В. Гуменюка, І.П. Хоменка, І.А. Луріна, та ін. ; за заг.ред. В.І. Цимбалюка. – Херсон : Олді+, 2022. – 194с.
2. O. Ye. Loskutov, I. I. Zherdev, A. M. Domanskyi, S. O. Korol " Surgical Management of Gunshot Wounds of Extremities in Multiprofiled Hospital ", *Travma*, No. 17 (3), pp. 169–172, 2022. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.17.2016.75804>
3. I.P. Khomenko, S.O. Korol, S.V. Khalik, V.Iu. Shapovalov, R.V. Yenin, O.S. Herasymenko, S.V. Tertyshnyi "Clinical and Epidemiological analysis of the structure of combat surgical injury during Antiterrorist operation / Joint Forces Operation", *UJMM*, No. 2 (2), pp.5-13, 2021. DOI:10.46847/ujmm.2021.2(2)-005
4. M.Dyman, M. Shydlovskiy, M. Bobyr, A. Laksha, and O. Fomin, "Functional reliability of means of fixation for complex pelvic fractures. Part 1: Materials and methods", *Mech. Adv. Technol.*, vol. 8, no. 1(100), pp. 54–61, 2024. DOI: [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.1\(100\).297622](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.1(100).297622)
5. M. Shidlovskiy, M. Dyman, T. Omelchenko "The tibia fractures fixation system deformation characteristics", *Mechanics and Advanced Technologies*, No. 3 (84), pp. 52-60, 2018. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2018.84.141615>
6. M. Shidlovskiy, O. Zakhovayko, M. Dyman "Application of digital photography in biomechanical studies of osteosynthesis systems", *Mechanics and Advanced Technologies*, No. 1 (82), pp. 123-130, 2018. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2018.82.126215>
7. M.S. Shydlovskiy, O.P. Zakhovayko, M.M. Dyman "Sposib vyznachennia peremishchen v systemakh osteosyntezy", in *Proc. Zbirnyk naukovykh prats XVII Prohresyvnna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita Ukraine*, Odesa, pp. 21–22, 2016.