

УДК 620.171.3:616.71-001.5-089.227.84

Характеристики жорсткості засобів остеосинтезу кінцівок при просторовому навантаженні

Шидловський М.С., Димань М.М., Захвайко О.П., Одудько Д.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Наведено результати тестових випробувань систем «великогомілкова кістка з модельованим переломом – фіксуюча пластина» при просторовому навантаженні трьома зовнішніми силами, що викликають стиск, згин та кручення. В результаті випробувань виміряні величини взаємних переміщень та кути взаємного повороту частин перелому.

З метою перевірки придатності методу проведено аналітичні розрахунки переміщень точок перелому та кутів повороту з використанням даних, отриманих шляхом окремих навантажень стиском, згином та крученням. Співставлення результатів випробувань та розрахунків показало придатність методу, що дає можливість оперативної та достовірної оцінювати рівень переміщень в переломах кісток під дією просторової системи сил.

Ключові слова: остеосинтез, біомеханічні характеристики, великогомілкова кістка, стиск, згин, кручення, переміщення в переломі, кут повороту, небезпечні навантаження, допустиме навантаження.

Більшість експериментальних досліджень надійності засобів фіксації переломів (ЗФП) кісток [1-2 та інші] базується на способах вимірювання переміщень в переломах при одноразових та короткочасних зовнішніх навантаженнях переважно при їх дії уздовж поздовжньої осі кістки, рідше - при згині. Спільний вплив більшості можливих напрямків сил практично не розглядається, хоча саме цей випадок, на наш погляд, найбільш важливий з практичної точки зору (ходьба, лікувальні процедури та ін.)

Для експериментального вивчення просторових переміщень точок перелому і взаємних кутів повороту розроблено і створено пристрій, що дозволяє відтворювати одночасно дію на систему «кістка з переломом - засіб фіксації» стискаючих, згинальних і ротаційних навантажень (рис. 1). У процесі навантаження передбачене цифрове фотографування області перелому з подальшим визначенням переміщень (взаємних зміщень) точок протилежних частин перелому [3].

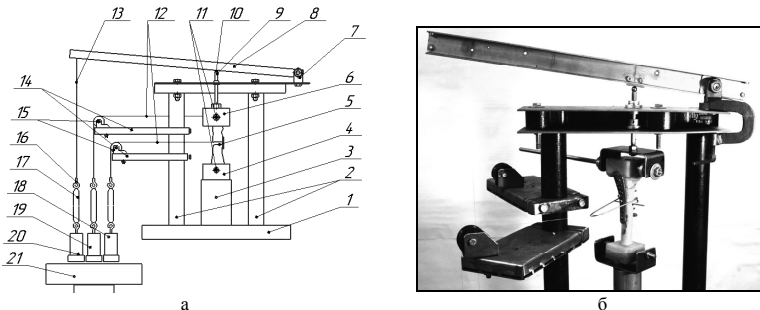


Рис. 1. Схема випробувального пристрою для дослідження систем остеосинтезу при складному навантаженні (а) та його зовнішній вигляд (б): 1 - нерухома рама; 2 - опори; 3 - нижня опора; 4 - нижній затискувач; 5 - кістка; 6 - верхній затискувач; 7 - вилка - шарнір; 8 - важіль; 9 - навантажувальний стержень; 10 - кулька; 11 - вісь; 12 - шнури; 13 - трос; 14 - підставки для блоків; 15 - змінні блоки; 16 - гак; 17 - талреп; 18 - вантаж для створення кручення; 19 - вантаж для створення згину; 20 - вантаж для створення стиску; 21 - блок навантаження

Контрольні випробування (рис. 2) проводили із застосуванням великогомілкової кістки з модельованим переломом, що фіксувався медіальною блокованою пластиною (надалі «пластина») [4].

Навантаження та геометричні характеристики зразків ВГК з переломом, фіксованим медіальною блокованою пластиною, підданих сумісному навантаженню стиском, згином та крученням: осьове навантаження $P_1 = 147.1$ Н; поперечне навантаження $P_2 = 49.1$ Н; поперечна сила (реакція в верхній опорі) $P_2 = 28.5$ Н; ротаційне навантаження $P_3 = 5.88$ Н; відстані від лінії дії сили до місця закріплення перелому: $e_1 = 17.5$ мм, $e_2 = 32$ мм, $e_3 = 215$ мм; відстань між опорами $L_{заг} = 146$ мм; відстань від верхньої опори до точки прикладання сили $L_P = 61.2$ мм; розмір перелому (відстань між медіальною точкою M та латеральною точкою L) $S_{ML} = 29$ мм.

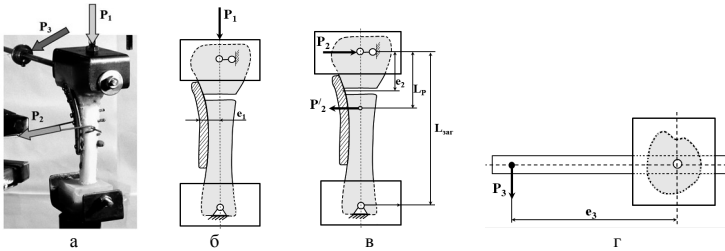


Рис. 2. Напрями навантажень на кістку при їх сумісній дії (а) та окремі навантаження при стиску (б), згині (в) та крученні (г)

Після прикладання навантажень P_1 , P_2 та P_3 за допомогою цифрової фотозйомки виміряні переміщення точок перелому Λ^L та Λ^M на максимальному віддаленні від пластини (точка L) та поблизу пластини (точка M). Результати вимірювань наведено в табл. 1 (спосіб I). Індексами X , Y , Z позначено проєкції повних переміщень на відповідні осі (X - поздовжня вісь кістки, Y - вісь, перпендикулярна напрямку X та паралельна площині пластини, Z - вісь, перпендикулярна осям X та Y). В цій же таблиці надані повні взаємні переміщення двох точок перелому як геометричні суми трьох компонент

$$\Lambda^L = \sqrt{(\Lambda_X^L)^2 + (\Lambda_Y^L)^2 + (\Lambda_Z^L)^2}; \quad \Lambda^M = \sqrt{(\Lambda_X^M)^2 + (\Lambda_Y^M)^2 + (\Lambda_Z^M)^2}$$

та кут взаємного повороту частин перелому, розрахований за формулою

$$\Gamma = \arccos \left[1 - \frac{(\Lambda_X^L - \Lambda_X^M)^2 + (\Lambda_Y^L - \Lambda_Y^M)^2 + (\Lambda_Z^L - \Lambda_Z^M)^2}{2 \cdot S_{ML}^2} \right].$$

Таблиця 1

Переміщення точок перелому для фіксації медіальною блокованою пластиною

Точка та напрям переміщення		Спосіб I	Спосіб II	Відносна різниця Δ , %
Найвіддаленіша від пластини латеральна точка L	Λ_X^L , мм	2.09	2.20	5.00
	Λ_Y^L , мм	1.48	1.53	3.26
	Λ_Z^L , мм	0.46	0.49	6.12
Повне переміщення точки Λ^L , мм		2.60	2.72	4.41
Поблизу пластини, медіальна точка M	Λ_X^M , мм	0.67	0.70	4.29
	Λ_Y^M , мм	0	0	---
	Λ_Z^M , мм	0.46	0.49	6.12
Повне переміщення точки Λ^M , мм		0.80	0.85	5.88
Кут повороту частин перелому Γ , °		4.05	4.23	4.25

Примітка: спосіб I - дані безпосереднього вимірювання переміщень при сумісній дії сил P_1, P_2 та P_3 ; спосіб II - результати розрахунків з застосуванням даних, одержаних при простих навантаженнях

Для перевірки результатів тривимірного навантаження зроблено аналітичні розрахунки переміщень точок перелому та кутів повороту з використанням даних, отриманих шляхом випробувань при дії окремих навантажень стику, згину та кручення [10].

Складові переміщень та повні переміщення латеральної L та медіальної M точок перелому були розраховані за формулами

$$\Lambda^L_j = \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot \left(\lambda^L_{jk} + \bar{\lambda}^L_{jk} \cdot e_k \right) \right]; \quad \Lambda^M_j = \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot \left(\lambda^M_{jk} + \bar{\lambda}^M_{jk} \cdot e_k \right) \right];$$

$$\Lambda^L = \sqrt{\sum_{j=1}^3 \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot \left(\lambda^L_{jk} + \bar{\lambda}^L_{jk} \cdot e_k \right) \right]^2}; \quad \Lambda^M = \sqrt{\sum_{j=1}^3 \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot \left(\lambda^M_{jk} + \bar{\lambda}^M_{jk} \cdot e_k \right) \right]^2}$$

В табл. 2 наведені значення приведених переміщень, розрахованих для системи «ВГК з переломом - медіальна блокована пластина».

Таблиця 2

Приведені переміщення $\lambda^L_{jk} \cdot 10^3$, мм/Н та $\bar{\lambda}^L_{jk} \cdot 10^3$, мм/(Н·мм) точок перелому L (віддалена від пластини) та M (поблизу пластини) для фіксації перелому медіальною блокованою пластиною (3М)

	λ^L_{Xk}	λ^L_{Yk}	λ^L_{Zk}	$\bar{\lambda}^L_{Xk}$	$\bar{\lambda}^L_{Yk}$	$\bar{\lambda}^L_{Zk}$
k = 1	4.75	0	0	0.429	0	0.134
k = 2	0	0	0.64	0.427	0	0.134
k = 3	0	0	0	0	1.213	0
	λ^M_{Xk}	λ^M_{Yk}	λ^M_{Zk}	$\bar{\lambda}^M_{Xk}$	$\bar{\lambda}^M_{Yk}$	$\bar{\lambda}^M_{Zk}$
k = 1	4.75	0	0	0	0	0.134
k = 2	0	0	0.64	0	0	0.134
k = 3	0	0	0	0	0	0

Значення навантажень (сили P_1, P_2, P_3) та геометричні характеристики системи (відстані e_1, e_2, e_3) при розрахунках взяті ті ж самі, що і в експерименті. Результати визначення взаємних зміщень частин перелому великогомілкової кістки, фіксованого медіальною блокованою пластиною, наведені в табл. 1 (спосіб II). В цій же таблиці представлена відносна різниця Δ між даними, одержаними описаними способами. В цілому, розходження показників, виміряних обома способами лежить в межах 3 - 6%, що знаходиться на рівні похибки вимірювання.

Висновки

Описані способи визначення показників жорсткості систем остеосинтезу дозволяють оперативно та надійно оцінювати рівень переміщень в переломах кісток, фіксованих різними способами, під дією просторової системи сил. При цьому є можливість визначити вклад кожної компоненти навантажень в загальний рівень переміщень та кута повороту частин перелому і за рахунок цього визначити небезпечні напрями навантажень та їх допустимі рівні.

Stiffness characteristics of means of osteosynthesis of limbs under spatial loading

Shidlovskiy M.S., Dyman M.M., Zakhovaiko O.P., Odudko D.G.

Abstract. The results of tests of "tibia with a simulated fracture – a fixing plate" system are given in the case of spatial loading by three external forces causing compression, bending and torsion. As a result of the tests, the values of mutual displacements and angles of mutual rotation of the fracture parts were measured.

In order to check the applicability of the method, analytical calculations of displacements of the fracture points and rotation angles were carried out using data obtained by separate loadings of compression, bending and torsion. Comparison of test results and calculations makes it possible to quickly and reliably assess the level of displacements in the presence of a spatial force system.

Keywords: osteosynthesis, biomechanical characteristics, tibia, compression, bending, torsion, displacements at the fracture, rotation angle, dangerous loads, permissible load.

Характеристики жесткости средств остеосинтеза конечностей при пространственном нагружении

Шидловский Н.С., Дымань М.М., Заховайко А.А., Оудько Д.Г.

Аннотация. Приведены результаты тестовых испытаний систем «большеберцовая кость с моделируемым переломом – фиксирующая пластина» при пространственном нагружении тремя внешними силами, вызывающими сжатие, изгиб и кручение. В результате испытаний измерены величины взаимных перемещений и углы взаимного поворота частей перелома.

С целью проверки применимости метода проведены аналитические расчеты перемещений точек перелома и углов поворота с использованием данных, полученных путем отдельных нагрузок сжатием, изгибом и кручением. Сопоставление результатов испытаний и расчетов показало пригодность метода, дает возможность оперативно и достоверно оценивать уровень перемещений при переломах костей под действием пространственной системы сил.

Ключевые слова: остеосинтез, биомеханические характеристики, большеберцовая кость, сжатие, изгиб, кручение, перемещения в переломе, угол поворота, опасные нагрузки, допустимая нагрузка.

Список літератури

1. Weber T.G. The role of fibular fixation in combined fractures of the tibia and fibula: a biomechanical investigation / Weber T.G., Harrington R.M., Henley M.B., Tencer A.F. // J Orthop. Trauma. – 1997. – V. 11(3). – P. 206 – 211.
2. Zelle B.A. Treatment of distal tibia fractures without articular involvement: a systematic review of 1125 fractures / Bhandari M., Espiritu M., et al. // J Orthop Trauma. 2006;20:76–9
3. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с.
4. 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(35-36), 2017. – с.129-133.