

УДК 620.178.4/.6:616-001.5

Д. Г. Одудько, М.М. Димань, О.С. Мусієнко, М.С. Шидловський, О.П. Заховайко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Деформування засобів фіксації переломів кісток при просторовому навантаженні

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» стисних, згинальних і ротаційних навантажень. Пристрій призначений для прикладання статичних та циклічних навантажень при випробуваннях засобів ОС при одночасної дії стиску, згину та кручення. У процесі навантаження у кожний момент часу є можливість цифрового фотографування області перелому та подальше визначення переміщень (взаємних зміщень) точок протилежних частин перелому.

Принцип роботи пристрою. Експериментальний пристрій (рис. 1) включає такі основні вузли: система закріплення кістки з модельованим переломом та засобом фіксації; вузол для навантаження кістки при стисканні; вузол для навантаження кістки шляхом згинання; вузол для прикладання до кістки ротаційного навантаження; важільна система для прикладання циклічного навантаження. На рис. 1 позначено: 1 - станина; 2 - опорні колони; 3 - нижня опора; 4 – нижній затискувач; 5 - кістка; 6 - верхній затискувач; 7 - вилка - шарнір; 8 - важіль; 9 - навантажувальний стержень; 10 - кулька; 11 - вісі; 12 - шнури; 13 - трос; 14 - підставки для блоків; 15 – змінні блоки; 16 - гак; 17 - талреп; 18 - вантаж для створення згину; 19 - вантаж для створення кручення; 20 - вантаж для створення стиску; 21 – блок навантаження

Навантаження вздовж поздовжньої осі кістки. Осьове навантаження створює вантаж 20. Це навантаження передається через талреп 17 і гнучкий трос 13 на важіль 8. Останній навантажує стержень 9, жорстко з'єднаний з рухомим верхнім затискувачем 6. Верхній затискувач здійснює осьове стискаюче навантаження на кістку 5. Нижній затискувач 4 жорстко з'єднаний з нижньою опорою 3, яка регулює положення кістки, та із станиною 1.

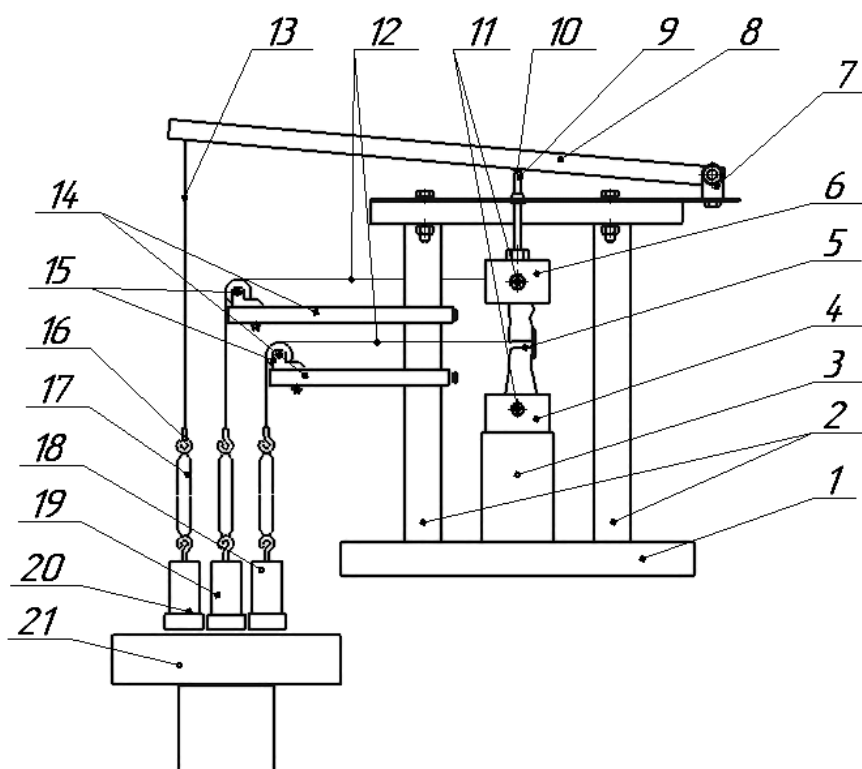


Рис. 1 – Схема випробувального пристрою для дослідження систем остеосинтезу при складному навантаженні

Навантаження поперек поздовжньої осі кістки. Згинальне навантаження створюється другим вантажем 18 через гнучкий трос 12, перекинутий через блок 15. Шнур 12 приєднаний до кістки 5 та створює згинальний момент.

Навантаження моментом кручення у поперечній площині кістки. Момент кручення створюється вантажем 19, з'єднаним з гнучким тросом 12, який через другий блок 15 передає зусилля на стержень, закріплений у верхньому рухомому затискувачі 6 перпендикулярно до поздовжньої осі кістки.

Керування навантаженням. Для підйому і опускання трьох вантажів 18, 19, 20 та здійснення одноразових або циклічних навантажень використано універсальну випробувальну машину TIRA-test. Для цього застосований важіль, приєднаний до рухомої траверси випробувальної машини. До правого краю важеля прикріплена пластина, яка здійснює підйом і опускання вантажів. Режими циклічного навантаження (число циклів, швидкість та частота навантаження, інші характеристики циклу) задаються керуючим блоком випробувальної машини.

Можливості пристрою: прикладення компресійних навантажень в діапазоні від 10 до 800 Н; прикладення згинальних навантажень в діапазоні від

10 до 200 Н; прикладення ротаційних моментів сил в діапазоні від 2 до 20 Н·м; прикладення циклічних навантажень у зазначених діапазонах з періодичністю 1-5 с; визначення лінійних зміщень частин переломів у різних напрямках у процесі навантаження з точністю до ± 0.02 мм; визначення кутів повороту частин переломів у різних площинах з точністю до ± 0.1 градуса; визначення незворотних зміщень частин переломів під дією статичних та циклічних навантажень.

Контрольні випробування проводили із застосуванням великогомілкової кістки з модельованим переломом, що був фіксований медіальною заблокованою прямою пластиною [1, 2]. На рис. 2 приведені фотографії закріплених зразків та напрями дії сил та моментів при просторовому навантаженні.

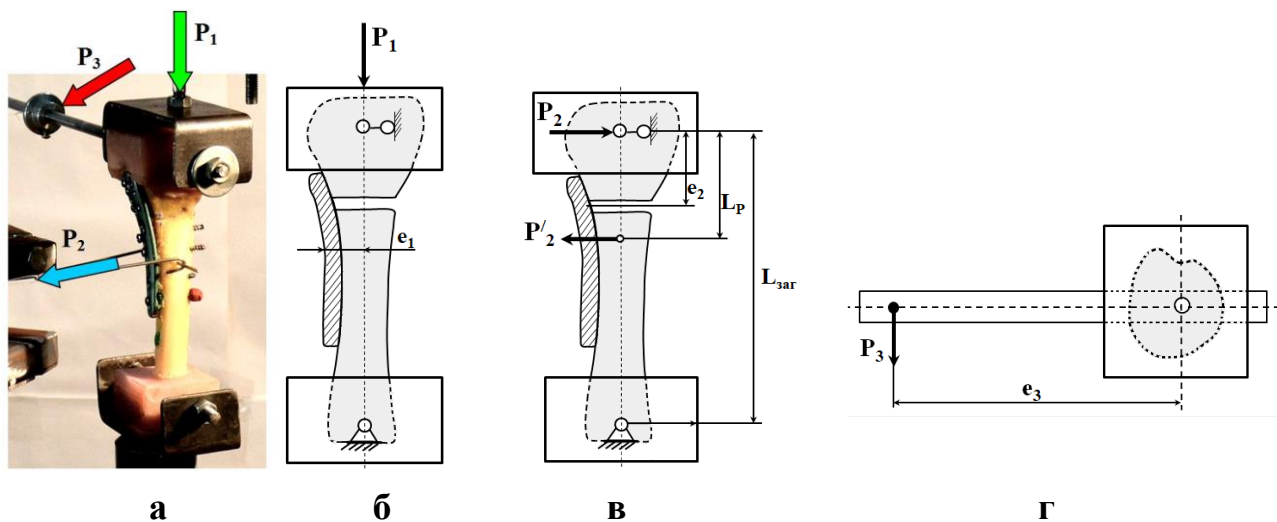


Рис. 2 – Напрями навантажень на кістку при їх сумісній дії (а) та окремі навантаження при стиску (б), згині (в) та крученні (г)

Результати експериментального визначення переміщень.

Після прикладання навантажень P_1 , P_2 та P_3 за допомогою цифрової фотозйомки виміряні переміщення точок перелому на максимальному віддаленні від пластини (точка **L**) та поблизу пластини (точка **M**). Результати вимірювань наведено в табл. 1 (спосіб I). Індексми X , Y , Z позначено проекції 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)

Таблиця 1 Переміщення точок перелому L (віддалена від пластини) та M (поблизу пластини) для фіксації перелому 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

В цій же таблиці надані повні взаємні переміщення двох точок перелому як геометричні суми трьох компонент

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

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

та кут взаємного повороту частин перелому, розрахований за формулою

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

Порівняльні розрахунки. 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.

Складові переміщень для латеральної L та медіальної M точок відповідно:

$$\Lambda_j^L = \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot (\lambda_{jk}^L + \bar{\lambda}_{jk}^L \cdot e_k) \right];$$

$$\Lambda_j^M = \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot (\lambda_{jk}^M + \bar{\lambda}_{jk}^M \cdot e_k) \right].$$

Повні переміщення цих точок відповідно

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

$$\Lambda^M = \sqrt{\sum_{j=1}^3 \left[\sum_{k=1}^3 P_k \cdot \left(\lambda_{jk}^M + \bar{\lambda}_{jk}^M \cdot e_k \right) \right]^2} .$$

Значення навантажень (сили P_1, P_2, P_3) та геометричні характеристики системи (відстані e_1, e_2, e_3) беремо ті ж самі, що і в експерименті. Результати визначення взаємних зміщень частин перелому великогомілкової кістки, фіксованої медіальною блокованою прямою пластиною «ЗМ» наведені в табл. 1 (спосіб II). В цій же таблиці представлена відносна різниця між даними, отриманими вказаними способами:

$$\Delta = \frac{|\Lambda_{jk(I)}^i - \Lambda_{jk(II)}^i|}{\Lambda_{jk(II)}^i} \cdot 100\%$$

Виходячи з даних табл. 1, можна відзначити задовільний збіг даних. В цілому, розходження показників, виміряних обома способами лежить в межах 3 - 6%, що знаходиться на рівні похибки вимірювання. Наведені дані підтверджують придатність розрахункових методів оцінки допустимих навантажень, оскільки значення переміщень та кутів повороту, розрахованих за допомогою приведених переміщень, виміряних при простих навантаженнях, відповідають реальним, таким, що виникають при тривимірних складних навантаженнях.

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

Висновки:

1. Методом цифрового фотографування можна вимірювати переміщення різних точок перелому в різних площинах та напрямках.
2. Порівняння результатів випробувань з розрахунками, проведеними з використанням даних простих випробувань (роздільна дія стику, згину та кручення), показало задовільний збіг результатів.

3. Спосіб дає можливість прискорених порівняльних оцінок жорсткості різних систем остеосинтезу на натурних зразках з модельованими переломами.

Список використаних джерел

1. Шидловський М.С., Димань М.М., Заховайко О.П., Одудько Д.Г. Визначення переміщень в переломах із засобами фіксації при сумісній дії стиску, гину та кручення // Літопис травматології та ортопедії. – № 3-4 2018 (39-40). – С.71-75.

2. Одудько Д. Г., Димань М.М., Шидловський М.С. Установка для експериментального дослідження систем остеосинтезу під дією фізіологічних навантажень // Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція «Динаміка і міцність машин». – К: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 1-4.