

УДК 620.171.3:616.71-001.5-089.227.84

А.А. Єрмак, М.М. Димань, М.С. Шидловський
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

СПІВВІДНОШЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ ЗАСОБІВ ФІКСАЦІЇ ПЕРЕЛОМІВ КІНЦІВОК

Вступ. На сьогоднішній день існує багато стандартних засобів фіксації переломів великогомілкових кісток. Переломи дистального епіметафізу великогомілкових кісток належать до складних переломів, які в подальшому можуть привести до інвалідності. Фіксація уламків кісток повинна мати достатньо високі механічні характеристики. Засіб фіксації перелому має бути достатньо жорстким, міцним та циклічно стабільним. Для оптимізації способу фіксації (тип пластини та її розташування, кількість гвинтів та їх місце закріплення) необхідно проаналізувати причини виникнення деформацій (у якому місці з'єднання виникає переважна деформація - у пластині, у кістці або у місці контакту). А отже необхідно дослідити і порівняти механічні характеристики засобів фіксації на натурній моделі та на жорсткому стержні.

Метою роботи було встановлення співвідношень загальних деформацій, що виникають при навантаженні систем «великогомілкова кістка з модельованим переломом - фіксуюча пластина», з деформаціями самих пластин. Рівні загальних деформацій зазначених систем були визначені та проаналізовані у попередніх роботах, виконаних в лабораторії біомеханічних досліджень ММІ [1-4].

Таким чином, у даному повідомленні представлені дані, що одержані для пластин, закріплених таким чином, щоб звести до мінімуму всі деформації, окрім деформацій самих пластин. Експерименти були проведені при найбільш характерних фізіологічних навантаженнях, що супроводжують ходьбу людини (стиск, згин та кручення).

Об'єкти досліджень. Як об'єкт випробувань застосовували медіальну великогомілковою блокованою пластину для відкритої корекційної остеотомії типу 3М [1], яку використовували при дослідженнях системи «кістка-пластина».

Для вимірювання біомеханічних характеристик були виготовлені профільовані стержні з алюмінію (рис. 1), на яких жорстко кріпляться пластини. Поверхні стержнів оброблені таким чином, щоб забезпечити жорсткий контакт з пластиною і місці закріплення. В стержнях зроблено отвори діаметром 4 мм, які відповідають отворах на пластині. Останні фіксувалися гвинтами та гайками М4.



а)



б)

Рис. 1. Загальний вид стержнів для жорсткого закріплення пластин (а) та поверхні контакту профільованої поверхні з пластиною (б)

Методика випробувань. Стержні із закріпленими пластинами за допомогою струбцин жорстко закріплювали на робочому столі випробувальної машини TIRA-test 2151 та піддавали випробуванням на стиск, згин та кручення.

При випробуваннях на позацентричний стиск (рис. 2а) зусилля прикладали до торця стержня з ексцентриситетом відносно поверхні пластини $e_1 = 17,5$ мм.

При випробуваннях на згин у фронтальній площині (рис. 2б) зусилля прикладали до бокової поверхні стержня з ексцентриситетом відносно поверхні пластини $e_2 = 21$ мм.

При випробуваннях на кручення (рис. 2в) зусилля прикладали до допоміжного стержня (важеля) з відстанню до поздовжньої осі пластини $e_2 = 57$ мм. Для запобігання впливу згинального моменту при випробуваннях на кручення під стержень, до якого закріплена пластина, підкладали кульку діаметром 5 мм.



а)



б)



в)

Рис. 2. Випробування пластини 3М, закріпленої на жорсткому металевому стержні, при стискуванні (а), згинанні (б) та крученні (в)



Рис. 3. Пластина 3М, розміщена на робочому столі випробувальної машин

Загальні переміщення всієї випробувальної системи, що виникають під дією одноразових навантажень, реєстрували шляхом запису діаграм деформування. Зазначені діаграми зображені на рис. 4.

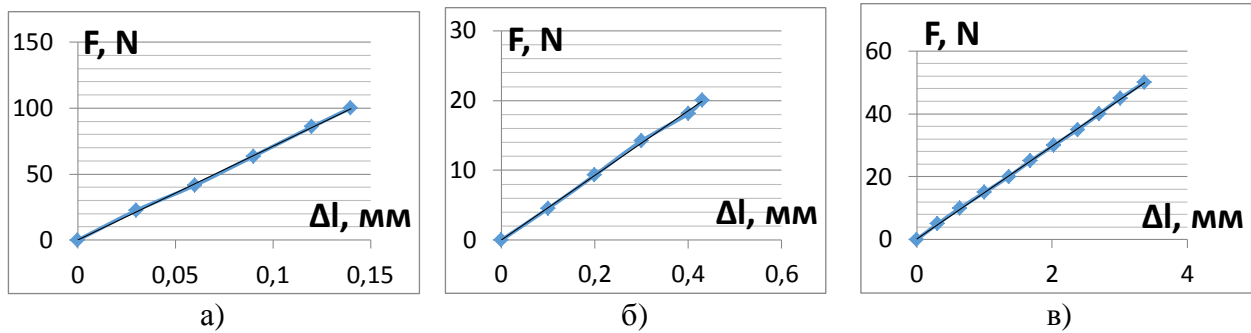


Рис. 4. Діаграми деформування пластини 3М, закріпленій на жорсткому металевому стержні, при стискуванні (а), згинанні (б) та крученні (в)

Паралельно з навантаженням та записом діаграм деформування був застосований метод послідовної цифрової фотозйомки [5] та одержані дані про переміщення різних точок змодельованого перелому (точок стержнів, на яких закріплені пластини).

Методом запису діаграм деформування при стиску, згині та крученні отримано дані данні, що наведені в таблицях 1, 2 та 3. В цих таблицях позначено:

$P_{1к}$, $P_{2к}$, $P_{3к}$ - навантаження при випробуваннях на стиск, згин та кручення відповідно;

$\Delta_{1к}$, $\Delta_{2к}$, $\Delta_{3к}$ - переміщення точки прикладення навантаження при випробуваннях на стиск, згин та кручення відповідно;

$\Delta_{3АЛ}$ - незворотні деформації, що не зникають після розвантаження системи;

δ_1 , δ_2 , δ_3 - приведені переміщення як відношення абсолютного переміщення до навантаження при випробуваннях на стиск, згин та кручення відповідно;

C_1 , C_2 , C_3 - жорсткості системи як величини, обернені приведеним переміщенням при випробуваннях на стиск, згин та кручення відповідно.

Таблиця 1. Результати випробувань пластини 3М при стиску

Тип пластини та № зразка	$P_{1к}$, Н	$\Delta_{1к}$, мм	$\Delta_{3АЛ}$, мм	$\delta_1 \cdot 10^3$, мм/Н	C_1 , Н/мм
3М - 1	100	0.14	0	1.4	714,3
3М - 2		0.14	0.01	1.4	714,3
3М - 3		0.14	0.01	1.4	714,3
3М, закріплена на кістці		---	---	5.38-5.81	172.2-186.0

Таблиця 2. Результати випробувань пластини 3М при згинанні

Тип пластини та № зразка	$P_{2к}$, Н	$\Delta_{2к}$, мм	$\Delta_{3АЛ}$, мм	$\delta_2 \cdot 10^3$, мм/Н	C_2 , Н/мм
3М - 1	20	0.43	0.01	21,5	46,5
3М - 2	30	0.62	0	20,7	48,4
3М - 3	40	0.83	0.01	20,8	48,2
3М, закріплена на кістці	20-40	---	---	28.0-28.8	34.7-35.7

Таблиця 3. Результати випробувань пластини 3М при крученні

Тип пластини та № зразка	$P_{3к}$, Н	$\Delta_{3к}$, мм	$\Delta_{3АЛ}$, мм	$\delta_3 \cdot 10^3$, мм/Н	C_3 , Н/мм
3М - 1	50	3.37	0.01	67.4	14.84
3М - 2		3.18	0	63.6	15.72
3М, закріплена на кістці		---	---	122-125	8.00-8.20

Для порівняння в цих таблицях надані значення приведених переміщень та жорсткостей, що були отримані раніше (нижні строчки у табл. 1, 2 та 3. За цими даним проведено аналіз та зроблені висновки щодо співвідношення деформацій, що виникають у частинах перелому та пластині 3М, що фіксує цей перелом.

Висновки.

1. Розроблена методика експериментального розділення деформацій, що виникають у фіксуєчій пластині та деформацій у місці закріплення пластини до кістки з застосуванням спеціально виготовлених жорстких стержнів, що замінюють кістку при випробуваннях.
2. Проведені випробування фіксуєчій пластині 3М показали, що загальні деформації системи остеосинтезу із застосуванням цієї пластини складаються з деформації самої пластини та деформацій області закріплення пластини до кістки. При цьому співвідношення між зазначеними частками деформацій при різних видах навантаження різні.
3. Встановлено, що при позацентровому стискуванні деформації пластини складають (24...28) %, при згині у фронтальній площині кістки (74...80) %, а при крученні (51...55) % від загальної деформації системи «кістка з переломом - пластина».
4. Дані випробувань використовуються при розробці рекомендацій до оптимальних способів закріплення пластин у місці перелому та при встановленні найбільш небезпечних способів прикладення навантажень до систем «кістка з переломом - засіб фіксації перелому».

Список використаних джерел:

1. Бур'янов О. А., Кваша В. П., Шидловський М. С. та ін. Біомеханічне обґрунтування малоінвазивних технологій лікування при переломах проксимального епіметафізу великогомілкової кістки (клініко-експериментальне дослідження) // Травма. - 2014. - Т. 15, № 1. - С. 9-14.
2. Шидловський М.С., Димань М.М., Омельченко Т.М. Деформаційні характеристики систем фіксації переломів великогомілкових кісток // В кн.: Матеріали XVIII міжнародної науково - технічної конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» – 29 червня - 1 липня 2017 р., м. Київ, Україна, – С. 64-66.
3. Димань М.М., Федорчук М.П. та ін. Методика визначення деформаційних характеристик систем фіксації переломів великогомілкових кісток // Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція "Динаміка і міцність машин". – К: НТУУ «КПІ» 2017. – С. 56-59.
4. Димань М.М., Доценко. та ін. Результати досліджень деформаційних характеристик засобів фіксації переломів великогомілкових кісток // Там же, С. 60-62
5. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с.