

УДК 616-001.5-089:611.718.72

Шидловський М.С., канд. техн. наук, доц.,

Шпак Д.Ю., канд. техн. наук, доц.,

Лакша А.М., канд. мед. наук,

Бур'янов О.А., док. мед. наук, проф.

Національний технічний університет України „КПІ”, м. Київ

Українська військово-медична академія, м. Київ

Національний медичний університет ім. О.О.Богомольця, м. Київ

БИОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ШАРНІРНО-ДИСТРАКЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОЇ ФІКСАЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЙ ПЛЕЧЕ-ЛІКТЬОВОГО СУГЛОБА

Розробка, виготовлення та практичне використання шарнірно-дистракційних апаратів при лікуванні пацієнтів з травмами та захворюваннями ліктьових суглобів мають певні методологічні особливості, які потрібно враховувати при розробках та експериментальних дослідженнях цих систем.

До зазначених особливостей відносяться:

1. Необхідність створення дистракційного розвантаження в ліктьовому суглобі протягом тривалого часу.
2. Зручність процесу монтажу конструкції апарата в процесі операції.
3. Співвідношення величин деформації зв'язувального апарата суглобів та самих шарнірно-дистракційних систем.
4. Необхідність оптимізації розмірів елементів конструкції апарата для забезпечення необхідної міцності та жорсткості системи при мінімальних розмірах та ваги цих елементів.

Враховуючи вищезазначене, запропонована нова конструкція апарата, що має такі особливості. Проксимальний стрижень проводиться крізь ліктьовий відросток перпендикулярно осі ліктьової кістки, а на відстані 120-150 мм паралельно проводиться дистальний стрижень. Ці стрижні закріплюються в спеціальних вузлах фіксації, причому один з вузлів фіксації може пересуватися по різьбовій штанзі, що дає змогу встановлювати його навпроти дистального стрижня. Далі стрижень проводиться крізь мищелку плечової кістки. Стрижень вільно проходить крізь втулки підшипників, що самовстановлюються, і сполучається за допомогою вузла фіксації різьбових штанг та вузлів кріплення стрижнів з віссю обертання плечо-ліктьового суглоба. Це досягається за допомогою фіксаційних гайок, які входять до вузла фіксації різьбових штанг, та гайок з насічками для керування положенням стрижня.

Завдяки конструкції запропонованого шарнірно-дистракційного апарата цим приладом можна лікувати хворих з анкілозами, контрактурами та застарілими вивихами в ліктьових суглобах. Апарат також використовують при артропластичних операціях в плечо-ліктьовому суглобі, коли необхідні ранні рухи, але не повинно бути контакту між суглобовими поверхнями. Конструкція запропонованого нами апарата дозволяє виконувати активні та пасивні рухи в ліктьовому суглобі та тримати його в розтягнутому положенні. Це забезпечує відсутність контакту між суглобовими поверхнями, і, як наслідок, надає можливість процесу відтворення суглобового хряща.

Враховуючи те, що досліджувані біомеханічні системи є, як правило, складними для теоретичних розрахунків, визначення характеристик жорсткості було виконано за допомогою безпосередніх натурних стендових випробувань.

Першим етапом дослідження було визначення сумарної жорсткості зв'язувального апарата ліктьового суглоба та фіксуючих елементів, за допомогою яких воно проводилося. До зв'язувального апарата ліктьового суглоба, за даними нормальної анатомії людини, відносили такі зв'язки: ліктьову обхідну зв'язку, променево ліктьову зв'язку, кільцеву зв'язку променевої кістки, а також капсулу ліктьового суглоба.

До фіксуючих елементів, за допомогою яких проводилося дослідження жорсткості ліктьового суглоба, відносили стрижень діаметром 5 мм, який було проведено крізь мишелки плечової кістки за віссю обертання ліктьового суглоба, верхні та нижні тяги.

Випробування при визначенні сумарної жорсткості зв'язувального апарата ліктьового суглоба та жорсткості фіксуючих елементів, а також визначення жорсткості фіксуючих елементів виконували окремо за допомогою універсальної випробувальної машини TIRATEST-2151. Об'єкт дослідження закріплювали у випробувальній машині за допомогою верхніх та нижніх тяг. Фіксуєчі елементи закріплювали у випробувальній машині за допомогою верхніх та нижніх тяг.

В процесі вимірювань отримали сумарну діаграму деформації зв'язувального апарата ліктьового суглоба та фіксуючих елементів (залежність між прикладеним навантаженням та видовженням системи). З цієї діаграми витікає, що сумарна жорсткість зв'язувального апарата ліктьового суглоба та фіксуючих елементів (c^*) дорівнює $38,1 \pm 0,15$ Н/м. Жорсткість системи визначали як відношення величини навантаження P до видовження Δl . В результаті випробування жорсткості самих фіксуючих елементів отримано діаграму розтягу.

Жорсткість фіксуючих елементів \tilde{c} дорівнює $121,8 \pm 0,5$ Н/м.

На основі випробувань були визначені такі характеристики:

сумарна податливість системи $\delta^* = 1/c^*$, де c^* - сумарна жорсткість всієї системи;

податливість системи тяг: $\tilde{\delta} = 1/\tilde{c}$, де \tilde{c} – жорсткість фіксуючих елементів;

дійсна податливість ліктьового суглоба: $\delta = \delta^* - \tilde{\delta}$;

дійсна жорсткість зв'язувального апарата суглоба: $c = 1/\delta = P/\Delta l$, де

P – навантаження, Н; Δl – дійсна деформація зв'язувального апарата суглоба, м

Експериментально встановлене зміщення суглобових поверхонь (Δl) при тракційних зусиллях, які прикладені до ліктьового суглоба (табл. 1).

Таблиця 1. Залежність тракційного навантаження на ліктьовий суглоб від розходження суглобових поверхонь.

Δl , мм	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
P , Н	83.1	110.8	138.5	166.2	193.9	221.6

Максимальний згинаючий момент, що виникає при навантаженні наведеної системи, дорівнює для нашого конкретного випадку

$$M_{\max} = 0.125 qb(2L - b),$$

де $q = P/b$, – інтенсивність навантаження, що розподілено, у каналі мишелків плечової кістки; L – загальна довжина стрижня.

Враховано форму і розміри ліктьового суглоба, де його ширина (b) дорівнює приблизно 100 мм, а відстань від шарнірних вузлів апарата до шкіри повинна складати не менше 20 мм. З умови міцності при згині для круглого поперечного перерізу визначені необхідні діаметри стрижнів (табл. 2) для двох матеріалів, що використовуються для виготовлення імплантантів: нержавіючої сталі марки 12X18H10T (ЭП853) ($[\sigma] = 800$ МПа) та титану ($[\sigma] = 1400$ МПа).

Таблиця 2. Розраховані діаметри стрижнів при різних деформаціях та зусиллях, що прикладені до суглоба

Δl , мм	P , Н	d_1 , мм (з нержавіючої сталі)	d_2 , мм (з титану)
1,5	83,1	2,88	2,41
2,0	110,8	3,17	2,64
2,5	138,5	3,4	2,86
3,0	166,2	3,63	3,03
3,5	193,9	3,8	3,19
4,0	221,6	3,99	3,35

Висновки

1. Запропоновано оригінальну конструкцію стрижневого шарнірно-дистракційного апарата для лікування ліктьового суглоба.
2. Експериментальним біомеханічним натурним дослідженням визначені раціональні розміри елементів внутрішньосуглобової фіксації шарнірно-дистракційного апарата.
3. Для двох різних матеріалів, що застосовуються для виготовлення імплантатів експериментально-розрахунковим шляхом визначені мінімально необхідні діаметри стрижнів.