

# Методи дослідження

УДК 616.717 \* 616.717.2]-001.5-089.84

*І.М.Рубленик\**, *А.Т.Зінченко\**, *П.Є.Ковальчук\**,  
*В.М.Шаплавський\**, *І.С.Олексюк\**, *А.А.Перепелиця\*\**,  
*О.Г.Шайко-Шайковський\*\**, *С.В.Білик\**

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ ВНУТРІШНЬОСУГЛОБОВИХ ПЕРЕЛОМІВ

\*Буковинська державна медична академія,

\*\*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Резюме.** Розглянуто методику математичного моделювання та комп'ютерної оцінки параметрів міцності та жорсткості накісткових пластин для остеосинтезу переломів (у т.ч. внутрішньосуглобових). Методика дає можливість підвищити точність проектування фіксуєлючих конструкцій, враховуючи перерізи пластини у вигляді сегментних елементів, без наближеного їх представлення як прямокутників.

**Ключові слова:** остеосинтез, накісткові пластини, міцність, жорсткість, проектування, математичне моделювання, напруження, навантаження.

**Вступ.** Накістковий остеосинтез один із розповсюджених способів лікування діафізарних, метафізарних, проксимальних та внутрішньосуглобових переломів. На тактику лікування впливає вид перелому, його характер, вікові аспекти, індивідуальні особливості хворих (супутні захворювання, маса тощо).

Підвищення лікування досягається оптимізацією лікувальних заходів (медикаментозного забезпечення, оперативного втручання та післяопераційних заходів). Забезпечення успішного розв'язання цієї проблеми неможливе без відповідного інструментального, технічного забезпечення, вдосконаленого конструкторського обґрунтування з боку спеціалістів інженерно-технічного профілю, наявності відповідних фіксуєлючих конструкцій та систем, до яких ставлять підвищені вимоги.

Постійне вдосконалення накісткових фіксаторів йде за шляхом створення конструкцій, які забезпечують найбільшу міцність та жорсткість з'єднання відламків кістки, стабільність остеосинтезу при мінімальних розмірах пластин [1,2,3]. Поява накісткових пластин з мінімальною площею контакту [4,5] значно покращала можливість кровопостачання до зони перелому, що є однією з необхідних умов щодо прискорення та покращання зрощення перелому.

Створення подвійних деротаційних пластин [7] дозволило вирішити проблему значного підвищення ротаційної стійкості накісткових фіксаторів, зростання опору згинаючим навантаженням у фронтальній площині.

Теоретичне, розрахункове визначення характеристик опору зовнішнім навантаженням накісткових конструкцій ще на етапі їх розробки та проектування є важливою задачею, яка сприяє підвищенню рівня проектування та вдосконалення технічного забезпечення остеосинтезу, якості лікування хворих у цілому.

**Матеріал і методи.** У роботі розглянуто аналітичне визначення геометричних характеристик та параметрів опору деформаціям стиску, розтягу, згину, крученню накісткових пластин системи АО та ХІТО (рис. 1).

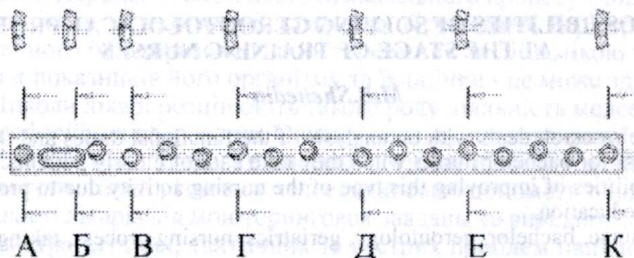


Рис. 1. Схема пластины системи АО в перерізі

Розрахунки проведено шляхом математичного моделювання за допомогою комп'ютера з використанням САПР "Компас 3Д Т V.5.10", для чого в середовищі програми побудована тримірна комп'ютерна модель фіксатора. Результати розрахунків геометричних характеристик зведені у таблицю 1.

© І.М.Рубленик, А.Т.Зінченко, П.Є.Ковальчук, В.М.Шаплавський,  
І.С.Олексюк, А.А.Перепелиця, О.Г.Шайко-Шайковський, С.В.Білик, 2004

Таблиця 1

**Геометричні характеристики перерізів пластин  
для накісткового остеосинтезу**

| Переріз | Хар-ка | Площа, мм <sup>2</sup> |                               | У заданій системі координат |   |                | У центральній системі координат      |   |                | У головній центральній системі координат |   | Кут нахилу °<br>головних осей. |                 |
|---------|--------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------|--------------------------------------|---|----------------|--|---|--------------------------------|-----------------|
|         |        | F                      | Координати центру тяжіння, мм |                             | Осьові моменти інерції, мм <sup>4</sup> |                | Відцентровий момент, мм <sup>4</sup> | Осьові моменти інерції, мм <sup>4</sup> |                | Відцентровий момент, мм <sup>4</sup>     | Осьові моменти інерції, мм <sup>4</sup> |                                |                 |
|         |        |                        | x <sub>c</sub>                | y <sub>c</sub>              | J <sub>x</sub>                          | J <sub>y</sub> |                                      | J <sub>xy</sub>                         | J <sub>x</sub> |  | J <sub>y</sub>                          |                                | J <sub>xy</sub> |
| Суц.    | 71,99  | 0                      | 27,26                         | 53658,97                    | 1237,09                                 | 0              | 151,86                               | 1237,09                                 | 0              | 151,86                                   | 1237,09                                 | 0                              |                 |
| А-А     | 45,19  | 0                      | 27,07                         | 33194,20                    | 1169,57                                 | 0              | 88,62                                | 1169,57                                 | 0              | 88,62                                    | 1169,57                                 | 0                              |                 |
| Б-Б     | 45,21  | 0,83                   | 27,09                         | 33271,80                    | 1116,82                                 | 1034,30        | 89,25                                | 1085,31                                 | 11,77          | 88,12                                    | 1085,45                                 | 0,68                           |                 |
| В-В     | 45,21  | 0,83                   | 27,09                         | 33271,80                    | 1116,82                                 | 1034,30        | 89,25                                | 1085,31                                 | 11,77          | 88,12                                    | 1085,45                                 | 0,68                           |                 |
| Г-Г     | 45,21  | -0,83                  | 27,09                         | 33271,80                    | 1116,82                                 | -1034,30       | 89,25                                | 1085,31                                 | -11,77         | 88,12                                    | 1085,45                                 | -0,68                          |                 |
| Д-Д     | 45,21  | 0,83                   | 27,09                         | 33271,80                    | 1116,82                                 | 1034,30        | 89,25                                | 1085,31                                 | 11,77          | 88,12                                    | 1085,45                                 | 0,68                           |                 |
| Е-Е     | 45,21  | -0,83                  | 27,09                         | 33271,80                    | 1116,82                                 | -1034,30       | 89,25                                | 1085,31                                 | -11,77         | 88,12                                    | 1085,45                                 | -0,68                          |                 |
| К-К     | 45,19  | 0                      | 27,07                         | 33194,15                    | 1169,57                                 | 0              | 88,62                                | 1169,57                                 | 0              | 88,62                                    | 1169,57                                 | 0                              |                 |

Аналіз табл. 1 свідчить, що найбільш небезпечними є перерізи Б-Б, В-В, Г-Г, Д-Д, Е-Е(рис. 1), які мають додаткові геометричні характеристики. Проте перерізи А-А та К-К мають менші площі поперечного перерізу та менші моменти інерції, отже, вони витримують менше навантаження. Ці перерізи через своє розташування не можуть значно впливати на жорсткість всієї пластини. Для оцінки несучої здатності пластини слід використовувати характеристики перерізу Б-Б.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Визначення величини допустимої стискальної сили, яку може витримати пластина, проведено за виразом

$$P \leq F \cdot [\sigma] \quad (1)$$

де: P - допустиме значення сили; F- площа поперечного перерізу фіксатора; [σ]-допустиме значення напружень для матеріалу пластини.

Для сталі 12X18H9T [σ]=216-352 МПа, для сталі 12X18H10T [σ]= 236-332МПа.

Таким чином, значення допустимого навантаження буде знаходитись у межах: P=9,7-15,9Кн - для фіксатора зі сталі 12X18H9T, та P= 10,67-15,01 Кн - для фіксатора зі сталі 12X18H10T.

Визначення допустимих навантажень при деформації згину проведено за умови міцності на згин:

$$M = [\sigma] \cdot W_x \quad (2)$$

де: M - допустиме значення згинального моменту; W- осьовий момент опору перерізу фіксатора;

Осьові моменти опору визначаються за виразами:

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} \quad W_y = \frac{I_y}{z_{\max}}$$

де: I<sub>x</sub> та I<sub>y</sub> - осьові моменти інерції перерізу фіксатора; y<sub>max</sub> та z<sub>max</sub> - відстань до найбільш віддалених точок перерізу.

Результати розрахунків для сагітальної площини дають значення: а) для фіксатора зі сталі 12X18H9T M<sub>y</sub> = 30,2 -49,2 Нм, б) для фіксатора зі сталі 12X18H10T M<sub>y</sub> = 33,01 -46,45 Нм.

У фронтальній площині: а) для фіксатора зі сталі 12X18H9T M<sub>x</sub> = 6,44 - 10,5 Нм, б) для фіксатора зі сталі 12X18H10T M<sub>x</sub> = 7,03 -9,89 Нм.

Перехід до величини згинальної сили дає значення, які для зручності аналізу містяться в таблиці 2.

Аналіз даних табл. 2 свідчить, що накісткова пластина набагато краще (приблизно в 7 разів) опирається дії згинальних навантажень у сагітальній площині, ніж у фронтальній.

Таблиця 2

Значення допустимих згинальних навантажень при згині у фронтальній площині для накісткових фіксаторів з різних матеріалів

| Матеріал        | Величина згинальної сили $P(n)$ |                    |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|
|                 | сагітальна площина              | фронтальна площина |
| сталь 12X18Н9Т  | 217-354                         | 46-75              |
| сталь 12X18Н10Т | 238-334                         | 51-71              |

Опір накісткової пластини деформаціям кручення визначається за виразами:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{kp}}{W_k} \quad (4)$$

$$\theta = \frac{M_{kp}}{GI_k} \quad (5)$$

де:  $M_{kp}$  - момент кручення від зовнішніх навантажень;  $\tau_{\max}$  - найбільші дотичні напруження при крученні;  $\theta$  - питомий кут закручування корпусу фіксатора;  $G$  - модуль зсуву;  $W_k$  та  $I_k$  - геометричні характеристики перерізу, які умовно називають моментом опору та моментом інерції при крученні відповідно.

Для визначення  $W_k$  та  $I_k$  використані формули:

$$W_k = \alpha \cdot h \cdot b^2 \quad \tau_k = \beta \cdot h \cdot b^3 \quad (6)$$

де:  $h$  і  $b$  - довга та коротка сторона еквівалентного прямокутного перерізу;  $\alpha$  і  $\beta$  - безрозмірні коефіцієнти, які залежать від співвідношення. У таблиці 3 містяться допустимі значення моментів кручення та питомих кутів закручування для накісткових пластин, виготовлених із різних матеріалів.

Таблиця 3

Допустимі моменти та кути закручування для фіксуючих накісткових пластин, виготовлених із різних матеріалів

| Матеріал        | допустимі моменти кручення М(нм) | допустимі питомі кути закручування $\theta_a$ (рад $10^{-4}$ ) |
|-----------------|----------------------------------|--|
| сталь 12X18Н9Т  | 11,93-19,44                      | 3,268-5,323  |
| сталь 12X18Н10Т | 13,04-18,35                      | 3,572-5,024  |

Аналіз даних табл. 3 свідчить про високу здатність до опору кручення розглянутих накісткових пластин.

Викладена методика розрахунків дозволяє з більшою точністю, ніж це робилося раніше, оцінювати параметри міцності та жорсткості накісткових фіксуючих пластин, цілеспрямовано в разі необхідності змінюючи ще на етапі розробки та проектування розміри та форму перерізу пластини, отворів для фіксуючих гвинтів, а також встановлювати величини фізико-механічних характеристик матеріалів, потрібних для виготовлення пластин, необхідних для несучої здатності.

#### Висновки.

1. Розроблена розрахункова методика, яка дозволяє з високою точністю оцінювати параметри міцності та жорсткості накісткових пластин довільних поперечних перерізів.

2. Пластини системи АО та ХІТО мають приблизно однакові характеристики міцності та жорсткості при крученні.

3. Опір згинальним навантаженням при згині у фронтальній площині приблизно в 7 разів менше, ніж при згині в сагітальній площині, що свідчить про необхідність певного періоду, впродовж якого повинно відбутися первинне зростання відламок кістки перед тим, як можна починати дозовані навантаження на пошкоджену кінцівку.

**Перспективою подальших досліджень** є вивчення біомеханічних характеристик накісткових конструкцій для лікування переломів кісток, розроблених за викладеною методикою.

**Література.** 1. Анкин Л.Н. Массивные металлические пластины для стабильнее функционального остеосинтеза //Клин. хирургия. -1982. -№1. -С. 65. 2. Анкин Л.Н., Анкин Н.Л. Пластины с минимальным контактом для биологического стабильно-функционального остеосинтезу // Травматол. и ортопедия России.-1995.-№5.- С. 14-16. 3. Беляков А.Л. Динамическая компресси-

рующая пластина для остеосинтеза длинных трубчатых костей нижних конечностей при поперечных переломах // Ортопедия, травматол. и протезир. -1983. -№11. -С. 44-46. 4. Буачидзе О.М. Остеосинтез пластинами // Хирургия. -1983. -№6. -С. 12-15. 5. Гольдман Б.Л., Литвинова Н.А., Корнилов Б.М. и др. Накостный остеосинтез металлическими пластинами // Ортопедия, травматол.-1987.-№2. - С.3-33. 6. Деклараційний патент України на винахід 43276А.- "Пристрій для остеосинтезу С.В.Білика та І.М.Рубленика", заявка №2001063739 від 1.06.2001р., індекс МПК 7 Ф61В17/56. -Бюл.№10. 7. Поляков В.А. Опыт применения лапчатых пластинок для остеосинтеза длинных костей // Ортопедия, травматол. -1988. -№7.- С.56-57.

## THE CONSTRUCTIVE TECHNOLOGICAL ASPECTS OF INCREASING THE QUALITY OF OPERATIVE TREATMENT OF FRACTURES

*I.M.Rublenyk\**, *A.T.Zinchenko\**, *P.E.Kovalchuk\**, *M.V.Shaplavskiy\**,  
*I.S.Oleksiuk\**, *A.A.Perepelytsa\*\**, *O.G.Shaiko-Shaikovsky\*\**, *S.V.Bilyk\**

**Abstract.** This paper examines the methodology of mathematical modelling and computerized evaluation of the parameters of rigidity and strength of over-bone plates used in osteosynthesis of bone fractures (specifically intra-articular fractures). This methodology enables to increase the precision of designing fixing constructions, while taking into account cross-section of the plate in the form of segmental elements, without considering them as rectangles.

**Key words:** osteosynthesis, rigidity, design, mathematical modelling, strength, stress level.

Bukovinian State Medical Academy (Chernivtsi)  
U. Fedkovich National University (Chernivtsi)

Buk. Med. Herald. – 2004. – Vol.8, №3.- P.200-203

Надійшла до редакції 13.02.2004 року