

*В.Л. Васюк, І.М. Рубленик, О.Г. Шайко-Шайковський,
А.А. Ащеулов, Архиліук Д.Д.*

БІОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БІОЛОГІЧНОГО СУБФАСЦІАЛЬНОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ ПЕРЕЛОМІВ ВЕРТЛЮГОВОЇ ДІЛЯНКИ СТЕГНА

Запропоновано фіксатор для субфасціального біологічного остеосинтезу черезвертлюгових переломів стегнової кістки. Визначено, що для досягнення стабільного остеосинтезу при використанні біологічного фіксатора необхідно не менше 4-х гвинтів (два М6 та два М8, або - нестандартних). Запропоновано методіку оцінки міцності різьбового з'єднання блокуючих гвинтів та кортикального шару вертлюгової кістки.

Ключові слова: перелом стегна, біологічний остеосинтез, субфасціальний остеосинтез, міцність різьбових з'єднань.

Предложена методика определения усилий в элементах субфасциальной биотехнической системы, обоснованы границы её использования при изменении расстояния между корпусом пластины и поверхностью повреждённой кости. Обоснованы необходимое количество и размеры блокирующих винтов для рассмотренных положений корпуса фиксатора.

Ключевые слова: биотехническая система, субфасциальный остеосинтез, биомеханика остеосинтеза.

A method of defining the exertion in elements of a subfascial biotechnical system is presented. The range of the system's usage is substantiated for variable distance between the plate and the surface of the damaged bone. The necessary number and sizes of the screws is defined for the different positions of the plate.

Key words: biotechnical system, subfascial osteosynthesis, biomechanics of osteosynthesis.

Вступ. Розкриття статичної невизначеності багатогвинтової блокуючої системи (рис.1) субфасціального фіксатора для

біологічного остеосинтезу переломів вертлюгової ділянки стегнової кістки дозволяє визначити всі опорні реакції, що ви-

© *ВАСЮК Володимир Леонідович* – кандидат медичних наук, асистент кафедри травматології, ортопедії та нейрохірургії БДМА.

РУБЛЕНИК Іван Михайлович – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри травматології, ортопедії та нейрохірургії БДМА.

ШАЙКО-ШАЙКОВСЬКИЙ Олександр Генадійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної фізики Чернівецького університету.

АЩЕУЛОВ Анатолій Анатолійович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник кафедри мікроелектроніки Чернівецького національного університету, завідувачий відділом розробки медичних приладів Інституту термоелектрики НАН України.

АРХИЛІУК Дмитро Дмитрович – ординатор кафедри ортопедії, травматології та протезування Буковинської державної медичної академії.

никають в місцях контакту гвинтів з кортикальним шаром кісткової тканини. Визначення величини опорних реакцій (поздовжніх та поперечних сил, реактивних моментів) дає можливість в подальшому оцінити міцність з'єднання, запропонувати практичні рекомендації травматологам-ортопедам відносно застосування в клінічній практиці гвинтів з певними геометричними параметрами.

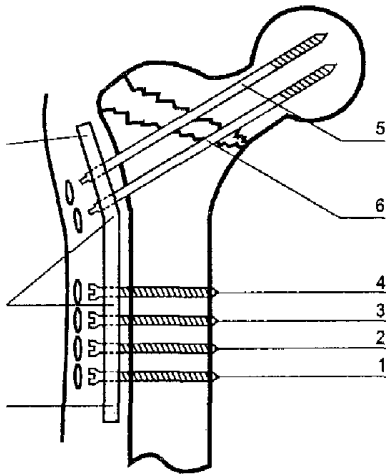


Рис. 1. Схема остеосинтезу перелому за допомогою субфасціального фіксатора.

Матеріали і методи. Біологічний остеосинтез, який застосовують для хірургічного лікування переломів вертлюгової ділянки стегна, здійснюють за допомогою субфасціальних фіксаторів (рис. 1).

Як вже було показано [2], конструкція такого субфасціального фіксатора являє собою статично невизначену систему, ступінь статичної невизначеності якої залежить від числа блокуючих гвинтів в нижній частині фіксатора. Розрахункова схема такої конструкції наведена на рис. 2.

В загальному випадку розкриття статичної невизначеності (для системи n разів статично невизначеної) проводиться за допомогою метода сил. Для цього необхідно провести розв'язання системи канонічних рівнянь:

$$\begin{cases} \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \dots + \delta_{1n}x_n + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \dots + \delta_{2n}x_n + \Delta_{2p} = 0 \\ \delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \dots + \delta_{3n}x_n + \Delta_{3p} = 0 \\ \dots \\ \delta_{n1}x_1 + \delta_{n2}x_2 + \delta_{n3}x_3 + \dots + \delta_{nn}x_n + \Delta_{np} = 0 \end{cases}$$

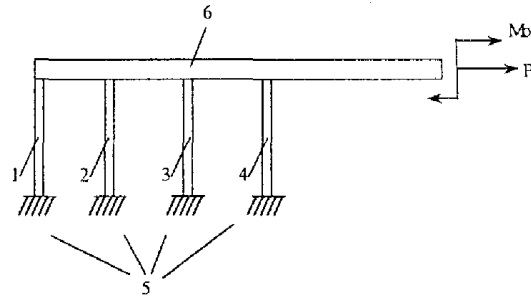


Рис. 2. Розрахункова схема нижньої частини субфасціального фіксатора: 1, 2, 3, 4 - блокуючі гвинти; 5 - кортикальний шар вертлюгової кістки; 6 - корпус пластини фіксатора; M_b ; P - зусилля, що діють з боку верхньої частини фіксатора внаслідок власної ваги пацієнта та розмірів шийки стегна.

В системі (1) δ_{ij} - коефіцієнти, значення яких визначаються шляхом перемноження відповідних одиничних епюр, Δ_{ip} - вільні члени, для визначення яких слід перемножити одиничні епюри з силовою.

Значення невідомих опорних реакцій X_i можуть бути знайдені за допомогою ЕОМ одним з чисельних методів (Гауса, квадратних коренів, ортогоналізації) розв'язання системи лінійних неоднорідних рівнянь (1).

На рис. 3 наведені значення опорних реакцій та їх напрямок за умови, що вага пацієнта $P=80$ кГ, а розміри шийки стегна мають середнє статистичне значення.

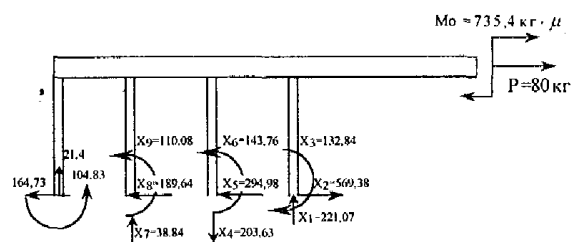


Рис. 3 Напрямок та значення опорних реакцій 4-х гвинтового субфасціального фіксатора.

В роботі [5] показано, що гвинти 1, 2 (рис. 2) можуть мати \varnothing 6мм, гвинти 3, 4 повинні мати \varnothing 8мм.

Результати та їх обговорення. Для забезпечення стабільності субфасціального біологічного остеосинтезу та для створення сприятливих умов зрощення відламків вертлюгової ділянки стегнової кістки слід забезпечити необхідну жорсткість конс-

трукції, а також умови, за яких напруження σ_{\max} , в елементах конструкції не будуть перевищувати допустимі значення напружень $[\sigma]$, тобто:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (2)$$

У зв'язку з дією поперечних сил перевіримо на міцність при зминанні матеріал кортикального шару кісткової тканини:

$$\sigma_{zm} = \frac{Q_i}{F_{zm}} \leq [\sigma]_{zm}, \quad (3)$$

де Q_i – поперечна сила, що діє на гвинт, F_{zm} – площа зминання, $[\sigma]_{zm} = 1200 \div 1500$ кб/см² – допустимі напруження на зминання кортикальної речовини кістки [5].

Відповідно до наведених розрахунків, на блокуючі гвинти (рис.3) діють: $Q_1 = 164,73$ кг; $Q_2 = 189,67$ кг; $Q_3 = 294,98$ кг; $Q_4 = 569,38$ кг.

Вважаючи, що: $F_{zmi} = 2d_i \cdot t$, де d_i – діаметр гвинта, t – товщина кортикального шару кістки, отримаємо, що для гвинтів М6 найбільші напруження зм'яття

$$\sigma_{zm\max} = \frac{Q_2}{2d_2t} = \frac{189,67}{2 \cdot 0,497 \cdot 0,4} = 477,04 \text{ кг/см}^2$$

Для гвинтів М8 найбільше напруження зм'яття буде:

$$\sigma_{zm\max} = \frac{Q_n}{2d_n t} = \frac{569,38}{2 \cdot 0,6647 \cdot 0,4} = 1070,7 \text{ кг/см}^2$$

При використанні нестандартних гвинтів (табл. 1) найбільші напруження при

зминанні відповідно будуть:

$$\sigma_{zm\max} = \frac{189,67}{2 \cdot 0,34 \cdot 0,4} = 697,3 \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_{zm\max} = \frac{569,38}{2 \cdot 0,4724 \cdot 0,4} = 1505,65 \text{ кг/см}^2$$

Таким чином, для гвинтів М6 отримані розрахункові напруження в (2,5÷3,14) рази менше допустимих, а для гвинтів М8 – в (1,12÷1,4) рази менше допустимих значень.

При використанні нестандартних гвинтів (I) замість М6 цей інтервал становить (1,72÷2,15) разів, але при використанні нестандартних гвинтів (II) замість М8 умова міцності не виконується, що свідчить про неможливість використання в цьому випадку нестандартних гвинтів (II) замість М8.

Перевіримо на міцність безпосередньо гвинти М6, М8 та нестандартні, за допомогою яких пластина субфасціального фіксатора блокується з непошкодженою ділянкою стегнової кістки. В таблиці 1 ([3] стор. 188, табл. 15) містяться геометричні параметри різьб для гвинтів М6 і М8, а також для нестандартних гвинтів.

а) умова міцності при розтягу-стиску

$$\sigma_{\max i} \frac{N_{\max i}}{F_i} \leq [\sigma], \quad (4)$$

де $N_{\max i}$ – максимальна поздовжня сила, F_i – площа поперечного перерізу діаметру гвинта,

Таблиця 1

Основні розміри метричної різьби згідно СТ СЕВ 182-75

	Крок	Діаметри різьби (мм)	
		зовнішній	внутрішній
М6	1,0	6,00	4,917
	0,75	6,00	5,188
	0,5	6,00	5,459
М8	1,25	8,00	6,647
	1,0	8,00	6,917
	0,75	8,00	7,188
	0,5	8,00	7,459
I нестандартний	1,27	6,35	4,724
II нестандартний	1,588	4,76	3,4

$[\sigma]=3600 \text{ кг/см}^2$ – допустиме напруження для матеріалу гвинта, сталі Р2Х18Н9Т [6].

Оскільки $F_i = \frac{\pi d_i^2}{4}$, визначимо мінімально необхідний діаметр гвинта, що буде задовільняти умову міцності: (4):

$$d_i \geq \sqrt{\frac{4 N_{\max i}}{\pi [\sigma]}}$$

$$\text{Отже } d_i \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 221,07}{3,14 \cdot 3600}} = 0,28 \text{ см}$$

Таким чином, мінімально можливий діаметр гвинтів не повинен бути меншим отриманого значення. Отже, усі гвинти: М6, М8 та нестандартні витримують діючі на них навантаження, при цьому додатковий запас міцності стримується в (3,17÷9,8) разів для стандартних та в (1,13÷1,57) разів – для нестандартних.

б) Перевірка матеріала гвинтів на зріз повинна проводитись згідно відповідної умови міцності по дотичних напруженнях:

$$\tau_{\max i} = \frac{Q_{i \max}}{F_i} \leq [\tau], \quad (5)$$

$$\text{Вважаючи, що } [\tau] = \frac{[\sigma]}{\sqrt{3}} = 2080,9 \text{ кг/см}^2$$

[4] отримаємо, що мінімальний діаметр гвинтів 1 та 2 повинен бути

$$d_{1,2} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 189,67}{3,14 \cdot 2080,9}} = 0,34 \text{ см}$$

для гвинтів 3 та 4

$$d_{3,4} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 569,38}{3,14 \cdot 2080,9}} = 0,59 \text{ см}$$

Таким чином, для стандартних гвинтів М6 та М8 умова міцності виконується з додатковим запасом (1,3÷2,1) раза. Для нестандартних гвинтів умова міцності буде виконуватись тільки для гвинтів 1, 2, як і при розрахунку на міцність при зминанні.

Перевіримо на міцність при зм'ятті різьбове з'єднання "гвинт – компактна речовина кістки".

а) перевірка на міцність при зминанні кортикальної речовини кістки:

$$\sigma_{zm_i} = \frac{N_{\max i}}{F_i} \leq [\sigma]_{zm}, \quad (6)$$

де F_i – сумарна площа зминання кільце-

Таблиця 2

Визначення напружень зминання в матеріалі компактною речовини кістки в різьбовому з'єднанні "кістка-блокуючий гвинт"

1	Вид різьби								
	М6			М8				І нестандарт.	ІІ нестандарт.
	Крок (мм)			Крок (мм)				Крок (мм)	Крок (мм)
	1,0	0,75	0,5	1,25	1,0	0,75	0,5	1,27	1,588
Площа одного витка (10^{-2} см^2)	9,28	7,13	4,8	15,56	12,68	9,68	6,56	14,13	8,71
Число витків	8	10,67	16	6,25	8	10,67	16	6,3	5,04
Сумарна площа зм'яття (10^{-2} см^2)	74,24	76,08	77,92	77,25	101,44	103,28	104,96	89,02	43,89
Максимальні напруження зм'яття $\sigma_{\max zm}$	52,32			227,32				496,67	176,95

Таблиця 3

Визначення напружень зминання у витках блокуючих гвинтів субфасціального фіксатора.

		Вид різьби								
		М6			М8				І не-станд.	ІІ не-станд.
		Крок (мм)			Крок (мм)				Крок (мм)	Крок (мм)
		1,0	0,75	0,5	1,25	1,0	0,75	0,5	1,27	1,588
Площа одного витка (10^{-2} см^2)		9,281	7,131	4,866	15,56	12,682	9,681	6,565	14,13	8,71
Число витків	переріз пластини трансцеподібний	3	4	6	2,4	3	4	6	2,36	1,89
	переріз у формі напівкільця	4	5,33	8	3,2	4	5,33	8	3,15	2,52
Сумарна площа зм'яття (10^{-2} см^2)	переріз пластини трансцеподібний	27,843	28,524	29,196	37,344	38,046	38,72	39,39	33,35	16,46
	переріз у формі напівкільця	37,124	38,008	38,928	49,792	50,728	51,594	52,52	44,51	21,95
Максимальні напруження зм'яття $\sigma_{\text{max зм}}$ кг/см ²	переріз пластини трансцеподібний	139,49			591,98				662,88	1343
	переріз у формі напівкільця	104,62			443,99				496,67	1007,15

вої площадки, обмеженої внутрішнім та зовнішнім діаметрами різьби гвинта, $N_{\text{max i}}$ – максимальне осьове навантаження, $[\sigma]_{\text{зм}} = 1200 - 1500 \text{ кг/см}^2$ [5] – допустиме напруження на зм'яття для кортикальної речовини кістки.

Визначаючи площу зм'яття для кожного витка гвинтів М6 та М8 з різним кроком, а також – для нестандартних гвинтів, враховуючи кількість витків в залежності від кроку різьби та товщини корпусу пластини в різних модифікаціях субфасціальних фіксаторів визначимо розрахункові напруження у матеріалі компактної речовини кістки. Для зручності всі розрахунки зведені в таблицю 2.

Аналіз даних таблиці 2 свідчить, що $\sigma_{\text{max зм}} < [\sigma]_{\text{зм}}$, тобто умова міцності для обох модифікацій фіксаторів при використанні гвинтів М6, М8, а також нестандартних гвинтів виконується при будь-якому кроці різьби.

Перевіримо на міцність різьбу при зминанні в місцях контакту з корпусом фіксатора для субфасціального остеосинтезу.

Для перевірки використовується вираз (6), в якому $[\sigma]_{\text{зм}}$ приймається для матеріала гвинтів (сталі 12Х18Н9Т) рівним $[\sigma]_{\text{зм}} = 3600 \text{ кг/см}^2$ [6].

Усі розрахунки для зручності аналізу зводимо в таблицю 3.

Аналіз даних таблиці 3 свідчить, що при використанні гвинтів М6, М8, а також – нестандартних обох модифікацій міцність гвинтів та пластини при зминанні забезпечується.

Висновки

1. Розроблено та запропоновано методику оцінки стабільності різьбових з'єднань при проведенні субфасціального остеосинтезу кісток стегна при лікуванні вертлюгових переломів.

2. Запропоновано методику розрахунку міцносних характеристик різьбових

з'єднань при проведенні субфасціального остеосинтезу, яка дозволяє перевірити міцність при зминанні кортикального шару кісткової тканини при його взаємодії з блокуючими гвинтами, перевіряти на міцність при розтягу та зрізі безпосередньо матеріал самих блокуючих гвинтів, перевіряти на зм'яття різьбові з'єднання гвинт-корпус субфасціальної пластини, гвинт-кортикальний шар кісткової тканини.

3. Доведено, що використання гвинтів М6 (гвинти 1, 2, рис. 2) та гвинтів М8 (гвинти 3, 4, рис. 2) при використанні гвинтів будь-якого кроку забезпечує міцність та стабільність субфасціального остеосинтезу. При цьому бажано використовувати гвинти з як найменшим кроком (0,5мм), що забезпечить найбільший запас міцності.

4. Використання нестандартних гвинтів II модифікації замість гвинтів М8 небажане, оскільки при цьому не забезпечується міцність при зминанні кортикального шару кісткової тканини, а також не забезпечується міцність при деформації зрізу самих гвинтів.

1. Биргер И.Л., Шорр Б.Ф., Иосипевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. // М. - Машиностроение. - 1979. - 702 с.
2. Кнете И.В., Прафрод Г.О., Саунгозис Ю.Ж. Деформирование и разрушение твердых биологических тканей. // Рига. - Зинатне. - 1980. - 319 с.
3. Марочник сталей и сплавов. Под. Ред. В.Г. Сорокина. // М. - Машиностроение. - 1989. - 639 с.
4. Общетехнический справочник. Под ред. Е.А. Скороходова. - М. - Машиностроение. - 1982. - 416 с.
5. В. F. Claudi, G. Oedekoven. „Biologische“ Osteosynthesen. // Chirug. - 1991. - 62. - S.367-374.
6. W. Lungershausen, P. Ullrich. Biologische Osteosynthesen. // Zentralblatt fur Chirurgie. - 1997. - V.122. - S.954-961.
7. Muller M.E.; Allgower M.; Willenegger N. Manual der Osteosynthese. AO-Technic. // Berlin - Heidelberg. - Springer Verlag. - 1977. - 409 s.
8. S.Weller. Die biologische Osteosynthese. // Langenbecks Arch Chir Suppl II. - Kongrebericht. - 1998. - P.61-65.
9. S.Weller D. Hontzsch, R.Frigg. Eine minimal-invasive Technik unter dem Aspekt der „biologischen Osteosynthese“. // Unfallchirurg. - 1998. - V.101. - S.115-121.

А знаете ли Вы что ...

- Английский микробиолог, открывший антибиотик пенициллин, Александр Флеминг обратил внимание на то, что слезы – “не простая вода”. Слезные железы выделяют около 7 куб. см. секрета (слез) в день. В их состав входит лизоцим – вещество, уничтожающее микроорганизмы.
- Памятник английскому микробиологу Александру Флемингу, открывшему пенициллин, был поставлен в Мадриде, у выхода на арену, где проходят корриды. Среди многих жизней, которые спас препарат Флеминга, были жизни тореадоров, чьи раны раньше часто оказывались неизлечимыми. Поэтому именно тореадоры увековечили скульптурным изображением память об Александре Флеминге.
- Термин карантин происходит от итальянского слова “каранто”, что означает “сорок”. В 1374 г. в Италии, чтобы не “впустить” чуму на берег, впервые в истории был издан закон, по которому изолировались все подозрительные суда с людьми и товарами на сорок дней.
- В Париже, в Институте Пастера, на пьедестале стоит памятник – подросток борется с бешеной собакой, вцепившейся ему в бедро. Этот подросток, схвативший пса за горло – пятнадцатилетний Жан Жупиль. Он был вторым человеком, кому Пастер ввел вакцину против бешенства. Жупиль, как и Мейснер, кому Пастер сделал прививку от бешенства, был спасен. Жупиль служил препаратором у Пастера и у Мечникова.