

БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СУБФАСЦІАЛЬНОГО ФІКСАТОРА ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ ПЕРЕЛОМІВ ВЕРТЛЮГОВОЇ ДІЛЯНКИ СТЕГНА

Кафедра травматології, ортопедії та нейрохірургії (зав. – проф. І.М. Рубленик)
Буковинської державної медичної академії

Резюме. Запропоновано методику порівняльного аналізу варіантів конструкції субфасціального фіксатора для біологічного остеосинтезу переломів вертлюгової ділянки стегна при використанні дво-, три- та чотиригвинтових блокуючих систем. Проаналізовано величину зусиль в елементах фіксатора залежно від кількості фіксуєючих гвинтів та їх розташування по довжині кістки. Доведено, що при застосуванні гвинтів із різьбою М6, згинальний момент на гвинті №4 перевищує допустимі значення, тому за розрахунками мінімальний діаметр гвинта №4 дорівнює 8мм.

Ключові слова: перелом стегна, біологічний остеосинтез, субфасціальний остеосинтез, елементи конструкції фіксатора, навантаження.

Вступ. Заглибна фіксація відламків закритим способом через невеликі проколи шкіри подальше від місця перелому, так званий «біологічний остеосинтез», набуває все більшої поширеності. Завдяки своїм численним перевагам [4,5] цей вид остеосинтезу є важливим та актуальним в наш час.

Для якісної фіксації відламків пошкодженої кістки необхідне створення конструкції фіксатора, яка б забезпечувала надійну стабільність остеосинтезу. Розробка та створення методики, що надає можливість визначати та аналізувати всі опорні зусилля в елементах конструкції фіксатора, кістки, визначати закони змінення цих зусиль з метою оцінки їх подальшого впливу на роботу всієї системи в цілому є важливим та актуальним завданням інженерно-технічного забезпечення практичної травматології та ортопедії [2]. Теоретичне обґрунтування такої методики дає можливість визначити шляхи розробки та проектування конструкцій фіксаторів з необхідними властивостями, забезпечити надійну стабільність остеосинтезу, скоротити термін, зробити більш ефективним процес лікування [1].

Мета дослідження. Розробити аналітичну розрахункову методику визначення зусиль та напружень в елементах системи «кістка-фіксатор», оцінки міцності та жорсткості існуючих, та систем, що проектуються для субфасціального остеосинтезу. У роботі також пропонується методика порівняльного аналізу різних варіантів системи «кістка-фіксатор», зокрема у випадку застосування субфасціального фіксатора.

Матеріал і методи. Субфасціальний фіксатор (рис.1) складається із зігнутої під кутом 10-15° пластини 7-8, що має ряд різьбових отворів 9, для проксимальних (фіксуєючих) гвинтів 5, 6, та дистальних (блокуючих) гвинтів 1, 2, 3, 4.

Субфасціальний фіксатор у з'єднанні з діафізом стегнової кістки за допомогою гвинтів є статично невизначеною системою [3].

Для розкриття статичної невизначеності, тобто для визначення опорних реакцій (сил та моментів) можна використовувати систему канонічних рівнянь методу сил [3], яка може бути розв'язана за допомогою сучасних ЕОМ кількома математичними методами (методом Гауса з вибором головного елемента за стовбцями або рядками, методом квадратних коренів для симетричної матриці, методом ортогоналізації з системою n векторів).

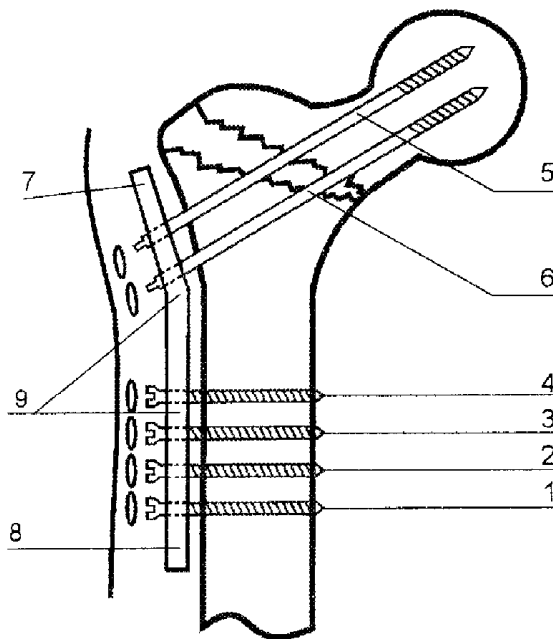


Рис. 1 Схема фіксації при субфасціальній остеосинтезі.

Результати дослідження та їх обговорення. Для проведення аналізу та порівняння зусиль, що виникають на елементах субфасціального фіксатора (пластині та гвинтах 1-4), виконано розрахунки для можливих варіантів розташування блокуючих гвинтів та різної їх кількості.

Результати розрахунків, отримані за допомогою ЕОМ, зведено у таблиці 1.

А. Двогвинтова конструкція.

У таблиці 1 містяться результати розрахунку діючих максимальних згинальних моментів M_{max} у випадку, коли для фіксації субфасціальної пластини використовуються всього два гвинти (рис. 1): нижній гвинт №1 та один з решти гвинтів (№2, №3 або №4).

Таблиця 1

Розрахункові та допустимі значення згинальних моментів у разі використання двогвинтової схеми фіксації

№	Вид системи	Розрахункове (M_{max}) та допустиме [М] значення згинальних моментів ($H \cdot m \cdot 10^{-1}$)							
		На верхній частині пластини фіксатора		На нижній частині пластини фіксатора		На верхньому гвинті блокуючої системи		На нижньому гвинті №1 блокуючої системи	
		M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Гвинти 1,4	735,4	1391,38	222,5	1391,38	512,9	192,81	381,4	72,57
2	Гвинти 1,3	735,4	1391,38	274,03	1066,15	431,4	192,81	335,95	72,57
3	Гвинти 1,2	735,4	1391,38	364,76	740,92	370,64	72,57	261,96	72,57

Аналіз результатів табл. 1 свідчить, що:

1. M_{max} на верхній частині фіксатора залишається сталим і не залежить від розташування блокуючих гвинтів кріплення.

2. M_{max} на верхньому гвинті та його потрібний діаметр зменшуються при зсуванні гвинта вниз, але допустимий згинальний момент [М] у всіх випадках значно нижче розрахункового значення.

3. M_{max} , що діє на нижню частину фіксатора, зростає разом із пересуванням верхнього фіксуєного гвинта донизу, але умова міцності при цьому виконується.

4. M_{max} на нижньому фіксуєному гвинті №1 також зменшується при розміщенні другого фіксуєного гвинта нижче, але умова міцності при цьому не

виконується, що свідчить про неможливість використання двогвинтової блокуючої системи.

Б. Тригвинтова конструкція.

У випадку використання тригвинтової блокуючої конструкції величина згинальних моментів та зосереджених сил також суттєво змінюється залежно від місця проведення блокуючих гвинтів. Розглядалися усі можливі комбінації блокування за допомогою трьох гвинтів, один з яких (№1 – рис. 1) використовувався постійно, а ще два гвинти додавались до нього у будь-яких можливих комбінаціях (тобто, гвинти №2, №3, №4 – рис. 1).

У таблиці 2 наведено значення найбільших згинальних моментів M_{max} на кожному з блокуючих гвинтів залежно від їх розташування, розрахункові значення M_{max} в матеріалі пластини фіксатора та допустимі значення згинальних моментів [М].

Таблиця 2

Розрахункові значення згинальних моментів M_{max} та допустимі значення згинальних моментів [М] на блокуючих гвинтах і в матеріалі пластини субфасціального фіксатора при тригвинтовому блокуванні

№	Вид системи	Значення розрахунків згинальних моментів M_{max} в матеріалі верхньої та нижньої частини фіксатора та в блокуючих гвинтах і їх допустимі значення [М] (Н·м)·10 ⁻¹									
		Верхня частина фіксатора		Нижня частина фіксатора		Верхній гвинт		Середній гвинт		Нижній гвинт №1	
		M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Гвинт №1, №3 та №4	735,4	1391,38	326,73	1391,38	408,67	75,57	199,15	75,57	134,5	192,81
2	Гвинт №1, №2 та №3	735,4	1391,38	320,9	1066,15	414,41	75,57	192,8	192,81	137,48	192,81
3	Гвинт №1, №2 та №4	735,4	1391,38	213,4	740,92	522,0	75,57	225,6	192,81	190,74	192,81

Аналіз даних табл. 2 свідчить, що:

1. Максимальний розрахунковий згинальний момент M_{max} на верхній частині фіксатора залишається сталим та не залежить від розташування і кількості блокуючих гвинтів.

2. Максимальний згинальний момент M_{max} на нижній частині фіксатора зменшується разом із “зсувом” верхньої пари блокуючих гвинтів (2 та 4); (3 та 4); (2 та 3) до низу фіксатора, умова міцності при цьому завжди виконується.

3. Максимальне розрахункове значення згинального моменту M_{max} на одному з верхніх гвинтів збільшується при “зсуві” блокуючого гвинта до нижньої частини фіксатора, при цьому M_{max} при будь-якому розташуванні блокуючих гвинтів перевищує допустиме [М], що свідчить про неможливість використання тригвинтової блокуючої системи.

4. Максимальний розрахунковий згинальний момент M_{max} на одному з середніх гвинтів також збільшується при пересуванні гвинтів до нижньої частини фіксатора, при цьому значення розрахункових згинальних моментів M_{max} перевищують допустимі значення [М].

5. Незважаючи на те, що максимальний згинальний момент M_{max} на нижньому гвинті №1 збільшується при “зсуві” блокуючих гвинтів донизу, його значення завжди залишаються більшими, ніж допустиме $[M]$, що також свідчить про неможливість використання тригвинтової блокуючої системи.

В. Чотиригвинтова конструкція.

У випадку, коли для блокування субфасціальної пластини використовується одночасно чотири гвинти, відбувається певний перерозподіл навантажень, що діють на конструкцію, але величина M_{max} значно зменшується порівняно з дво- та тригвинтовими системами, що позитивно впливає на стабільність та надійність блокування при такому варіанті остеосинтезу.

У таблиці 3 наведено значення розрахункових силових факторів (зосереджених сил та згинальних моментів), що діють на гвинти при чотиригвинтовому способі блокування субфасціальної пластини.

Таблиця 3

Розрахункові та допустимі значення силових факторів, діючих на гвинти при чотиригвинтовому способі блокування субфасціальної пластини

№	Номер гвинта	Розрахункові та допустимі значення силових факторів на блокуючих гвинтах					
		Поздовжня сила N (Н)•10 ¹		Поперечна сила Q (Н)•10 ¹		Згинальний момент M (Н•м)•10 ⁻¹	
		N _{max}	[N]	Q _{max}	[Q]	M _{max}	[M]
0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	-21,4	1107,68	164,73	692,3	-104,81	72,57
2	2	-38,84	1107,68	189,67	692,3	110,08	72,57
3	3	203,63	2068,0	294,98	1292,5	113,76	192,81
4	4	-221,07	2068,0	569,4	1292,5	-132,84	192,81

Аналіз даних табл. 3 свідчить, що:

1. Значення силових факторів, діючих на блокуючі гвинти, залежать від місця розташування гвинта.

2. Поздовжня сила N, поперечна сила Q та згинальний момент M найменші на 1-му (нижньому) гвинті. З наближенням до місця перелому максимальний момент зростає і перевищує допустиме значення на гвинтах №3 та №4, що означає: гвинт №3 слід застосувати ЖМ8, однак повне навантаження на пошкоджену кінцівку та суглоб небажане до певного часу, поки не здійсниться часткове зрощення відламків.

3. Поздовжня та поперечна сили N і Q також збільшуються з наближенням до місця перелому, однак запас міцності є достатнім для всіх блокуючих гвинтів.

Г. *Порівняння силових факторів у разі дво-, три- та чотиригвинтового способу блокування субфасціальної пластини.*

Порівняння одноіменних силових факторів у разі використання дво-, три- та чотиригвинтового варіантів блокування субфасціальної пластини показує, що максимальний згинальний момент M_{max} , зосереджені сили N і Q, які діють на відповідні елементи конструкції мають різні значення.

У табл. 4 наведені порівняльно значення M_{max} , що діють на елементи конструкції субфасціального фіксатора у разі різних варіантів блокування за допомогою двох, трьох та чотирьох гвинтів.

Аналіз даних таблиці 4 показує:

1. M_{max} на верхній частині пластини фіксатора залишається сталим та не

Таблиця 4

Значення розрахункових максимальних згинальних моментів M_{max} на одноім'єнних елементах фіксатора у разі блокування за допомогою двох, трьох та чотирьох гвинтів, і допустимі значення згинальних моментів [М]

	Спосіб фіксації	Значення розрахункових M_{max} та допустимих [М] згинальних моментів (10^{-1} Н·м)							
		На верхній частині фіксатора		На нижній частині фіксатора		На нижньому гвинті №1		На верхньому гвинті	
		M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]	M_{max}	[М]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	двогвинтова конструкція	735,4	1391,38	364,76	740,92	381,41	72,57	512,9	192,81
2	тригвинтова конструкція	735,4	1391,38	326,73	740,92	190,74	72,57	408,60	192,81
3	чотиригвинтова конструкція	735,4	1391,38	298,8	740,92	104,83	72,57	132,84	192,81

залежить від способу (кількості гвинтів) блокування.

2. M_{max} на нижній частині пластини фіксатора зменшується при збільшенні кількості блокуючих гвинтів, при цьому міцність увесь час задовільняється. Таким чином, міцність корпусу пластини, яка визначена розрахунковим шляхом, завжди забезпечується.

3. M_{max} на нижньому гвинті №1 також знижується при збільшенні кількості блокуючих гвинтів, при цьому слід враховувати, при дво- та тригвинтовому блокуванні міцність конструкції незадовільна, а при чотиригвинтовому варіанті небажане навантаження кінцівки впродовж певного часу зрощення відламків.

4. M_{max} на верхньому гвинті зменшується при збільшенні кількості блокуючих гвинтів, при цьому міцність верхнього гвинта забезпечується тільки при чотиригвинтовому варіанті блокування.

5. Використання чотиригвинтового субфасціального остеосинтезу вимагає відсутності навантажень на пошкоджену кінцівку до її часткового зрощення, якщо відстань пластини фіксатора від кістки дорівнює близько 10 мм.

Висновки:

1. Розроблено методику порівняльного аналізу конструкцій субфасціальних біологічних фіксаторів при виконанні остеосинтезу за допомогою дво-, три-, чотиригвинтової блокуючих систем.

2. Проведено розрахунки за допомогою ЕОМ, що дають можливість аналізувати зміни зовнішніх зусиль на елементи конструкції при використанні різних способів блокування субфасціальної пластини.

3. Визначено, що елементи чотиригвинтової конструкції зазнають значно менших навантажень у порівнянні з дво- та тригвинтовою конструкціями субфасціального фіксатора. Таким чином, чотиригвинтовий тип конструкції субфасціального фіксатора забезпечує більшу стабільність і надійність субфасціального біологічного остеосинтезу, проте на відстані 10 мм від корпусу субфасціальної пластини до стегнової кістки навіть при чотиригвинтовій блокуючій системі не можна навантажувати пошкоджену кінцівку до певного зрощення відламків вертлюгової ділянки стегна.

Література. 1. Васюк В.Л., Рубленік І.М., Шайко-Шайковський О.Г. та ін. Біомеханічне обґрунтування субфасціального фіксатора для біологічного остеосинтезу переломів вертлюгової ділянки стегна // Буковинський медичний вісник. – 1999. – Том 3. – №4. – С.26 – 34. 2. Рубленік І.М., Васюк В.Л., Шайко-Шайковський О.Г. та ін. Міцнісні характеристики фіксатора для біологічного остеосинтезу переломів вертлюгової ділянки стегна // Буковинський медичний вісник. – 1999. – Том 3. – №1. – С.100 – 106. 3. Справочник по сопротивлению материалов / Под редакцией Г.С.Писаренко. – К.: Наукова думка. – 1988. – 734с. 4. Weller S., Hontzsch D. Die epiperiostale, perkutane Plattenosteosynthese, eine minimal – invasive Technik unter dem Aspekt der “biologischen Osteosynthese” // Unfallchirurg. – 1998. – Vol.101. – P.115 – 121. 5. Yvonne E.A., Werken R.C., Marti R.K. Subfascial Plate Fixation of Comminuted Diaphyseal Femoral Fractures: A Report of Three Cases Utilizing Biological Osteosynthesis // Journal of Orthopaedic Trauma. – 1997. – Vol. 11. – №1. – P.57.

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF DIFFERENT VARIANTS OF A SUBFASCIAL PLATE FOR BIOLOGICAL OSTEOSYNTHESIS OF TROCHANTERIC HIP FRACTURES

V.L. Vasiuk, O.G. Shaiko-Shaikovskyi

Abstract. A method of comparing different variants of a subfascial plate for biological osteosynthesis of trochanteric hip fractures is offered when using interlocking systems with 2, 3, or 4 screws. Forces acting between the plate elements are analyzed with regard for the amount of interlocking screws and their location. It is proved that in case of Ø6mm screws, the bending momentum acting on screw 4 exceeds the safety limit. Therefore, screw 4 must be at least Ø8mm.

Key words: hip fracture, biological osteosynthesis, subfascial osteosynthesis, fixation plate elements, loading.

Bucovinian State Medical Academy (Chernivtsi)

Надійшла до редакції 29.02.2000 року