

УДК 616.711-007.55-089.22

УКПП

№ держреєстрації 0119U102343ЦФ2020.4.НАМНУ

інв №

Державна установа  
«Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка  
Національної академії медичних наук України»  
61024, м. Харків-24, вул. Пушкінська, 80  
Тел. (057) 725-14-00

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заст. директора з наукової роботи  
ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка

НАМНУ  
д-р мед. наук, проф.

В.О.Радченко

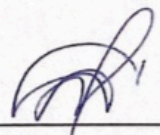


**ЗВІТ**

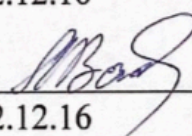
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**РОЗРОБИТИ КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ЛІКУВАННЯ  
УРОДЖЕННОГО ПСЕВДОАРТРОЗУ КІСТОК ГОМІЛКИУ ДІТЕЙ  
(остаточний)**

Науковий керівник НДР  
д-р мед. наук, професор

  
С.О. Хмизов  
2022.12.16

Нормоконтроль

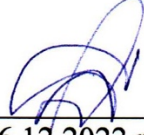
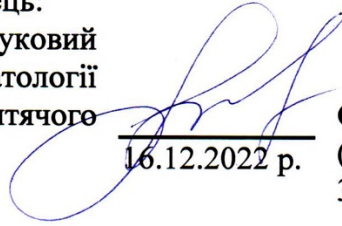




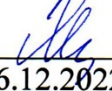
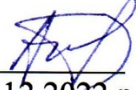
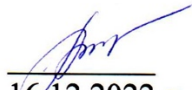
  
Л.А. Васильцова  
2022.12.16

2022

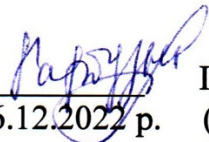
Рукопис закінчено 16 грудня 2022 р.

Результати цієї роботи розглянуто Вченою радою ДУ «ІПХС» протокол  
від 28 грудня 2022р. № 7


## СПИСОК АВТОРІВ

- Керівник НДР  
Зав. відділу патології хребта  
та суглобів дитячого віку,  
д-р мед. наук, проф.
-   
16.12.2022 р.
- С.О. Хмизов  
(реферат, вступ, розділ 1, 2,  
3, 4, висновки)
- Відповідальний виконавець:  
Молодший науковий  
співробітник відділу патології  
хребта та суглобів дитячого  
віку
-   
16.12.2022 р.
- Є.С. Кацалап  
(реферат, вступ, розділ 1, 2,  
3, 4, 5, 6, висновки)
- Виконавці:  
Науковий співробітник  
лабораторії біомеханіки
-   
16.12.2022 р.
- М.Ю. Карпінський  
(розділ 2,4,5)
- Науковий співробітник  
лабораторії біомеханіки
-   
16.12.2022 р.
- Д.О. Демченко  
(розділ 4)
- Молодший наук. співроб.  
лабораторії біомеханіки
-   
16.12.2022 р.
- А.В. Ярьсько  
(розділ 2,4)
- Науковий співроб. відділу  
науково-медичної інформації з  
патентно-ліцензійною групою
-   
16.12.2022 р.
- О.М. Овчинніков  
(оформлення звіту)
- Аспірант
-   
16.12.2022 р.
- Є.Ю. Якушкін  
(розділ 1,2,6)
- Аспірант
-   
16.12.2022 р.
- А.В. Гриценко  
(розділ 3)
- Старший наук. співробітник  
відділу патології хребта  
та суглобів дитячого віку,  
канд. мед. наук
-   
16.12.2022 р.
- Г.В. Кікош  
(розділ 3)

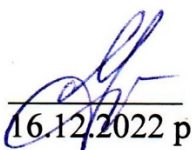
Старший наук. співробітник  
відділу патології хребта  
та суглобівдитячоговіку,  
канд. мед. наук.

  
16.12.2022 р. І.М. Гарбузняк  
(розділ 3)

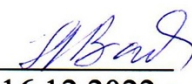
Мол. наук. співробітник відділу  
патології хребта  
та суглобівдитячоговіку

  
16.12.2022 р. Х. Аль-Баяті  
(розділ 3)

Мол. наук. співробітник відділу  
патології хребта  
та суглобівдитячоговіку

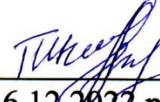
  
16.12.2022 р. А.М. Гриценко  
(розділ 3)

Відповідальний за метрологічне  
забезпечення  
Провідний метролог

  
16.12.2022 р. Л.А. Васильцова  
(метрологічна експертиза  
документації)

**НАУКОВО-ДОПОМІЖНИЙ ШТАТ**


Лаборант відділу патології  
хребта та суглобів дитячого віку

  
16.12.2022 р.

Т.М.Гарбузняк  
(оформлення звіту)


**ЛІКАРСЬКО-КЛІНІЧНИЙ ШТАТ**

Завідуючий відділенням  
дитячої ортопедії,  
канд. мед. наук

  
16.12.2022 р.

В.В. Басєв  
(розділ 3)

Лікар ортопед-травматолог  
відділення дитячої ортопедії,  
канд. мед. наук

  
16.12.2022 р.

А.В. Пашенко  
(розділ 3)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 169 с., 48 табл., 63 рис., 85 джерел.

### УРОДЖЕНИЙ ПСЕВДОАРТРОЗ КІСТОК ГОМІЛКИ, ХІРУРГІЧНЕ ЛІКУВАННЯ, ІНТРАМЕДУЛЯРНИЙ ФІКСАТОР, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Об'єкт дослідження – уроджений псевдоартроз кісток гомілки (УПКГ) у дітей, результати хірургічного лікування УПКГ при використанні різних методик та способів фіксації, інтрамедулярні фіксатори різних конструкцій.

Мета роботи – покращити результати лікування УПКГ у дітей шляхом удосконалення хірургічних методик, розробки нових фіксаторів для хірургічного лікування УПКГ у дітей, а також визначення оптимальних способів та термінів фіксації кісток гомілки і факторів, що попереджують рефрактури,.

Методи дослідження – клінічні, променеві (рентгенологічні, МРТ), біомеханічні (метод скінчених елементів), статистичні та метод концептуально-логічного моделювання.

У результаті проведеної НДР за 2021 р. визначені рентгеноптичні властивості кісткової тканини при УПКГ у дітей, що дозволило оцінити якість кісткової тканини при такій патології та побудувати обґрунтовану (коректну) математичну модель УПКГ. Методом скінчених елементів проведено дослідження напружено-деформованого у системі «гомілка-інтрамедулярний фіксатор», за умов використання металофіксаторів різних типів та різних методик хірургічного лікування. Визначені оптимальні способи фіксації кісток гомілки при хірургічному лікуванні УПКГ. Зазначені дослідження дозволили обґрунтувати та розробити ІТФ для хірургічного лікування УПКГ у дітей.

Умови одержання звіту: по договору. 252171, Київ-171, вул. Горького, 180, УкрІНТЕІ.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і

термінів.....	10
Вступ.....	11
1. 1 Аналітичний огляд літератури.....	15
1.1.Епідеміологія та етіологія УПКГ.....	15
1.2.Класифікаційні схеми УПКГ.....	16
1.3.Консервативне лікування УПКГ.....	18
1.4.Хірургічне лікування.....	19
1.4.1. Хірургічне лікування латентної форми УПКГ (операція McFarland).....	19
1.4.2. Хірургічне лікування методом Ілізарова.....	21
1.4.3. Хірургічне лікування із застосуванням інтрамедулярних фіксаторів.....	25
1.4.4. Хірургічне лікування із використанням васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки .....	27
1.4.5. Хірургічне лікування методикою «індукованої мембрани» (техніка Masquelet).....	27
1.4.6. Хірургічне лікування комбінованими методиками.....	28
1.4.7. Методики кісткової пластики при хірургічному лікуванні УПКГ.....	30
1.4.8. Ускладнення хірургічного лікування УПКГ.....	31
1.4.9. Ампутація.....	33
1.5.Резюме.....	34
2. Матеріал та методи дослідження.....	36
2.1.Матеріали та загальний дизайн дослідження .....	36
2.2.Клінічні дослідження.....	37
2.3.Рентгенологічні методи дослідження.....	39
2.4.Хірургічні методики лікування.....	41
2.4.1. Хірургічне лікування УПКГ із застосуванням АЗФ....	41

2.4.2.	Хірургічне лікування УПКГ з використанням інтра-медулярного телескопічного стрижня.....	43
2.4.3.	Хірургічне лікування УПКГ комбінованою методикою	46
2.4.4.	Хірургічна техніка «обгорнутої» кісткової металопластики кортикально-губчастими трансплантатами.....	47
2.4.5.	Хірургічне лікування вторинних ортопедичних порушень ураженої кінцівки, що виникають при УПКГ у дітей	49
2.5.	Експериментальне КТ-дослідження щільності та об'єму кісткових трансплантатів при виконанні вільної та «обгорнутої» техніки кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки за умов різних видів їх остеосинтезу.....	50
2.6.	Математичне моделювання із порівняльним аналізом напружено-деформованого стану моделей хибного суглобу кісток гомілки та варіантів їх остеосинтезу.....	55
2.7.	Статистичні дослідження.....	59
3.	Результати дослідження розвитку ураженої кінцівки у пацієнтів із УПКГ та ретроспективний аналіз результатів хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки у дітей.....	61
3.1.	Загальні дані. ....	61
3.2.	Клініко-рентгенологічна характеристика розвитку ураженої кінцівки у пацієнтів із УПКГ.....	62
3.3.	Аналіз результатів хірургічного лікування та ускладнень уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей .....	66
3.4.	Резюме.....	70
4.	Біомеханічне моделювання варіантів остеосинтезу кісток гомілки при уродженому псевдоартрозі великогомілкової кістки.....	72
4.1.	Дослідження напружено-деформованого стану моделей гомілки з зоною псевдоартрозу в середній третині.....	72
4.1.1.	Дослідження моделей на стиск.....	72
4.1.2.	Дослідження моделей на кручення.....	83

4.2. Дослідження напружено-деформованого стану моделей гомілки з зоною псевдоартрозу в нижній третині.....	94
4.2.1. Дослідження моделей на стиск.....	94
4.2.2. Дослідження моделей на кручення.....	104
4.3. Резюме.....	114
5. Результати експериментального КТ дослідження об'єму кісткових трансплантатів при використанні вільної та «обгорнутої» техніки кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки за умов різних видів їх остеосинтезу.....	115
5.1. Томографічна (КТ) оцінка кісткових трансплантатів при виконанні вільної кісткової аутопластики сегментарного дефекту кісток гомілки в умовах інтрамедулярного та комбінованого (інтрамедулярного та накісткового) остеосинтезу.....	115
5.2. Томографічна (КТ) оцінка щільності та об'єму кісткових трансплантатів при виконанні «обгорнутої» кісткової аутопластики сегментарного дефекту кісток гомілки в умовах комбінованого остеосинтезу (інтрамедулярного та накісткового).....	120
5.3. Резюме.....	121
6. Обґрунтування оптимізованої методики хірургічного лікування УПКГ у дітей, заснованої диференційованому використанні різних видів остеосинтезу та виконанні «обгорнутої» техніки кісткової пластики та аналіз результатів клінічного випробування розробленої техніки хірургічного лікування.....	122
6.1 Розробка та обґрунтування інтрамедулярного телескопічного фіксатора для хірургічного лікування УПКГ у дітей.....	122
6.2 Розробка та обґрунтування методики обгорнутої металокісткової пластики зони УПКГ при хірургічному лікуванні УПКГ у дітей.....	127
6.3 Діагностично-лікувальний алгоритм вибору хірургічного лікування УПКГ у дітей.....	136

6.4 Аналіз результатів клінічного випробування діагностично-лікувальний алгоритм вибору хірургічного лікування УПКГ у дітей.....	140
6.5 Резюме.....	150
Висновки.....	154
Перелік джерел посилання.....	126
Додаток А Оцінка стану стопи та гомілковостопного суглобу» (FAOS).....	166

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АЗФ – апарат зовнішньої фіксації;

ВАМГК – васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки;

ІТФ — інтрамедулярний телескопічний фіксатор;

КТ – комп'ютерна томографія;

МКЕ –метод кінцевих елементів

МРТ – магнітно-резонансна томографія;

РДНК – різниця деформації нижніх кінцівок;

ТФКкл – клінічний тибіофemorальний кут;

УПВГК — уроджений псевдоартроз кісток гомілки;

MAD-тест (із англ. Mechanical Axis Deviation - тест на визначення відхилення механічної осі нижньої кінцівки);

mLDFA (із англ. mechanical lateral distal femoral angle) – медіальний кут нахилу проксимальної суглобової поверхні великогомілкової кістки;

МРТА (із англ. medial proximal tibial angle) – медіальний кут нахилу проксимальної суглобової поверхні великогомілкової кістки

ЛСР-пластина – пластина з кутовою стабільністю гвинтів

## ВСТУП

Уроджений псевдоартроз кісток гомілки (УПВГК) - відноситься до групи орфанних захворювань, із частотою 1 на 130-150 000 народжень. Зазначена патологія характеризується локальним біологічним структурно-функціональним порушенням на рівні діяфізу великогомілкової кістки. Порушення структурної цілісності великогомілкової кістки дитини має бути уродженим, рідше формується у перші роки життя на фоні прогресуючої деформації великогомілкової кістки. Захворювання має поліетіологічний характер і у 40 % дітей асоціюється із нейрофіброматозом 1 типу.

Клінічне значення уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки полягає у стійкому порушенні функції опори та ходьби дитини, з формуванням деформації та вкорочення, ранній інвалідизації дитини. Лікування дітей із уродженим псевдоартрозом великогомілкової кістки хірургічне, спрямоване на досягнення консолідації ураженої ділянки великогомілкової кістки, та в подальшому, на відновлення осьових параметрів та довжини кінцівки. Запропоновано багато класифікаційних схем УПВГК у дітей, більшість з яких, має лише описовий характер.

Лікування таких пацієнтів в Україні та у більшості країн світу відбувається у вузькопрофільних ортопедичних центрах, що спеціалізуються на корекції деформації довгих кісток кінцівок. У ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» накоплений досвід лікування 23 пацієнтів із УПВГК.

Аналіз літературних даних та власних результатів хірургічного лікування дітей із уродженим псевдоартрозом великогомілкової кістки свідчить про те, що зазначена патологія є однією із найскладніших проблем сучасної дитячої ортопедії. Це обумовлено недостатньою ефективністю існуючих методів лікування цих пацієнтів, високим відсотком ускладнень (до 80% ) і необхідністю багаторазових повторних хірургічних корекцій.

Різноманіття методів консервативного та хірургічного лікування, що описані в літературі, вражають своєю кількістю. До них відносять: ревізію зони незрощення із виконанням кісткової пластики інтрамедулярну фіксацію, трансплантацію малогомілкової кістки суміжної кінцівки, використання різноманітних методик із фіксацією у апаратах зовнішньої фіксації (типу Ілізарова), методику «індукованої мембрани» (або методика Masquelet) та ампутацію. Вище перераховані методики використовуються, як поодинці, так і в комбінації.

Наразі відомо про високий відсоток (від 35 % до 60 %) незрощення після виконання хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки, а також високий відсоток повторних переломів (на рівні 30 %) після первинної консолідації. Все це свідчить про комплексні біологічні та біомеханічні порушення на рівні уродженого псевдоартрозу, що потребують багатократних ревізійних хірургічних втручань, і є проблемою для сім'ї, лікарів та економіки країни.

Аналіз літератури, дозволяє відзначити наступні шляхи підвищення ефективності хірургічного лікування, що продовжують активно досліджуватись у провідних центрах світу: виконання масивної кісткової пластики із використанням техніки «обгорнутої» кісткової пластики (з англ. «wrapped» bone grafting), застосування біологічних стимуляторів регенерації (ВМР (англ. bone morphogenetic protein) та інгібіторів активності остеобластів (біфосфонати, наприклад золедренова кислота), а також розробка нових способів та пристроїв для фіксації кісток гомілки, що загалом спрямовані на оптимізацію біомеханічних умов для досягнення зрощення кісток та профілактику рефрактури.

На даний момент можна констатувати відсутність чітких алгоритмів лікування УПВГК у дітей, не вирішеними залишаються питання вибору типу фіксації за тієї чи іншої форми УПВГК, а також мало дослідженими залишаються питання перебудови кісткових трансплантатів після виконання кісткової

пластики зони УПВГК, відсутні дослідження, щодо факторів ризику та способів профілактики рефрактур

Існує потреба в розробці нових методик кісткової пластики та способів фіксації кісток гомілки на рівні УПВГК, які б покращували біологічні та біомеханічні умови для досягнення первинної консолідації, та створювали умови для профілактики рефрактур в зоні УПВГК. Важливим і актуальним питанням залишається послідовність та час виконання корекції вторинних деформацій ураженої кінцівки. На теперішній час у світовій практиці використовуються різні підходи до хірургічного лікування УПВГК у дітей, при цьому результати залишаються часто незадовільними. У відділенні дитячої ортопедії ШХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМНУ за останні 25 років накопичений багатий досвід хірургічного лікування дітей України, що потребує аналізу та систематизації. Шляхами підвищення ефективності хірургічного лікування таких дітей має стати диференційний підхід до виконання фіксації кісток гомілки в залежності від типу та локалізації УПВГК у тому числі із розробкою нових інтрамедулярних фіксаторів, що спроектовані для використання у кістках зі зниженою якістю кісткової тканини та покращення методики кісткової пластики зони УПВГК. Все це обґрунтовує необхідність продовження досліджень спрямованих на оптимізацію та вдосконалення хірургічного лікування УПВГК у дітей.

**Мета роботи** - покращити результати лікування уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей шляхом обґрунтування, розробки та клінічного застосування комбінованої методики фіксації кісток гомілки, а також розробки та обґрунтування «обгорнутої» металокісткової пластики зони ураження

**Задачі роботи:**

- провести аналіз літератури, щодо сучасних принципів та результатів хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки у дітей, визначити основні причини ускладнень та рецидивів ;
- на власному клінічному матеріалі проаналізувати клініко-рентгенологічні особливості формування ураженої кінцівки у дітей з уродженим

псевдоартрозом великогомілкової кістки, оцінити результати хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки у дітей, визначити основні причини ускладнень та рецидивів ;

- із використанням математичного моделювання методом скінчених елементів створити та вивчити напружено-деформований стан у системі «великогомілкова кістка - фіксатор» при використанні металофіксаторів різного дизайну, обґрунтувати та удосконалити інтрамедулярний телескопічний фіксатор для хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки у дітей;

- удосконалити методику кісткової пластики для хірургічного лікуванні уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки в дітей, шляхом розробки та експериментального обґрунтування використання кісткових кортикально-губчатими аутотрансплантатів, із додатковим використанням титанової сітки та аутологічного періоста «обгорнутих» навколо кісток гомілки;

- на основі результатів проведених досліджень розробити алгоритм комплексного хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу великогомілкової кістки, з урахуванням типу та локалізації зони ураження, характеру супутнього ураження малоомілкової кістки, із диференційованим підходом до різних типів фіксації кісток гомілки та використанням запропонованої методики "обгорнутої" металокісткової пластики кортикально-губчатими трансплантатами із додатковим використанням титанової сітки та аутологічного періоста «обгорнутих» навколо кісток гомілки та провести його апробацію.

Назви етапів:

2020 рік – ретроспективний аналіз результатів хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей. Дослідження напружено-деформованого стану моделі уродженого псевдоартрозу кісток гомілки до та після фіксації інтрамедулярними конструкціями різних типів

2021 рік – розробка інтрамедулярного металофіксатору для хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей. Клінічна

апробація.

За матеріалами виконаної НДР опубліковано 9 наукових робіт, одержано 2 патенти на корисну модель та подана 1 заявка на корисну модель, 2 нововведення, зроблено 5 доповідей на з'їздах, міжнародних вітчизняних та закордонних конференціях та науково-практичних форумах.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Епідеміологія та етіологія УПВГК

УПВГК – є рідким захворюванням, що зустрічається, із частотою 1 на 140-250 000 новонароджених [1]. УПВГК характеризується широким спектром клініко-рентгенологічних проявів від прогресуючої антекурваційної деформації гомілки до незрощення із обширним дефектом кісткової тканини. УПВГК і на сьогоднішній день залишається одним із найскладніших захворювань дитячої ортопедії, через велику кількість незадовільних результатів та ускладнень хірургічного лікування [2]. Аномалія розвитку малогомілкової кістки при УПВГК відзначається від 60 % до 90 % випадків [3]. УПВГК може бути сформованим вже при народженні, чи розвинути у перші роки життя спонтанно, або внаслідок мінімальної травми. Самостійне зрощення УПВГК, без лікування не відбувається, хвороба супроводжується формуванням деформації та вкорочення гомілки, порушення опорної функції кінцівки [4]. Етіологія захворювання залишається неясною, однак визначено, що УПВГК у 40 % дітей асоціюється із нейрофіброматозом 1 типу, рідше із фіброзною дисплазією та остеοфіброзною дисплазією Кампаначі [5]. Причина ураження кісток гомілки невідома, хоча запропоновані численні теорії, що пояснюють зміни внаслідок патологічної дії механічних, васкулярних чи генетичних чинників при УПВГК. Жодна з запропонованих теорій не дозволяє однозначно пояснити патогенез УПВГК та особливості біологічних змін в м'яких тканинах та кістці.

Згідно сучасних уявлень, основні патологічні зміни, що приводять до розвитку УПВГК локалізовані у періостальному шарі (окісті) кісток гомілки. Першим, хто відмітив патологічні зміни періосту був Codivilla [6]. Доведено, що у зоні УПВГК відзначається потовщення періосту зі збільшення кількості нейроно-подібних клітин, що оточують капілярні судини, призводячи до їх звуження та облітерації. Зазначені зміни можуть призводити до локальної гіпоксії кісткової тканини у субперіостальній зоні із подальшою її резорбцією.

За даними іншого дослідження, патологічні зміни у ділянці УПВГК обумовлені впливом патологічно зміненого періосту, ця тканина отримала спеціальну назву – фіброзна гамартома, клітини якої мають відносно збільшену остеокластичну на фоні пригніченої остеобластичної активності, порівняно з нормальним періостом [7].

## **1.2 Класифікаційні схеми УПВГК**

Запропоновано багато класифікацій УПВГК: Crawford [8], El-Rosassy-Paley [9], Boyd [10], Andersen [11], Pozdeev [12]. Наразі не існує чіткої визначеності та узгодження, щодо оптимальної класифікації, деякі з класифікацій, мають доведену прогностичну цінність, проте більшість не мають практичної направленості, і не дозволяють проводити вибір методики хірургічного лікування [13]. Найбільш уживаними є рентгенологічна класифікація Crawford (рис 1.1а), згідно якої УПВГК поділяється на 4 типи, що описують характер ураження кісток гомілки від найлегшого ступеня - антеролатеральної деформації гомілки (тип I) до псевдоартрозу із дефектом кісткової тканини (тип IV) [8]. Іншою популярною класифікаційною схемою є клініко-рентгенологічна класифікація El-Rosassy-Paley (рис 1.1б), що враховує геометрію кісткових фрагментів, мобільність на рівні псевдоартрозу та наявність виконаних хірургічних втручань [9]. Класифікація Boyd (рис 1.1в) вважається прогностичною, УПВГК розподілено на шість типів і в залежності від типу УПВГК можливо спрогнозувати перебіг захворювання та результат лікування [10]. Класифікація Pozdeev (табл.1) відображає зв'язок етіології та особливостей перебігу УПВГК [12].

Рисунок 1.1 - Класифікаційні схеми УПВГК

		
а	б	в
<p>1.1а Класифікація Crawford: тип 1 передньо-латеральна деформація, збережений медулярний канал. Тип II стоншений кістково-мозковий канал, потовщення кортикального шару III типу - кістозне ураження, можливо з переломом IV тип псевдартроз однієї (великогомілкової) або обох кісток з дефектом кістки</p>	<p>1.1б Класифікація El-Rosassy-Paley: Тип 1 Атрофічні звужені кінці кісткових фрагментів. Мобільний псевдартроз. Без попередніх хірургічних втручань; Тип 2 Атрофічні звужені кінці кісткових фрагментів. Мобільний псевдартроз. Проведене хірургічне втручання, що не призвело до консолідації; Тип 3 Гіпертрофічні широкі кінці кісткових фрагментів. Малорухомий (ригідний) псевдартроз</p>	<p>1.1в Класифікація Boyd: при I типі спостерігається антеролатеральна деформація великогомілкової кістки з дефектом. Тип II та III характеризуються псевдартрозом великогомілкової кістки зі звуженням у центрі по типу «пісочного годинника» та кістковою кістою. При IV типі є псевдартроз великогомілкової кістки зі склерозованими сегментами та маршовим переломом. Тип V характеризується комплементарною диспластичною</p>

Класифікація уроджених хибних суглобів кісток гомілки (А.П. Поздєєв, 1998)

Таблиця 1.1- Класифікація уроджених хибних суглобів кісток гомілки

1.		Хибні суглоби та дефекти нейродистрофічного генезу (хибні суглоби та дефекти, що сформувалися на ґрунті нейрофіброматозу та мієлодисплазії)		
Латентна форма хибного суглобу		Справжня форма хибного суглобу		
Непрогресуюча	Повільно прогресуюча	Швидко прогресуюча	Туга форма хибного суглобу	Рухлива форма хибного с+углобу
2.		Хибні суглоби, що сформувалися на ґрунті фіброзної дисплазії Туга форма хибного суглобу		

### 1.3 Консервативне лікування УПВГК

Консервативне лікування полягає у використанні гіпсових пов'язок та індивідуальних ортезів. Таке лікування, як самостійний метод має обмежені показання, через те, що потребує, довготривалого використання ортезів, до завершення росту скелету [14]. У літературі відомі лише окремі випадки ефективності такого підходу. Консервативне лікування часто застосовується, як частина комплексного підходу і розпочинається від моменту діагностики УПВГК на етапі пре-перелому. Зазначене лікування дозволяє відтермінувати виконання хірургічного етапу, що, як показано, має позитивний прогностичний вплив на результат лікування [15]. Ще одним показанням для консервативного лікування є післяопераційний період, коли ортезування використовується з метою профілактики рефрактури [16].

Ще один метод консервативного лікування – це лікувальна фізкультура, яка направлена на збільшення обсягу рухів у суміжних суглобах кінцівки [17].

Фізіотерапевтичне лікування використовують при мієлодисплазії для покращення нейротрофічної функції кінцівки [18].

#### 1.4 Хірургічне лікування

Хірургічний метод є основним при лікуванні УПВГК у дітей. Аналіз літератури дозволяє відзначити, що ще наприкінці 90х років ХХ сторіччя, результати хірургічного лікування УПВГК частіше були незадовільними, характеризувались низькою ефективністю (зрощення досягалося менше ніж у 20 %), значною кількістю хірургічних втручань, частими ускладненнями у вигляді рефрактур і від 30 % до 35 % випадків таке лікування завершувалося ампутацією гомілки [19]. Основними труднощами, з якими стикається хірург при лікуванні УПВГК є знижений потенціал до зрощення у зоні псевдоартрозу, тенденція до рефрактури кісток гомілки та труднощі із фіксацією малих кісткових фрагментів у дітей на тлі порушення якості кісткової тканини. На сучасному етапі, внаслідок значного технічного прогресу та розвитку розуміння патогенезу і біомеханічних особливостей фіксації остеопоротичних кісток, результати лікування значно покращилися [20]. Наразі не існує загальноприйнятого протоколу хірургічного лікування і відзначається велике різноманіття методик, що демонструють різну ефективність [21].

У період латентної фази УПВГК, тобто до формування псевдоартрозу використовують операцію McFarland [22].

Для лікування УПВГК на стадії перелому використовуються три принципово різні хірургічні техніки та способи фіксації:

- а) інтрамедулярна фіксація перелому з кістковою пластиною;
- б) методика Ілізарова із використанням апарату зовнішньої фіксації (АЗФ);
- в) комбіновані методики інтрамедулярної та зовнішньої фіксації;
- г) методика заміщення васкуляризованого аутоотрансплантату малогомілкової кістки;
- д) метод «індукованої мембрани» по Masquet.

### 1.4.1 Операція McFarland

У період латентної фази УПВГК, тобто до формування псевдоартрозу використовують операцію McFarland, що полягає у виконанні кісткової аутопластики за допомогою аутотрансплантату контралатеральної малогомілкової кістки з метою профілактики перелому великогомілкової кістки (рис. 2) [23]. Ofluoglu та співавт. продемонстрували позитивні результати використання операції McFarland на серії з 10 пацієнтів, у яких через 5-7 років після виконання профілактичної кісткової аутопластики не відзначено жодного випадку формування псевдоартрозу на оперованій кінцівці. Проте, автори також відзначили помірне вкорочення та вторинну вальгусну деформацію гомілково-ступневого суглобу у 40 % пацієнтів [24]. Інші хірургічні методики аутокісткової пластики, шляхом створення накладки з кортикально-губчастих аутотрансплантатів малогомілкової кістки та крила клубової кістки, для попередження розвитку патологічного перелому, пропонували Boyd [25]. Поздєєв зі співавт. запропонували оригінальну техніку використання превентивної кісткової алопластики демінералізованими трансплантатами. За результатами аналізу клінічної групи з 38 пацієнтів, виконання запропонованої превентивної кісткової алопластики демінералізованими трансплантатами дозволило попередити розвиток перелому великогомілкової кістки у 84,2 % (32) пацієнтів. Перевагами методики Поздєєва є використання алотрансплантату, що дозволяє попередити ускладнення пов'язані із забором аутотрансплантату (т.зв. «donor-site morbidity») [26].

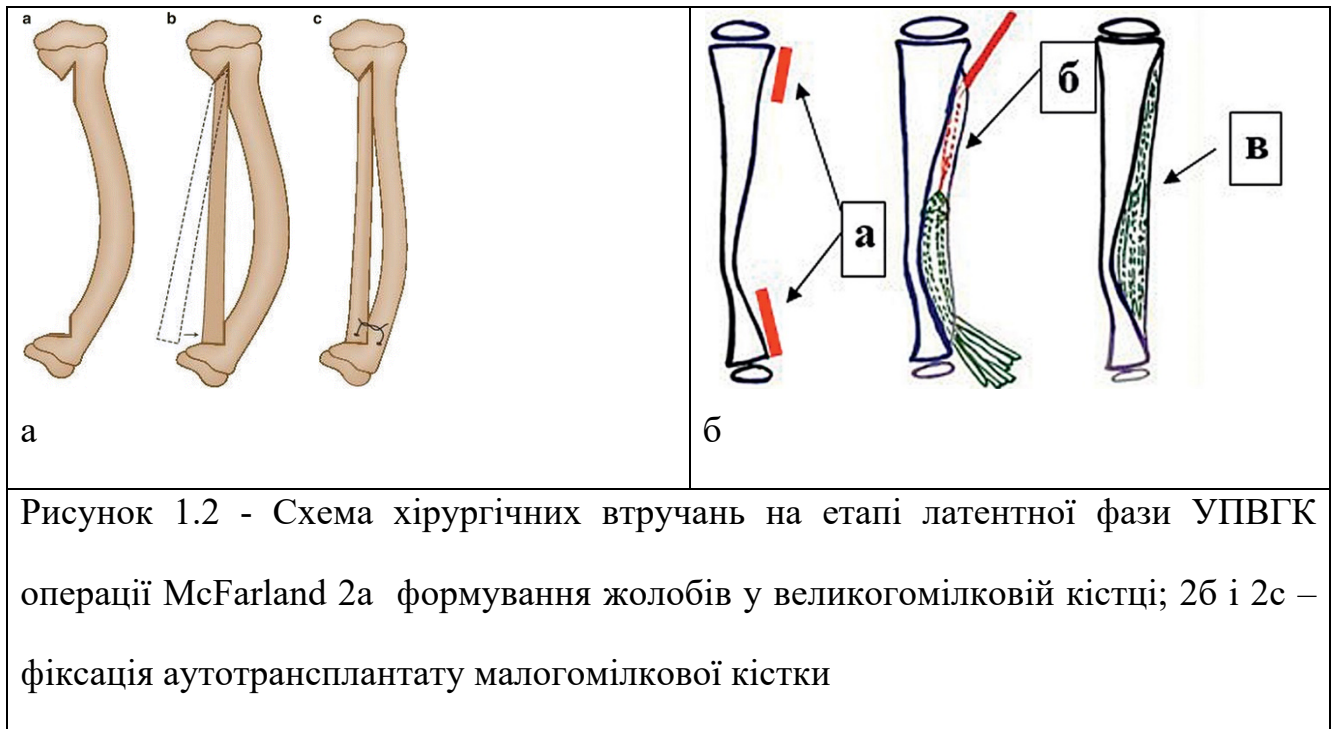


Рисунок 1.2 - Схема хірургічних втручань на етапі латентної фази УПВГК операції McFarland 2a формування жолобів у великогомілковій кістці; 2б і 2с – фіксація ауто трансплантату малогомілкової кістки

#### 1.4.2 Хірургічне лікування методом Ілізарова

Метод Ілізарова для хірургічного лікування УПВГК, передбачає використання основних принципів компресійно-дистракційного остеосинтезу та distraкційного остеогенезу у АЗФ [27]. Існує кілька методик хірургічного лікування УПВГК із використанням циркулярного АЗФ та принципів методу Ілізарова [28], серед яких:

- закрыта компресія зони УПВГК;
- резекція із одномоментним вкороченням та компресією;
- резекція із сегментарним кістковим транспортом;
- резекція, аутокісткова пластика та distraкційно-компресійний остеосинтез.

Метод Ілізарова має переваги, дозволяючи одночасне виконання компресійного остеосинтезу кісткових фрагментів та корекцію деформації і кісток гомілки [29]. За висновками одного з найбільших мультицентрових досліджень, що проведене Європейською асоціацією дитячих ортопедів (EPOS) у 2000 році, і включало аналіз результатів хірургічного лікування у 340 дітей з УПВГК (1287 хірургічних втручань), саме методика Ілізарова рекомендована для хірургічного лікування УПВГК у дітей, бо має найбільший

показник досягнення консолідації у зоні УПВГК. Так для лікування 108 гомілок із УПВГК, виконано 194 хірургічні втручання за методом Ілізарова. Консолідація УПВГК після першого хірургічного втручання досягнута у 65,4 % випадків (61 УПВГК). Ще на 46 гомілках із УПВГК виконали два та більше хірургічні втручання. Загальний підсумковий відсоток консолідації у зазначеній серії пацієнтів, після лікування УПВГК методикою Ілізарова склав 75,5 % [30].

Загалом, результати хірургічного лікування УПВГК із застосуванням методики Ілізарова дозволяють отримати консолідацію від 65 до 100 % випадків (табл 1.2).

Таблиця 1.2 - Частота первинної та загальної консолідації УПВГК після хірургічного лікування та частота рефрактур УПВГК після досягнення зрощення. При використанні 4-х різних методик хірургічного лікування

Метод	Пацієнти (N)	Первинне зрощення (%)	Рефрактура (%)	Зрощення (%)
1	2	3	4	5
<b>Інтрамедулярний стрижень</b>				
Birke et al 2010	8	75	0	75
Das et al 2014	20	90	25	68
Dobbs et al 2004	21	86	57	37
Johnston 2002	23	22	0	22
Joseph and Matthew 2000	14	21	5	20
Joseph et al 2003	26	73	15	62
Kim and Weinstein 2002	11	36	50	18
Liu et al 2018	45	95	26	67
Pannier et al 2013	5	60	40	100
Stephens Richards and Anderson 2018	21	76	31	24

**Продовження таблиці 1.2**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Vigouroux et al 2017	10	40	30	12
<b>Всього</b>	<b>201</b>	<b>61.2</b>	<b>25.3</b>	<b>42</b>
<b>Метод Ілізарова</b>				
Boero et al 1997	21	81	19	66
Borzunov et al 2016	28	100	61	49
El-Rosasy et al 2001	17	100	68	32
Hissnauer et al 2017	7	86	50	43
Nabil et al 2018	9	100	0	100
1	2	3	4	5
Ohnishi et al 2005	26	100	15	85
Paley et al 1992	16	94	31	65
<b>Всього</b>	<b>124</b>	<b>94.4</b>	<b>34.8</b>	<b>62.8</b>
<b>Метод Ілізарова+інтрамедулярний стрижень</b>				
Agashe et al 2012	15	40	17	33
Mandar et al 2012	15	40	6.6	93
Shabtai et al 2015	10	80	0	80
Thabet et al 2008	20	100	40	60
Yan et al 2017	51	51	0	51
Zhu et al 2016	56	89	26	66
<b>Всього</b>	<b>167</b>	<b>66.6</b>	<b>15.9</b>	<b>63.8</b>
<b>Васкуляризований аутотрансплантат малогомілкової кістки</b>				
Grill et al 2000	31	61	16	51
Jane S Tan et al 2011	11	73	38	54

## Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Kalra and Agarwal 2012	26	92.9	15	79
Sakamoto et al 2008	8	100	12.5	100
Vigouroux et al 2017	8	38	0	38
Weiland et al 1990	19	74	14	64
<b>Всього</b>	<b>103</b>	<b>73</b>	<b>15.9</b>	<b>64.3</b>
<b>Середнє значення в усіх групах:</b>		<b>73.8</b>	<b>22.9</b>	<b>58.2</b>



Рисунок 1.3 - Приклад використання апарату зовнішньої фіксації  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33093298/> [1].

Choi et al. Ilizarov Treatment of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia Clinics in Orthopedic Surgery • Vol. 3, No. 1, 2011 • [www.ecios.org](http://www.ecios.org)

Основними недоліками даного хірургічного методу в процесі лікування є інфекційні ускладнення у місцях введення чрезикісткових елементів, а також рефрактури, після досягнення консолідації, що відбуваються, як правило, на

рівні попереднього УПВГК та сягають 34,8 % (табл 1.2). Для профілактики зазначених ускладнень ряд авторів використовує введення інтрамедулярних фіксаторів, після досягнення консолідації [31].

Також метод Ілізарова є основним, що використовується для наступної хірургічної корекції залишкової деформації та вкорочення кісток гомілки та стопи у пацієнтів із УПВГК, що значущо впливають на косметичний стан (зовнішній вигляд) та опороспроможність кінцівки і є неодмінними характеристиками гомілки при УПВГК [32].

### **1.4.3. Хірургічне лікування із застосуванням інтрамедулярних фіксаторів**

Оригінальна методика хірургічного лікування УПВГК у дітей була запропонована Charnley J. у 1956 році і передбачала виконання резекції зони УПВГК із наступною інтрамедулярною фіксацією фрагментів та кістковою пластикою [33]. Проблемним та недостатньо розробленим питанням на сьогоднішній день лишається лікування УПВГК, що локалізовані у н/3, через те що анатомічні особливості великогомілкової кістки утруднюють стабільну фіксацію при використанні інтрамедулярного пристрою [12,31-33]. Williams P. та ряд інших дослідників запропонували використання трансартикулярно введеного через піднадп'ятковий та гомілковоступневий суглоби стрижня [34, 35,36].

Зазначена техніка стала стандартом хірургічного лікування на десятиріччя, демонструючи достатньо високу (від 50 до 85 %) ефективність зрощення зони УПВГК, що однак відрізнялась у різних авторів через наявність різноманітних модифікацій у технічному виконанні втручання та різних інтрамедулярних фіксаторів. Усі дослідники підтверджують необхідність довгострокового шинування великогомілкової кістки інтрамедулярним фіксатором, як методу профілактики рефрактур [35].

У 2002 та 2019 роках група авторів з університетської клініки Техасу (США), представила аналіз середньо- та довгострокових рентенологічних та функціональних результатів хірургічного лікування УПВГК у 34 пацієнтів, які

досягли віку кісткової зрілості. Загалом, у аналізованій групі у 41 % (14 пацієнтів) консолидація зони УПВГК досягнута після одного хірургічного втручання, ще у 50 % (17 пацієнтів) операція Charnley-Williams виконувалась двічі і у 9 % (3 пацієнти). проводилось три хірургічних втручання по ревізії та інтрамедулярній фіксації зони псевдоартрозу. За результатами аналізу, операція Charnley-Williams із використанням телескопічного інтрамедулярного фіксатора, у підсумку дозволила отримати консолидацію із добрими та задовільними функціональними результатами лікування у 82 % (28 пацієнтів), ще у 18% (6 пацієнтів) отримані незадовільні результати, а ампутація гомілки виконана у 11,7 % (4 пацієнтів) [36].

Перевагами методу інтрамедулярної фіксації для лікування УПВГК є можливість ефективної корекції кутової деформації, що нормалізує розподіл сил при осьовому навантаженні гомілки, а також забезпечення фіксатором «шинуючого» ефекту що попереджає розвиток рефрактур [37].

Наразі не існує біомеханічних чи клінічних порівняльних досліджень, щодо вибору оптимального металофіксатора для виконання інтрамедулярного остеосинтезу при лікуванні УПВГК у дітей, також відсутні дослідження по оптимізації лікування УПВГК, що локалізується у н/3 гомілки.

Автори використовують різні інтрамедулярні металофіксатори (спиці Кіршнера, стрижні Штейнмана, телескопічні фіксатори Fassieur-Duval), що залежить від вибору хірурга та економічності (їх) доступності [38].





великогомілкової кістки після досягнення зрощення у зоні хірургічного втручання [41].

#### **1.4.5 Хірургічне лікування із використанням васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки**

Використання васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки (ВАМГК) вперше описано Taylor et al. 1975. Методика передбачає 3 етапи – резекцію патологічних тканин у зоні УПВГК, забір васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки з контралатеральної кінцівки із фіксацією його у зону пострезекційного дефекту УПВГК та виконання судинного анастомозу [42]. Описані хірургічні техніки трансферу ВАМГК з контра- та іпсилатеральної кінцівки [43].

Хірургічна методика лікування УПВГК із використанням ВАМГК дозволяє отримати до 100 % консолідації і може виконуватись навіть у дітей віком від 1 року [44]. Проте її виконання потребує мультикомандного підходу із залученням судинного хірурга і, відповідно, мікрохірургічного інструментарію. Такі втручання є технічно складними, тому наразі методика використовується у обмеженій кількості центрів світу [45]. До специфічних ускладнень методу відносять формування вальгусної деформації надп'яткового суглобу на стороні забору аутотрансплантату, що за різними оцінками можуть спостерігатись у 64 % випадків.

#### **1.4.6 Хірургічне лікування методикою «індукованої мембрани»[техніка Masquelet]**

Хірургічна методика «індукованої мембрани» запропонована Masquelet А.С. передбачає проведення двох хірургічних втручань: по-перше – це резекція патологічно змінених тканин у зоні УПВГК із встановленням цементного спейсеру у зоні пострезекційного дефекту, кістки гомілки тимчасово стабілізуються за допомогою металоостеосинтезу [46]. Друге хірургічне втручання, виконується через 6-8 тижнів – це час необхідний для

формування біологічно активної мембрани, т.зв. «індукованої мембрани». Втручання передбачає видалення спейсеру та пластику дефекту ауто- або алокісткою . В сучасній літературі описані результати лікування 18 пацієнтів. Перевагами хірургічної методики є можливість її використання навіть у пацієнтів, яким попередньо вже проводилось хірургічне лікування, що не було ефективним, та можливість заміщення достатньо великих дефектів (до 8 см). Недоліками є необхідність двічі проводити хірургічне втручання, тривалість лікування та достатньо висока частота рефрактур після досягнення консолідації у зоні УПВГК.

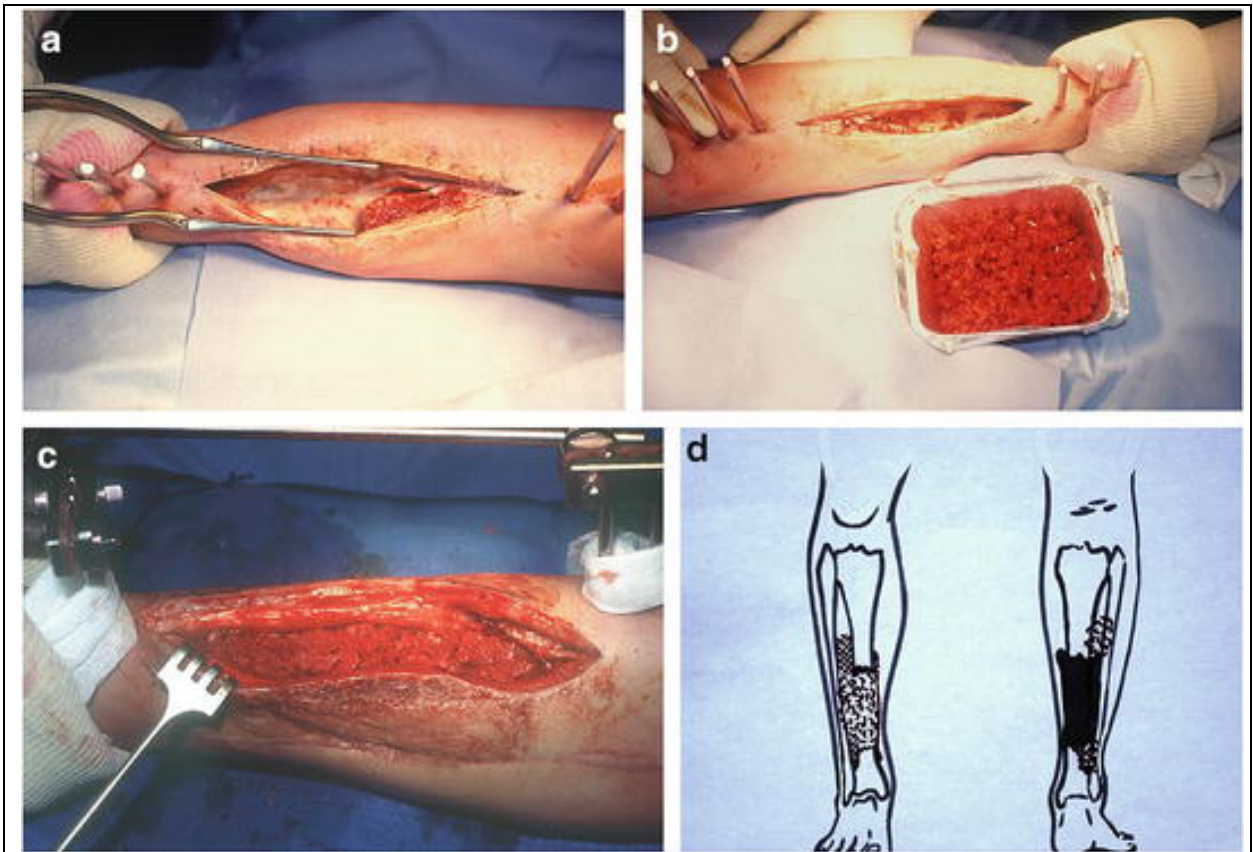


Рисунок 1.5 - (а) передопераційний вигляд мембрани безпосередньо перед заповненням порожнини (б) морцелізований губчатий кістковий трансплантат, фрагменти якого мають бути якомога менші. Альвеолярна структура губчатої кістки забезпечує швидку ревазуляризацію (с) порожнину заповнено. Шовний блок мембрани та підшкірної клітковини призводить до утримання системи. (d) принципи реконструкції гомілки із встановленням цементного спейсеру у зоні пострезекційного дефекту.

Ілюстрація взята з (Orthopedic Clinics of North America, 41 (1), Masquelet AC, Begue T, The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects, 27–37)

#### 1.4.7 Методики кісткової пластики при хірургічному лікуванні

##### УПВГК у дітей

Однією з головних умов для досягнення консолідації кісток у випадку УПВГК є резекція патологічно змінених тканин у зоні УПВГК, з чим

погоджується переважна більшість авторів [2. [Paley , Cho,Johnson]4,11,71] . На сучасному етапі, чітких критеріїв визначення обсягу резекції патологічно зміненого окістя та кістки не існує. При цьому Ippolitto E зі співавт. були одними з перших, хто детально дослідили та описали гістопатологічні зміни тканин у зоні псевдоартозу. Цілим рядом дослідників було доведено, що біологія м'яких тканин (гамартоми та періостального шару є зоні УПВГК є зміненою. Cho T. зі співавт., та виявили, що клітини окістя в зоні УПВГК [Cho T], мають збільшену остеокластичну активність, та схильність до зменшення продукції BMP-2 [Schindeler]. Зміни кісткової тканин менш досліджені, і більшість авторів констатує склеротичні зміни кісткових фрагментів у зоні УПВГК та важливість їх економної резекції. Після виконання ретельної хірургічної обробки у зоні УПВГК формується дефект тканин, який підлягає виконанню кісткової пластики. Розроблено кілька способів кісткової пластики після виконання резекції зони УПВГК: вільна кісткова аутопластика, яка використовується переважною кількістю хірургів та невільна, з використанням васкуляризованих кісткових трансплантатів) [3,28,40]. Остання має ряд переваг, проте обмежено застосовується через технічні складнощі та необхідність виконання мікрохірургічних технологій [].

Одним з сучасних підходів до виконання вільної кісткової пластики для заміщення сегментарних дефектів кісток, є використання так званої «обгорнутої» кісткової пластики (перекл. з англ. «wrapped» bone grafting technique)[Cobos JA, Liu Y, Whately C, McCall TA, Yin QD] Суть такої методики полягає у використанні губчастої кістки, що додатково обгортається у механічний пристрій: титанова сітка, чи(або) біологічний/синтетичний матеріал: періост, людський морфогенетичний протеїн BMP-2 []. Використання зазначеної методики показало свою ефективність при лікуванні сегментарних кісткових дефектів посттравматичної та іншої етіології [].

Відомо, що на процес консолідації кістки при виконанні кісткової пластики впливають декілька факторів, серед яких: властивості трансплантованого матеріалу, біологічні умови у реципієнтному «ложі», механічні фактори, такі як стабільність положення фрагментів та їх рухливість у зоні пластики кісткового дефекту та інші особливості організму [15,16]. Наразі губчаста кістка залишається «золотим стандартом» при виконанні кісткової пластики, хоча на сьогодні розроблена та доступна велика кількість синтетичних замінників та стимуляторів остеогенезу [17-21]. Вважається, що реципієнтне ложе та біомеханічні умови в зоні трансплантованої кістки є найважливішими факторами, що визначають реваскуляризацію, консолідацію та ремоделювання трансплантованої кістки [21-23]. Hertel та ін. продемонстровано важливість ліжка трансплантата, показуючи, що великий кількість губчастого кісткового ауто трансплантата, розміщеного в погано васкуляризованому місці.

Наразі відсутні роботи, які б досліджували фактори, що впливають на резорбцію кісткових трансплантатів при хірургічному лікуванні УПВГК у дітей із наступним використанням кісткової пластики в зоні пострезекційного дефекту.

#### **1.4.8 Ампутація.**

Ставлення до ампутації, як до методу хірургічного лікування УПВГК у дітей, значно відрізняється у різних частинах світу та навіть медичних центрах всередині розвинутих країн. Ампутація, як метод хірургічного лікування при УПВГК у дітей, рядом авторів сприймається як паліативна методика, що виконується у випадках неефективності реконструктивних втручань [47], а іншими, як один із дієвих способів первинного хірургічного лікування, що дозволяє уникнути багаторазових хірургічних втручань [48]. Кілька досліджень продемонстрували, гарні функціональні результати, швидку адаптацію та високу якість життя у дітей, яким ампутація виконана, з приводу різної патології (травми, онкологічні захворювання, тощо) [49]. Karol дослідив

функцію ходи у дітей із УПВГК, після хірургічного лікування та дійшов висновку, що функціональні результати після ампутації стопи схожі із такими після проведення стандартного хірургічного лікування.

Сучасні погляди на покази до ампутації при УПВГК сформульовані McCarthy [50] 1) неможливість досягти консолідації після мінімум 3х хірургічних втручань; 2) наявність значного вкорочення (більше 5 см) і значна деформація стопи та гомілки із порушенням опорної функції кінцівки. Серед технік ампутацій стопи, що використовуються у пацієнтів із УПВГК можна відзначити методики Boyd [51] та Syme [52]. Ці 2 хірургічні техніки вирізняються за рівнями виконання ампутації. Ампутація за Syme передбачає резекцію стопи та формування культі із використанням лоскута шкіри плантарної поверхні стопи зі збереження дистальної наросткової зони великогомілкової кістки, у той час, як техніка Boyd – передбачає резекцію стопи, таранної кістки із формуванням артродезу між п'ятковою та великогомілковою кістками. При цьому, лікування безпосередньо УПВГК у таких випадках проводиться із використанням стандартних підходів (резекція патологічних тканин зони псевдоартрозу, кісткова аутопластика матеріалом, отриманим з ампутуваних кісток та інтрамедулярна фіксація). Пацієнтам виготовляється протез та дозволяється раннє осьове навантаження. Як показано кількома дослідженнями, показники консолідації УПВГК після ампутації стопи сягають від 0 до 90%, при цьому функціональність та опорність оперованої кінцівки не залежить від рентгенологічної картини консолідації [53].



Відсоток ампутацій кісток гомілки при УПВГК у дітей значно знизився за останні 30 років, що в цілому свідчить про покращення результатів хірургічного лікування зазначеної патології.

#### 1.4.8 Ускладнення хірургічного лікування УПВГК у дітей

Одним з найважливіших ускладнень хірургічного лікування УПГК у дітей є незрощення, частота цього ускладнення сягає від 15 % до 55 % за різними даними. Аналіз ефективності кожної з методик хірургічного лікування є ускладненим, через відсутність уніфікованого протоколу виконання хірургічного втручання, застосуванням різних металофіксаторів та типів стабільності (відносна/абсолютна), що досягаються з їх використанням [54].

Причинами незрощення, в першу чергу, є біологічні особливості тканин у зоні УПВГК [55]. Саме тому, історично, методики що передбачали закритий синтез кісток гомілки, чи виконання компресії фрагментів, без резекції патологічно зміненого окістя та м'яких тканин між фрагментами кісток, т.зв. гамартоми, мали незадовільно низький відсоток консолідації УПГК [56].

Іншим, важливим ускладненням є повторні переломи, після досягнутої первинної коносолідації, частота рефрактур сягає до 60 %. Рефрактура УПВГК може виникнути навіть у віддаленому періоді, тобто

навіть через 2-3 роки, після успішно проведеного хірургічного лікування. Точний аналіз причини рефрактур у зоні УПВГК у літературі відсутній [57]. Серед можливих чинників також розглядається порушення біології кісткової тканини м'яких тканин у зоні попереднього псевдоартрозу, наприклад через зміни динамічної рівноваги між функцією остеобластів та остеокластів [58]. Іншим чинником є біомеханічні умови, що наприклад, має місце при використанні різних методик фіксації. Так, серед пацієнтів, у яких використаний інтрамедулярний фіксатор і існує «профілактичне» шинування кістки частота рефрактур нижча. Ще одним прикладом рефрактур, є ті, що формуються після спроби корекції залишкових деформацій або після спроби подовження, для виправлення різниці у довжині кінцівки [59].

Більш рідкі ускладнення це інфекційні і, так звані ускладнення пов'язані із металофіксатором («відмова металофіксатора»), їх частота сягає до 10 % та 15 % відповідно [60].

Ще одним специфічним видом ускладнень хірургічного лікування УПВГК у дітей є ускладнення пов'язані із донорською зоною (з англ. «donor site morbidity») - це вальгусна деформація гомілковоступневого суглобу на місці забору трансплантату, що відмічається при хірургічному лікуванні із використанням васкуляризованого ауто трансплантату мало гомілкової кістки [61].

Наступне ускладнення, пов'язане із донорською зоною – це хронічний больовий синдром у ділянці забору кісткового ауто трансплантату з крила та надацетабулярної ділянки тазу [62].

Обмеження рухів у гомілково-ступневому суглобі. Зазвичай зникає після видалення інтрамедулярного фіксатора та демонтажу АЗФ, але з часом може з'являтися біль у гомілково-ступневому суглобі, причинами якого є дегенеративні зміни суглобу. Зазвичай лікується консервативними методами [63].

## 1.5 Резюме

УПВГК – це захворювання, що досить рідко зустрічається та має широкий спектр проявів від прогресуючої антекурваційної деформації гомілки до незрощення із дефектом кісткової тканини. Патологічні біологічні зміни у ділянці УПВГК обумовлені впливом патологічно зміненого окістя, що формує фіброзну гамартому та відповідає за порушення біомеханічні властивостей кісткової тканини.

Основним методом лікування УПВГК є хірургічний. Аналіз літератури демонструє велику кількість хірургічних методик, що активно використовуються та продовжують вдосконалюватися у світі. Найбільш уживаними є метод Ілізарова, лікування із застосуванням інтрамедулярних фіксаторів, хірургічні методики із використанням васкуляризованого аутотрансплантату малогомілкової кістки, методика «індукованої мембрани».

Досліджень, які б порівнювали ефективність різних методик чи металофіксаторів наразі небагато, більшість досліджень представлені у форматі ретроспективного аналізу клінічної вибірки. Це пояснюється рідкістю захворювання та відсутністю уніфікованих підходів до вибору методики хірургічного лікування. Основною метою хірургічного лікування УПВГК є досягнення консолидації у зоні псевдоартрозу, що має дозволити відновити опорність кінцівки. Недоліком всіх існуючих досліджень є фокусування на досягненні консолидації УПВГК і нехтування супутніми існуючими ортопедичними деформаціями кінцівки. Відсоток первинної консолидація УПВГК при застосуванні різних методик хірургічного лікування дуже варіює у різних дослідженнях становлячи від 60 % до 100 %. Більшість методик має також значний відсоток ускладнень (незрощення та рефрактури), що вимагають проведення повторних хірургічних втручань.

Незважаючи на позитивні досягнення у питаннях досягнення первинної консолидації УПВГК, залишаються невирішеними питання обґрунтування оптимального методу фіксації УПВГК залежно від його локалізації (середня чи нижня третина гомілки) та типу і наявності супутнього ураження

малогомілкової кістки. Потребують технічного вдосконалення існуючі інтрамедулярні фіксатори, що використовуються при хірургічному лікуванні УПВГК у дітей.

Одним із цікавих і невирішених завдань є питання розробки та обґрунтування нових методик кісткової пластики зони УПВГК, які б дозволяли покращити умови для зрощення після виконання резекції патологічних тканин у зоні УПВГК та збільшити поперековий діаметр зони зрощення шляхом створення тібіофібулярного синостозу.

Зазначене питання може бути вирішено шляхом виконання біомеханічного моделювання УПВГК з первинною консолидацією після виконання різних хірургічних методик та в умовах наявності різних металофіксаторів.

Потребує розробки алгоритм хірургічного лікування УПВГК у дітей в залежності від локалізації великогомілкової кістки та характеру супутнього ураження малогомілкової кістки, а також аналіз та розробка алгоритму корекції супутніх деформацій кінцівки у дітей з УПВГК.

Саме тому необхідно продовжувати дослідження у цій галузі медицини.

## **2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Матеріали та загальний дизайн дослідження**

В основу клінічної частини роботи покладений ретроспективний аналіз результатів хірургічного лікування 23 хворих із УПВГК, усім пацієнтам проведено хірургічне лікування у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН» у період 1987-2021 рр. Під час аналізу матеріалів історій хвороб, виконано клініко-рентгенологічну оцінку ураженої кінцівки, функціональну оцінку за інтегральною шкалою AOFAS для стопи та гомілковоступневого суглобу. Зазначені параметри оцінювались до та після хірургічного лікування УПВГК у дітей. Також проведено аналіз ускладнень хірургічного лікування.

Другою частиною власних досліджень стали біомеханічні дослідження, які передбачали математичне моделювання різних варіантів остеосинтезу кісток гомілки при вродженому псевдоартрозі кісток гомілки з використанням методу кінцевих елементів.

Наступною частиною досліджень стали експериментальне вивчення особливостей перебудови кісткових кортикально-губчастих трансплантатів при виконанні кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки при виконанні різних методик кісткової пластики (вільна та «обгорнута» методика кісткової пластики) та використанні різних способів їх остеосинтезу.

Заклучна частина роботи складалась з розробки удосконаленого ІТФ, розробки та обґрунтування методики «обгорнутої» металокісткової аутопластики для хірургічного лікування УПВГК у дітей, а також розробки алгоритму хірургічного лікування УПВГК у дітей з урахуванням локалізації та супутнього ураження малогомілкової кістки.

### **2.2 Методики клінічних досліджень**

Обстеження пацієнтів проводили відповідно до загальноприйнятих методик клінічних досліджень [64]. Виконували опитування та визначення визначали скарг хворих та скарг зі сторони батьків, збирали анамнез життя та

захворювання. Зазвичай хворі та їх батьки скаржилися на деформацію, відчуття невпевненості при навантаженні на кінцівку, її вкорочення та помірний больовий синдром, особливо після фізичної активності. Під час вивчення анамнестичних даних уточнювали час виникнення, динаміку розвитку деформації та вкорочення гомілки, отримували інформацію про вік у якому виявлено УПВГК та проведені діагностичні генетичні та променеві методики дослідження. При зборі інформації про сімейний анамнез відмічали наявність нейрофіброматозу у батьків та родичів першої і другої лінії.

Огляд хворого розпочинали з оцінювання статури пацієнта (пропорційна, різомелія, мезомелія), визначення зросту з оцінкою за центильними інтервалами відповідно до віку. Проводили оцінку наявності пігментних плям на шкірі тулуба та кінцівок (плям кольору «кави з молоком») [65]. Візуальне оцінювання осьових параметрів і форми нижніх кінцівок проводили під час огляду спереду та збоку для визначення фронтальних (варусна чи вальгусна) або сагітальних (антекурвація чи рекурвація) деформацій колінного суглоба. За допомогою гоніометра та ортопедичної рулетки визначали клінічний тібіофemorальний кут (рис. 2.2), міжвиросткову та міжкісточкову відстані.

Відповідно до сучасних стандартів у дітей за наявності фізіологічної варусної деформації колінних суглобів міжвиросткова відстань становить менш ніж 6,0 см, а у випадку наявності фізіологічної вальгусної деформації колінних суглобів міжкісточкова відстань становить менше ніж 8,0 см. Відхилення зазначених показників свідчить про патологічний характер деформації колінних суглобів у дитини та потребує проведення подальшого диспансерного спостереження і виконання етапних рентгенологічних досліджень [66].



У всіх пацієнтів оцінювали ходьбу, використання додаткових засобів пересування та опори, наявність фіксуючого ортезу та компенсаторів вкорочення (устілки, спеціальне взуття). Додатково визначали стабільність зв'язкового апарату колінного суглоба (фронтальну, сагітальну), наявність патологічної рухливості на рівні ураженої гомілки, а також біль під час пальпації в ділянці УПВГК та колінного суглоба. Аналізували пасивний і активний обсяг рухів у суглобах нижньої кінцівки.

Різницю довжини нижніх кінцівок оцінювали шляхом визначення перекосу таза та посеgmentного визначення довжини нижніх кінцівок відповідно до загальноприйнятих методик.

Для оцінки функціонального стану стопи та гомілковостопного суглобу було обрано тестову систему - Foot and Ankle Outcome Score (FAOS). Зазначена шкала є одним з валідизованих інструментів оцінки у дітей з УПВГК [67] і дозволяє провести інтегральну оцінку больового синдрому (9 пунктів) та інших симптомів (7 пунктів), функцію кінцівки у повсякденному житті (17 пунктів), функцію кінцівки під час підвищеної активності (5 пунктів), загальну якість життя, що пов'язана з патологією стопи /гомілковоступневим суглобом (4 пункти). Показники варіюються від 0 до 100, де оцінка 0 вказує на найгірші

можливі симптоми, а 100 – на відсутність симптомів з боку нижньої кінцівки. Детально опитувальник FAOS наведений у Додатку А.

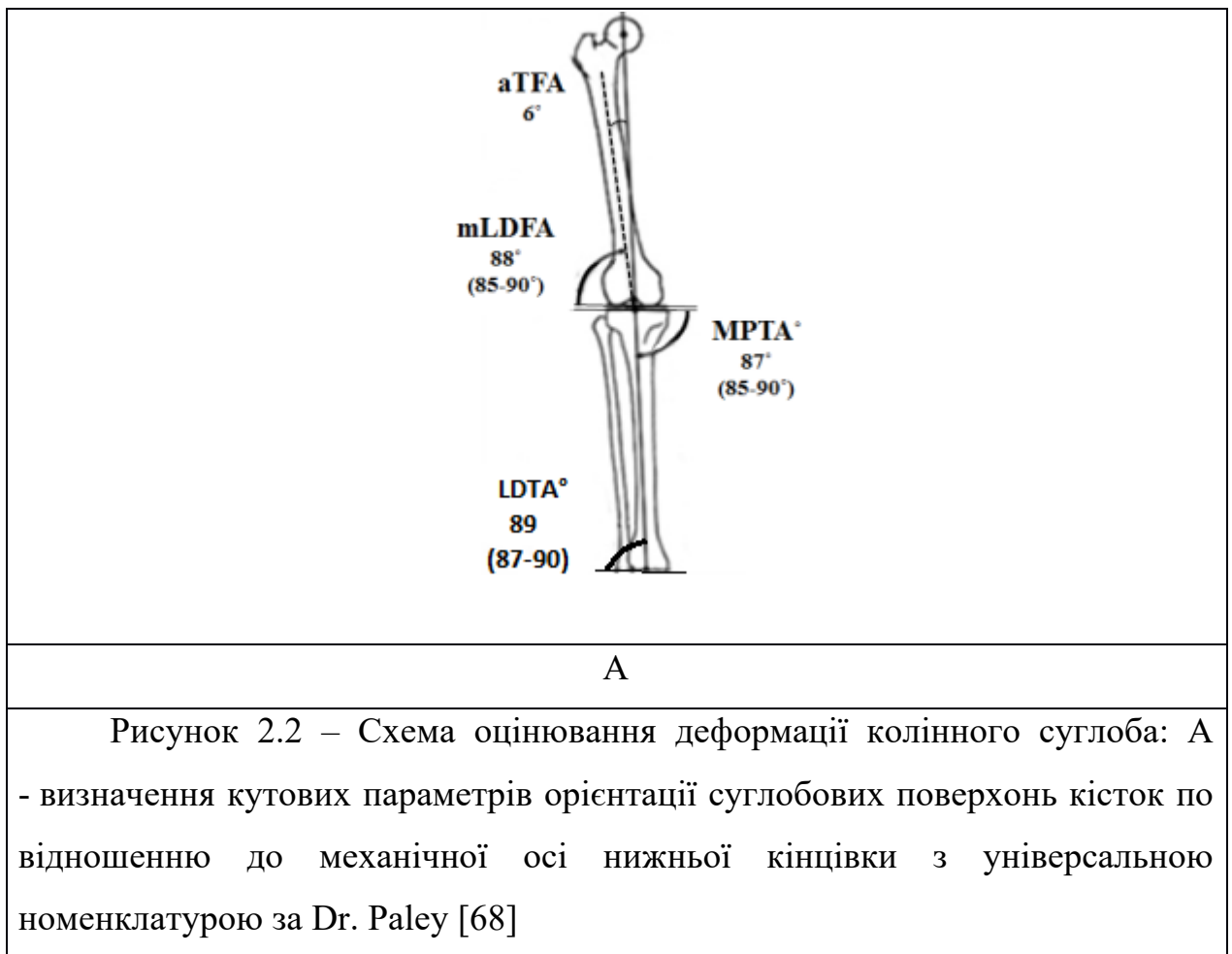
Клінічне обстеження дало змогу виявити патологічні зміни ураженої кінцівки у пацієнтів з УПВГК, а саме, супутніх деформацій та вкорочення сегментів кінцівки, асоційований нейрофіброматоз, а також оцінити анатомо-функціональний стан ураженої кінцівки, шляхом інтегральної оцінки за опитувальником FAOS.

### **2.3 Променеві методи дослідження пацієнтів**

Променеві методи дослідження (рентгенографія, магнітно-резонансна та комп'ютерна томографія) відіграють провідну роль у діагностиці УПКГ у дітей, мають важливе значення для оцінки супутніх деформацій кінцівки та є визначальними для оцінки динаміки у зоні ураження, зокрема у післяопераційному періоді.

#### **Протокол рентгенологічного та рентгенометричного дослідження в пацієнтів із УПВГК**

Стандартний протокол рентгенологічного обстеження дітей із УПВГК передбачає рентгенографію обох нижніх кінцівок на всій довжині в положенні двоножного стояння з правильною орієнтацією надколінка (звернені вперед). Центральний рентгенівський промінь направляють на суглобову щілину на від 1,5 см до 2,0 см нижче верхівки надколінка. Фокусна відстань має дорівнювати від 1,4 м до 1,2 м. Рентгенометричний аналіз отриманих зображень з оцінюванням кутових параметрів колінного суглоба проводили відповідно до протоколу, запропонованому Dr. Paley (рис. 2.4) [68].



Згідно із зазначеними протоколами визначали наступні показники:

- mL DFA (скор. з *англ.* mechanical lateral distal femoral angle) – латеральний кут нахилу суглобової поверхні дистального епіфіза стегнової кістки по відношенню до механічної осі нижньої кінцівки, в нормі становить  $87^{\circ} \pm 3^{\circ}$ ;

- MPTA – (скор. з *англ.* medial proximal tibial angle) – медіальний проксимальний кут великогомілкової кістки по відношенню до механічної осі, в нормі становить  $87^{\circ}$  ( $87^{\circ} \pm 3^{\circ}$ );

- LD TA (скор. з *англ.* lateral distal tibial angle) – латеральний дистальний кут великогомілкової кістки по відношенню до механічної осі.

Ці показники найчастіше використовують у світовій ортопедичній практиці для опису результатів та динамічної зміни осьових деформацій нижніх кінцівок [69].

Також на рентгенограмі визначали тип УПВГК за Crawford та Paley, форму кісткових фрагментів, наявність супутнього псевдоартрозу малогомілкової кістки. За показаннями, при індивідуальному плануванні телескопічного фіксатору виконували комп'ютерну томографію (КТ), або магнітно-резонансну томографію (МРТ) [70].

## **2.4. Хірургічні методики лікування**

Основною метою хірургічного лікування дітей із УПВГК є досягнення консолідації із відновленням опороспроможності кінцівки. Однак для повноцінного відновлення функції кінцівки важливою є також корекція патологічних вторинних деформацій та вкорочення нижньої кінцівки.

Враховуючи сучасний розвиток малоінвазивних хірургічних технік корекції деформацій та довжини нижніх кінцівок ми використовували техніки, що впливають на наросткові зони кісток, тобто «керований рост», як частину комплексного лікування пацієнтів із УПВГК.

Таким чином, хірургічні втручання, що виконувались пацієнтам із УПВГК були розділені на 3 категорії:

- хірургічні втручання спрямовані на консолідацію УПВГК;
- хірургічні втручання виконані через ускладнення (незрощення, порушення цілісності металофіксатору, та ін.);
- реконструктивні хірургічні втручання спрямовані на корекцію вторинних ортопедичних порушень ураженої кінцівки (деформацій, вкорочення нижньої кінцівки).

### **2.4.1 Хірургічне лікування УПВГК із застосуванням АЗФ**

Як було зазначено, обов'язковим аспектом лікування УПВГК на першому етапі є виконання диференціальної клініко-рентгенологічної діагностики, що дозволяє отримати характеристики кутової деформації кісток

ураженої кінцівки (визначення вершини деформації) та є основою для подальшого передопераційного планування лікування.

Дотепер найвикористованішою методикою лікування УПВГК у дітей залишалась методика корекції заснована на виконанні резекції зони хибного суглобу великогомілкової кістки без, або з виконанням ауто- або алопластики цієї зони та із наступною фіксацією кісткових фрагментів апаратом зовнішньої фіксації.

Методика із використанням апаратів зовнішньої фіксації досить досконало розроблена та на протязі багатьох років використовується в Інституті.

### **Техніка хірургічного втручання УПВГК із використанням АЗФ**

В асептичних умовах, під спінальною анестезією, після обробки шкіри розчинами антисептиків у положенні хворого на спині виконується лінійний розріз шкіри довжиною до 10 см по передньо-боковій поверхні гомілки в проекції зони псевдоартрозу великогомілкової кістки. Пошарово розсікаються м'які тканини. Патологічні тканини зони хибного суглобу видаляють, виконують резекцію склерозовано змінених кінців великогомілкової та малогомілкової кісток. Наступний етап — видалення патологічних тканин між фрагментами великогомілкової та (або) малогомілкової кістки з резекцією склерозованих ділянок фрагментів кісток. Далі використовують (або ні) алло- або аутопластику зони псевдоартрозу.

Через додаткові розрізи у в/3, с/3, н/3 гомілки із проколів шкіри скальпелем (1,0 см) за допомогою свердла 3,5 мм і дрилі виконується формування каналів у великогомілковій кістці та введення різьбових конічних стержнів у відповідності до передопераційного планування. Проводиться попередня фіксація Г-подібних кронштейнів. Глибина та коректність введення стержнів контролюється при рентгенографічному дослідженні. Через додатковий розріз 1,5 см за допомогою свердла та дрилі виконується остеотомія кістки на вершині деформації. Гостра, одномоментна корекція положення кісткових фрагментів. Стабілізація АЗФ за допомогою різьбових

штанг. Рентгенологічний контроль. Остаточна стабілізація АЗФ. Рани промиваються розчинами антисептиків. Шви на рани. Асептичні пов'язки.

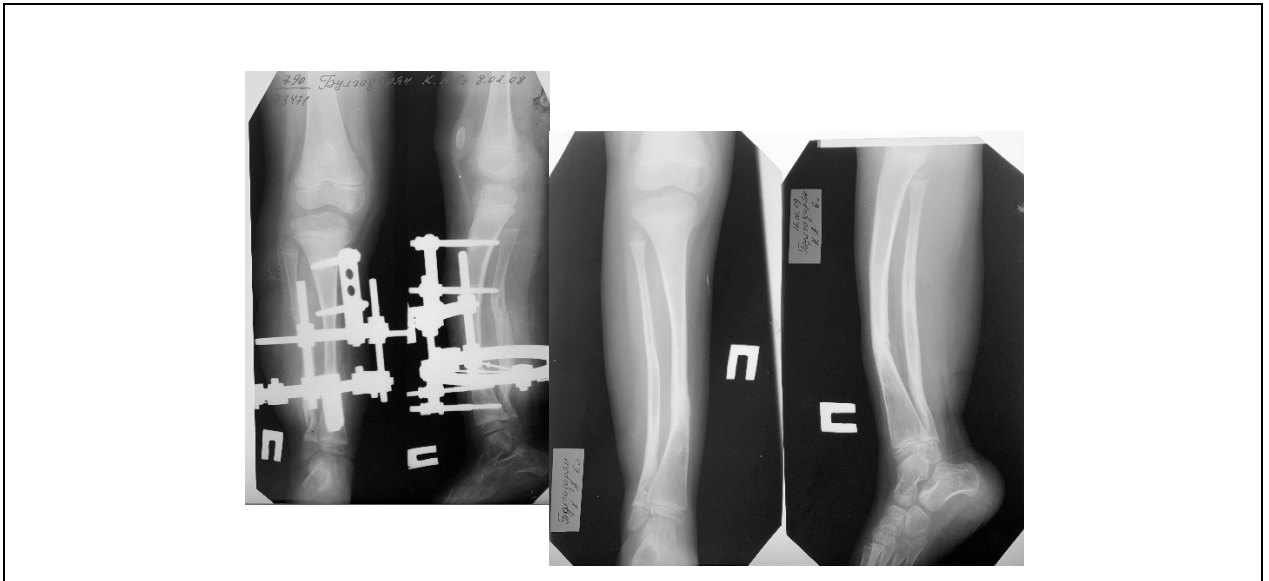


Рисунок 2.3 – Рентгенологічний приклад лікування пацієнта із використанням АЗФ

У післяопераційному періоді іммобілізація оперованої кінцівки не проводилася, осьове навантаження на кінцівку дозволялось через 1 місяць. Середній термін перебування пацієнтів у стаціонарі склав - 21 день. Додаткове лікування після виписки зі стаціонару – остеотропні препарати та реабілітаційне лікування. Контрольний огляд пацієнтів проводився 1 раз на 14-15 днів, для клінічної та рентгенологічної оцінки динаміки зрощення кісток гомілки. Надалі рентгенологічне обстеження виконувалося 1 раз в 3-6 місяців. При досягненні зрощення проводили демонтаж АЗФ.

#### **2.4.2 Хірургічне лікування УПВГК з використанням інтрамедулярного телескопічного стрижня**

##### **Техніка хірургічного втручання**

Хірургічне втручання виконується під спінальною анестезією, у положенні пацієнта на спині з використанням джгута в асептичних умовах операційної виконується лінійний розріз шкіри довжиною до 8 см по передній поверхні гомілки в проекції зони псевдоартрозу великогомілкової кістки. Пошарово розсікаються м'які тканини. Розсікається окістя та тканини навколо

великогомілкової кістки. По латеральній поверхні, виділяючи великогомілкову кістку, потрібно бути обережним, адже великогомілкова артерія та глибокий малоомілковий нерв можуть бути огорнуті фіброзною гемартомою. Гемартому виділяють та зазвичай видаляють шматками. Наступний етап — видалення патологічних тканин між фрагментами великогомілкової та (або) малоомілкової кістки з резекцією склерозованих ділянок фрагментів кісток. Далі під рентген-контролем виконується формування та підготовка кістково-мозкового каналу великогомілкової та малоомілкової кістки. Через додатковий розріз шкіри 1,0 см по передній поверхні колінного суглобу проводять артротомію та формують і готують кістково-мозковий канал великогомілкової кістки. Першою встановлюють дистальну частину інтрамедулярного телескопічного стрижня з фіксацією у дистальному епіфізі блокованим елементом. Антеградно у підготовлений кістково-мозковий канал вводять проксимальну частину з фіксацією проксимального епіфіза блокованим елементом. Установка елементів фіксатора проводиться під рентген-контролем. Джгут знято. Далі виконують лінійний розріз шкіри довжиною до 5 см в проекції передньої верхньої клубової ості. Пошарово розсікаються м'які тканини. Виділяють крило клубової кістки. Першим етапом виконують забір трансплантата окістя (має бути прямокутної форми). Виділене окістя розсікають по типу "сітки" та прошивають його передній край двома швами. Прошитим окістям огортають кістки гомілки, шви, що зроблені заздалегідь закріплюють. Наступний крок - забір губчастої частини клубової кістки. Отриманий аутоотрансплантат із крила клубової кістки потрібно розташувати у зоні псевдоартрозу кісток гомілки, дистально, проксимально та по передній поверхні. За допомогою рентген-контролю перевірити правильне положення аутоотрансплантату. За необхідності встановлюють дренаж. Рани пошарово ушивають. St

У післяопераційному періоді проводиться іммобілізація оперованої кінцівки задньою гіпсовою шиною до  $\frac{1}{3}$  стегна, осьове навантаження на кінцівку не дозволялось 3 місяці. Середній термін перебування пацієнтів у

стаціонарі склав — 14 днів. Додаткове лікування після виписки зі стаціонару - остеотропні препарати та виготовлення індивідуальних ортезів для нижніх кінцівок, реабілітаційне лікування. Контрольний огляд пацієнтів проводився 1 раз на місяць, для клінічної та рентгенологічної оцінки динаміки зрощення кісток гомілки. Надалі рентгенологічне обстеження виконувалося 1 раз в 3-6 місяців.



Рисунок 2.4 – Інтрамедулярний телескопічний фіксатор (оригінальна конструкція ІПХС)



А

Рисунок 2.5 – Рентгенологічний приклад лікування пацієнта із використанням інтрамедулярного телескопічного фіксатора (оригінальна конструкція ІПХС)

### **2.4.3 Хірургічні техніки «обгорнутої» кісткової пластики кортикально-губчастим трансплантами із використанням титанової сітки**

Важливим елементом хірургічного лікування, спрямованим на досягнення первинного зрощення УПВГК у дітей є кісткова пластика. Виконанню кісткової пластики передуює обширне видалення патологічно зміненої сполучної тканини у міжвідламковому просторі, широке видалення зміненого окістя та міжкісткової мембрани, а також економна резекція змінених кісток відкриття кістково-мозкового каналу і максимально точна адаптація кісткових фрагментів

Місцем забору кортикально-губчастих кісткових ауто трансплантатів у дітей з УПВГК є крило клубової кістки. Враховуючи необхідність забору великої кількості кісток, забір трансплантатів виконували відповідно запропонованої техніки деканселізації тазу (з англ. «pelvic decancelization») що полягає на розщепленні двох кортикальних шарів клубової кістки, та забору губчастої кісткової тканин із надацетабулярної ділянки тазу та з сідничної кістки. Додатковою модифікацією методики, яку ми використовували була резекція кортикальної пластинки клубової кістки, яку виконували з внутрішньої поверхні тазу в порожнині малого тазу .

Для створення «обгорнутої» кісткової пластики, була використана перфорована титанова сітка із розміром «отворів» - 0,8 мм (рис 2.6 а).

Сітка розміщувалась навкруги великогомілкової та малоомілкової кісток обгортаючи їх циркулярно в єдиний блок (рис 2.6 б).



З огляду на виявлену під час аналізу рентгенологічних даних тенденцію до зменшення обсягу та щільності кісткового трансплантату після хірургічного лікування УПВГК у дітей, нами проведено оцінку змін обсягу та щільності кісткових ауто трансплантатів за умов вільної та «обгорнутої» техніки кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки за умов різних видів їх остеосинтезу за даними КТ дослідження у експериментальних тварин.

Дослідження проводилося на базі лабораторії ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України»: морфології сполучної тканини (Свідоцтво про атестацію № )

#### **2.4.4 Хірургічні техніки «обгорнутої» кісткової пластики кортикально-губчастим трансплантами із використанням титанової сітки**

##### **Техніка хірургічного втручання**

Хірургічне втручання виконується під спінальною анестезією, у положенні на спині з використанням джгута в асептичних умовах операційної виконується лінійний розріз шкіри довжиною до 8 см по передній поверхні гомілки в проекції зони псевдоартрозу великогомілкової кістки. Пошарово розсікаються м'які тканини. Розсікається окістя та тканини навколо великогомілкової кістки. По латеральній поверхні, виділяючи великогомілкову кістку, потрібно бути обережним, адже великогомілкова артерія та глибокий малоомілковий нерв можуть бути огорнуті фіброзною гамартомою. Гамартому виділяють та, зазвичай, видаляють шматками. Наступний етап — видалення патологічних тканин між фрагментами великогомілкової та (або) малоомілкової кістки з резекцією склерозованих ділянок фрагментів кісток. Далі під рентген-контролем виконується формування та підготовка кістково-мозкового каналу великогомілкової та малоомілкової кістки. Через додатковий розріз шкіри 1,0 см по передній поверхні колінного суглобу проведено артротомію та формування і підготовка кістково-мозкового каналу великогомілкової кістки. Першою встановлюють дистальну частину інтрамедулярного телескопічного стрижня з фіксацією у дистальному епіфізі блокованим елементом. Антеградно у підготовлений кістково-мозковий канал вводять проксимальну частину з фіксацією проксимального епіфіза блокованим елементом. Установка елементів фіксатора проводиться під рентген-контролем. Джгут знято. Далі проводиться забір кісткового кортикально-губчастого ауто трансплантату, відповідно описаній вище методиці. Виміряється та вирізається металева титанова сітка необхідного розміру. Сітка заводиться та обгортається навколо кісток гомілки, трансплантат рясно викладається у ділянці міжкісткового простору на значному протязі вище та нижче зони УПВГК. Протяжність кісткової

пластики, як і розміри сітки, визначаються розміром міжкісткового дефекту, та кількістю аутотрансплантатів. За необхідності виконується додаткова резекція малогомілкової кістки, що дозволяє максимально зменшити міжфрагментарний дістаз великогомілкової кістки. Рани пошарово ушивають. Наступним етапом виконують накладення двокільцевого апарату Ілізарова. Спиці мають бути розташовані паралельно великогомілковій кістці в обох площинах. У верхній третині великогомілкової кістки проводять дві спиці та через п'яткову та таранну кістку зазвичай проводять три спиці. Кільця зв'язують між собою штангами, та проводять "стиснення". Під стопу встановлюють третє порожнє кільце для дефункціонування стопи, щоб крізь неї не виникало тягаря. Для підтримання підшви використовують пластикову шину. Виконують остаточний рентген-контроль.

У післяопераційному періоді іммобілізація оперованої кінцівки не проводилася, осьове навантаження на кінцівку дозволялось через 1 місяць. Середній термін перебування пацієнтів у стаціонарі склав - 14 днів. Додаткове лікування після виписки зі стаціонару - остеотропні препарати та реабілітаційне лікування. Контрольний огляд пацієнтів проводився 1 раз на 14-15 днів, для клінічної та рентгенологічної оцінки динаміки зрощення кісток гомілки. Надалі рентгенологічне обстеження виконувалося 1 раз в 3-6 місяців. При досягненні зрощення проводилося демонтаж апарату Ілізарова.

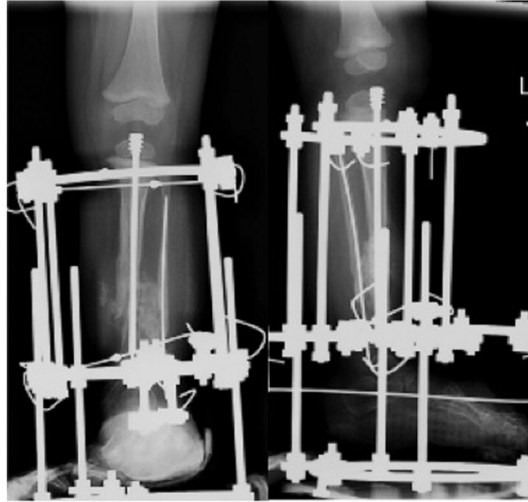


Рисунок 2.7 – Рентгенологічний приклад лікування пацієнта із використанням комбінованої методики

#### **2.4.5 Хірургічне лікування вторинних ортопедичних порушень ураженої кінцівки**

Хірургічна корекція вторинних ортопедичних порушень ураженої кінцівки передбачала лікування супутніх кутових епіметафізарних деформацій у ділянці колінного суглобу та гомілковоступневого суглобів із використанням загальноприйнятої в Інституті техніки тимчасового однобічного блокування пластиною з гвинтами [70].

Корекцію вкорочення сегментів нижньої кінцівки виконували вже після досягнення первинної консолідації у зоні попереднього УПВГК. Найбільш частим методом, що використовувався був дистракційний остеогенез у АЗФ [72].

Обидві зазначені методики є загальноприйнятими і детально висвітлені у відповідних наукових працях співробітників Інституту [73].

## **2.5 Експериментальне КТ-дослідження щільності та об'єму кісткових трансплантатів при виконанні вільної та «обгорнутої» техніки кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки за умов різних видів їх остеосинтезу**

З огляду на виявлену під час аналізу рентгенологічних даних тенденцію до зменшення обсягу та щільності кісткового трансплантату після хірургічного лікування УПВГК у дітей, нами проведено оцінку змін обсягу та щільності кісткових ауто трансплантатів за умов вільної та «обгорнутої» техніки кісткової пластики сегментарного дефекту кісток гомілки за умов різних видів їх остеосинтезу за даними КТ дослідження у експериментальних тварин.

В експерименті проведено хірургічні втручання на 9 безпородних кролях-самцях віком 2 міс. з середньою масою тіла ( $1,2 \pm 0,2$ ) кг. При роботі з тваринами дотримувалися вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей та закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» [227]. Протокол проведення експериментів на тваринах затверджений Комітетом з біоетики ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» (протокол № 97 від 27.08.21 р.).

Суть експерименту полягає в дослідженні впливу різних видів остеосинтезу (тобто різної стабільності) та різних способів кісткової пластики (вільна чи «обгорнута») на швидкість резорбції кортикально-губчастих кісткових ауто трансплантатів в зоні створеного сегментарного дефекту кісток гомілки кролів.

Валідність використання кролів, як експериментальної моделі для УПВГК підтверджена у попередніх експериментах J Wright та співавт. [3.]. Експеримент передбачав моделювання сегментарного дефекту кісток гомілки, що виконувалось на 1 етапі, шляхом відкритої резекції фрагменту на рівні с/3 правої великогомілкової кістки довжиною до 1,5 см. (рис 2.8 а)

На другому етапі, через 2 тижні, виконувалась кісткова аутопластика сегментарного дефекту великогомілкової кістки кортикально-губчастим трансплантатом із крила клубової кістки. Отримані кортикально-губчасті трансплантати подрібнювались до однорідної фракції розміром 2-3,5 мм, використовуючи спеціальний подрібнювач. Для заповнення дефекту використовувалось  $15 \pm 5$ г кісткових ауто трансплантатів, що вимірювалось за допомогою ваг.

Відповідно до методики виконання кісткової аутопластики сегментарного дефекту кісток гомілки виділено 2 групи тварин, кожна група налічувала по 3 тварини

**У Групі 1** виконано вільну кісткову пластику сегментарного дефекту кортикально-губчастими ауто трансплантатами із комбінованою фіксацією кісткових фрагментів гомілки спицею та LCP пластиною (рис 2.8 б).

**У Групі 2** виконано методику «обгорнутої» металокісткової пластики кортикально-губчастими трансплантатами із додатковим використанням титанової сітки та аутологічного періоста «обгорнутих» навколо сегментарного дефекту, із комбінованою фіксацією кісткових фрагментів гомілки спицею та LCP пластиною. (рис 2.8 в)

Рисунок 2.8 – Фотовідбитки етапів експерименту, зовнішній вигляд та фотовідбитки рентгенограм. а – етап резекції сегменту великогомілкової кістки; б – зовнішній вигляд – сегментарний дефект великогомілкової кістки кроля; в – змільчені кісткові ауто трансплантати з крила клубової кістки; г – етап виконання «обгорнутої» металокісткової аутопластики д – рентгенограма кроля з Групи 1 – фотовідбиток рентгенограми комбінована фіксація кісток гомілки спицею та пластиною; е – фотовідбиток рентгенограми кроля із Групи 2 - комбінована фіксація кісток гомілки спицею, пластиною та техніка «обгорнутої» кісткової пластики ;

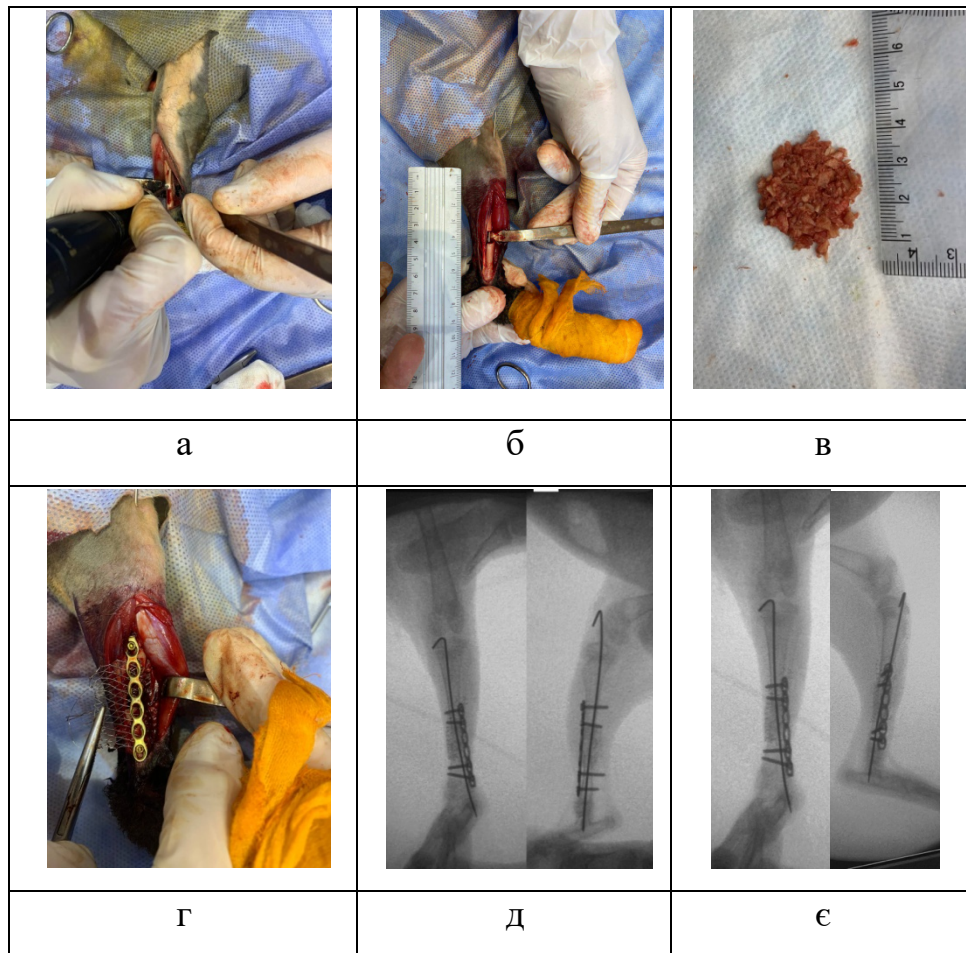


Рисунок 2.8, аркуш 2

Відповідно до протоколу експерименту, всім тваринам виконувалось КТ дослідження кісток гомілки через 4 та 7 тижнів після хірургічного втручання.

КТ дослідження виконувалось на апараті Phillips Medical Systems Brilliance CT 64-зрізової конфігурації під медикаментозною седациєю Кетаміном.

На серіях виконаних КТ досліджень кожній тварині виконано проведено оцінку об'єму кісткових трансплантатів (волюметричну оцінку). Таблиця 2.5 - Волюметрична оцінка трансплантатів у зоні кісткової пластики в динаміці, а також оцінка кісткової щільності є стандартизованими дослідженнями, що використовується для оцінки параметрів їх резорбції

Дані експерименту	Показники	
Кількість тварин	10	
Вік тварин	8 тижнів	
Вага тварин	1,5 ±0.4 кг	
Довжина дефекту, мм M+2SD	15 ±2,5	12±3
Спосіб аутопластики дефекту - вільна - «обгорнута» металокісткова	Група 1	Група 2
	5	5
Кількість кісткових ауто трансплантатів (г) M+2SD	10±2	10±2
Метод фіксації кісток гомілки - комбінована фіксація спицею та LCP- пластиною	5	5

На серії виконаних КТ досліджень кожній тварині проведено волюметричну оцінку кількості/обсягу трансплантатів, а також проведено рентгенометричну оцінку щільності кісткових аутотрансплантатів в зоні виконаної кісткової пластики сегментарного дефекту великогомілкової кістки експериментальних тварин в динаміці.

Волюметрична оцінка трансплантатів у зоні кісткової пластики в динаміці, а також оцінка кісткової щільності є стандартизованими дослідженнями, що використовується для оцінки параметрів їх резорбції [83,114].

Всі обчислення параметрів трансплантату на отриманих КТ-дослідженнях проводилось в програмі RadiAnt DICOM Viewer 2022.1 (64-bit), що дозволяє роботу з 3D об'єктами. Для обчислення кісткової щільності використовувався жорсткий Kernel режим (кісткове "вікно") WW 1500, WL

800, показники отримані в одиницях Гаунсфілда (НУ). Оцінка кісткової щільності виконувалась на оперованій та інтактній кінцівках у 7 зонах:

- а)  $ЗД_{ОПЕР}$ ,  $ЗД_{ІНТАКТ}$  – кортикальний шар зони діафізу великогомілкової кістки на оперованій (на 1,0 см вище сегментарного дефекту) та інтактній кінцівці  
 б)  $ЗКМ_{ОПЕР}$ ,  $ЗКМ_{ІНТАКТ}$  – ділянка кісткового мозку великогомілкової кістки на оперованій (на 1,0 см вище сегментарного дефекту) та інтактній кінцівці  
 в) у 3х зонах в ділянці кісткової аутопластики сегментарного дефекту великогомілкової кістки ( $ЗКА_1$ ,  $ЗКА_2$ ,  $ЗКА_3$ ) (рис 2.9).

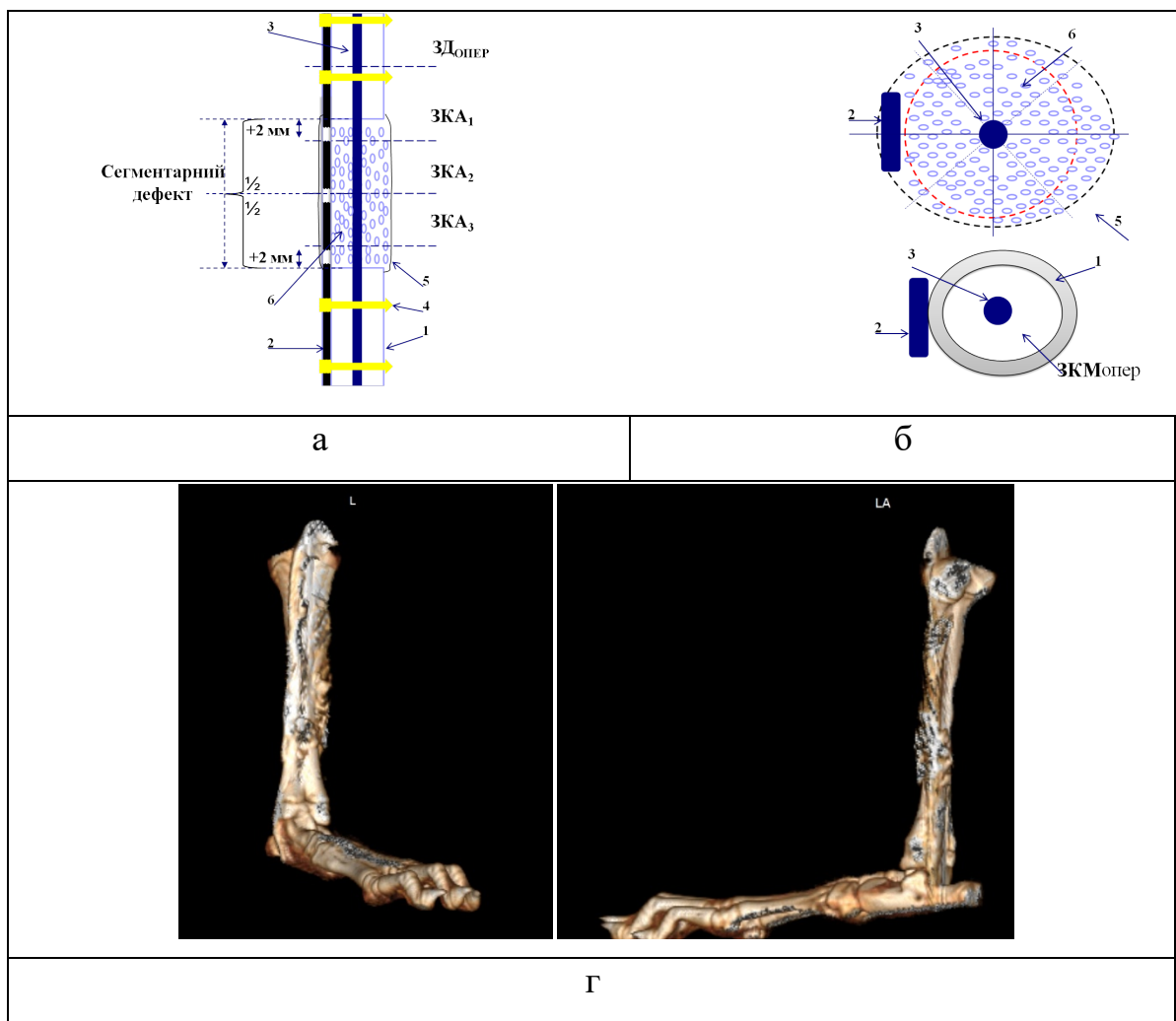


Рисунок 2.9 – Схематичне зображення зон великогомілкової кістки оперованої кінцівки тварини з Групи 2, з позначенням зон вимірювання щільності кісткових аутотрансплантатів та схема оцінки об'єму кісткових трансплантатів; 2.9а - схема у фронтальній проекції 1-великогомілкова кістка; 2 - LCP- пластина; 3 – спиця ; 4- гвинт; 5 – титанова сітка; 6- кісткові

аутотрансплантати. 2.9б - схема у аксіальній проекції на рівні діафізу оперованої великогомілкової кістки та на рівні кісткової аутопластики

2.9г - схема оцінки об'єму ауто трансплантатів у зоні сегментарного дефекту великогомілкової кістки

Виміри параметрів об'єму зони кісткової аутопластики експериментальних тварин виконувались незалежно двома лікарями рентгенологами та 1 лікарем ортопедом-травматологом, які не були задіяні в експерименті. Для підвищення точності підрахунку об'єму трансплантів, виміри проводились повторно тричі, з інтервалом в 7 діб.

Оцінка інтра- та між дослідницької похибки виконана для стандартизації вимірів об'єму по серійним КТ-дослідженням. Виконаний описовий статистичний аналіз епідеміологічних та морфологічних факторів у наявній експериментальній виборці.

Для оцінки непараметричних статистичних даних використаний критерій U Манна-Уїтні. Критерій  $p < 0.05$  був обраний як статистично значущий. Для статистичної обробки даних використано програму Statistica 9.0

## **2.6 Математичне моделювання із порівняльним аналізом напружено-деформованого стану моделей хибного суглобу кісток гомілки та варіантів їх остеосинтезу**

В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» було виконане математичне моделювання варіантів остеосинтезу кісток гомілки при вродженому псевдоартрозі великогомілкової кістки. Для вирішення поставленого завдання було побудовано модель дистального кінця нижньої кінцівки, яка містила великогомілкову та малоомілкову кістки, а також кісткові елементи стопи. Моделювали зону незрощення кісток гомілки в їх середній та нижній третинах та 3 варіанти остеосинтезу: інтрамедулярним стрижнем та шпичею; стрижнем,

шпицею та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку; стрижнем, спицею та блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки гомілки (рис. 2.10).

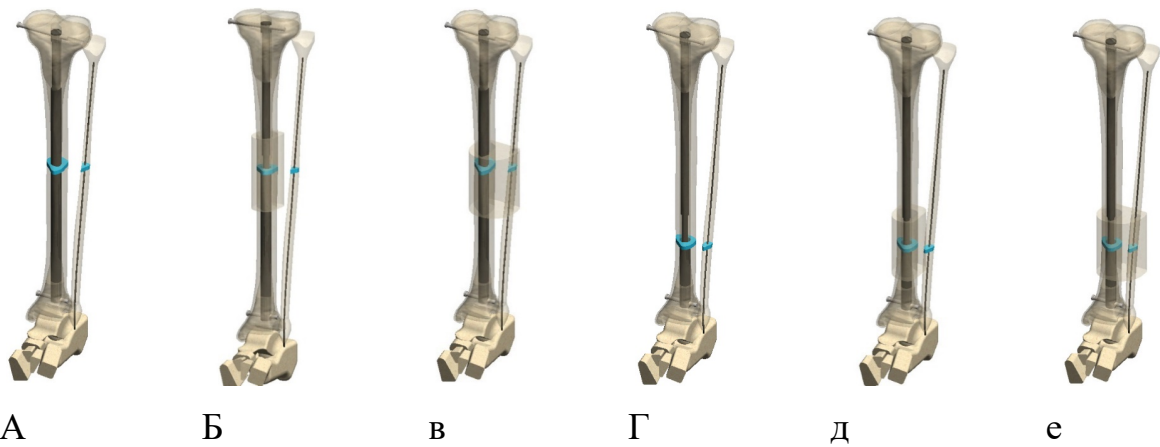


Рисунок 2.10 – Моделі гомілки з переломом обох кісток: а – в середній третині остеосинтез стрижнем та спицею; б – в середній третині остеосинтез стрижнем та спицею + блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку; в - в середній третині остеосинтез стрижнем та спицею + блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки; г – в нижній третині остеосинтез стрижнем та спицею; д – в нижній третині остеосинтез стрижнем та спицею + блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку; е - в нижній третині остеосинтез стрижнем та спицею + блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Для остеосинтезу великогомілкової кістки моделювали 2 типи інтрамедулярних двохсегментних стрижнів з подовжньою рухомістю, яка надає можливість «росту» конструкції відповідно росту кісток гомілки: стрижень без ротаційної стабільності (типу Фасье-Дюваль) та стрижень з ротаційною стабільністю конструкції ПХС.

В нашому дослідженні матеріал рахували однорідним та ізотропним. В якості скінченого елемента був обраний 10 вузловий тетраедр з квадратичною апроксимацією. При обранні механічних властивостей біологічних тканин враховували той факт, що при вродженому псевдоартрозі кісткова тканина має низьку механічну міцність, а для блоку кісткових трансплантатів обирають здорову кісткову тканину, що обумовлює різницю їх механічних показників.

Властивості міжуламкового регенерату обирали, виходячи с того факту, що це новоутворена тканина, яка активно змінює власні властивості в процесі свого росту і формування від 0 до показників здорової кісткової тканини. На якомусь початковому етапі свого формування він має модуль пружності 1,0 МПа. [74, 75, 76,78]. Характеристики штучних матеріалів обирали за даними технічної літератури [77, 79]. Використовували такі характеристики, як  $E$  – модуль пружності (модуль Юнга),  $\nu$ - коефіцієнт Пуассона. Механічні характеристики матеріалів, що використовували в розрахунках, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Механічні характеристики матеріалів, що використовували при моделюванні.

Матеріал	Модуль Юнга (E), Мпа	Коефіцієнт Пуассона,
Кортикальна кістка	12240	0,30
Губчаста кістка	330	0,30
Хрящова тканина	5,58	0,45
Міжуламковий регенерат	1,00	0,45
Блок з кісткових трансплантатів	18350	0,29
Легована сталь	210000	0,30

При проведенні досліджень моделювали два види навантажень на стискання та кручення. Схеми навантаження моделей наведено на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Схеми навантаження моделей:

а – вертикальне осьове стискання; б – кручення.

Для порівняння різних варіантів остеосинтезу проводили реєстрацію величин напружень в моделях в певних контрольних точках. Схема розташування контрольних точок наведена на рис. 2.12.

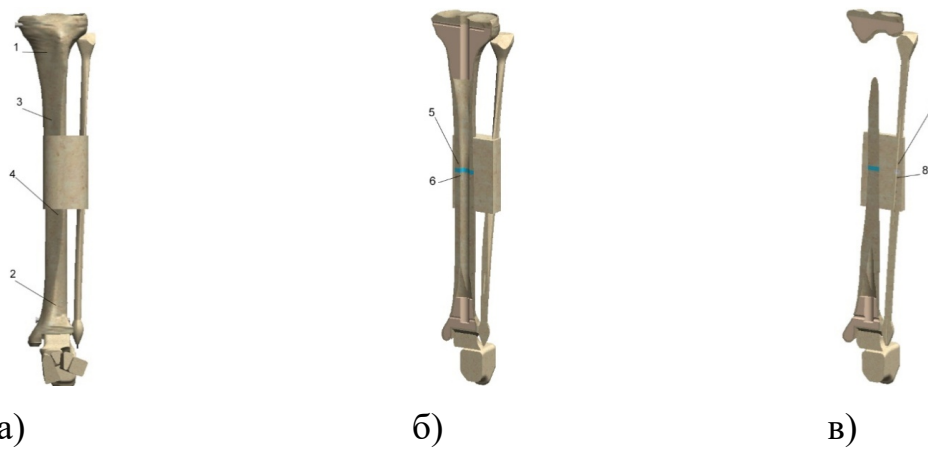


Рисунок 2.12 – Схема розташування контрольних точок на моделі із зоною псевдоартрозу в середній третині:

а – на великогомілкової кістці; б – на стрижні; в – на шпичі.

Контрольні точки, в яких проводили реєстрацію величин напружень в моделях:

1 – проксимальний метафіз великогомілкової кістки; 2 – дистальний метафіз великогомілкової кістки; 3 – дистальний кінець проксимального фрагменту великогомілкової кістки; 4 – проксимальний кінець дистального фрагменту великогомілкової кістки; 5 – інтрамедулярний стрижень вище зони перелому; 6 – інтрамедулярний стрижень нижче зони перелому; 7 – дистальний кінець проксимального фрагменту малогомілкової кістки; 8 – проксимальний кінець дистального фрагменту малогомілкової кістки.

Схема розташування контрольних точок на моделі із зоною псевдоартрозу в нижній третині наведена на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 – Схема розташування контрольних точок на моделі із зоною псевдоартрозу в нижній третині:

а – на великогомілкової кістці; б – навколо ліній переломів;

Контрольні точки, в яких проводили реєстрацію величин напружень в моделях:

1 – проксимальний метафіз великогомілкової кістки; 2 – дистальний метафіз великогомілкової кістки; 3 – дистальний кінець проксимального фрагменту великогомілкової кістки; 4 – проксимальний кінець дистального фрагменту великогомілкової кістки; 5 – великогомілкова кістка вище зони перелому; 6 – великогомілкова кістка нижче зони перелому; 7 – дистальний кінець проксимального фрагменту малогомілкової кістки; 8 – проксимальний кінець дистального фрагменту малогомілкової кістки.

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою методу кінцевих елементів. В якості критерію оцінки напруженого стану моделей використовували напруження за Мізесом [80].

Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою програмного комплексу CosmosM [81].

## 2.7 Статистичні дослідження.

Для обробки даних клінічних досліджень використовували всі методи описової статистики (табличне, графічне, параметричне представлення даних). .....Для вивчення змін кутових параметрів колінного та гомілковступневого суглобу в умовах УПВГК, а також для вивчення змін зазначених кутових параметрів після хірургічного лікування УПВГК протягом періоду спостереження в досліджуваних і контрольній групах використаний критерій Стюдента  $t$  для залежних вибірок. Для критерію Стюдента  $t$  був обраний рівень значимості рівний 0.05.

Для дослідження кореляційної залежності використаний кореляційний тест Спірмана Для оцінки непараметричних статистичних даних використаний критерій U Манна-Уїтні. Критерій  $p < 0.05$  був обраний як статистично значущий. Статистична обробка отриманих даних виконана за допомогою комп'ютерною програмою Statistica 7.0.

### **3 РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ АНАТОМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КІНЦІВКИ У ДІТЕЙ ЗА НАЯВНОСТІ УПВГК ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЧНОГО ЛІКУВАННЯ УПВГК У ДІТЕЙ**

#### **3.1 Загальні дані.**

Матеріалом для ретроспективного аналізу стали історії хвороби 23 дітей із УПВГК, яким проводилось хірургічне лікування у відділенні дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» за період з 1987 по 2021 роки.

Дизайн дослідження результатів хірургічного лікування УПВГК у дітей передбачав аналіз типу, ефективності та ускладнень різних методик хірургічного лікування, а також виконання клініко-рентгенологічної оцінки ряду стандартних параметрів до та після проведеного лікування: (опороспроможність кінцівки, визначення різниці у довжині нижніх кінцівок (РДНК) та наявності деформацій великих суглобів).

Дослідження групи пролікованих дітей показало наявність значної гетерогенності, щодо використаних методик хірургічного лікування, а також значний відсоток дітей, яким виконувались повторні хірургічні втручання спрямовані на консолідацію УПВГК, у т.ч. поза межами Інституту.

Серед зазначених пацієнтів, у 8 (35 %) дітей хірургічне лікування стосовно УПВГК раніше не проводилось, та ще у 15 (65 %) пацієнтів попередньо виконувалось хірургічне лікування у інших медичних закладах України, що однак, не призвело до консолідації зони УПВГК.

Загалом первинне зрощення після виконаного хірургічного втручання досягнуто у 19 пацієнтів, ще у 6 пацієнтів для консолідації виконано 2 хірургічних втручання, і 5 пацієнтів оперовано тричі. Повторні хірургічні втручання виконувались, як правило, після відповідної підготовки пацієнта та м`яких тканин сегменту.

Відповідно до застосованого методу хірургічного лікування УПВГК у дітей, до Групи 1 увійшли 14 пацієнтів (14 сегментів), яким хірургічне лікування проводилось із використанням методу Ілізарова, до Групи 2 - 9

дітей (9 сегментів), хірургічне лікування передбачало резекцію зони псевдоартрозу із виконанням ауто- чи алло-кісткової пластики та фіксацією кісткових фрагментів оригінальним інтрамедулярним телескопічним фіксатором (ІТФ). До Групи 3 віднесено 7 пацієнтів (7 сегментів), яким виконувалось комбіноване лікування, із резекцією патологічних тканин зони УПВГК та комбінованою фіксацією ІТФ і апаратом Ілізарова.

Демографічні дані, а також дані, що відображають топографію ураження у дітей обох груп представлені у таблиці 3.1.

Серед пацієнтів із УПВГК значущо переважали хлопчики (66,7%) ( $p < 0.05$ ).

Середній вік хворих у досліджуваних групах статистично значуще не вирізнявся, становлячи у Групі 1 – ( $7 \pm 2,5$ ) роки, у Групі 2 – ( $5 \pm 2,5$ ) роки, у Групі 3 – ( $5 \pm 2,5$ ) роки ( $p > 0.05$ )

Середній термін спостереження за пацієнтами склав 7,5 років.

Таблиця 3.1 - Статевий розподіл, середній вік та топографія ураження у дітей із УПВГК

Частина даних подана у вигляді:  $M \pm SD$  (середнє  $\pm$  середньоквадратичне)

Параметри	Група 1	Група 2	Група 3
Пацієнтів	14	9	7
хлопчики	9	5	6
дівчатка	5	4	1
Вік (років)	$7 \pm 2,5$	$4 \pm 2,5$	$6 \pm 2,5$

Хірургічне лікування УПВГК у дітей проводилось трьома різними методами. Зазначені методики лягли в основу розподілу пацієнтів на три групи.

### 3.2 Клініко-рентгенологічна характеристика розвитку ураженої кінцівки у пацієнтів із УПВГК

Клінічне обстеження та медико-генетична консультація підтвердили, що у всіх 23 досліджуваних пацієнтів (100 %) УПВГК асоціювався із нейрофіброматозом 1 типу, що супроводжувалось наявністю плям кольору «кави з молоком» та множинних нейрофібром у підшкірній клітковині кінцівок.

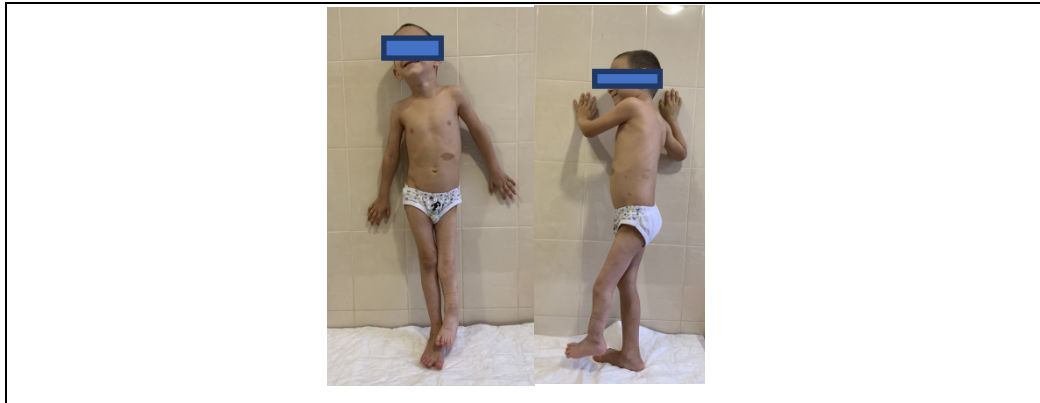


Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд кінцівки при УПВГК. Відзначаються типові клінічні прояви ураженої кінцівки гіпотрофія, вкорочення кінцівки за рахунок гомілки та стопи на 12,0 см (фото пацієнта В., 5 років, іст хвороби № 95298)

Характерною рисою для всіх пацієнтів була гіпотрофія м'язів кінцівки із зменшенням обсягу та довжини всіх сегментів ураженої ноги (рис 3.1). Показники вкорочення ураженої кінцівки значно відрізнялась у пацієнтів різного віку, становлячи у середньому ( $5,0 \pm 3,0$ ) см. Порівняльна оцінка клінічного тифіобеморального кута показала наявність статистично значущо збільшення показника ТФК на стороні ураження, що свідчить про наявність диспластичної вальгусної деформації колінного суглобу ураженої кінцівки у пацієнтів із УПВГК. Детальніше характеристики довжини та кутових параметрів кінцівки, визначених клінічно наведені у табл 3.2

Таблиця 3.2 - Різниця у довжині нижніх кінцівок та клінічний тібіофemorальний кут на здоровій та ураженій стороні у дітей із УПВГК до лікування

Сегмент	Різниця довжини нижніх кінцівок (клінічна оцінка), см		
	Група 1	Група 2	Група 3
Стегно	1,2	1,1	1,2
гомілка	6,4	7,5	8,6
стопа	2,5	2,3	2,1
<i>Клінічний тібіофemorальний кут</i>			
Уражена	15±4	15±4	15±4
Здорова	10±3 <sup>1)</sup>	10±3 <sup>1)</sup>	10±3 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> - p< 0.05			

Клінічна оцінка ходьби у дітей із УПВГК показала наявність часткової або повної втрати опороспроможності ураженої кінцівки, через нестабільність сегменту гомілки на рівні зони ураження. Це проявлялось наявністю кульгання на уражену кінцівку у всіх 23 (100 %) дітей, при цьому у 11 (48 %) дітей, кульгання супроводжувалось больовими відчуттями.

Переважає більшість 19 (79 %) дітей використовували ортези, ще 4 (21 %) дітей користувались додатковими ортопедичними пристроями для ходьби: ортопедична трость, рідше милиці.

Для визначення супутніх ортопедичних деформацій ураженої кінцівки у дітей із УПВГК ми провели оцінку рентгенограм, що виконанні до хірургічного втручання із визначенням референтних кутів (фронтальних та сагітальних) NSA, mL DFA, MPTA, MAD, LD TA, PDFA, ADTA) відповідно до протоколу Dr. Paley [Paley]. (табл 3.3)

Проведена оцінка показала наявність значущої вальгусної деформації проксимального та дистального відділів великогомілкової кістки порівняно зі здоровою стороною у пацієнтів всіх груп. Це, наймовірніше є результатом вторинних змін гомілки, внаслідок некоректного її

навантаження. І, безумовно має підлягати корекції в процесі етапного лікування.

Таблиця 3.3 - Різниця у довжині нижніх кінцівок та рентгенометричні кутові параметри нижніх колінного та гомілковоступневого суглобів у дітей із УПВГК до лікування

Кінцівка	Рентгенометричні кутові параметри суглобів нижньої кінцівки		
	Група 1	Група 2	Група 3
<b>*mLDFA, град(M±2 SD)</b>			
Уражена	85±3	86	85
Здорова	8	90	89
<b>MPTA, град (M±2 SD)</b>			
Уражена	94*	98*	96*
Здорова	87	88	87
<b>LDTA, град (M±2 SD)</b>			
Уражена	80*	73*	76*
Здорова	87	89	88
<b>PDFA, град(M±2 SD)</b>			
Уражена	89	90	92
Здорова	84	82	83
<b>ADTA, град(M±2 SD)</b>			
Уражена	73	70	71
Здорова	79	80	78
- p< 0.05			

У пацієнтів Групи 2 та Групи 3 в діагностично-лікувальний протокол входила оцінка за шкалою FAOS. Дані, щодо показників різних доменів інтегральної FAOS шкали (симптоми, біль, повсякденна функціональна

активність, підвищена спортивна активність, якість життя) представлені у табл 3.4. Зазначена оцінка у пацієнтів з Групи 1 не проводилась

Таблиця 3.4 - Оцінка за інтегральною шкалою у пацієнтів Групи 2 та Групи 3 із УПВГК до хірургічного лікування

Домени інтегральної шкали FAOS	Оцінка по інтегральній шкали FAOS	
	Група 2	Група 3
Симптоми	55	62
повсякденна функціональна активність	68	78
Підвищена рекреаційна (спортивна) активність	58	69
якість життя	72	84
- $p < 0.05$		

Слід відзначити, що до хірургічного лікування у пацієнтів обох груп відзначались знижені показники у доменах підвищеної рекреаційної активності та якості життя, що свідчить про негативний вплив УПВГК на фізичну активність та життя дитини в цілому.

### 3.3 Аналіз результатів хірургічного лікування та ускладнень уродженого псевдоартрозу кісток гомілки у дітей

Основною метою хірургічного лікування дітей із УПВГК є досягнення консолідації із відновленням опороспроможності кінцівки та корекція патологічних вторинних деформацій нижньої кінцівки.

Ефективність досягнення зрощення зони УПВГК становила від 50,0 % до 85,7 % і була найвищою у Групі 3 (табл 3.5)

Таблиця 3.5 - Первинне зрощення, час досягнення консолідації та ускладнення хірургічного лікування УПВГК у дітей

<b>Параметри</b>	<b>Група 1</b>	<b>Група 2</b>	<b>Група 3</b>
	<b>14 пац</b>	<b>9 пац</b>	<b>7 пац</b>
	<b>пац(%)</b>	<b>пац(%)</b>	<b>пац(%)</b>
Первинна консолидація зони УПВГК	7 (50)	6(66.7)	6(85.7)
<b>Ускладнення</b>			
Незрощення	7(50)	3(33,3)	1(14,2)
Інфекційні	4( 28,5)	2 (22,2)	1(14,2)
Рефрактура	12 (85,7)	2 (22,2)	2(28,5)
Вторинні деформації кісток	14 (100)	8 (8,88)	5 (71,4)
Порушення цілісності металоконструкції (відмова фіксатору)	5 (35,7)	3 (3,33)	2(28,5)

Аналізуючи отримані дані, можна прийти до висновків методика комбінованого лікування (ІТФ +АЗФ) продемонструвала найбільший відсоток первинного зрощення після хірургічного лікування УПВГК та відзначено велику кількість ускладнень хірургічного лікування (табл 3.5) До найчастіших ускладнень можна віднести незрощення, рефрактури, а також порушення цілісності фіксатора, серед яких у Групі 2 та Групі 3 відмічено порушення блокуючих елементів ІТФ у 31,25 % випадків (5 пацієнтів). Приклад зазначених ускладнень наведений на Рис 3.2.



Рисунок 3.2 - Фотовідбитки рентгенограми пацієнта Г. ( №іст хв 84889), 5 років після хірургічного лікування УПВГК з використанням ІТФ (Група 2) Відзначається порушення цілісності блокуючих елементів фіксатору

Одним з відмічених феноменів, виявленим при аналізі рентгенограм у 7 пацієнтів (23,3 %) після виконання хірургічного лікування була поступова резорбція кісткових аутотрансплантатів, що проявлялось у зменшенні поздовжнього та поперекового розміру зони кісткової пластики і зміні їх щільності (Рис 3.3).



Рисунок 3.3 - Фотовідбитки рентгенограми пацієнта К., 9 років з групи 1  
 а. Стан через 1 міс після хірургічного лікування УПВГК, відзначається наявність металофіксатору та кісткової аутопластики зони УПВГК  
 б Стан через 5 міс після виконаного хірургічного лікування, відзначається лізис кісткових трансплантатів у зоні втручання

Клінічні приклади лікування пацієнтів трьох досліджуваних груп представлені на рис 3.4 – 3.6.

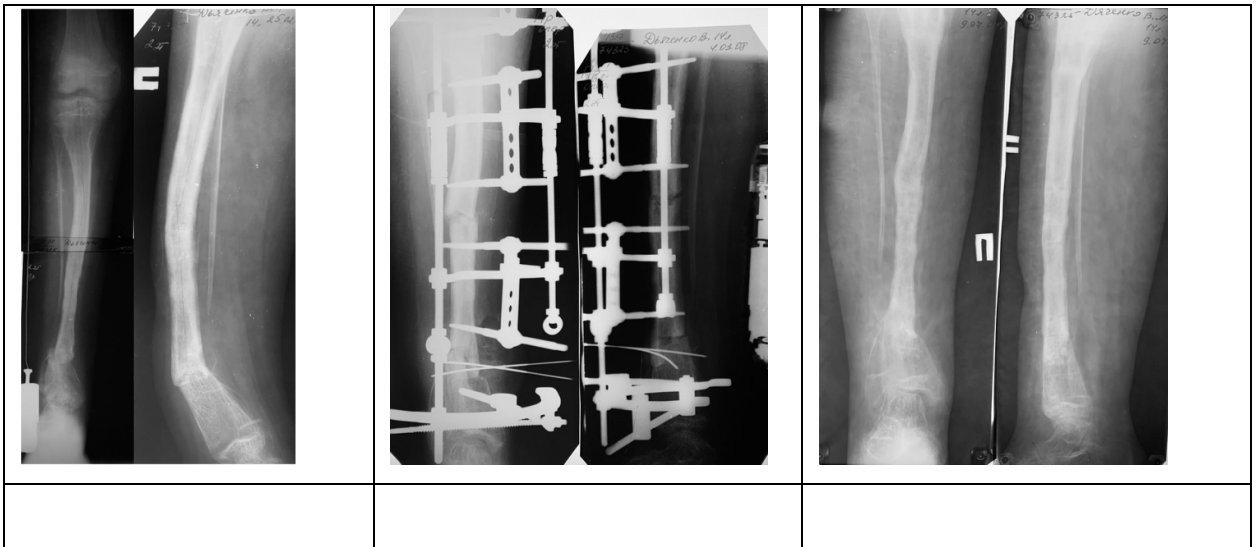


Рисунок 3.4.- Фотовідбитки рентгенограм пацієнта Д., 14 років (Група 1), історія хвороби №74325, діагноз: Уроджений псевдоартроз кісток правої гомілки: а) до лікування; б) після проведеного лікування у АЗФ; в) через 6 місяців після хірургічного лікування відзначається первинне зрощення кісток гомілки , помірна вальгусна деформація кісток гомілки та гомілковоступневого суглобу

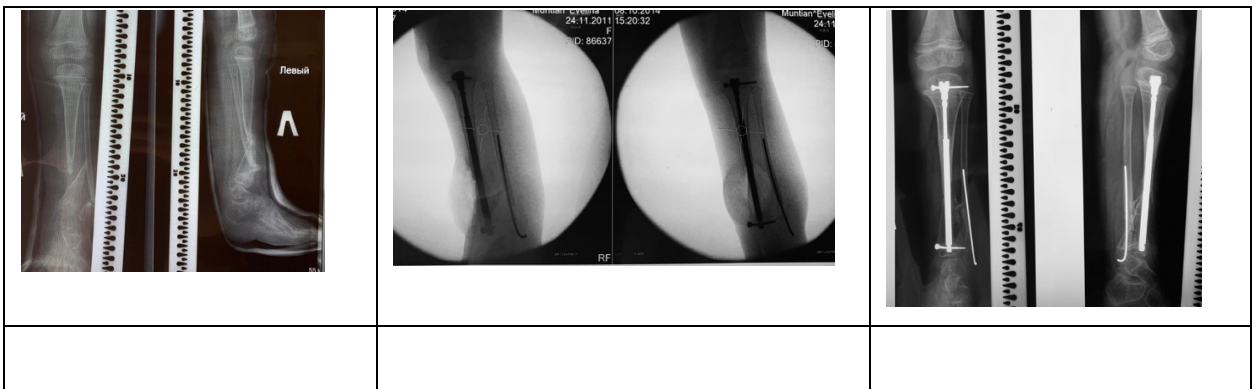


Рисунок 3.5 - Зовнішній вид та фотовідбитки рентгенограм пацієнтки М., 3 років (Група 2), історія хвороби №86637 діагноз: Уроджений псевдоартроз кісток правої гомілки: а) до лікування; б) після проведеного лікування ; в) через 8 місяців після хірургічного лікування



### 3.4 Резюме

Ретроспективний клініко-рентгенологічний аналіз 23 пацієнтів із УПВГК показав наявність типових ортопедичних деформацій ураженої кінцівки (вальгусну деформацію проксимального та дистального відділів гомілки ( $MPTA - (74 \pm 6)^\circ$ ;  $LDTA - (74 \pm 6)^\circ$ ) ( $p < 0.05$ ). Середнє вкорочення ураженої кінцівки за рахунок сегментів гомілки та стопи склало  $(5 \pm 2)$  см.

Наявність УПВГК та вторинних деформацій кінцівки призводить до виражених функціональних порушень та зниження якості життя, що відзначено за результатами оцінки за шкалою FAOS.

Хірургічне лікування УПВГК у пацієнтів, які лікувались у відділенні проводилось трьома різними методиками (із застосуванням АЗФ, із застосуванням ІТФ, комбінованим методом ІТФ+АЗФ). Проведене лікування дозволило отримати консолідацію у 19 (82,6 %) пацієнтів. Найбільший відсоток первинних зрощень досягнутий у групі 3, де застосована комбінована методика хірургічного лікування.

Хірургічне лікування УПВГК у дітей супроводжувались значною кількістю ускладнень, що часто потребували хірургічних втручань

Найчастішими видами ускладнень хірургічного лікування були: незрощення, рефрактури, ушкодження елементів металофіксатору.

Аналіз рентгенограм дозволив виявити поступову резорбцію кісткових аутотрансплантатів, що визначалась у 5 пацієнтів ( 16,7 % випадків, при цьому у 4 (36,3)% зазначений феномен асоціювався із сповільненим зрощенням, або незрощенням УПВГК. Ще однією виявленою помилкою хірургічного лікування, що призводила до ускладнень була фіксація кісток гомілки з недостатньою адаптацією кісткових фрагментів, тобто відсутність чіткого контакту кісткових фрагментів великогомілкової кістки, після виконаної ревізії УПВГК. Найчастіше це відбувалось через виконану часткову резекцію змінених склерозованих кінців великогомілкової кістки, що, за наявності інтактної малогомілкової кістки призводили до появи діастазу (сегментарного дефекту) великогомілкової кістки. Фіксація фрагментів великогомілкової кістки з недостатнім контактом між ними значно сповільнює досягнення консолідації і супроводжується збільшенням ускладнень

## **4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАРІАНТІВ ОСТЕОСИНТЕЗУ КІСТОК ГОМІЛКИ ПРИ ЇХ УРОДЖЕНОМУ ПСЕВДОАРТРОЗІ**

Математичне моделювання різних видів остеосинтезу методом скінчених елементів є одним з загальноприйнятих методів дослідження та порівняння напружень, що виникають у парі фіксатор-кістка при різних видах навантажень. Зазначені дослідження дають додаткову інформацію, щодо характеру розподілення напружень, яка додатково слугує для розробки та обґрунтування оптимального металофіксатора чи способу лікування.

Використання математичного та експериментального моделювання є обґрунтованим методом дослідження у випадках, коли захворювання є рідким, або експериментальне дослідження безпосередньо на пацієнтах є забороненим чи не етичним. Серед найчастіших ускладнень, за даними клініко-рентгенологічного аналізу результатів хірургічного лікування УПВГК власної групи пацієнтів, були порушення цілісності елементів металофіксаторів та незрощення після виконання хірургічного втручання

Для визначення особливостей розподілення напружень при хірургічному лікуванні УПВГК у дітей, ми провели математичне моделювання хірургічного лікування УПВГК у с/3 та н/3, тобто у найбільш типовій локалізації та при локалізації, яка наразі становить найбільші складнощі для лікування.

### **4.1. Дослідження напружено-деформованого стану моделей гомілки з зоною псевдоартрозу в середній третині.**

#### **4.1.1. Дослідження моделей на стиск.**

При дослідженні моделей на стиск першим етапом вивчали напружено-деформований стан моделі гомілки без ушкоджень. Картину розподілу напружень в цієї моделі під впливом вертикального осьового стискаючого навантаження можна спостерігати на рис. 4.1.

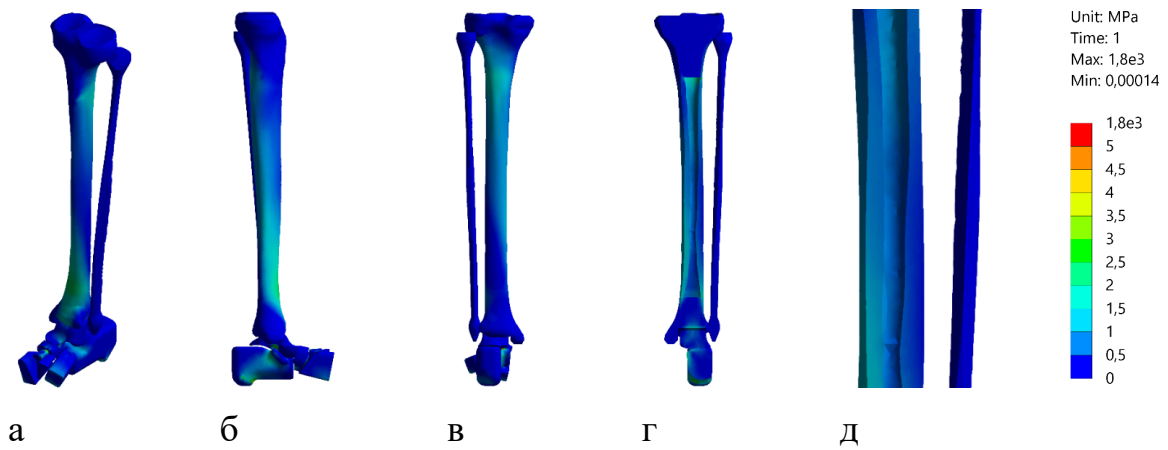


Рисунок 4.1 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на стиск:

а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

За відсутністю ушкоджень кісток гомілки при осьовому стискаючому навантаженні найбільші напруження виникають у великогомілкової кістці, й сягають значення 4,9 МПа на її дистальному кінці. Декілька нижчі напруження 3,4 МПа спостерігаються на її проксимальному кінці. В діафізарній частині величини напружень визначаються в межах від 1,6 МПа до 2,0 МПа. Малоюмілкова кістка залишається, практично, не навантаженою, про що свідчить низький рівень напружень в неї – 0,1 МПа. Дані про величини напружень в контрольних точках моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на стиск наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Величини напружень в контрольних точках моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на стиск.

Контрольні точки	Напруження, МПа
1	3,4
2	4,9
3	2,0
4	1,6
5	1,6
6	2,0
7	0,1
8	0,1

На рисунку 4.2 наведена картина напружено-деформованого стану моделі з остеосинтезом великогомілкової кістки інтрамедулярним стрижнем без ротаційної стабільності та малогомілкової кістки спицею.

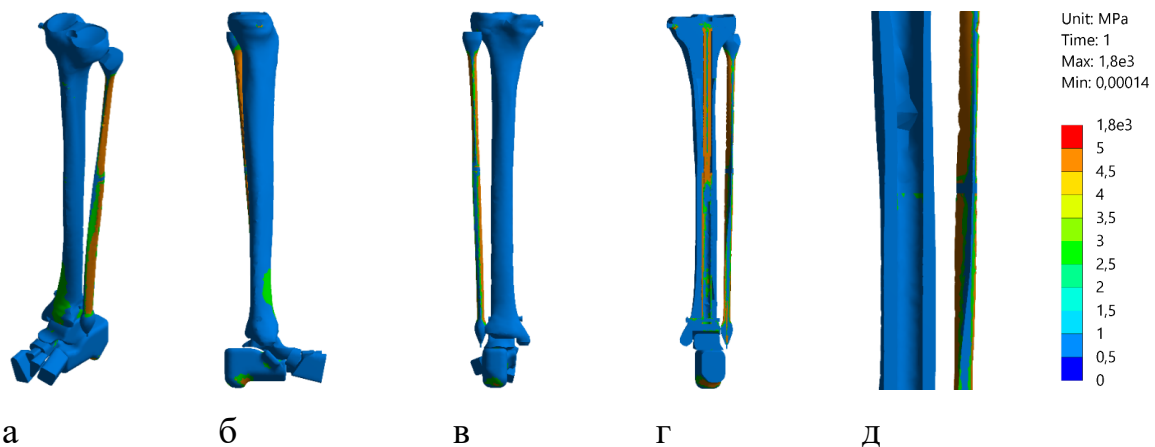


Рисунок 4.2 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності:

а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Використання для остеосинтезу великогомілкової кістки ротаційно нестабільного стрижня, що "зростає", веде до зниження рівня напружень в її метафізарних зонах до 1,0 МПа на проксимальному кінці. В дистальному

метафізі рівень напружень зберігається без змін на рівні 1,7 МПа в порівнянні з неушкодженою кісткою. Підвищення рівня напружень спостерігається в діяфізі великогомілкової кістки вище зони перелому – до 5,5 МПа, а також безпосередньо вздовж лінії перелому до 2,4 МПа у верхньому уламку та до 3,4 МПа – в нижньому. Найвищий рівень напружень спостерігається навколо зони перелому малогомілкової кістки, де він сягає позначки 7,8 МПа.

Розглянемо, як змінюється картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск при використанні для остеосинтезу стрижня з ротаційною стабільністю (рис. 4.3).

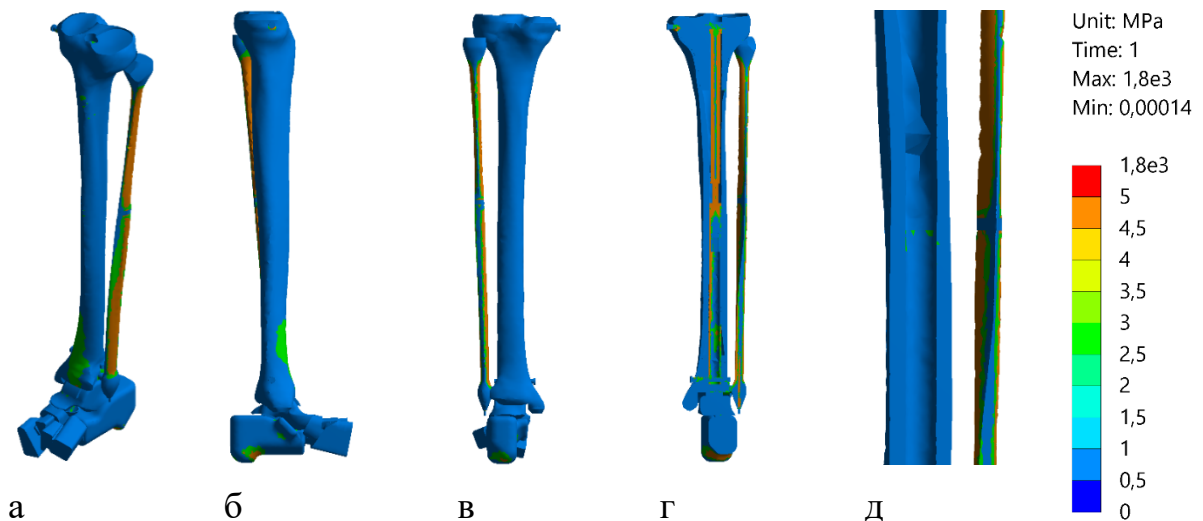


Рисунок 4.3 – Картина розподілу напружень в моделі. Остеосинтез стрижнем із ротаційною стабільністю:

а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як показали результати моделювання, при навантаженнях на стиск, використання стрижня з ротаційною стабільністю не веде до будь-яких значних змін напружено-деформованого стану моделі в порівнянні з остеосинтезом великогомілкової кістки ротаційно нестабільним стрижнем. Це можна пояснити тим, що до навантажень, які діють вздовж повздовжній осі стрижнів, обидва стрижня є нестабільними, тому все навантаження несуть кісткові структури. Це є платою за можливість "зростання".

Значення величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу тільки стрижнями та шпицями, наведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпицею.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	Стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	3,4	1,0	1,0
2	4,9	5,6	5,5
3	2,0	1,5	1,5
4	1,6	1,6	1,7
5	1,6	2,4	2,4
6	2,0	3,9	3,4
7	0,1	7,8	7,8
8	0,1	7,6	7,6

Як бачимо, наявність ротаційної стабільності інтрамедулярного стрижня ніяким чином не впливає на розподіл напружень в моделях при навантаженні на стискання. Більш наочно порівняти величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу тільки стрижнями та шпицями, можна за допомогою діаграми, яка наведена на рис.4.

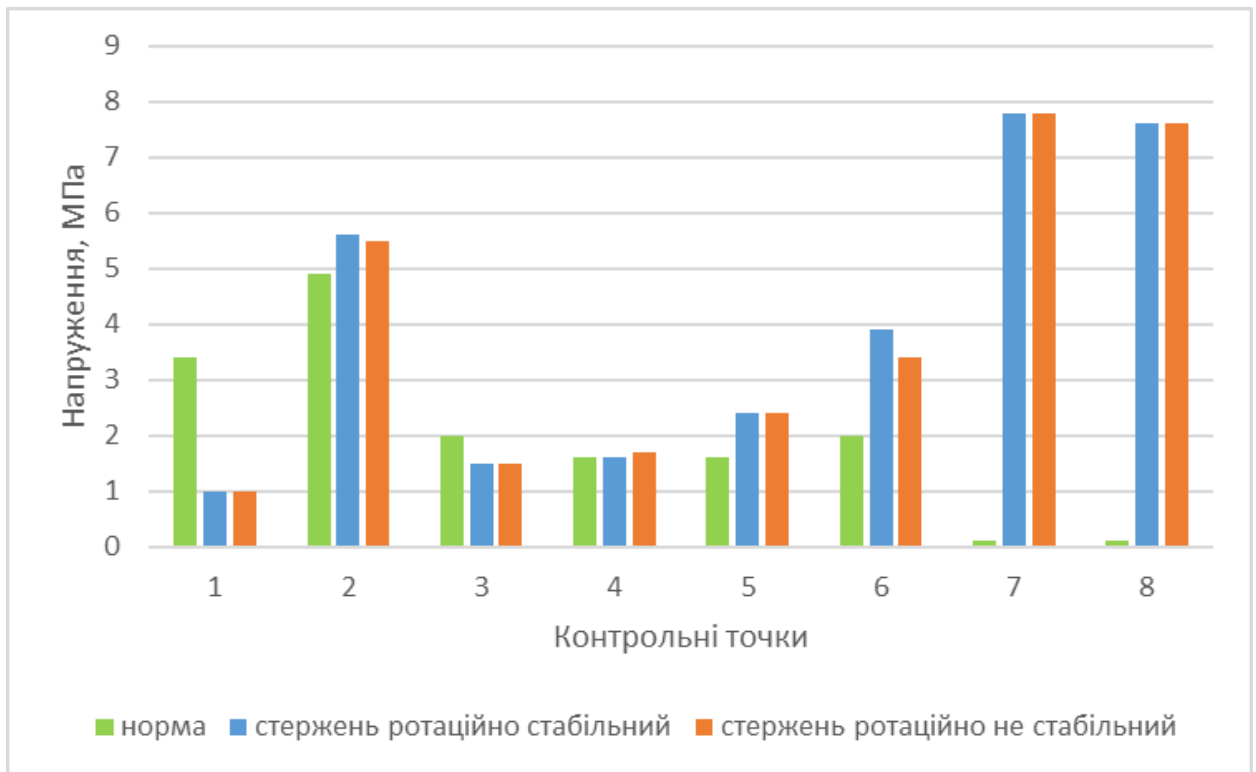


Рисунок 4.4 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпигцею.

Наступним етапом роботи був змодельований варіант остеосинтезу великогомілкової кістки інтрамедулярними стрижнями з додатковим блоком з кісткових трансплантатів. На рис. 5 відображено напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу великогомілкової кістки стрижнем без ротаційної стабільності та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

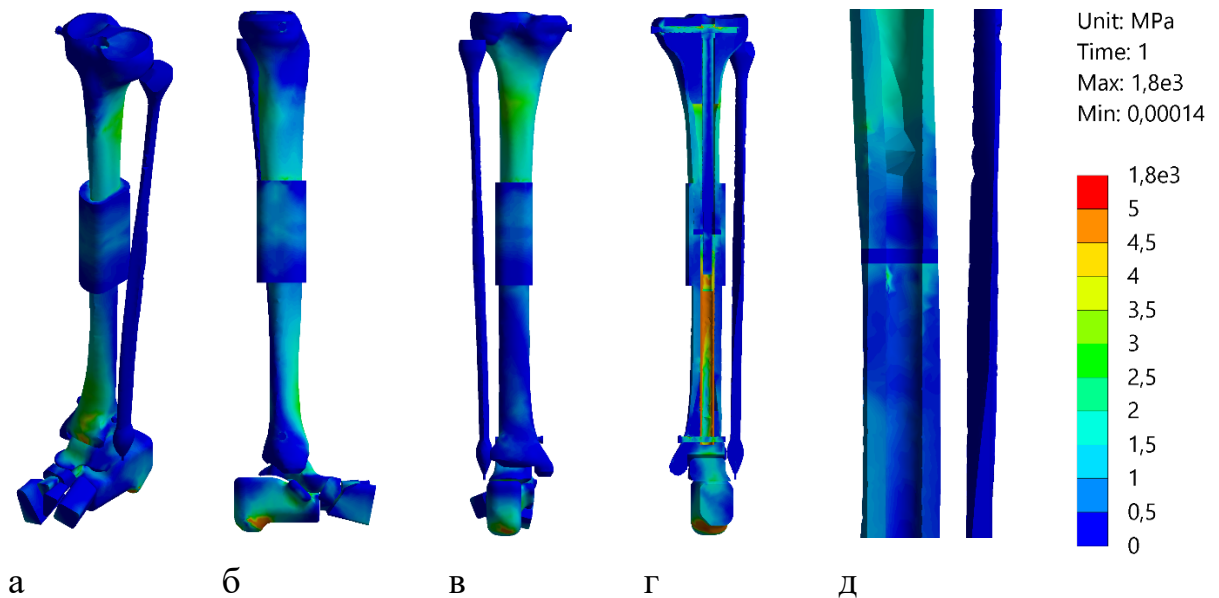


Рисунок 4.5 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку:

а – загальний вигляд; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Використання додаткового блоку з кісткових трансплантатів навколо зони перелому великогомілкової кістки викликає деякі зміни в напружено-деформованому стані моделі з остеосинтезом ротаційно нестабільним стрижнем. В першу чергу слід відмітити розвантаження малогомілкової кістки, де напруження знижуються до позначки 1,0 МПа вище зони перелому, та до 0,1 МПа – нижньому фрагменті. Також звертає увагу зниження рівня напружень в діафізарній частині великогомілкової кістки, де напруження визначаються на рівні 1,1 МПа нижче кісткового блоку та 1,2 МПа вздовж лінії перелому у верхньому фрагменті.

Рисунок 4.6 відображає напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу стрижнем з ротаційною стабільністю та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

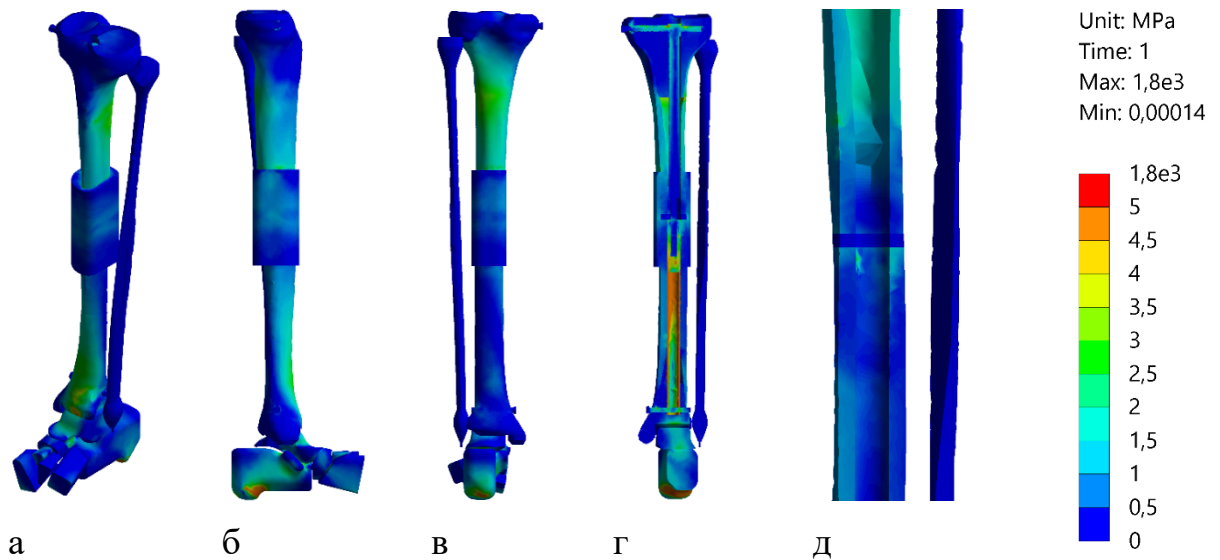


Рисунок 4.6 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як і в попередньому дослідженні, при навантаженнях на стиск, використання ротаційно стабільного стержня не надає будь-яких переваг, щодо розподілу навантажень в моделі, про що свідчать дані, наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Osteosинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	3,4	3,1	3,1
2	4,9	5,0	4,9
3	2,0	2,5	2,5
4	1,6	0,9	1,1
5	1,6	1,1	1,2
6	2,0	2,7	2,4
7	0,1	1,0	1,0
8	0,1	0,1	0,1

Наочне уявлення про рівень напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск в умовах остеосинтезу стержнями та спицею, і блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку, можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.7.

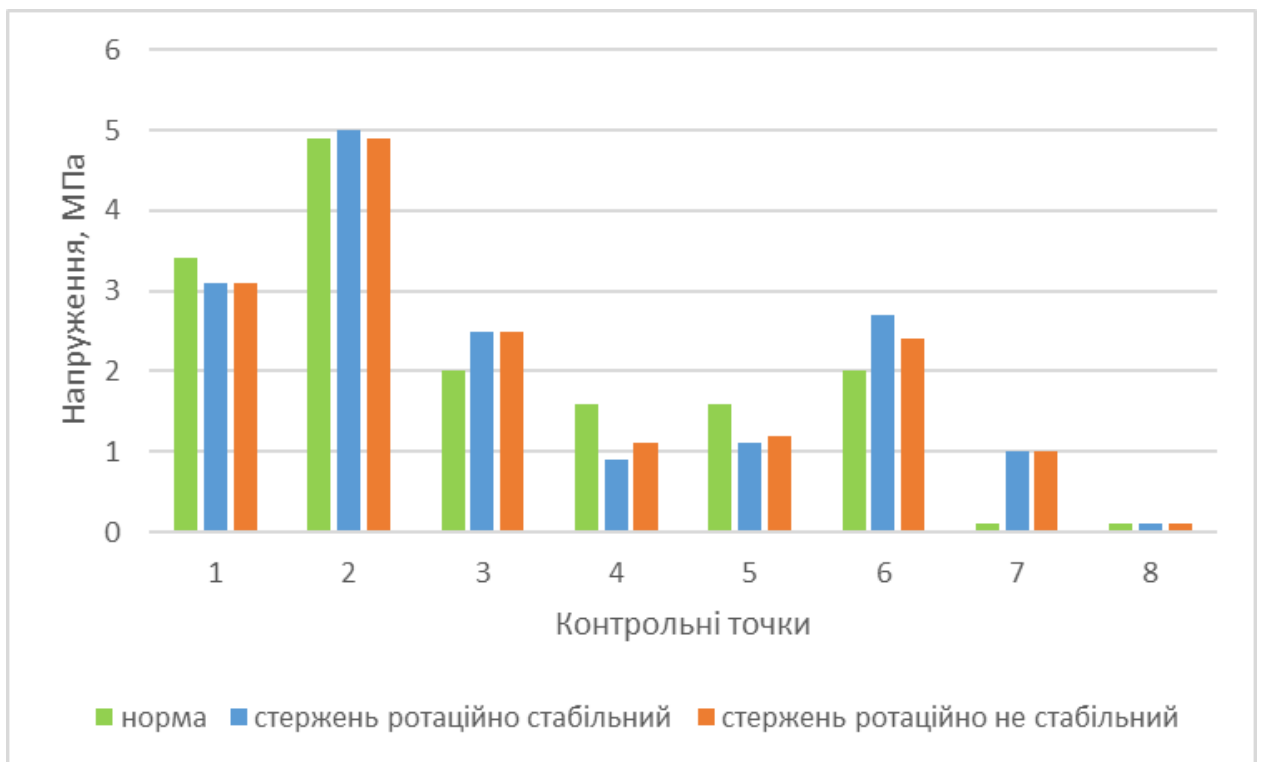


Рисунок 4.7 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпичею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Розглянемо, як впливає на розподіл напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в середній третині використання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки. Картина розподілу напружень в моделі з остеосинтезом стрижнем без ротаційної стабільності під впливом навантаження на стиск наведена на рис. 4.8.

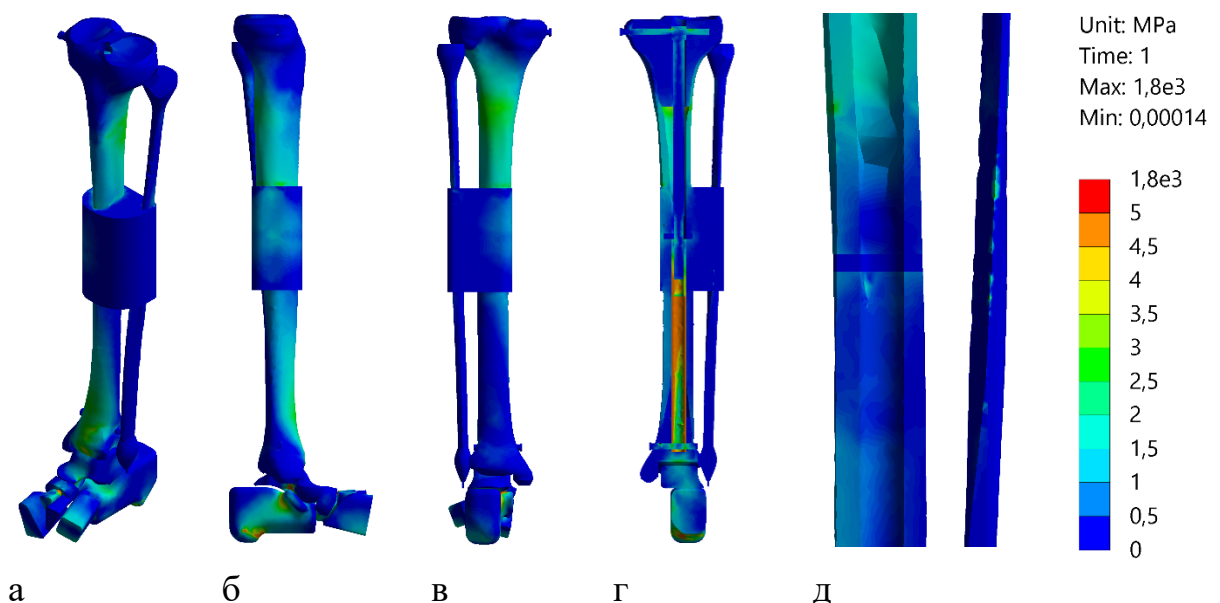


Рисунок 4.8 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як показали результати моделювання, в порівнянні з попередніми дослідженнями, кістковий блок на обидві гомілкові кістки дозволяє знизити рівень напружень в метафізарних зонах великогомілкової кістки до рівня 2,9 МПа в проксимальному відділі та до 3,7 МПа – в дистальному. Величини напружень в діафізарній частині великогомілкової кістки визначаються на тому ж рівні, що і в моделі з блоком тільки на великогомілкової кістці. Слід відмітити, що блок на обидві кістки вмикає до навантаження малоюмілкову кістку напруження в якій визначаються на позначках 2,4 та 1,8 МПа у верхньому та нижньому фрагментах, відповідно.

На рис. 4.9 наведена картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю та блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

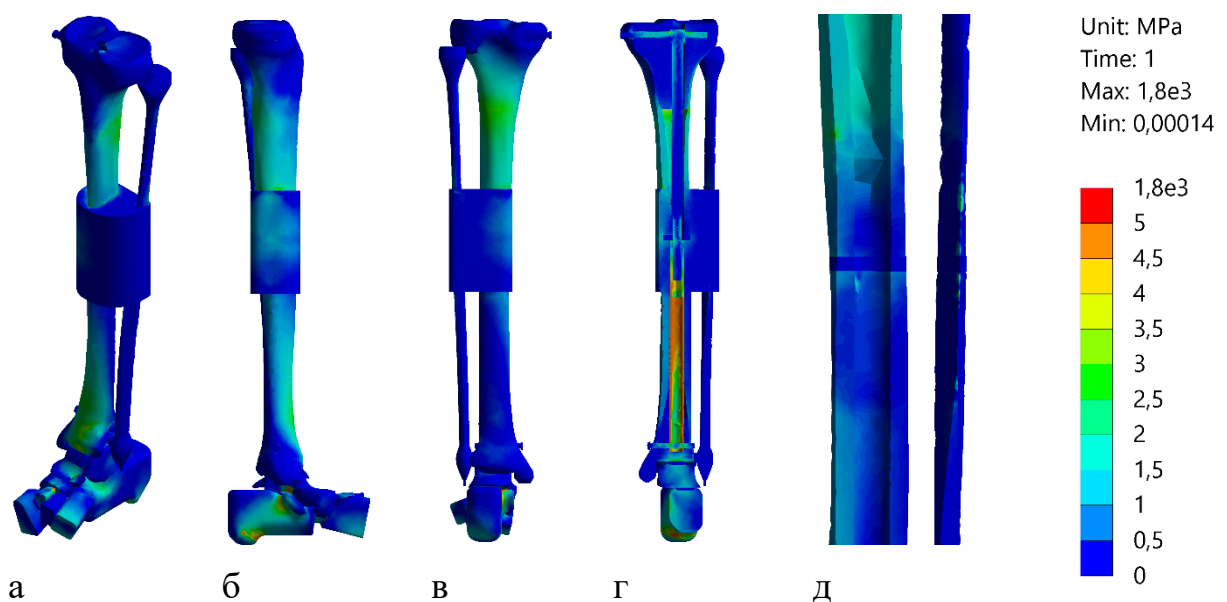


Рисунок 4.9 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск.

Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як і в попередніх дослідженнях, при навантаженнях моделей на стиск, використання ротаційно стабільного стрижня для остеосинтезу великогомілкової кістки не викликає будь-яких значних змін в напружено-деформованому стані моделі в порівнянні з остеосинтезом стрижнем без ротаційної стабільності. Про це свідчать дані про величини механічних напружень в контрольних точках обох моделей, які наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	3,4	2,9	2,9
2	4,9	3,9	3,7
3	2,0	2,9	2,5
4	1,6	1,1	1,1
5	1,6	0,9	1,2
6	2,0	1,1	1,6
7	0,1	2,3	2,4
8	0,1	1,8	1,8

Для наочного уявлення про величини напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею, і блоком з кісткових

трансплантатів на обидві кістки, побудована діаграма.

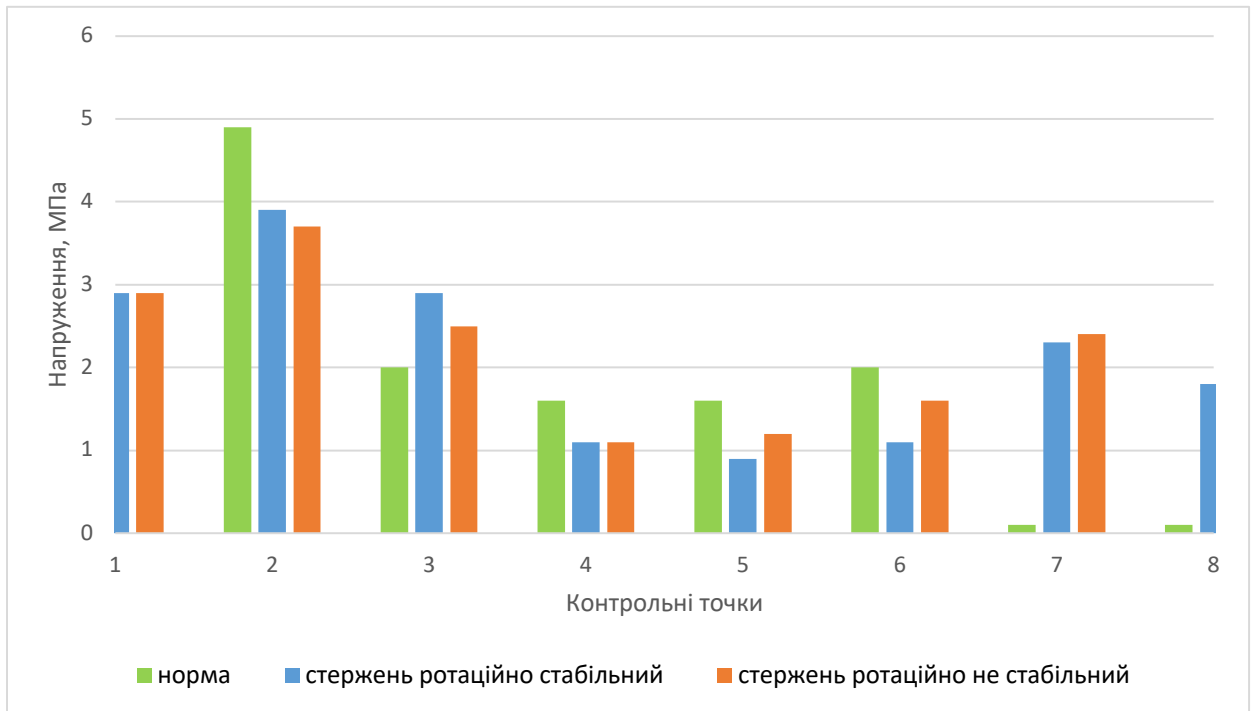


Рисунок 4.10 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпигею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Проведені дослідження показали, що при навантаженнях на стиск використання ротаційно стабільного стрижня не надає будь-яких переваг над ротаційно нестабільним стрижнем. Це пояснюється тим, що платою за можливість "зростання" є те, що до навантажень, які діють вздовж повздовжній осі стрижнів, обидва стрижня є нестабільними, тому все навантаження несуть кісткові структури. Використання блоків з кісткових трансплантатів, як на обидві кістки, так і тільки на великогомілкову, дозволяє знизити рівень напружень в кісткових фрагментах, особливо в зоні перелому.

#### 4.1.2 Дослідження моделей на кручення.

Наступний блок роботи присвячений дослідженню можливості всіх моделей опиратися навантаженням на кручення. Для початку визначимо, як реагує на скручуючи навантаження модель гомілки з неушкодженими кістками. Картину розподілу напружень в моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на кручення можна побачити на рис. 4.11.

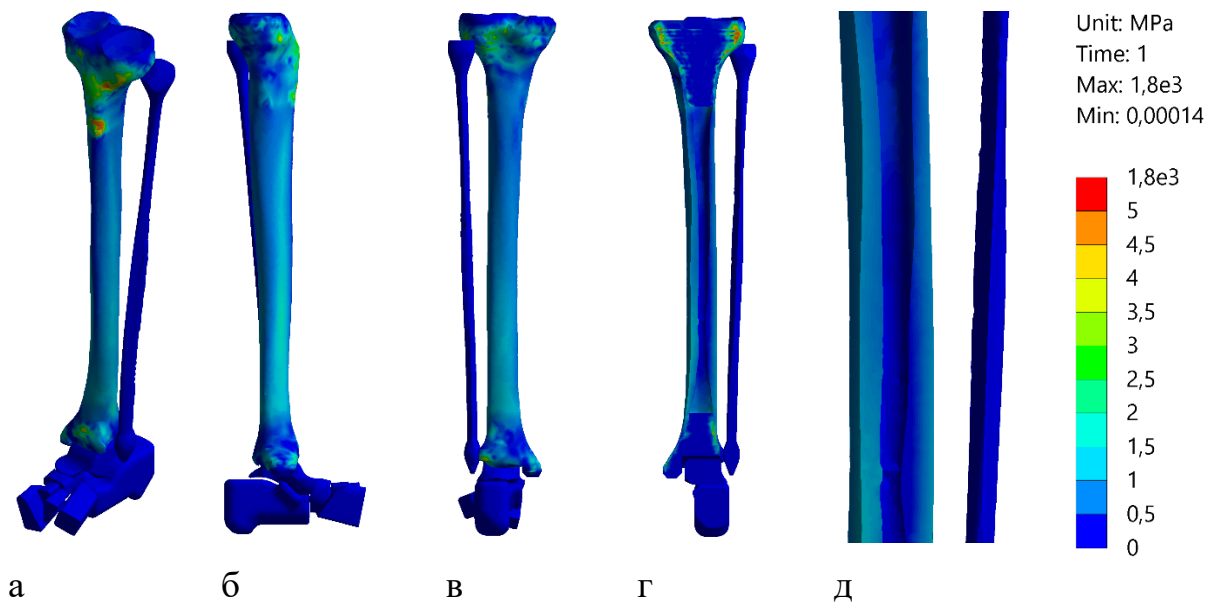


Рисунок 4.11 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на кручення: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Дослідження моделі неушкодженої гомілки під впливом навантаження на кручення показало, що найбільші за величиною напруження виникають в метафізарних зонах великогомілкової кістки, де визначаються на позначках 6,5 та 3,9 МПа на проксимальному та дистальному кінцях, відповідно. В діафізарній частині рівень напружень спостерігається в межах від 1,1 до 1,6 МПа. Напруження в діафізі малогомілкової кістки незначні, й не перевищують значення 0,1 МПа. Дані про величини напружень в контрольних точках моделі неушкодженої гомілки під впливом навантаження на кручення наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Величини напружень в контрольних точках моделі гомілки в нормі під впливом навантаження на кручення.

Контрольні точки	Напруження, МПа
1	6,5
2	3,9
3	1,3
4	1,6
5	1,1
6	1,1
7	0,1
8	0,1

Наступним етапом роботи вивчали напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем без ротаційної стабільності. Картина розподілу механічних напружень в моделі наведена на рис. 4.12.

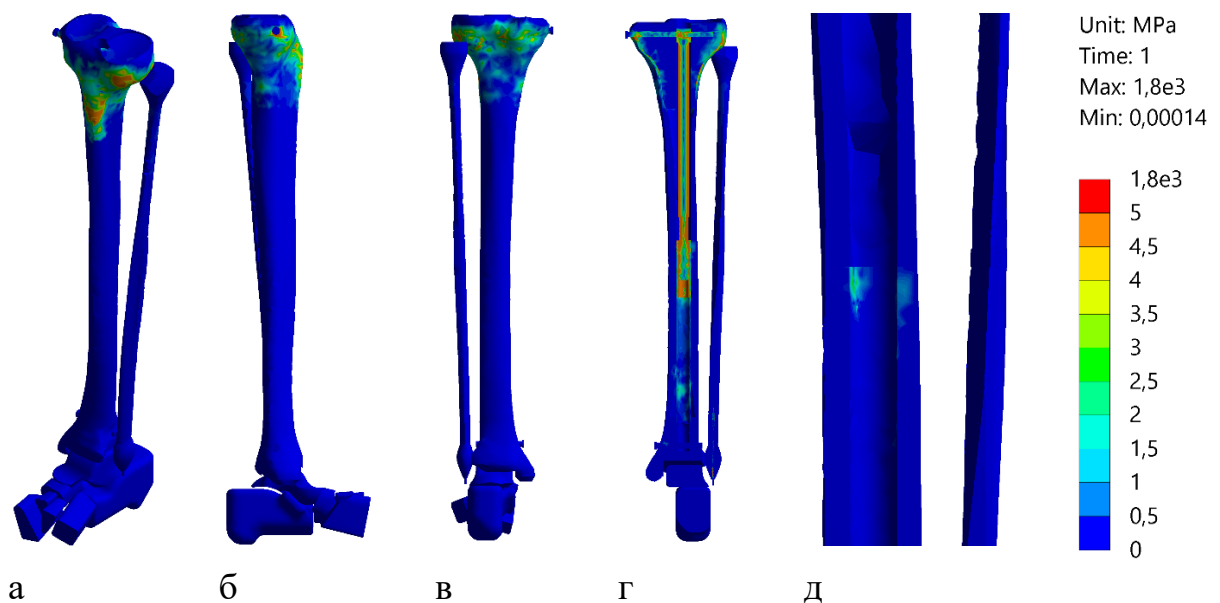


Рисунок 4.12 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності: а – загальний вид; б – вид

з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Остеосинтез великогомілкової кістки стержнем без ротаційної стабільності при навантаженнях на кручення призводить до підвищення рівня напружень в її проксимальному відділі до 9,3 МПа в порівнянні з нормою, водночас дозволяє знизити рівень напружень в її діафізарній частині, де вони визначаються в межах від 0,1 до 0,2 МПа. Особливу увагу слід приділити тому факту, що в здовж лінії перелому в дистальному фрагменті великогомілкової кістки рівень напруження зростає до 3,1 МПа. Остеосинтез малогомілкової кістки шпинею також призводить до підвищення напружень в її діафізі до 1,5 та 2,2 МПа в дистальному та проксимальному фрагментах, відповідно.

Розглянемо картину розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем із ротаційною стабільністю, яка наведена на рис.4.13.

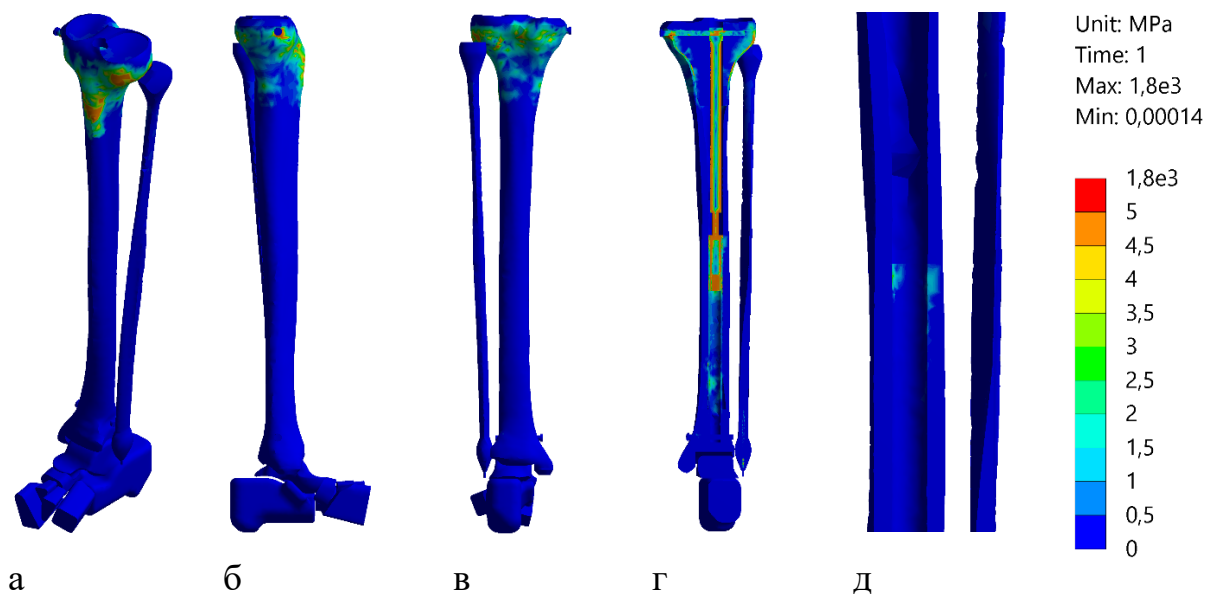


Рисунок 4.13 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем із ротаційною стабільністю: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Результати моделювання показали, що основна перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому до 0,3 МПа. В інших зонах рівень напружень зберігається на тому ж рівні, що й при використанні ротаційно нестабільного стрижня.

Дані про абсолютні величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та шпинею, наведені в табл.4.6.

Таблиця 4.6 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпинею.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	Стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	9,3	9,3
2	3,9	0,4	0,4
3	1,3	0,1	0,1
4	1,6	0,2	0,2
5	1,1	0,2	0,1
6	1,1	0,3	3,1
7	0,1	2,1	2,2
8	0,1	1,7	1,5

Для зручнішого порівняння величин напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та шпинею побудована діаграма, яка наведена на рис. 4.14.

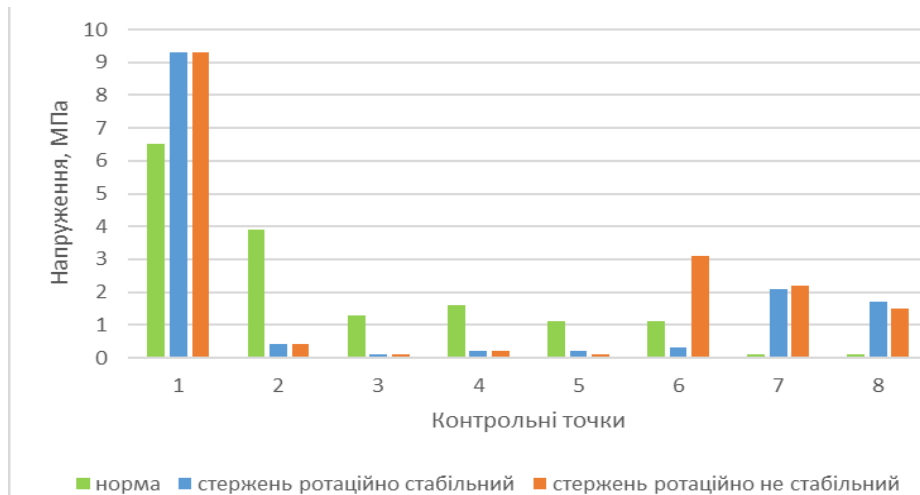


Рисунок 4.14 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпичею.

Наступним етапом роботи вивчали зміни, які відбуваються в напружено-деформованому стані моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем без ротаційної стабільності та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку (рис.4.15).

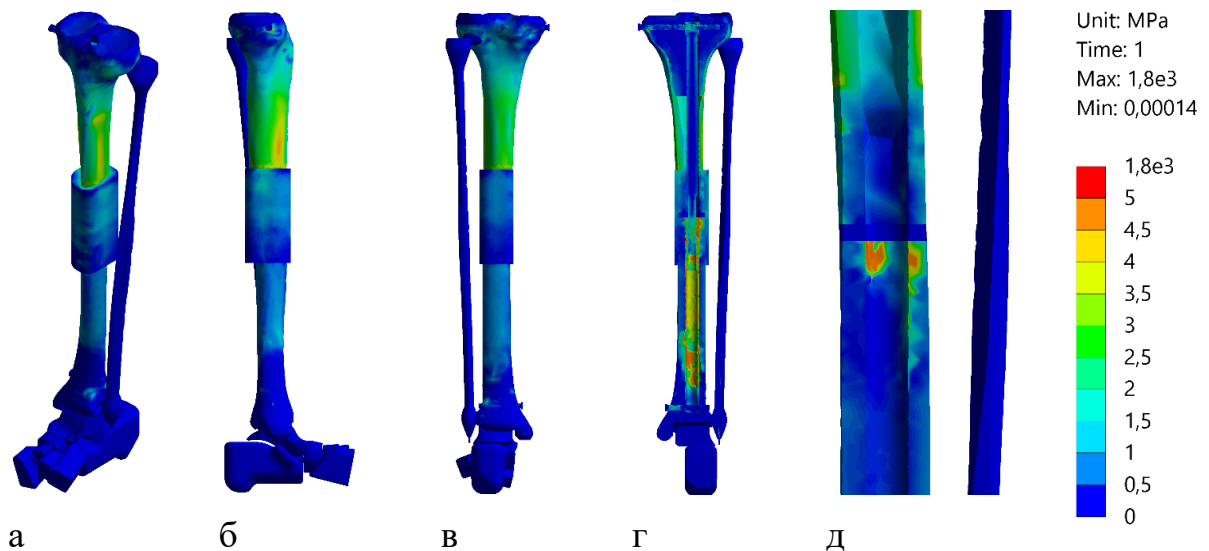


Рисунок 4.15 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з

медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Використання для остеосинтезу великогомілкової кістки ротаційно нестабільного стрижня в поєднанні з додатковою фіксацією за допомогою блоку з кісткових трансплантатів приводить до того, що частину навантаження бере на себе саме кістковий блок. Тому, спостерігаємо зниження величини напружень в проксимальному кінці великогомілкової кістки до 2,7 МПа, за що змушені розраховуватись підвищенням рівня напружень в діафізарній частині до 4,6 МПа і, що більш важливе, вздовж лінії перелому – до 13,1 МПа. Малоомілкова кістка залишається, практично, не навантаженою, про що свідчать величини напружень, які не перевищують значення 0,5 МПа.

Розглянемо вплив навантажень на кручення на модель гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем з ротаційною стабільністю та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку. Картину напружено-деформованого стану моделі можна спостерігати на рис. 4.16.

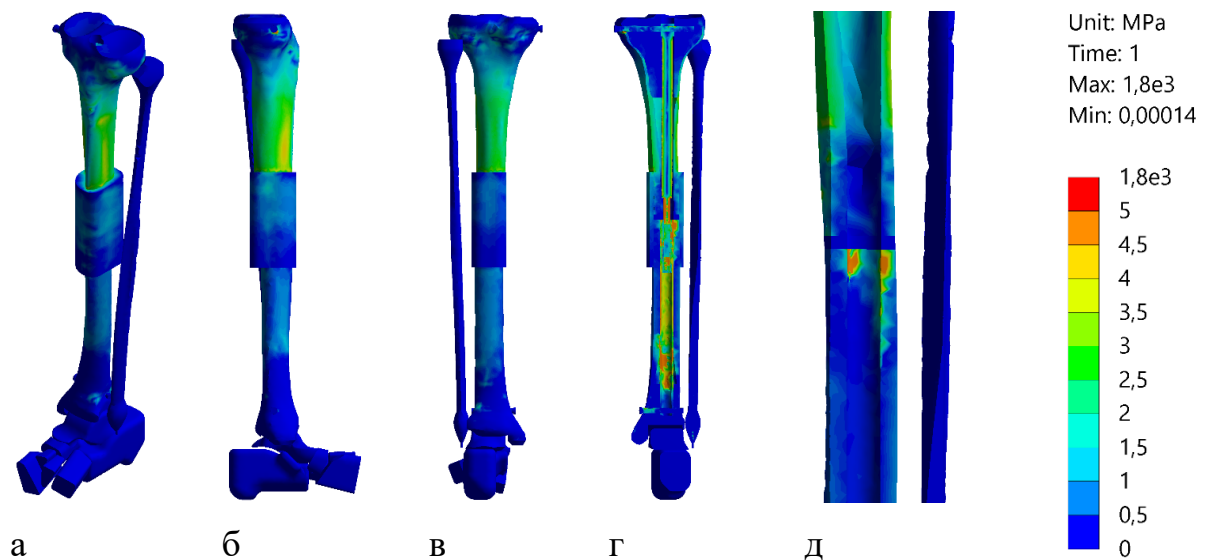


Рисунок 4.16 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Заміна інтрамедулярного стрижня на стрижень з ротаційною стабільністю зберігає загальний характер розподілу напружень в моделі під впливом стискаючого навантаження, як і в попередньому варіанті, але, практично в усіх контрольних точках величини напружень трохи менше.

Розглянути величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та шпицею в поєднанні з блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку можна в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	Норма	стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	1,4	2,7
2	3,9	1,2	1,2
3	1,3	4,4	4,6
4	1,6	1,0	0,9
5	1,1	1,8	2,1
6	1,1	10,7	13,1
7	0,1	0,8	0,5
8	0,1	0,1	0,1

Наочне порівняння величин напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та спицею в поєднанні з блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку можна зробити за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.17.

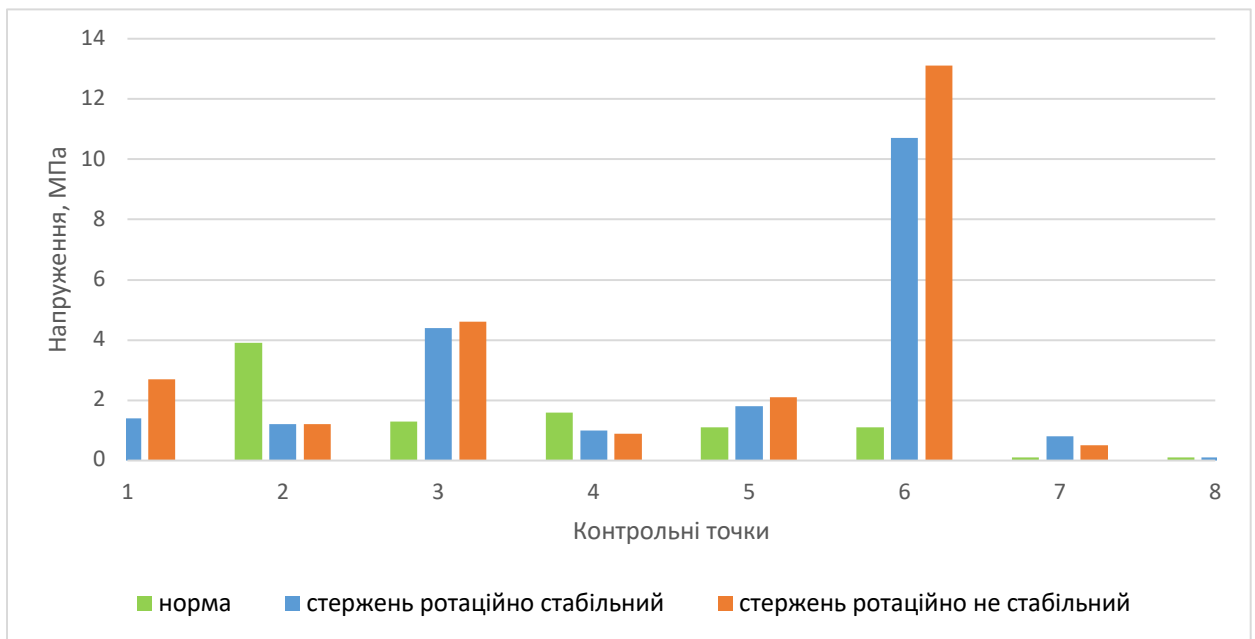


Рисунок 4.17 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Останнім етапом роботи визначали напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та спицею з додатковим блоком з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки. Картину напружено деформованого стану моделі з остеосинтезом великогомілкової кістки стрижнем без ротаційної стабільності наведено на рис.4.18.

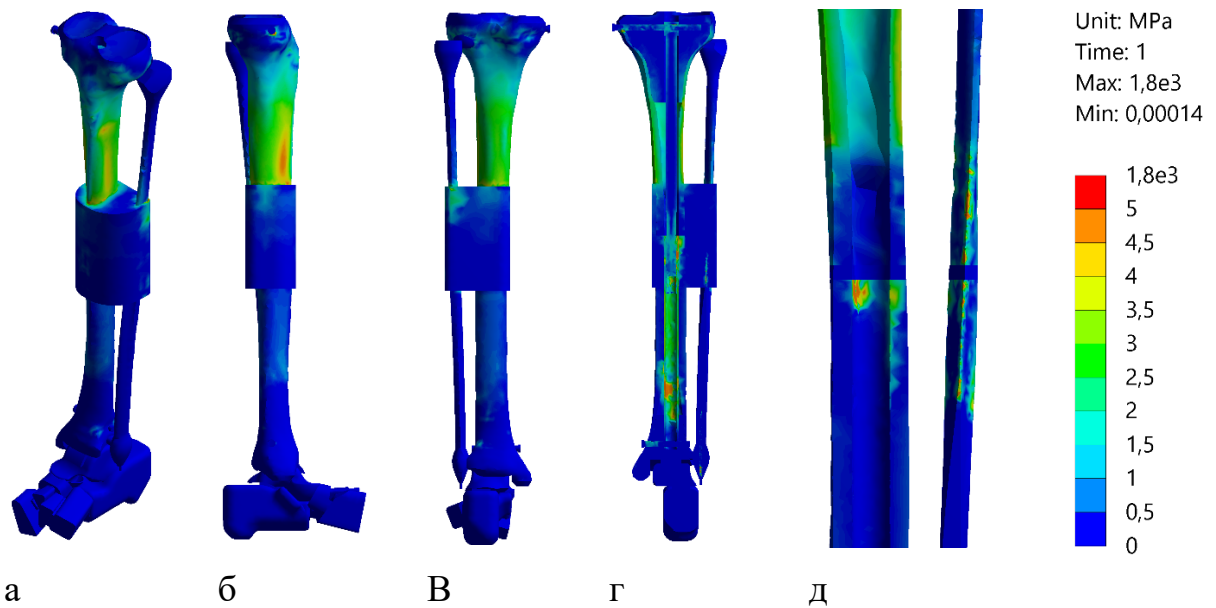


Рисунок 4.18 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Додаткове накладання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки призводить до залучення в скручуючи навантаження малогомілкової кістки, тому зона максимальних напружень зміщується саме до неї. Максимальні за величинами напруження спостерігаються вздовж лінії перелому малогомілкової кістки на рівні 7,6 та 6,7 МПа на проксимальному та медіальному фрагментах, відповідно. Це позитивно відбувається на великомілкової кістці, де максимальні напруження вздовж лінії перелому знижуються до 8,1 МПа, в порівнянні з моделлю, в якій кістковий блок накладається тільки на великомілкову кістку. Також, доцільно відмітити виникнення зони підвищених напружень в діяфізі великомілкової кістки навколо верхньої межі блоку з кісткових трансплантатів.

Перевіримо, які зміни внесе в напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення заміна інтрамедулярного стрижня на стрижень з

ротаційною стабільністю. Картину розподілу напружень в даній моделі наведено на рис. 4.19.

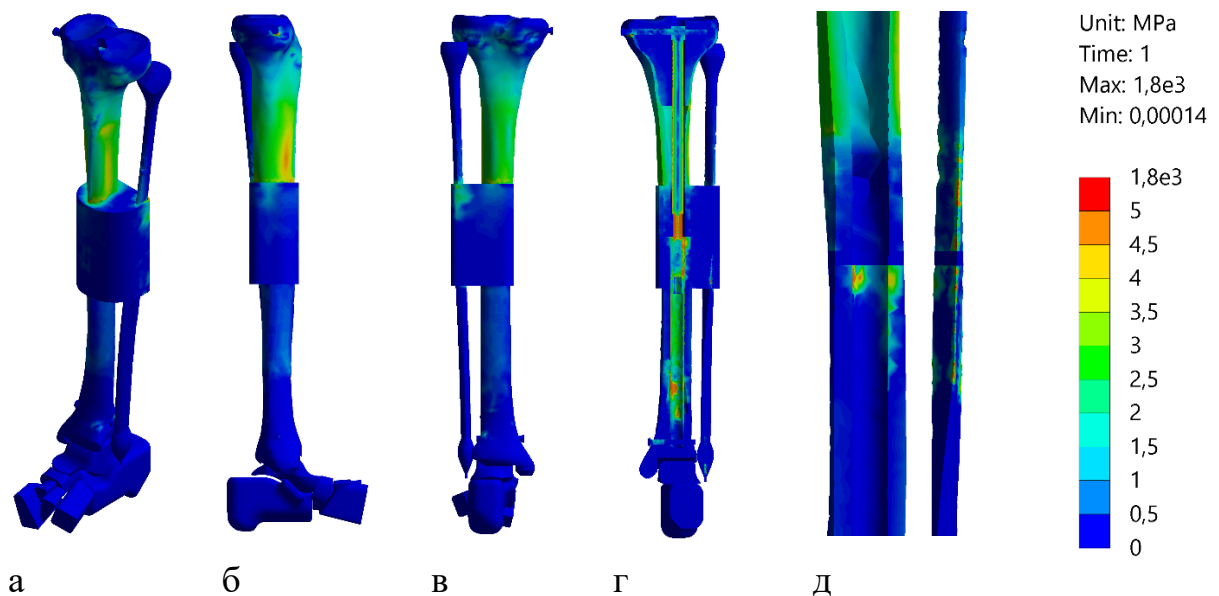


Рисунок 4.19 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Заміна інтрамедулярного стрижня на стрижень з ротаційною стабільністю при навантаженнях на кручення не змінює загального характеру розподілу напружень в моделі, але дозволяє знизити рівень напружень, практично, в усіх контрольних точках. Це відбувається завдяки тому, що за відсутністю ротаційної рухомості стрижень сприймає на себе частину скручуючих навантажень, тим самим знижуючи їх рівень в кістковій тканині.

З абсолютними значеннями величин напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпичею з додатковим блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки можна ознайомитись за допомогою табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	Стержень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	1,4	2,1
2	3,9	0,8	0,9
3	1,3	4,7	4,9
4	1,6	0,8	0,7
5	1,1	1,1	1,0
6	1,1	7,4	8,1
7	0,1	7,6	7,6
8	0,1	5,2	6,7

Наочне порівняння величин напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею з додатковим блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.20.

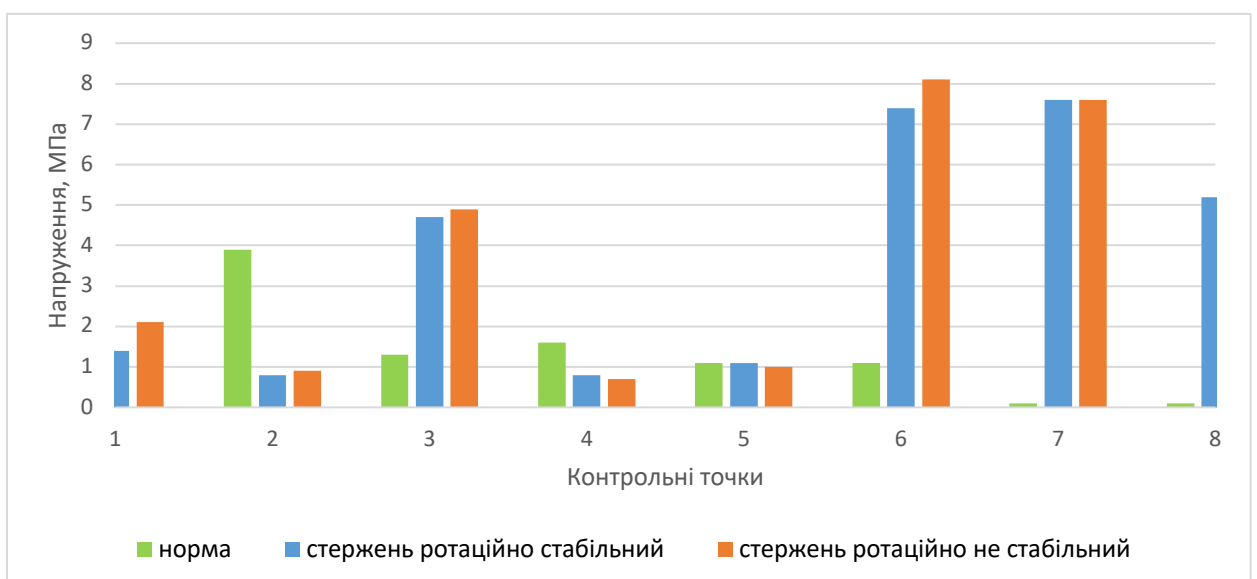


Рисунок 4.20 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

В результаті проведеного дослідження вдалося визначити, що при навантаженнях на стиск стрижень з ротаційною стабільністю веде себе так само, як і стрижень без неї при всіх досліджених способах остеосинтезу, про що свідчать однакові показники величин напружень в усіх контрольних точках моделей. Це пов'язано з тим, що обидва стрижня мають рухомість вздовж подовжньої осі для забезпечення "зростання" конструкції в процесі росту пацієнта. Тобто для стискаючих осьових навантажень обидва стрижня є нестабільними. Використання блоків з кісткових трансплантатів, як на обидві кістки, так і тільки на великогомілкову, під впливом осьових стискаючих навантажень дозволяє знизити рівень напружень в кісткових фрагментах, особливо в зоні перелому.

Основна перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки під впливом навантажень на кручення, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому до 0,3 МПа. В інших зонах рівень напружень зберігається на тому ж рівні, що й при використанні ротаційно нестабільного стрижня. При використанні для остеосинтезу блоків з кісткових трансплантатів стрижень з ротаційною стабільністю дозволяє знизити рівень напружень у всіх контрольних точках моделей в порівнянні з ротаційно нестабільним стрижнем. Блок на обидві кістки гомілки заволокає малогомілкову кістку до навантажень, чим значно підвищує рівень напружень в неї.

## **4.2 Дослідження напружено-деформованого стану моделей гомілки з зоною псевдоартрозу в нижній третині.**

### **4.2.1 Дослідження моделей на стиск.**

На рисунку 4.21 наведена картина напружено-деформованого стану моделі з остеосинтезом великогомілкової кістки інтрамедулярним стрижнем без ротаційної стабільності та малогомілкової кістки спицею.

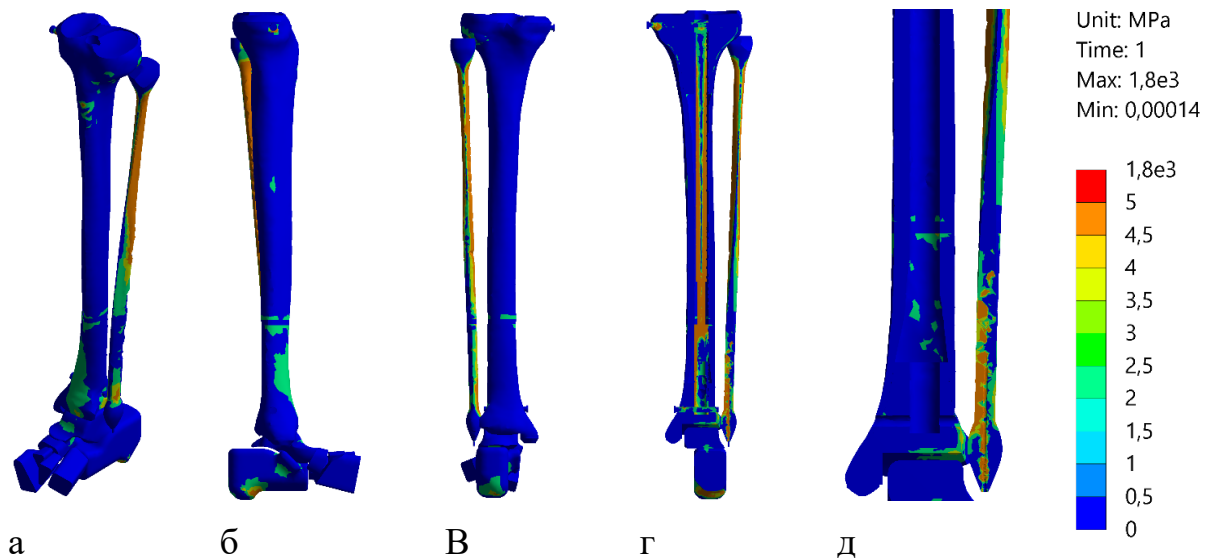


Рисунок 4.21 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Використання для остеосинтезу великогомілкової кістки ротаційно нестабільного стрижня, що "зростає", веде до зниження рівня напружень в її проксимальному метафізі до 1,2 МПа. В дистальному метафізі рівень напружень зберігається без змін на рівні 4,7 МПа в порівнянні з неушкодженою кісткою. Підвищення рівня напружень спостерігається в діяфізі великогомілкової кістки вище зони перелому – до 3,0 МПа, а також безпосередньо вздовж лінії перелому до 3,2 МПа у верхньому уламку та до 3,6 МПа – в нижньому. Найвищий рівень напружень спостерігається навколо зони перелому малогомілкової кістки, де він сягає позначки 13,5 МПа.

Розглянемо, картину розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск при використанні для остеосинтезу стрижня з ротаційною стабільністю (рис. 4.22).

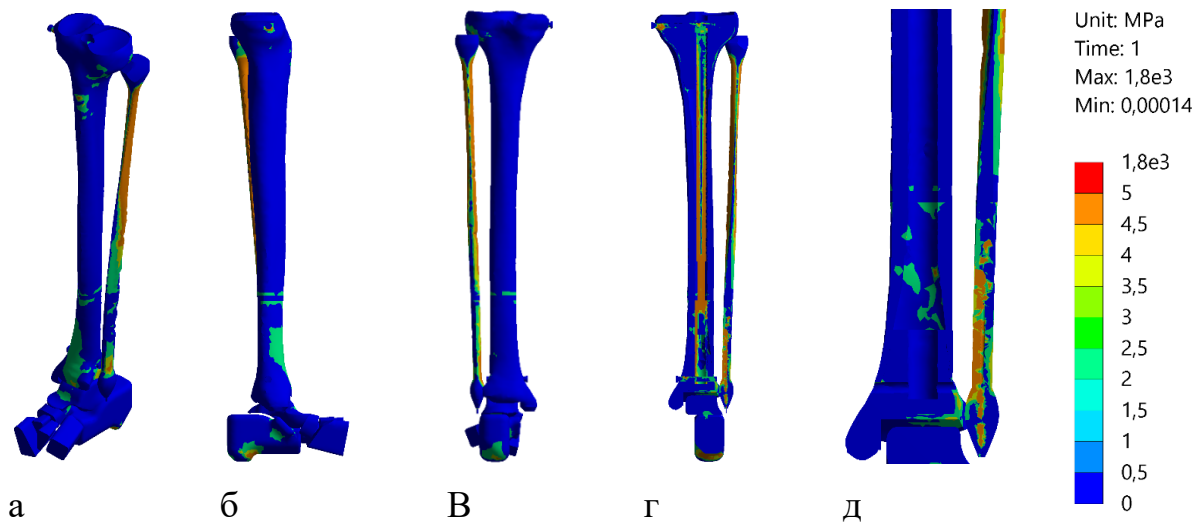


Рисунок 4.22 – Картина розподілу напружень в моделі. Остеосинтез стрижнем із ротаційною стабільністю: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

При навантаженнях на стиск, використання стрижня з ротаційною стабільністю не веде до будь-яких значних змін напружено-деформованого стану моделі в порівнянні з остеосинтезом великогомілкової кістки ротаційно нестабільним стрижнем. Це пов'язане з відсутністю стабільності стрижнів обох типів у поздовжньому напрямку.

Значення величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу тільки стрижнями та шпипцями, наведені в табл.4.9.

Таблиця 4.9 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпипцею.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	Стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	3,4	1,2	1,2
2	4,9	4,8	4,7
3	2,0	3,0	3,0
4	1,6	2,8	2,9

5	1,6	3,2	3,2
6	2,0	3,8	3,6
7	0,1	13,5	13,5
8	0,1	13,0	13,0

Як показали проведені дослідження, наявність ротаційної стабільності інтрамедулярного стрижня ніяким чином не впливає на розподіл напружень в моделях при навантаженні на стискання. Більш наочно порівняти величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу тільки стрижнями та шплицями, можна за допомогою діаграми, яка наведена на рис.4.23.

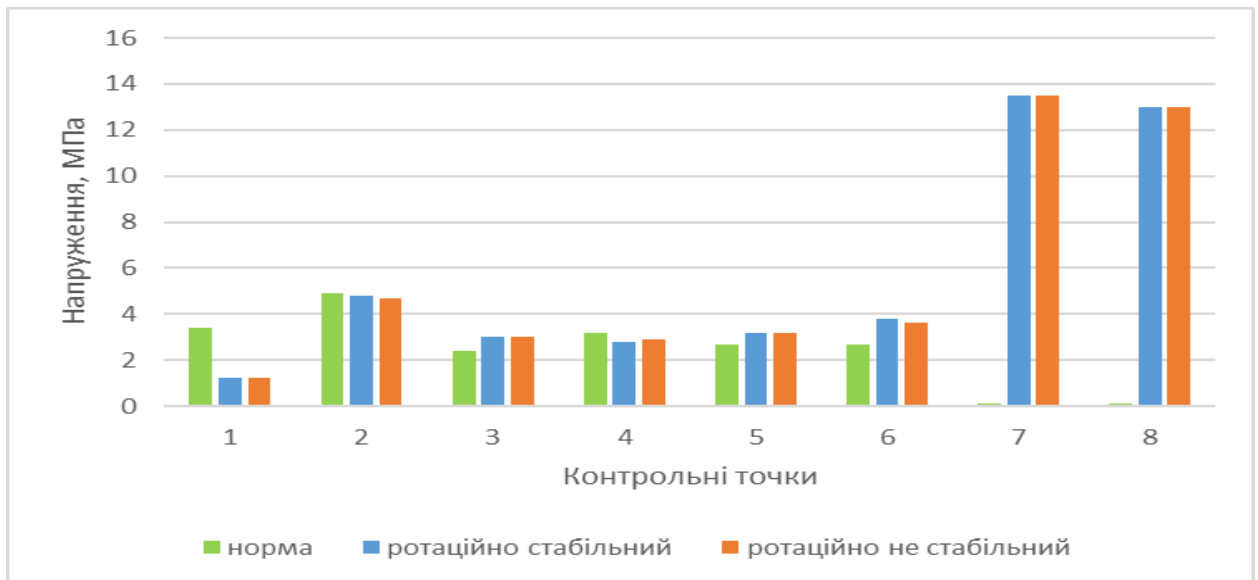


Рисунок 4.23 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шплицею.

Наступним етапом роботи був змодельований варіант остеосинтезу великогомілкової кістки інтрамедулярними стрижнями з додатковим блоком з кісткових трансплантатів. На рис. 4.24 відображено напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу великогомілкової кістки стрижнем без ротаційної стабільності та блоком з кісткових трансплантатів.

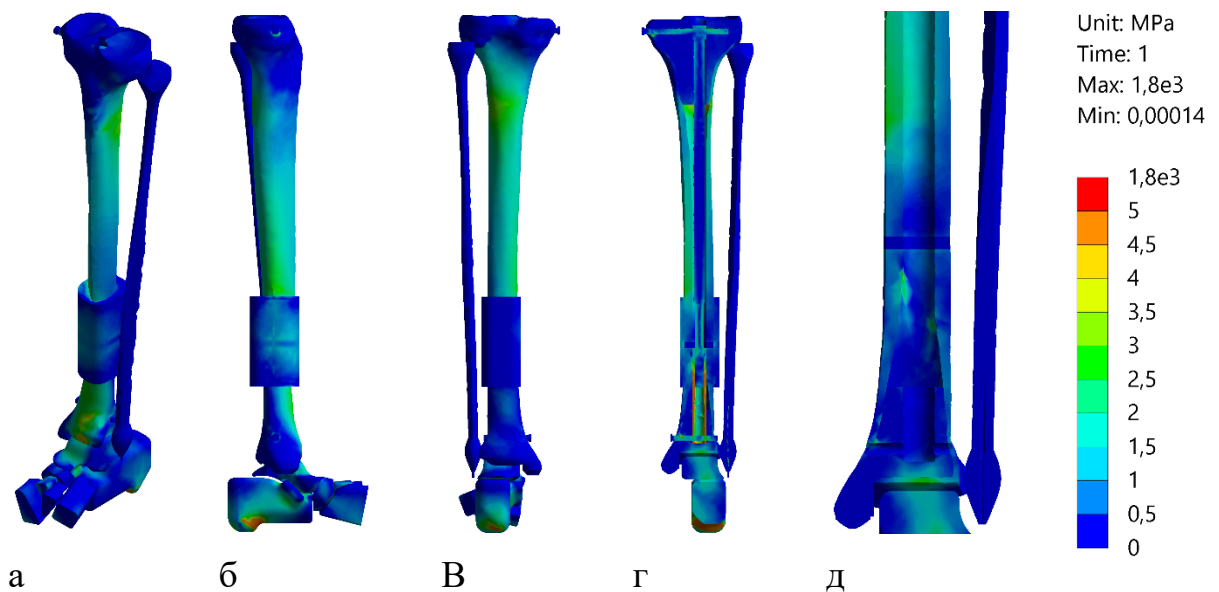


Рисунок 4.24 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

При використанні додаткового блоку з кісткових трансплантатів навколо зони перелому великогомілкової кістки зона максимальних напружень 5,0 МПа зберігається на її дистальному кінці, а також нижче лінії перелому – 3,5 МПа. Слід відмітити розвантаження малогомілкової кістки, де напруження знижуються до позначки 0,1 МПа вище зони перелому, та до 0,4 МПа – нижньому фрагменті.

Рисунок 4.25 відображає напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу стрижнем з ротаційною стабільністю та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

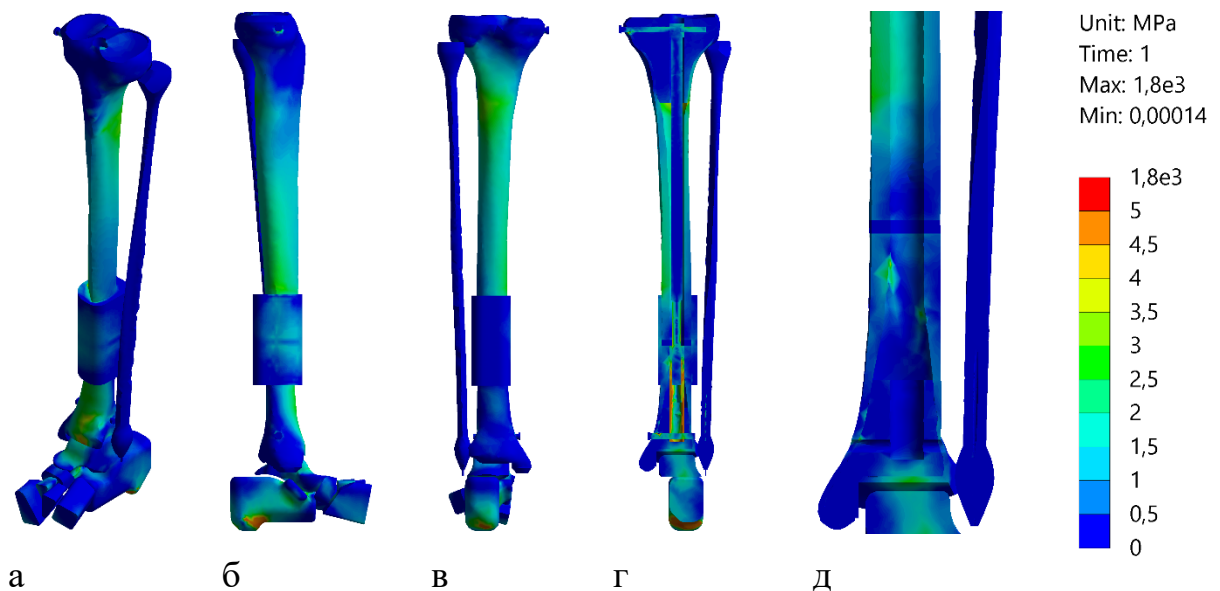


Рисунок 4.25 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як і в попередньому дослідженні, при навантаженнях на стиск, використання ротаційно стабільного стрижня не надає будь-яких переваг, щодо розподілу навантажень в моделі, про що свідчать дані, наведені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез

стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	3,4	3,0	3,0
2	4,9	5,0	5,0
3	2,0	3,0	2,9
4	1,6	2,8	3,0
5	1,6	0,9	0,9
6	2,0	3,5	3,0
7	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,4	0,1

Наочне уявлення про рівень напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею, і блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку, можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.26.

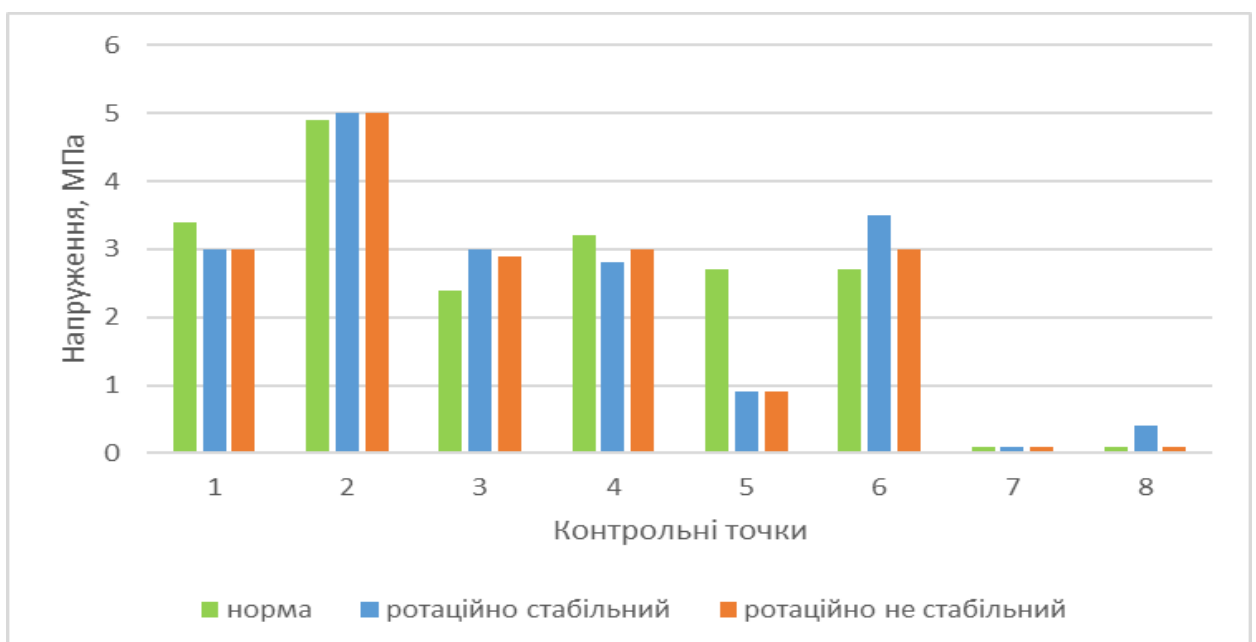


Рисунок 4.26 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Розглянемо, як впливає на розподіл напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в нижній третині використання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки. Картина розподілу напружень в моделі з остеосинтезом стрижнем без ротаційної стабільності під впливом навантаження на стиск наведена на рис. 4.27.

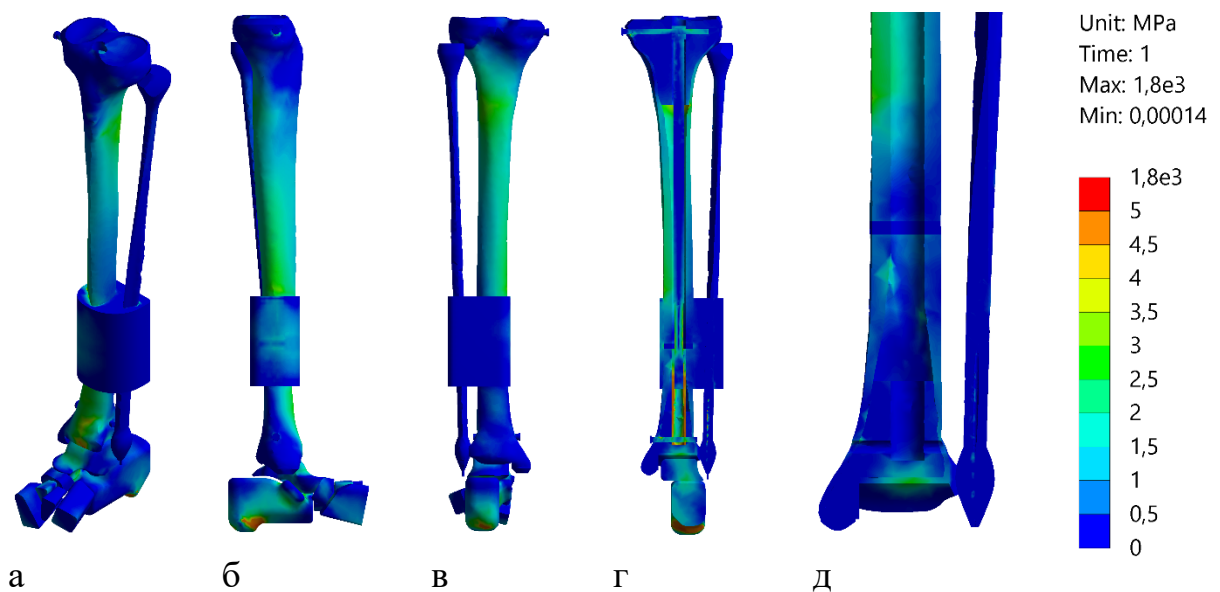


Рисунок 4.27 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як показали результати моделювання, кістковий блок на обидві гомілкові кістки дозволяє знизити рівень напружень в зоні перелому великогомілкової кістки до рівня 21 МПа. Величини напружень в інших контрольних точках моделі визначаються на тому ж рівні, що і в моделі з блоком тільки на великогомілкової кістці.

На рис. 4.28 наведена картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск,

в умовах остеосинтезу стрижнем з ротаційною стабільністю та блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

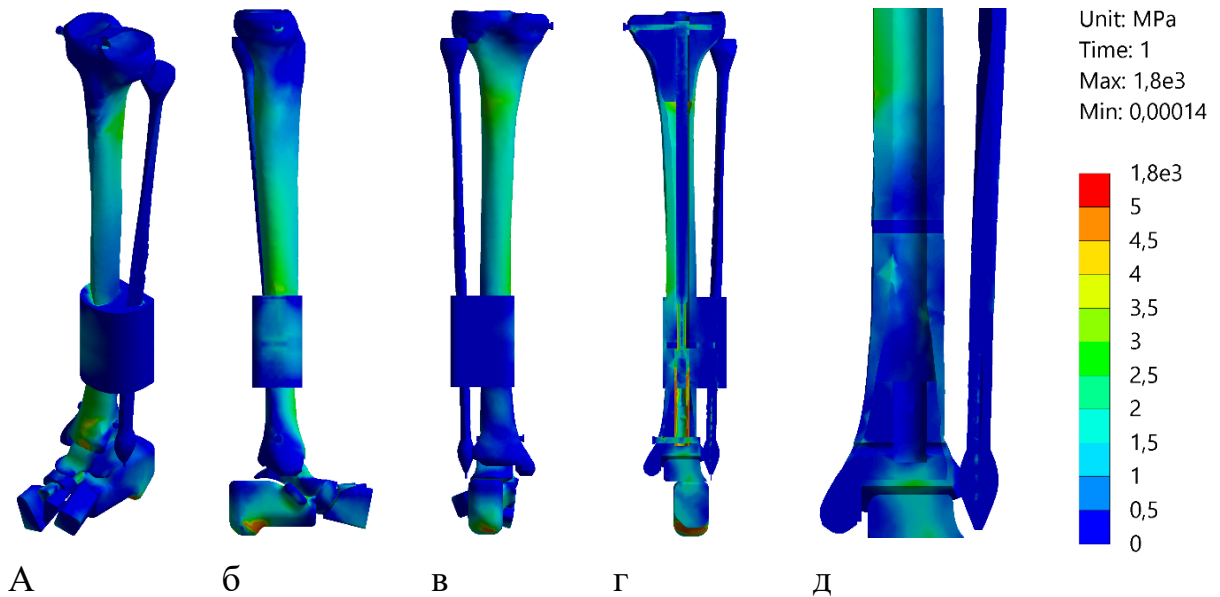


Рисунок 4.28 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Як і в попередніх дослідженнях, при навантаженнях моделей на стиск, використання ротаційно стабільного стрижня для остеосинтезу великогомілкової кістки не викликає будь-яких значних змін в напружено-деформованому стані моделі в порівнянні з остеосинтезом стрижнем без ротаційної стабільності. Про це свідчать дані про величини напружень в моделях, які наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний

1	3,4	3,0	2,8
2	4,9	5,0	4,4
3	2,0	3,0	2,9
4	1,6	2,9	2,9
5	1,6	0,9	0,9
6	2,0	2,3	2,1
7	0,1	0,2	0,2
8	0,1	0,2	0,2

Для наочного уявлення про величини напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею, і блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки, побудована діаграма, яка наведена на рис. 4.29.

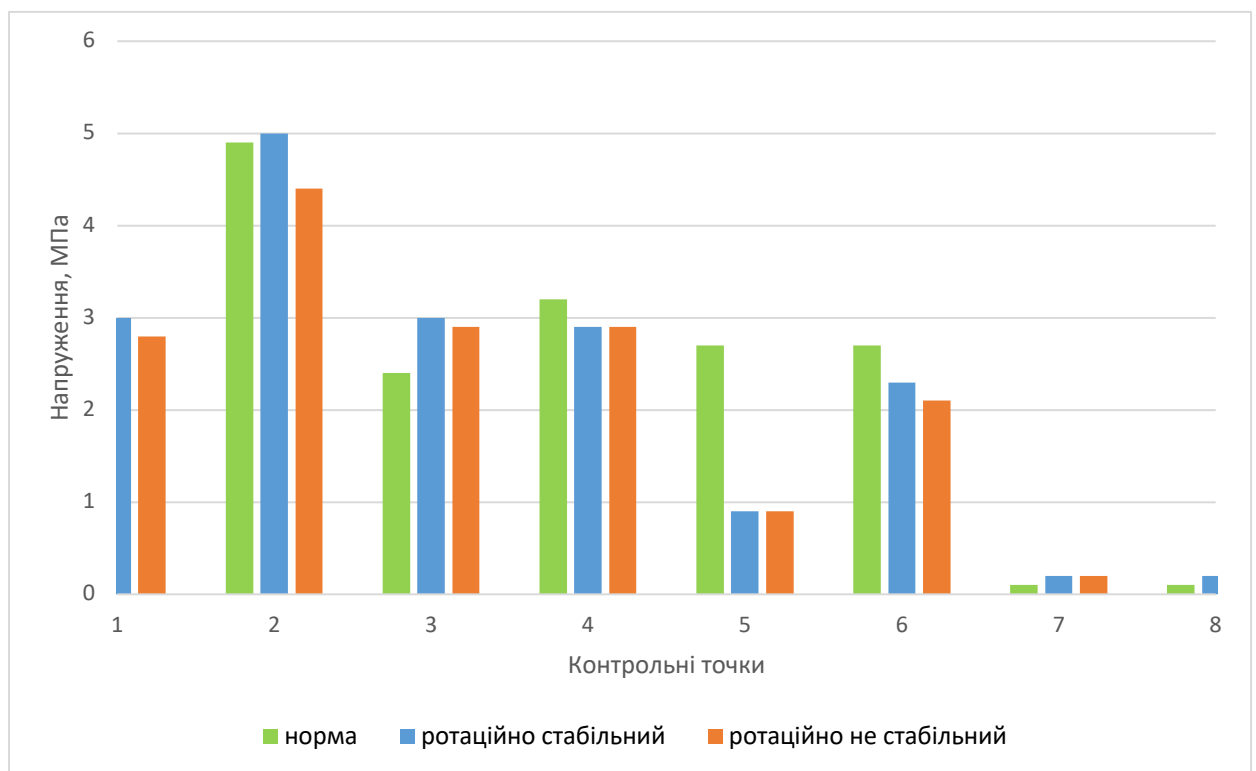


Рисунок 4.29 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на стиск. Остеосинтез стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Проведені дослідження показали, що при навантаженнях на стиск використання ротаційно стабільного стрижня не надає будь-яких переваг над

ротаційно нестабільним стрижнем. Це пояснюється тим, що до навантажень, які діють вздовж повздовжній осі стрижнів, обидва стрижня є нестабільними, тому все навантаження несуть кісткові структури. Використання блоків з кісткових трансплантатів, як на обидві кістки, так і тільки на великогомілкову, дозволяє знизити рівень напружень в кісткових фрагментах, особливо в зоні перелому.

#### 4.2.2 Дослідження моделей на кручення.

Наступним етапом роботи вивчали напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем без ротаційної стабільності. Картина розподілу напружень в моделі наведена на рис. 4.30.

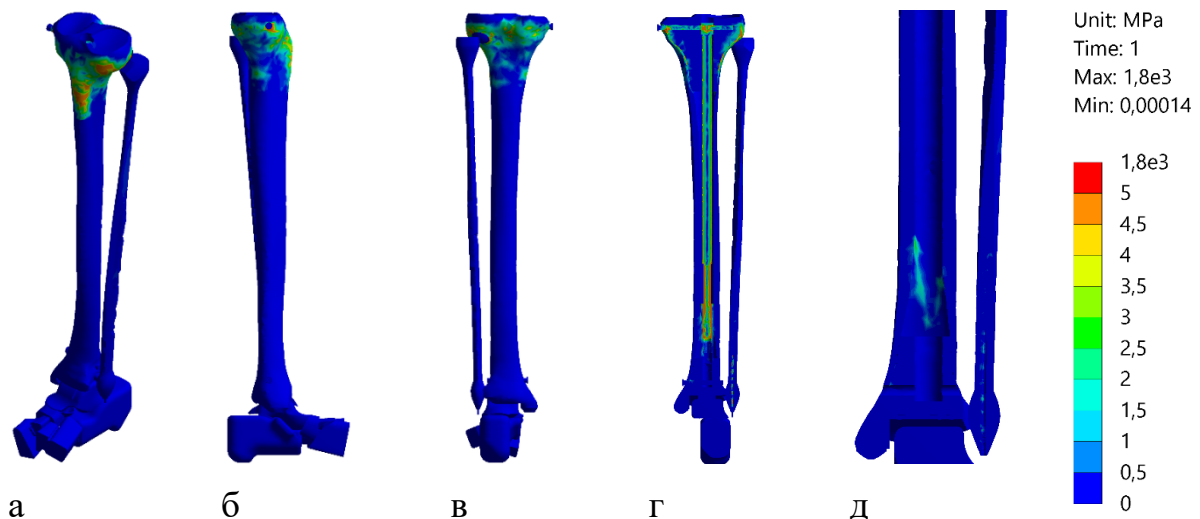


Рисунок 4.30 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Остеосинтез великогомілкової кістки стрижнем без ротаційної стабільності при навантаженнях на кручення призводить до підвищення рівня напружень в її проксимальному відділі до 7,8 МПа в порівнянні з нормою, водночас дозволяє знизити рівень напружень в її діафізарній частині до 0,4 МПа. Особливу відмітити, що в здовж лінії перелому в дистальному фрагменті великогомілкової кістки рівень напруження зростає до 2,5 МПа.

Остеосинтез малогомілкової кістки шпичею також призводить до підвищення напружень в її діяфізі до 1,7 та 2,2 МПа в дистальному та проксимальному фрагментах, відповідно.

Розглянемо картину розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем із ротаційною стабільністю, яка наведена на рис. 4.31.

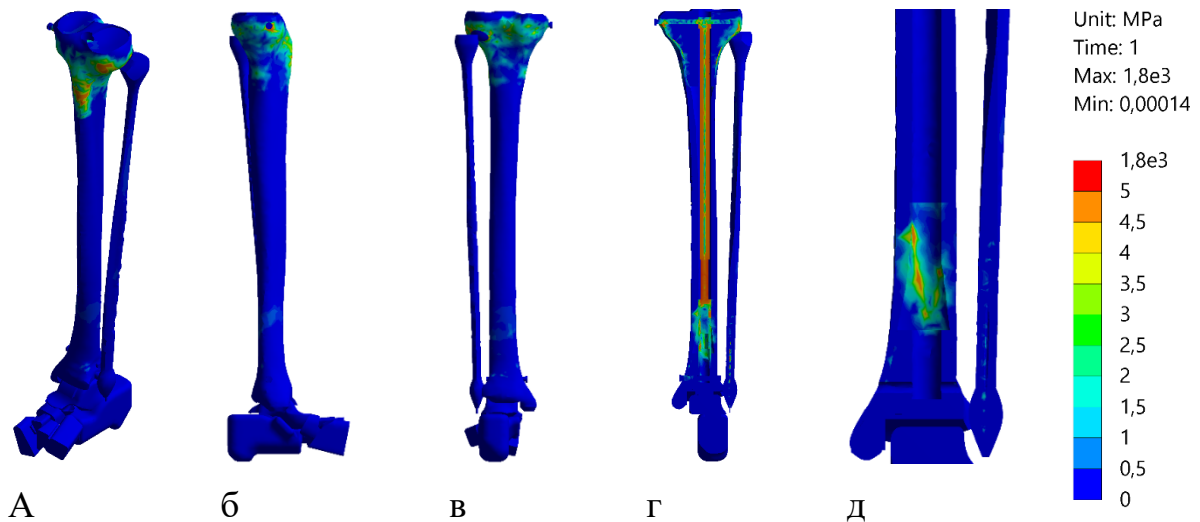


Рисунок 4.31 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем із ротаційною стабільністю: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Результати моделювання показали, що основна перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому до 0,6 МПа. В інших зонах рівень напружень зберігається на тому ж рівні, що й при використанні ротаційно нестабільного стрижня.

Дані про величини напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та шпичею, наведені в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпигцею.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	7,8	7,8
2	3,9	1,0	1,0
3	1,3	0,3	0,3
4	1,6	0,4	0,4
5	1,1	0,5	0,5
6	1,1	0,6	2,5
7	0,1	2,2	2,2
8	0,1	1,8	1,7

Для зручнішого порівняння величин напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтез стрижнем та шпигцею побудована діаграма, яка наведена на рис. 4.32.

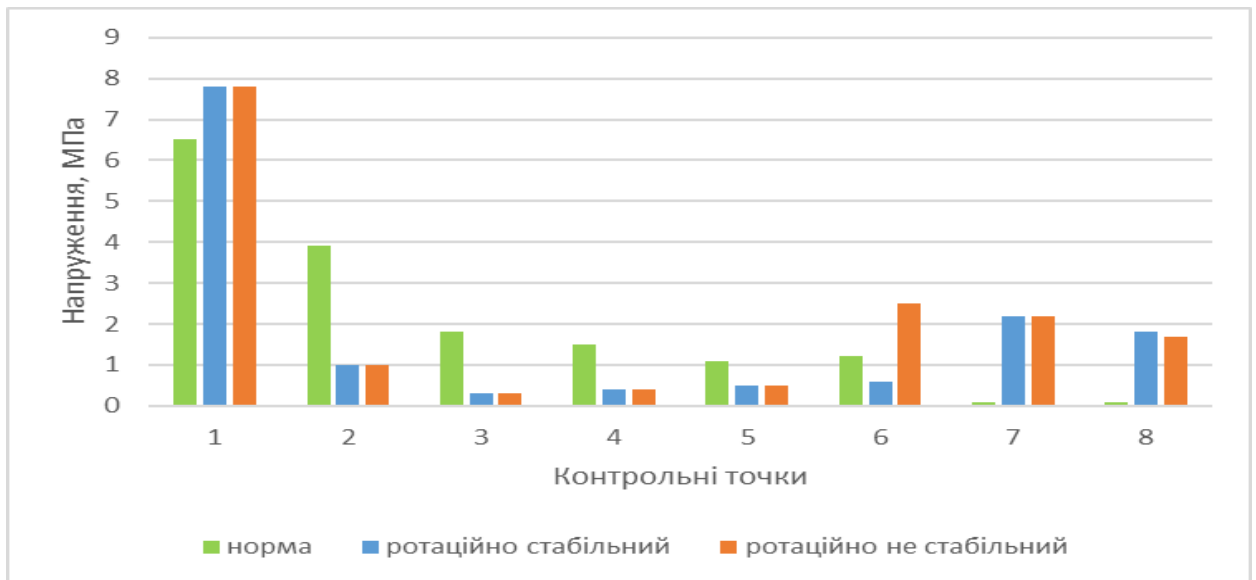


Рисунок 4.32 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпичею.

Наступним етапом роботи вивчали зміни, які відбуваються в напружено-деформованому стані моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем без ротаційної стабільності та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку. Картина розподілу напружень в моделі наведена на рис. 4.33.

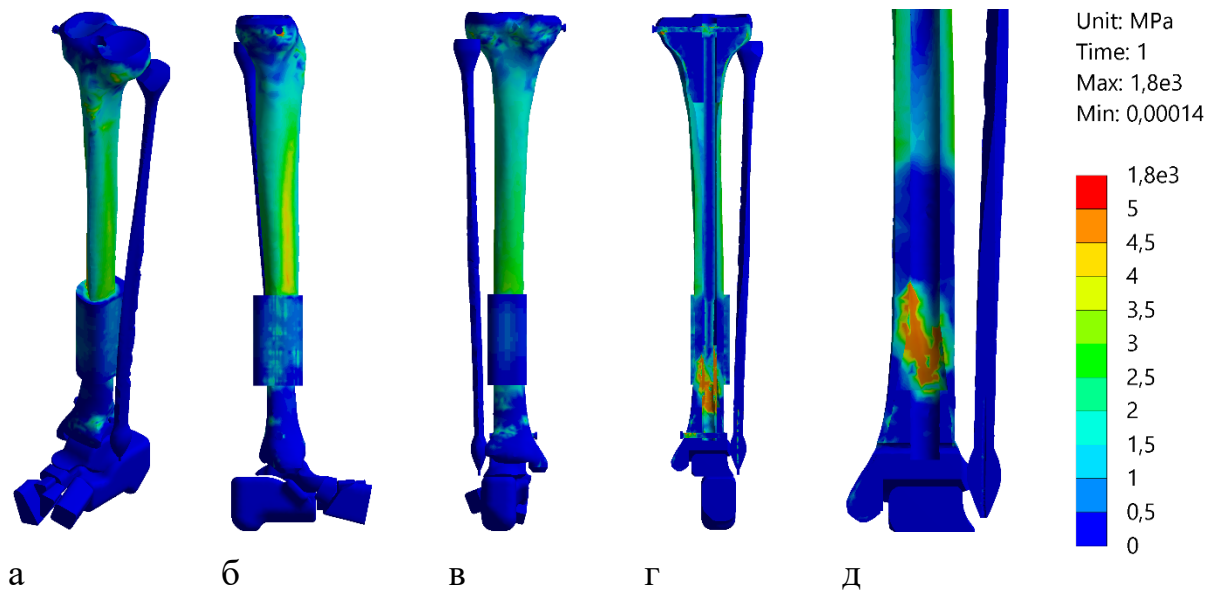


Рисунок 4.33 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Використання для остеосинтезу великогомілкової кістки ротаційно нестабільного стрижня в поєднанні з додатковою фіксацією за допомогою блоку з кісткових трансплантатів приводить до зниження величини напружень на її проксимальному кінці до 3,5 МПа, та підвищенням рівня напружень в діафізарній частині до 4,6 МПа і, що більш важливе, вздовж лінії перелому – до 16,0 МПа. Малоомілкова кістка залишається, практично, не навантаженою, про що свідчать величини напружень, які не перевищують значення 0,3 МПа.

Розглянемо вплив навантажень на кручення на модель гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем з ротаційною стабільністю та блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку. Картину напружено-деформованого стану моделі можна спостерігати на рис. 4.34.

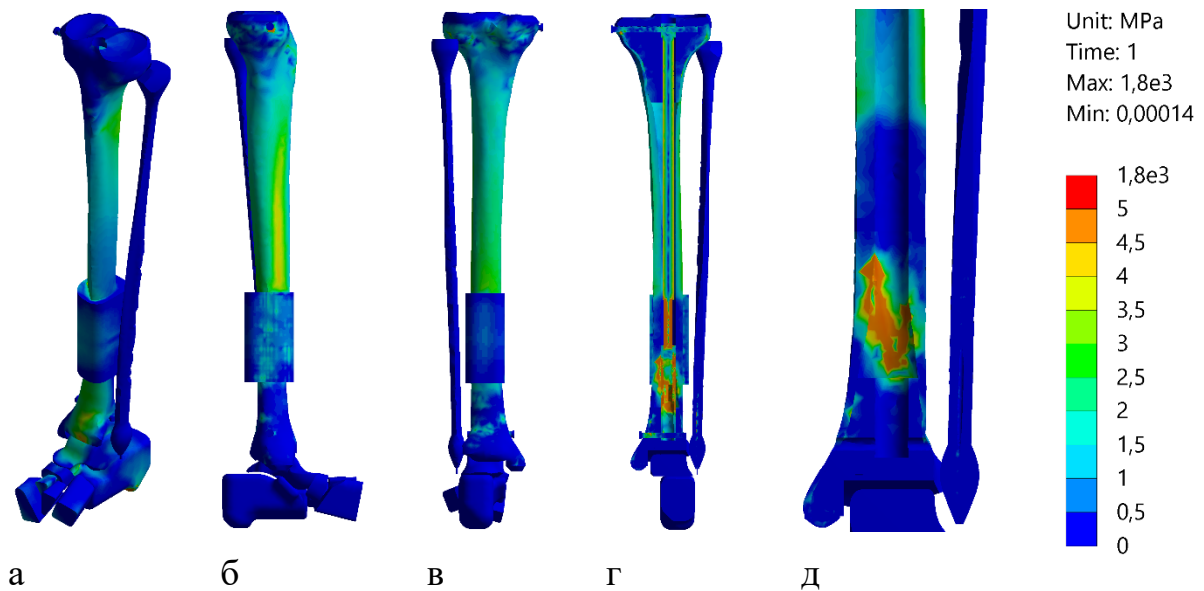


Рисунок 4.34 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Заміна інтрамедулярного стрижня на стрижень з ротаційною стабільністю зберігає загальний характер розподілу напружень в моделі під впливом стискаючого навантаження, як і в попередньому варіанті, але, практично во всіх контрольних точках величини напружень трохи менше.

Розглянути величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та шпичею в поєднанні з блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку можна в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	3,6	3,5
2	3,9	2,5	2,5
3	1,3	4,4	4,6
4	1,6	1,1	1,1
5	1,1	0,9	0,8
6	1,1	16,0	17,1
7	0,1	0,1	0,3
8	0,1	0,1	0,2

Наочне порівняння величин напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в середній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнем та спицею в поєднанні з блоком з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку можна зробити за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.35.

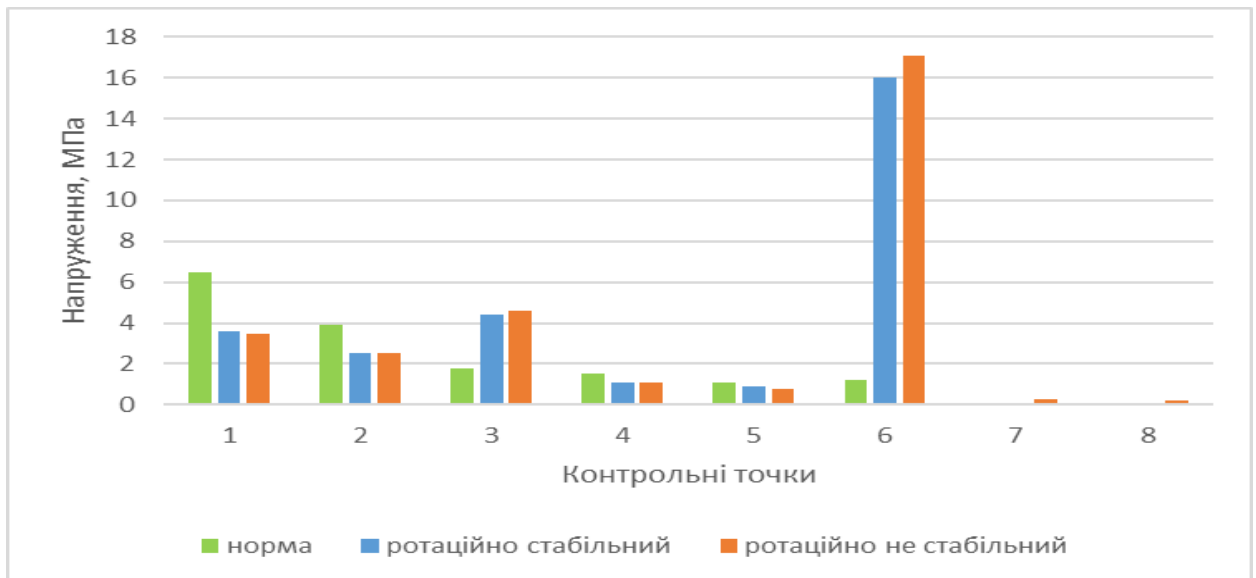


Рисунок 4.35 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпичею, блок з кісткових трансплантатів на великогомілкову кістку.

Останнім етапом роботи визначали напружень в моделях гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпичею з додатковим блоком з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки. Картину напружено деформованого стану моделі з остеосинтезом великогомілкової кістки стрижнем без ротаційної стабільності наведено на рис.4.36.

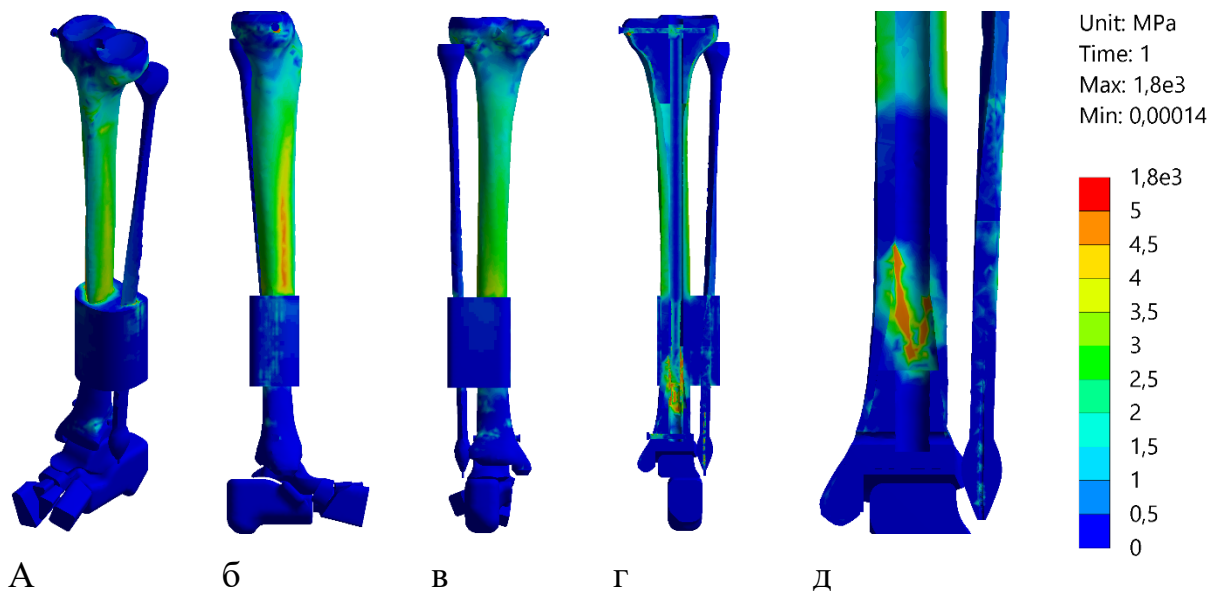


Рисунок 4.36 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем без ротаційної стабільності, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Додаткове накладання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки не призводить до значного зниження напружень вздовж лінії перелому великогомілкової кістки, де вони зберігаються на рівні 11,1 МПа нижче лінії перелому. В той же час напруження вище лінії перелому значно знижуються до 0,2 МПа. Така ситуація виникає за рахунок близькості дистального фіксуючого гвинта до зони перелому великогомілкової кістки. Також спостерігається високий рівень напружень у малогомілкової кістці, де їх максимум визначається на позначці 3,3 МПа.

Перевіримо, які зміни відбуваються в напружено-деформований стан моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення при заміні інтрамедулярного стрижня на стрижень з ротаційною стабільністю. Картину розподілу напружень в даній моделі наведено на рис. 4.37.

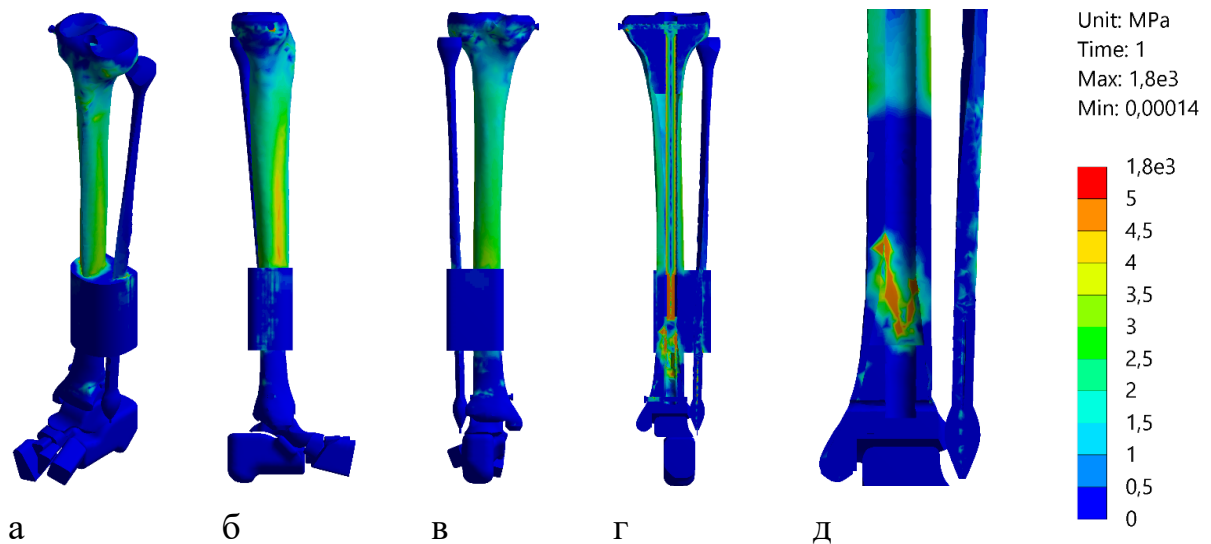


Рисунок 4.37 – Картина розподілу напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем з ротаційною стабільністю, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки: а – загальний вид; б – вид з медіального боку; в – вид ззаду; г – розтин великогомілкової кістки; д – зона перелому.

Заміна інтрамедулярного стрижня на стрижень з ротаційною стабільністю при навантаженнях на кручення не змінює загального характеру розподілу напружень в моделі, але дозволяє знизити рівень напружень, практично, во всіх контрольних точка. Це відбувається завдяки тому, що за відсутністю ротаційної рухомості стрижень сприймає на себе частину навантажень, тим самим знижуючи їх рівень в кісткової тканині.

З величинами напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею з блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки можна ознайомитись за допомогою табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Величини напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та шпинею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	Стрижень	
		ротаційно стабільний	ротаційно нестабільний
1	6,5	3,0	3,0
2	3,9	1,5	1,4
3	1,3	4,8	5,1
4	1,6	1,0	1,0
5	1,1	0,3	0,2
6	1,1	9,5	11,1
7	0,1	1,5	3,3
8	0,1	1,4	2,2

Наочне порівняння величин напружень в контрольних точках моделей гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення, в умовах остеосинтезу стрижнями та шпинею з додатковим блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.38.

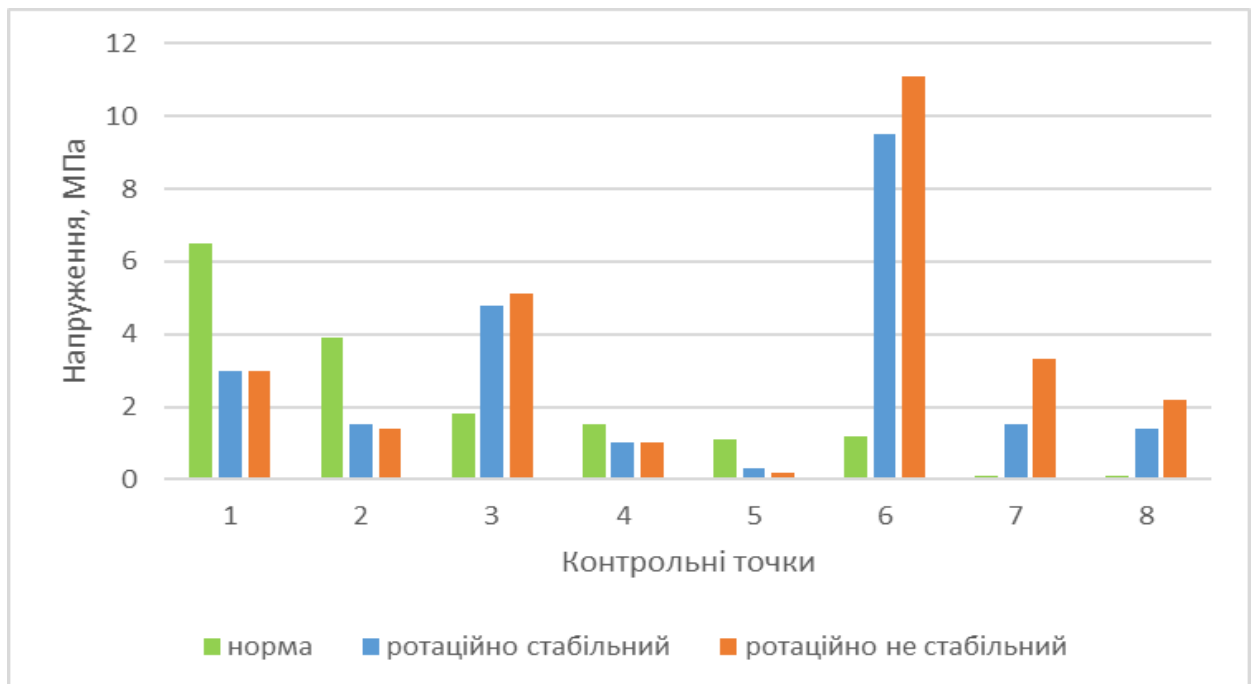


Рисунок 4.38 – Діаграма напружень в моделі гомілки з переломами обох кісток в нижній третині під впливом навантаження на кручення. Остеосинтез стрижнем та спицею, блок з кісткових трансплантатів на обидві кістки.

В результаті проведеного дослідження вдалося визначити, що при навантаженнях на стиск стрижень з ротаційною стабільністю веде себе так саме, як і стрижень без неї при всіх досліджених способах остеосинтезу, про що свідчать однакові показники величин напружень во всіх контрольних точках моделей. Це пов'язано з тим, що обидва стрижня мають рухомість вздовж подовжньої осі для забезпечення "зростання" конструкції в процесі росту пацієнта. Тобто для стискаючих осьових навантажень обидва стрижня є нестабільними. Використання блоків з кісткових трансплантатів, як на обидві кістки, так і тільки на великогомілкову, під впливом осьових стискаючих навантаженнях дозволяє знизити рівень напружень в кісткових фрагментах, особливо в зоні перелому.

Основна перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки під впливом навантажень на кручення, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому в проксимальному фрагменті. Нижче лінії перелому напруження залишаються досить високими. Додаткове накладання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки не призводить до значного зниження напружень вздовж лінії перелому великогомілкової кістки, де вони зберігаються на рівні 11,1 МПа нижче лінії перелому. В той же час напруження вище лінії перелому значно знижуються до 0,2 МПа. Така ситуація виникає за рахунок близькості дистального фіксуючого гвинта до зони перелому великогомілкової кістки, який тримає на себе основне навантаження. В інших зонах рівень напружень зберігається на тому ж рівні, що й при використанні ротаційно нестабільного стрижня

### 4.3 Резюме

При навантаженнях на стиск стрижень з ротаційною стабільністю веде себе так саме, як і стрижень без неї при всіх досліджених способах

остеосинтезу, про що свідчать однакові показники величин напружень во всіх контрольних точках моделей. Використання блоків з кісткових трансплантатів, як на обидві кістки, так і тільки на великогомілкову, під впливом осьових стискаючих навантажень дозволяє знизити рівень напружень в кісткових фрагментах, особливо в зоні перелому.

Перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки під впливом навантажень на кручення, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому. При використанні для остеосинтезу блоків з кісткових трансплантатів стрижень з ротаційною стабільністю дозволяє знизити рівень напружень у всіх контрольних точках моделей в порівнянні з ротаційно нестабільним стрижнем.

## **5 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КТ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ТА ОБ'ЄМУ КІСТКОВИХ ТРАНСПЛАНТАТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІЛЬНОЇ ТА «ОБГОРНУТОЇ» ТЕХНІКИ КІСТКОВОЇ АУТОПЛАСТИКИ СЕГМЕНТАРНОГО ДЕФЕКТУ КІСТОК ГОМІЛКИ УМОВ ВИКОНАННЯ КОМБІНОВАНОГО ЇХ ОСТЕОСИНТЕЗУ**

### **5.1 Томографічна (КТ) оцінка кісткових трансплантатів при виконанні вільної та «обгорнутої» металокісткової аутопластики сегментарного дефекту кісток гомілки в умовах комбінованого (інтрамедулярного та накісткового) остеосинтезу.**

Для оцінки характеру перебудови кортикально-губчастих трансплантатів за умов різних видів кісткової пластики проведено рентгенометричне дослідження щільності кістки за даними КТ досліджень.

Відповідно до протоколу дослідження, експериментальним тваринам виконано формування сегментарного дефекту правої великогомілкової кістки за допомогою резекції його фрагмента до 1,5 см осцилюючою пилкою на низьких обертах з наступною фіксацією фрагментів комбінованим синтезом: інтрамедулярною спицею, та LCP-пластиною. У подальшому виконано кісткову пластику одним з двох способів: У Групі 1 виконано класичну вільну кісткову аутопластику кортикально-губчастими трансплантатами з крила клубової кістки (5 кролів); Група 2 - виконана «обгорнута» металокісткова аутопластика кортикально-губчастими трансплантатами з крила клубової кістки, з додатковим використанням титанової сітки (5 кролів).

Відповідно до подальшого протоколу виконано КТ дослідження, із вимірюванням щільності кісткової тканини на оперованій та інтактній (неоперованій) кінцівках експериментальних тварин одразу після виконання хірургічного втручання, а також через 4 та 7 тижнів у 7 визначених зонах.

Отримані в динаміці дані для Групи 1 та Групи 2 наведені у таблицях 5.1 та 5.2 відповідно.

*Аналіз показників кісткової щільності великогомілкової кістки  
експериментальних тварин у Групі 1*

Після хірургічного втручання (0 тиждень), у ділянці виконаної кісткової аутопластики, у всіх трьох зонах (ЗКА<sub>1</sub>, ЗКА<sub>2</sub>, ЗКА<sub>3</sub>), показники кісткової щільності були нижчими, порівняно з аналогічними показниками кортикального шару прилеглої великогомілкової кістки оперованої та інтактної сторін. Це пояснюється тим, що кісткова аутопластика проводилась кортикально-губчастими трансплантатами з крила клубової кістки, щільність яких є близькою, проте нижчою за показники великогомілкової кістки

Оцінка кісткової щільності у ділянці кісткової аутопластики великогомілкової кістки через 4 тижні після операції, показала статистично значуще ( $p < 0,05$ ) зменшення зазначених показників у всіх трьох зонах ЗКА<sub>1</sub>, ЗКА<sub>2</sub>, ЗКА<sub>3</sub>, що свідчить про поступову негативну зміну якості кісткової тканини у цих зонах, що є ознакою процесу резорбції кісткових трансплантатів. Через 7 тижнів після операції у всіх трьох зонах в ділянці кісткової аутопластики відзначаються позитивні зміни зі збільшенням показників кісткової щільності, що наближаються до вихідних показників зафіксованих після операції, однак не досягають статистично значущого рівня ( $p > 0,05$ ).

Наочно оцінити динаміку зміни кісткової щільності у ділянці кісткової аутопластики великогомілкової кістки тварин з Групи 1 можна за допомогою діаграми на рис 5.1



Рисунок 5.1 – Діаграма кісткової щільності у ділянці аутокісткової пластики сегментарного дефекту: зони ЗАК<sub>1</sub>, ЗАК<sub>2</sub>, ЗАК<sub>3</sub>, визначеної у тварин Групи 1, в динаміці після операції

Показники кісткової щільності у ділянках кортикального шару діафізу та кістково-мозкового каналу великогомілкової кістки оперованої та інтактної сторони були порівняно схожі після виконаного хірургічного втручання, при цьому на інтактній стороні зазначені показники значущо збільшились через 4 та 7 тижнів після операції ( $p < 0.05$ ).

На оперованій стороні також відзначено поступове збільшення кісткової щільності зони діалізу та зони кістково-мозкового каналу (), яке однак досягло значущої різниці лише через 7 тижнів

Зазначені зміни з інтактної та оперованої сторін, можуть бути пояснені подальшим ростом кісток, та тимчасовим обмеженням навантаження на оперовану кінцівку.

Таблиця 5.1 – Значення щільності кісткової тканини (Nu) у досліджуваних зонах великогомілкової кістки експериментальних тварин з Групи 1 через 0, 4 та 7 тижнів після хірургічного втручання.

Зона	Показник	Терміни спостереження		
		0 тижнів	4 тижні	7 тижнів
ЗД <sub>ОПЕР</sub>	M±SD	815±58,7	800±65,2	840±48,7
	min÷max	660÷825	610÷770	798÷910
				<sup>1)</sup> p <0,05
ЗД <sub>ІНТАКТ</sub>	M±SD	820±67,2	900±67,2	950±63,2
	min÷max	650÷835	650÷835	650÷835
			<sup>1)</sup> p <0,001	<sup>1)</sup> p <0,001
ЗКМ <sub>ОПЕР</sub>	M±SD	20,4±4,5	20,6±4,8	22,2±4,2
	min÷max	15÷27	17÷27	18÷28
ЗКМ <sub>ІНТАКТ</sub>	M±SD	20±4,63	21±3,83	20±4,63
	min÷max	15÷26	15÷26	15÷26
ЗКА <sub>1</sub>	M±SD	800±49,1	780±32,1	810±56,6
	min÷max	749÷856	637÷808	761÷895
			<sup>1)</sup> p <0,05	
ЗКА <sub>2</sub>	M±SD	802±53,7	791±38,3	805±39,4
	min÷max	744÷857	716÷806	782 ÷884
			<sup>1)</sup> p <0,05	
ЗКА <sub>3</sub>	M±SD	779±56,6	763±36,2	793±44,2
	min÷max	719÷841	683÷842	779÷900
			<sup>1)</sup> p <0,05	

*Аналіз показників кісткової щільності великогомілкової кістки експериментальних тварин у Групі 2*

Вихідні показники щільності кісткових аутотрансплантатів, розташованих в ділянці проведеної операції по створенню дефекту та виконання кісткової аутопластики у тварин Групи 2 також були нижчими порівняно з показниками кортикального шару великогомілкової кістки інтактної та оперованої кісток.

Аналіз показників кісткової щільності у трьох зонах ЗКА<sub>1</sub>, ЗКА<sub>2</sub>, ЗКА<sub>3</sub>, отриманих в Групі 2 на 4-му тижні показав схожу динаміку, що полягала у зменшенні показників, які однак не сягнули статистично значущого рівня.

Зазначені особливості дотично свідчать про більш позитивні процеси перебудови кісткової тканини у випадку виконання «обгорнутої» металокісткової аутопластики, що полягають, вірогідно, у зменшенні резорбції кісткових трансплантатів

Аналогічно, через 7 тижнів відзначено статистично значуще збільшення показників кісткової щільності у всіх досліджуваних зонах проведеної «обгорнутої» металокісткової аутопластики ( $p < 0,001$ ) так і у інших досліджуваних зонах оперованої та інтактної великогомілкових кісток.

Наочно оцінити динаміку зміни кісткової щільності у ділянці кісткової аутопластики великогомілкової кістки тварин з Групи 2 можна за допомогою діаграми на рис 5.2.

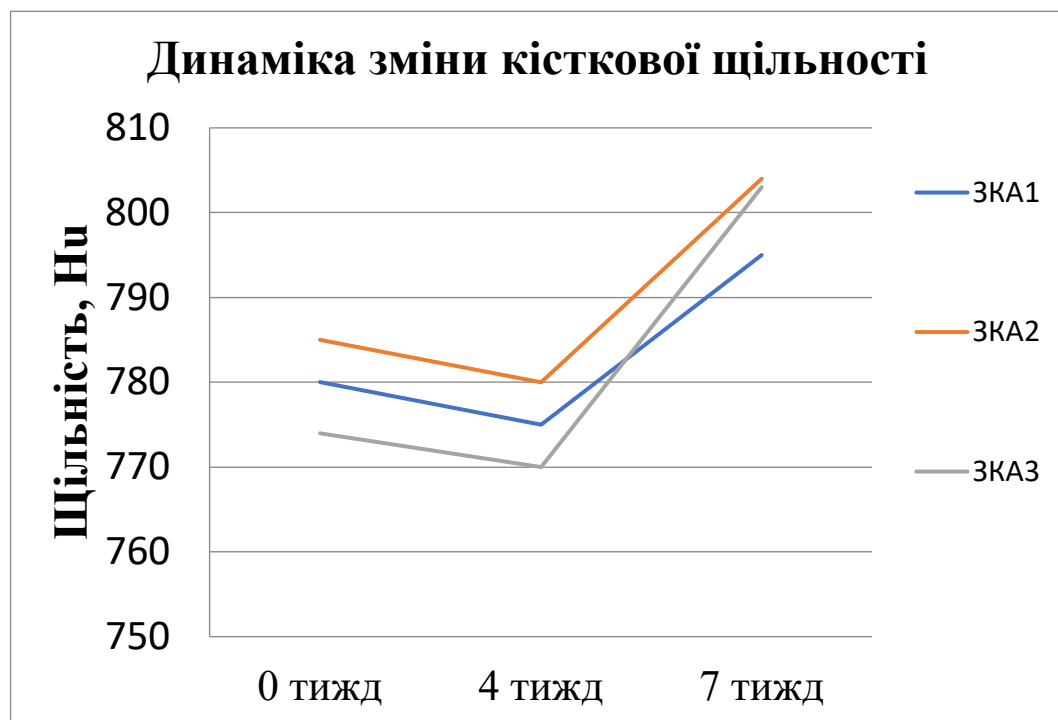


Рисунок 5.2 – Діаграма кісткової щільності у ділянці аутокісткової пластики сегментарного дефекту: зони ЗКА<sub>1</sub>, ЗКА<sub>2</sub>, ЗКА<sub>3</sub>, визначеної у тварин Групи 2, в динаміці після операції

Таблиця 5.2 – Значення щільності кісткової тканини (Hu) у досліджуваних зонах великогомілкової кістки експериментальних тварин з Групи 2 через 0, 4 та 7 тижнів після хірургічного втручання.

Зона	Показник	Терміни спостереження		
		0 тижнів	4 тижні	7 тижнів
ЗД <sub>ОПЕР</sub>	M±SD	816±44,3	838±41,8	879±45,3
	min÷max	772÷836	780÷904	812÷937
			p <0,05	p <0,05
ЗД <sub>ІНТАКТ</sub>	M±SD	810±49,2	884±51,2	937±40,2
	min÷max	754÷902,3	847÷923,8	860÷1016
			p <0,001	p <0,001
ЗКМ <sub>ОПЕРі</sub>	M±SD	22±3,5	23,6±5,8	26,9±9,2
	min÷max	15÷27	17÷27	18÷28
ЗКМ <sub>ІНТАКТ</sub>	M±SD	24±4,63	26±3,83	28±4,9
	min÷max	15÷26	15÷26	15÷26
ЗКА <sub>1</sub>	M±SD	780±49,1	775±32,1	795±56,6
	min÷max	749÷856	637÷808	761÷895
ЗКА <sub>2</sub>	M±SD	785±53,7	780±38,3	804±39,4
	min÷max	744÷857	716÷806	782 ÷884
ЗКА <sub>3</sub>	M±SD	774±56,6	770±36,2	803±44,2
	min÷max	719÷841	683÷842	779÷900

У Групі 1, відзначено статистично значуще збільшення показників кісткової щільності у діафізі та зоні кістково-мозкового каналу великогомілкової кістки на інтактній (неоперованій) стороні через 7 тижнів після операції, що може бути пояснено подальшим ростом тварини та зміцненням її кісток.

## Резюме

Проведене експериментальне дослідження з КТ оцінкою кісткової щільності та обсягу трансплантатів в зоні кісткової аутопластики штучно створеного сегментарного дефекту великогомілкової кістки за умов виконання різних способів кісткової аутопластики (класична вільна аутопластика та «обгорнута металокісткова аутопластика») при комбінованому остеосинтезі фрагментів кісток (інтрамедулярна спиця + LCP фіксація) показала певні відмінності щодо параметрів кісткової щільності у зоні кісткової аутопластики.

Так в динаміці всього періоду спостереження виявлено зменшення кісткової щільності у зонах її вимірів в зоні кісткової пластики серед тварин експериментальної Групи 1 (вільна кісткова аутопластика), яке сягало статистично значущого рівня через 1 міс, із поступовим відновленням показників кісткової щільності в зазначеній локалізації на 7 тиждень

Зазначені зміни можуть свідчити про зміну якості кісткових трансплантатів внаслідок їх резорбції.

Експериментальна Група 2, де тваринам виконували «обгорнуту» металокісткову аутопластику продемонструвала схожі зміни, проте відзначено менше на 30% зменшення параметрів кісткової щільності через 4 та на 20 % менші негативні зміни кісткової щільності через 7 тижнів після хірургічного лікування.

## **6 ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ХІРУРГІЧНОГО ЛІКУВАННЯ УПВГК У ДІТЕЙ, ЗАСНОВАНОЇ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОМУ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ВИДІВ ОСТЕОСИНТЕЗУ ТА ВИКОНАННІ «ОБГОРНУТОЇ» ТЕХНІКИ МЕТАЛОКІСТКОВОЇ АУТОПЛАСТИКИ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛІНІЧНОГО ВИПРОБУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНІКИ ХІРУРГІЧНОЇ ЛІКУВАННЯ**

### **6.1 Розробка та обґрунтування інтрамедулярного телескопічного фіксатора для хірургічного лікування УПКВГК у дітей**

Вивчення літературних даних та аналіз власних результатів хірургічного лікування УПВГК у дітей за даними архіву ІПХС ім. проф М,І, Ситенка НАМНУ показав, що «відмова» металофіксатора, через порушення його цілісності є одним з найчастіших ускладнень, що, як правило, потребують повторних хірургічних втручань з метою ревізії, видалення та повторного встановлення металофіксатора. Частота зазначених ускладнень, а саме порушення цілісності блокуючих елементів ІТФ на власному клінічному матеріалі сягнула 31,25 %, що потребувало виконання повторних хірургічних втручань у 5 пацієнтів.

Існуючий ІТФ, що використовується в клініці складається з трубки і встановленого з можливістю аксіального переміщення в ній металевого стержня з розташованими на них блокуючими і антиротаційними елементами (пат. UA №114597U, A61B17/72, 2017). Проксимальний кінець стержня і дистальний кінець трубки виконані з різьбовими наконечниками, в яких виготовлені поперекові отвори для установки в них занурених штифтів за допомогою яких зазначені кінці трубки і стержня з'єднуються з відповідними кістковими структурами кістки. Аналіз ускладнень хірургічного лікування УПВГК у дітей показав, що можливою причиною порушення цілісності блокуючих елементів ІТФ можуть бути її конструктивні особливості.

Антиротаційні елементи в існуючому ІТФ представлені у вигляді одного плоского виступу, виконаного усередині порожнини трубки, з яким контактує плоский скос, виготовлений на дистальному кінці стержня. Це забезпечує ротаційну стабільність фіксатора в горизонтальній площині. Однак, таке однобічне виконання взаємодіючих між собою виступу на трубці і скошу на стержні створює позаосьове силове навантаження на нарізні наконечники і блокуючі елементи фіксатора, що викликає пошкодження їх, і негативно позначається на надійності роботи фіксатора.

Тобто у пацієнтів із УПВГК, за наявності зони сповільненої консолидації у зоні хірургічного втручання, можливе поступове розхитування різьбових частин двокомпонентного фіксатору, що фіксовані в епіфізі і, як наслідок, це призводить до мікрорухливості та порушення цілісності блокуючих елементів ІТФ. Крім того, існуючий ІТФ не забезпечує осьову стабільність з'єднання між собою трубки і стержня при його функціональному вертикальному навантаженні під час опори на оперовану кінцівку (при стоянні та ходьбі), що викликає динамічну дію на зону перелому кістки, і гальмує створення, розвиток і подальше ремоделювання кісткового регенерату в ній. Це примушує прооперовану кінцівку утримувати довготривалий час у нерухомому стані, що в значній мірі збільшує тривалість післяопераційного періоду. Це знижує функціональну надійність і ефективність ІТФ. Особливо це важливо при використанні ІТФ у пацієнтів з порушенням якості кісткової тканини, а саме при лікуванні УПВГК у дітей

Для профілактики ускладнень пов'язаних з порушенням цілісності блокуючих елементів ІТФ, була розроблена його модифікація, що завдяки своїм конструктивним відмінностям дозволяє попередити зазначене ускладнення.

Поставлене завдання вирішується тим, що в ІТФ, що містить трубку і встановлений з можливістю аксіального переміщення в ній металевий стержень з розташованими на них блокуючими та антиротаційними елементами, згідно з розробкою елементи на трубці виконані у вигляді двох, повернутих один до одного в діаметральному напрямку у середині її порожнини плоских, рівновіддалених від поздовжньої осі трубки виступів, а на стержні – у вигляді двох плоских скосів, розташованих з можливістю взаємодії їх з виступами трубки, при цьому, на виступах трубки виготовлені в декілька рядів по її довжині пилоподібні гребінки, кожен зубець яких уявляє прямокутний трикутник в поперечному перетині, один із катетів якого розташований перпендикулярно повздовжній осі трубки, а гіпотенуза – під кутом у межах  $60-75^\circ$  до горизонтальної її осі, а стержень постачений внутрішньою порожниною, розташованою в зоні виконання гребінок в порожнині трубки, а також двома, діаметрально виготовленими один до одного прямокутними пазами в зоні розташування порожнини стержня, в яких встановлені рухливо заціпки трапецеїдальної форми, вільні кінці заціпок виступають за межі крізних пазів і виконані за профілем, що ідентичний профілям зубців гребінки і взаємодіють з гіпотенузою кожного зубця гребінки по черзі по мірі зростання кістки у дитини і горизонтально розташованим катетом суміжного зубця, а інші кінці заціпок виконані прямокутної форми і розташовані в крізних пазах стержня з можливістю взаємодії з пружним матеріалом, розміщеним у внутрішній порожнині стержня. Як пружний матеріал використовують силіконову гуму або каучук з пружністю їх у межах від 200 до 500 %.

Виконання антиротаційних елементів на трубці у вигляді двох, повернутих один до одного в діаметральному напрямку у середині її порожнини, плоских рівновіддалених від повздовжньої осі трубки виступів, а на стержні – у вигляді двох плоских скосів, розташованих з можливістю взаємодії їх з виступами трубки, створює умови для рівноосного навантаження нарізних з'єднань трубки і стержня фіксатора на відповідні кісткові структури

переламаної кістки і сприяє урівноваженості аксіального переміщення між собою трубки і стержня, що зменшує силову дію на них при функціонуванні фіксатора в організмі дитини, а, отже, підвищує, таким чином, надійність роботи фіксатора і сприяє більш швидкому створенню, розвитку і ремоделюванню кісткового регенерату в зоні перелому кістки. Наявність на плоских виступах трубки в декілька рядів по її довжині пилоподібних гребінок, де кожен зубець уявляє собою прямокутний трикутник в поперечному перетині, один із катетів яких розташований перпендикулярно поздовжній осі трубки, а гіпотенуза – під кутом у межах  $60-75^\circ$  до зазначеної осі, та постачання стержня внутрішньою порожниною, в якій розташований пружний матеріал, а також двома діаметрально виготовленими один до одного прямокутними пазами в зоні розташування даної порожнини, в яких встановлені рухливо заціпки, що взаємодіють з гіпотенузою кожного зубця гребінки по черзі з розвитком росту довжини кістки дитини, і горизонтально розташованим катетом суміжного зубця, забезпечує осьову стабільність з'єднання між собою трубки і стержня фіксатора при функціональному навантаженні оперованої кінцівки (стояння, ходьба), і попереджає динамічну дію останнього на зону перелому кістки, і сприяє прискореному створенню, розвитку і ремоделюванню кісткового регенерату у зазначеній зоні перелому.

Наявність взаємодії заціпок з пружним матеріалом в порожнині стержня надає можливість входження і виходження вільних кінців рухомих заціпок в простір між зубцями гребінок, сприяє блокуванню стержня і трубки на певний час, достатній для зародження, розвитку і ремоделювання кісткового регенерату, що підвищує якість і надійність лікування даної патології за допомогою використовуваного фіксатора.

Виконання гіпотенузи кожного із зубців гребінки під кутом у межах  $60-75^\circ$  попереджає заклинювання вільних кінців заціпок із зубцями гребінки і сприяє, таким чином, переміщенню зазначених кінців заціпок в порожнині між суміжними зубцями без будь-яких перешкод і забезпечує нормальне

функціонування фіксатора без силового навантаження на нього в період росту довжини реконструктованої кістки. Використання в якості пружного матеріалу силіконової гуми або каучуку у межах її пружності від 200 до 500 % створює належні умови для взаємодії вільних кінців заціпок із зубцями гребінки з потрібним зусиллям тиску між собою, і забезпечує потрібну осьову стабільність фіксатора при функціональному його навантаженні (стояння, ходьба) в організмі дитини.

Запропонована корисна модель представлена схематично на рис 6.1-6.3.

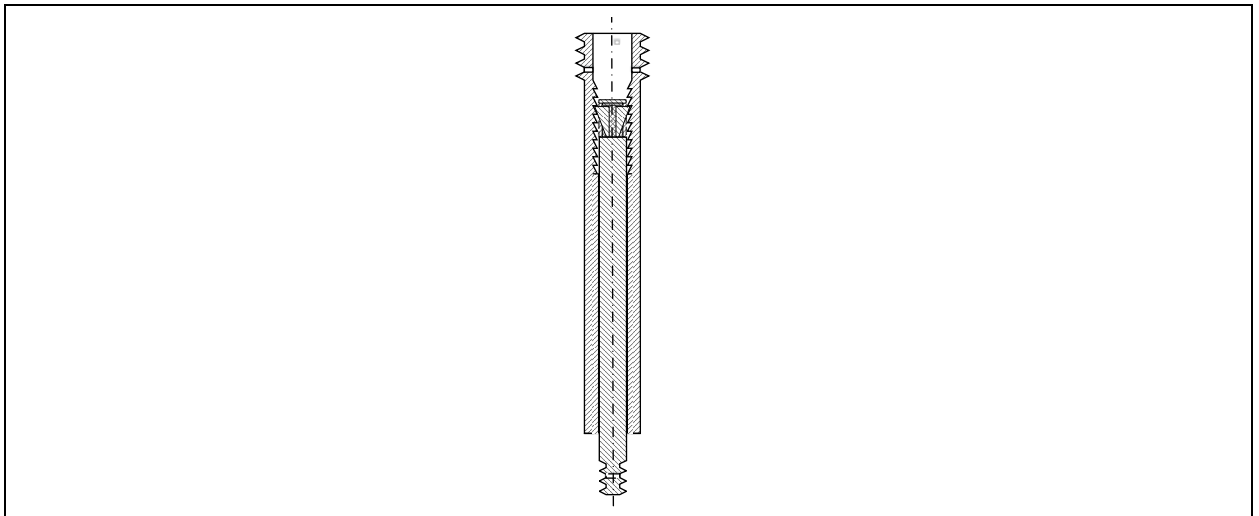


Рисунок 6.1 - Схематичне зображення запропонованого ІТФ в зборі для хірургічного лікування УПВГК у дітей

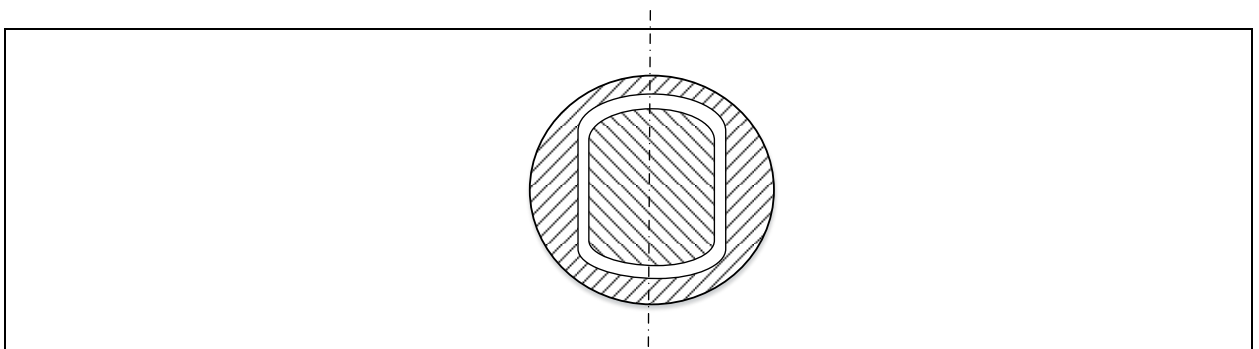


Рисунок 6.2 - Схематичне зображення запропонованого ІТФ для хірургічного лікування УПВГК у дітей у повздовжньому перетині

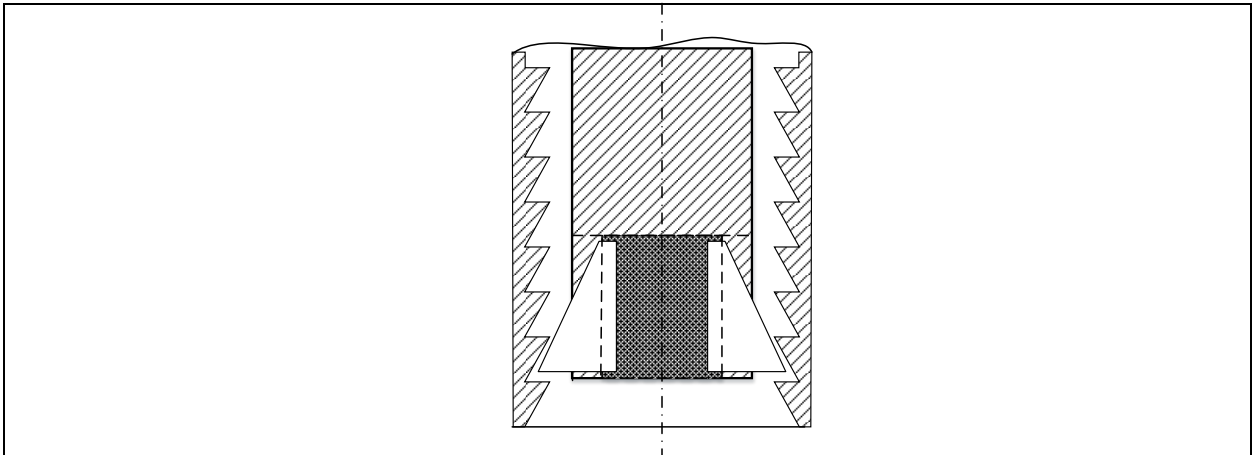


Рисунок 6.3 - Схематичне зображення запропонованого ІТФ для хірургічного лікування УПВГК у дітей дистальний кінець стержня у повздовжньому перетині

## **6.2 Розробка та обґрунтування методики «обгорнутої» металокісткової пластики зони УПВГК при хірургічному лікуванні УПВГК у дітей**

Аналіз літературних даних показав перспективність використання методики «обгорнутої» металокісткової аутопластики, яку з успіхом використовують при лікуванні сегментарних дефектів довгих кісток. .

Експериментальне порівняльне дослідження «обгорнутої» металокісткової аутопластики для лікування сегментарного дефекту великогомілової кістки за умов різних способів фіксації показало косвені(непрямі) ознаки зменшення швидкості резорбції кістки, а виконання біомеханічного моделювання також підтвердило додаткові переваги використання титанової сітки у вигляді часткового розподілення навантаження на неї.

З урахуванням особливостей патологічного процесу та анатомії сегмента, ми розробили протокол використання «обгорнутої» металокісткової аутопластики для лікування УПВГК.

Як вже зазначалось, основою успішного хірургічного лікування УПВГК є радикальне видалення окістя, склерозованих кісткових фрагментів та елементів гамартоми. Необхідна для видалення періосту та декортикації зона

визначається індивідуально та складає, як правило,  $5\pm 2$  см. Додатково для створення тібіофібулярного синостозу виконується декортикація малогомілкової кістки на цьому ж рівні. Кістові кортикально-губчасті аутотрансплантати в необхідній кількості отримують з крила клубової кістки та з надацетабулярної ділянки іпсилатеральної сторони за допомогою ложки Фолькмана під обов'язковим рентген контролем. З внутрішньої та зовнішньої поверхні крила клубової кістки забирається також періостальний трансплантат. Після адаптації кісткових фрагментів та комбінованої фіксації ІТФ із апаратом зовнішньої фіксації виконується обгорнута металокістова аутопластика зони ураження відповідно до поданої схеми (патент України на корисну модель №151605).

З метою додакового обґрунтування запропонованої методики лікування та розробленого пристрою для хірургічного лікування УПВГК у дітей з локалізацією їх у н/3 проведено математичне моделювання

В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України» було виконане математичне моделювання остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки при їх вродженому псевдоартрозі. Для вирішення поставленого завдання була використана модель дистального кінця нижньої кінцівки, яка містила великогомілкову та малогомілкову кістки із зоною незрощення в їх нижній третині, а також кісткові елементи стопи [7]. Моделювали остеосинтез інтрамедулярним стрижнем, шпинею та блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки гомілки з накладанням сітки з титану поверх трансплантатів (рис. 6.1).

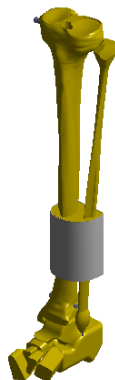


Рисунок 6.1 - Моделі голени із зоною незрощення обох кісток в нижній третині та їх остеосинтезом інтрамедулярним стрижнем, шпинею та блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки гомілки з накладанням сітки з титану поверх трансплантатів.

Для остеосинтезу великогомілкової кістки моделювали інтрамедулярний двохсегментний стрижень з подовжньою рухомістю та ротаційною стабільністю конструкції ІПХС [8].

Матеріал рахували однорідним та ізотропним. В якості скінченного елемента був обраний 10-вузловий тетраедр з квадратичною апроксимацією. При обранні механічних властивостей біологічних тканин враховували той факт, що при вродженому псевдоартрозі кісткова тканина має низьку механічну міцність, на що звертали увагу при вивченні літературних джерел [9, 10, 11]. Для кісткового блоку з ауто трансплантатів обирали властивості здорової кістки [12]. З урахуванням того, що титанова сітка проростає кістковою тканиною, її наявність моделювали, як шар товщиною 1 мм навколо блоку трансплантатів із змішаними механічними властивостями титану та кортикальної кістки [13]. Характеристики штучних матеріалів обирали за даними технічної літератури [14]. Механічні характеристики матеріалів, що використовували в розрахунках, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Механічні характеристики матеріалів, що використовували при моделюванні.

Матеріал	Модуль Юнга (E), МПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$
Кортикальна кістка	12240	0,30
Губчаста кістка	330	0,30

Хрящова тканина	5,58	0,45
Кістковий регенерат	1,00	0,45
Блок з кісткових трансплантатів	18350	0,29
Легована сталь	210000	0,30
Титан ВТ16	110000	0,20
Титанова сітка з кісткою	25520	0,30

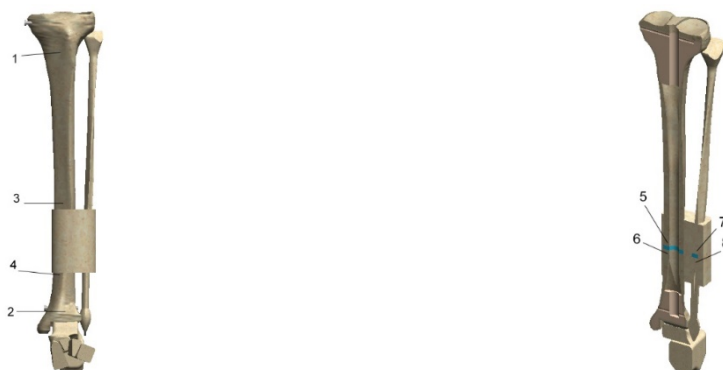
При проведенні досліджень моделювали два види навантажень на стискання та кручення. Схеми навантаження моделей наведено на рис. 6.2.



Рисунок 6.2 – Схеми навантаження моделей:

а – вертикальне осьове стискання; б – кручення.

Для порівняння різних варіантів остеосинтезу проводили реєстрацію величин напружень в моделях в певних контрольних точках. Схема розташування контрольних точок наведена на рис. 6.3.



а

б

Рисунок 6.3 – Схема розташування контрольних точок:

а – на великогомілкової кістці;

б – на навколо ліній переломів;

Контрольні точки, в яких проводили реєстрацію величин напружень в моделях:

1 – проксимальний метафіз великогомілкової кістки;

2 – дистальний метафіз великогомілкової кістки;

3 – дистальний кінець проксимального фрагменту великогомілкової кістки;

4 – проксимальний кінець дистального фрагменту великогомілкової кістки;

5 – великогомілкова кістка вище зони перелому;

6 – великогомілкова кістка нижче зони перелому;

7 – дистальний кінець проксимального фрагменту малогомілкової кістки;

8 – проксимальний кінець дистального фрагменту малогомілкової кістки.

Отримані результати порівнювали з даними попередніх досліджень моделі в нормі та при остеосинтезі інтрамедулярним стрижнем, шпигцею та блоком з кісткових трансплантатів на обидві кістки гомілки без використання титанової сітки [1].

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою методу кінцевих елементів. В якості критерію оцінки напруженого стану моделей використовували напруження за Мізесом [15].

Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою програмного комплексу CosmosM [16].

Першим етапом роботи виконували дослідження моделі остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки під впливом стискаючого осьового навантаження. Картину напружено-деформованого стану моделі при навантаженні на стиск наведена на рис. 6.4.

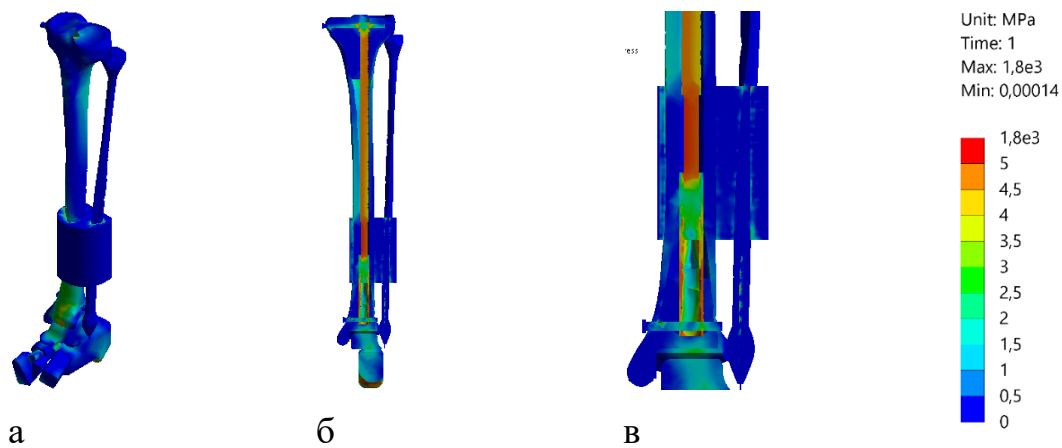


Рисунок 6.4 - Розподіл напружень в моделі остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки під навантаженням на стиск:

а – загальний вид;

б – розтин великогомілкової кістки;

в – зона перелому;

Проведені дослідження моделі на стискання показали, що в порівнянні з попередньою моделлю остеосинтезу кісток гомілки, використання титанової сітки веде до зниження величин напружень практично на всіх контрольних точках моделі. Виняток складають зони навколо лінії перелому малоюмілкової кістки, де напруження зростають від 0,2 МПа до 0,3 МПа та 0,4 МПа, відповідно вище та нижче лінії незрощення. На великогомілкової кістці підвищення рівня напружень від 2,9 МПа до 3,2 МПа спостерігається на нижній межі блоку кісткових трансплантатів. Дані про величини напружень в контрольних точках моделей остеосинтезу кісток гомілки при їх вродженому псевдоартрозі під впливом стискаючого навантаження наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Величини напружень в контрольних точках моделей під навантаженням на стиск.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	без сітки	сітка
1.	3,4	3,0	2,2
2.	4,9	5,0	5,0
3.	2,4	3,0	2,2
4.	3,2	2,9	3,2
5.	2,7	0,9	0,5
6.	2,7	2,3	0,7
7.	0,1	0,2	0,4
8.	0,1	0,2	0,3

Для наочного порівняння величин напружень в контрольних точках моделей остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки та без неї при їх вродженому псевдоартрозі, а також з моделлю голені в нормі під впливом стискаючого навантаження побудована діаграма, яка наведена на рис. 6.5.

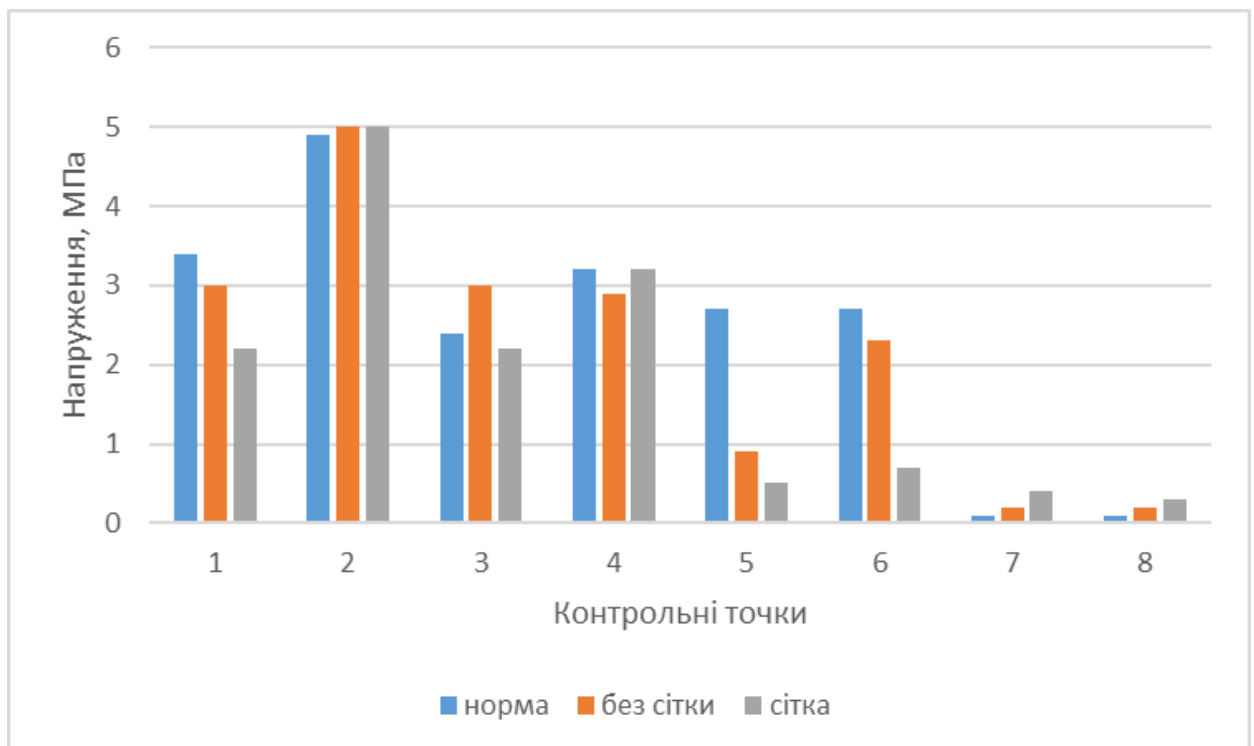


Рисунок 6.5 – Діаграма величин напружень в контрольних точках моделей під навантаженням на стиск.

Як бачимо, при використанні титанової сітки, найзначніші зниження величин напружень визначаються вздовж лінії незрощення великогомілкової кістки з 2,3 МПа до 0,7 МПа – нижче лінії незрощення, з 0,9 МПа до 0,5 МПа – над нею, в порівнянні з моделлю без використання сітки.

На рис. 6.4 наведена картина розподілу напружень в моделі остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки під навантаженням на кручення.

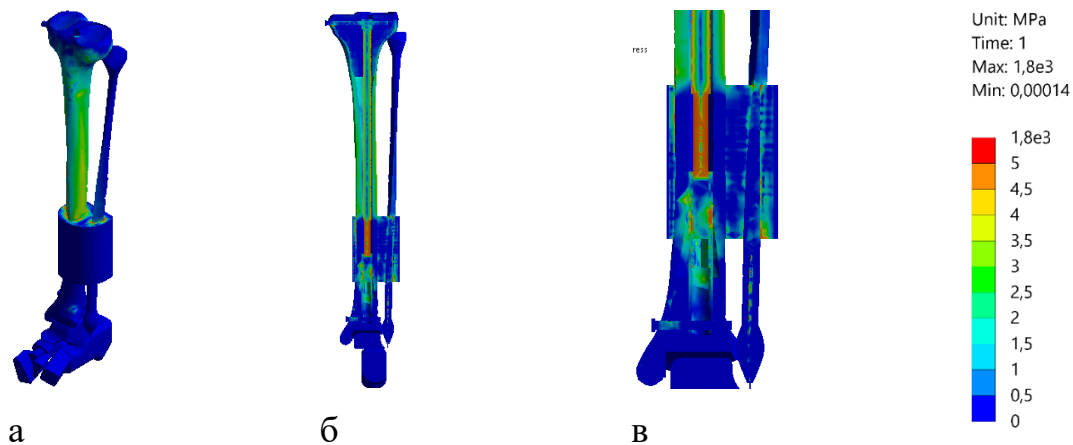


Рисунок 6.4 - Розподіл напружень в моделі остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки під навантаженням на кручення:

а – загальний вид;

б – розтин великогомілкової кістки;

в – зона перелому;

При навантаженнях на кручення моделі остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки спостерігається картина змін напружень, в порівнянні з моделлю остеосинтезу без використання титанової сітки, аналогічна той, що була отримана при навантаженні на стиск. Найбільші позитивні зміни визначаються на великогомілковій кістці нижче лінії незрощення, де напруження знижуються втричі, від 9,5 МПа до 3,3 МПа. Підвищення рівня напружень визначаються вздовж лінії незрощення

малогомілкової кістки та на нижні межі блоку трансплантатів на великогомілковій кістці. Результати розрахунків величин напружень в контрольних точках моделей остеосинтезу кісток гомілки при їх вродженому псевдоартрозі при навантаженні на кручення, наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Величини напружень в контрольних точках моделей під навантаженням на кручення.

Контрольні точки	Напруження, МПа		
	норма	без сітки	сітка
1.	6,5	3,0	2,7
2.	3,9	1,5	0,9
3.	1,8	4,8	4,8
4.	1,5	1,0	0,3
5.	1,1	0,3	0,6
6.	1,2	9,5	3,3
7.	0,1	1,5	1,7
8.	0,1	1,4	3,2

Діаграма, яка наведена на рис. 6.6. дозволяє отримати наочне уявлення про співвідношення величин напружень в контрольних точках моделей остеосинтезу кісток гомілки з використанням титанової сітки та без неї при їх вродженому псевдоартрозі, а також з моделлю голені в нормі під впливом навантаження на кручення.

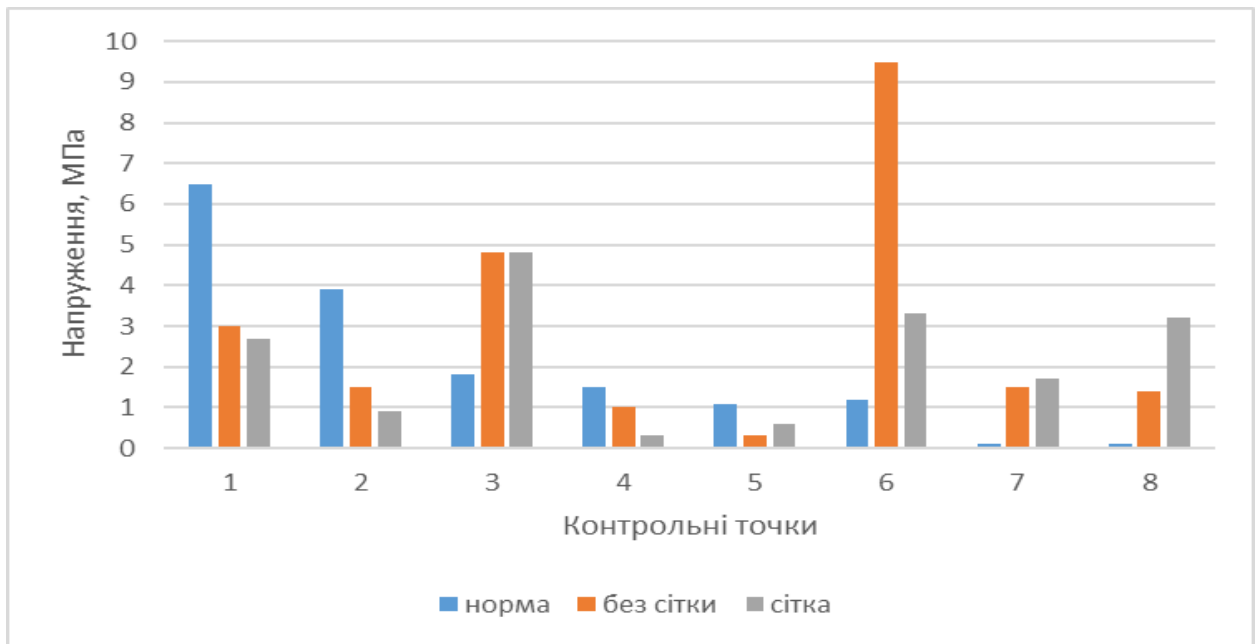


Рисунок 6.6 – Діаграма величин напружень в контрольних точках моделей під навантаженням на кручення.

Проведені дослідження показали, що додаткова фіксація блоку кісткових трансплантатів титановою сіткою дозволяє знизити рівень напружень практично на всіх контрольних точках моделі остеосинтезу кісток гомілки при їх вродженому псевдоартрозі, як при навантаженні на стиск, так й на кручення.. Як найбільш позитивні зміни можна відмітити зниження величин напружень на великогомілкової кістці навколо лінії незрощення. Це можна пояснити тим, що блок кісткових трансплантатів зміцнений титановою сіткою бере на себе більше навантаження. Цим самим факт впливає на підвищення рівня напружень на нижній межі блоку трансплантатів та великогомілкової кістки. До негативних факторів слід віднести підвищення рівня напружень вздовж лінії незрощення малогомілкової кістки. Це також пояснюється підвищенням модулю пружності блоку кісткових трансплантатів, який ще більше навантажує малогомілкову кістку.

Використання титанової сітки для додаткової фіксації кісток гомілки при лікуванні їх вродженого псевдоартрозу робить позитивний вплив на напружено-деформований стан моделі, що підтверджується зниженням рівня напружень практично на всіх контрольних точках моделі, як при

навантаженнях на стискання, так і при крученні. Найбільш позитивні зміни спостерігаються вздовж лінії незрощення великогомілкової кістки.

### **6.3 Алгоритм вибору хірургічного лікування УПВГК у дітей з урахуванням локалізації та супутнього ураження малогомілкової кістки**

Аналіз літературних даних показав, відсутність чіткого алгоритму, хірургічного лікування УПВГК в залежності від локалізації ураження великогомілкової кістки та супутнього ураження малогомілкової кістки

Проведений систематичний аналіз літератури, ретроспективний клініко-рентгенологічний аналіз власних результатів хірургічного лікування УПВГК, та біомеханічне моделювання хірургічного лікування УПВГК із використанням різних методик фіксації, дозволив виявити та сформулювати декілька важливих технічних аспектів, виконання яких є важливим для досягнення первинного зрощення УПВГК, серед яких:

- Обов'язкове видалення патологічно змінених тканин (періосту, міжфрагментарної гамартоми, склерозованої кістки змінених кісткових фрагментів великогомілкової кістки )
- Максимальна адаптація та досягнення кісткового контакту фрагментів великогомілкової кістки
- Мають бути створені умови для формування тібіофібулярного синостозу, що значно збільшує діаметр зони консолідації кісток гомілки, що веде до збільшення опорності зони консолідації до навантажень
- При наявності супутнього псевдоартрозу малогомілкової кістки, тактика хірургічного лікування має бути аналогічною, як і у випадку УПВГК, із виконанням резекція патологічно змінених тканин інтрамедулярною його фіксацією та використанням «обгорнутої» металоаутокісткової пластики. При цьому резекція малогомілкової кістки у такому випадку проводиться у обов'язі достатньому для радикального видалення патологічно зміненої частини кістки із урахуванням можливості виконання адаптації кісткових фрагментів великогомілкової кістки

- У випадках локалізації УПВГК у н/3 можливі 2 варіанти виконання фіксації кісток гомілки: 1) класична трансартикулярна фіксація стрижнем із блокуванням гомілковоступневого та піднадп'яткового суглобів
- 2) комбінована фіксація кісток гомілки із використанням ІТФ з ротаційною стабільністю та апарату зовнішньої фіксації

З урахуванням зазначених аспектів нами запропонований та клінічно апробований алгоритм хірургічного лікування УПВГК у дітей, що враховує локалізацію псевдоартрозу та наявність супутнього ураження малогомілкової кістки. (див. схему 6.7 та 6.8).

Рисунок 6.7 Алгоритм хірургічного лікування УПВГК у дітей з локалізацією в н/3

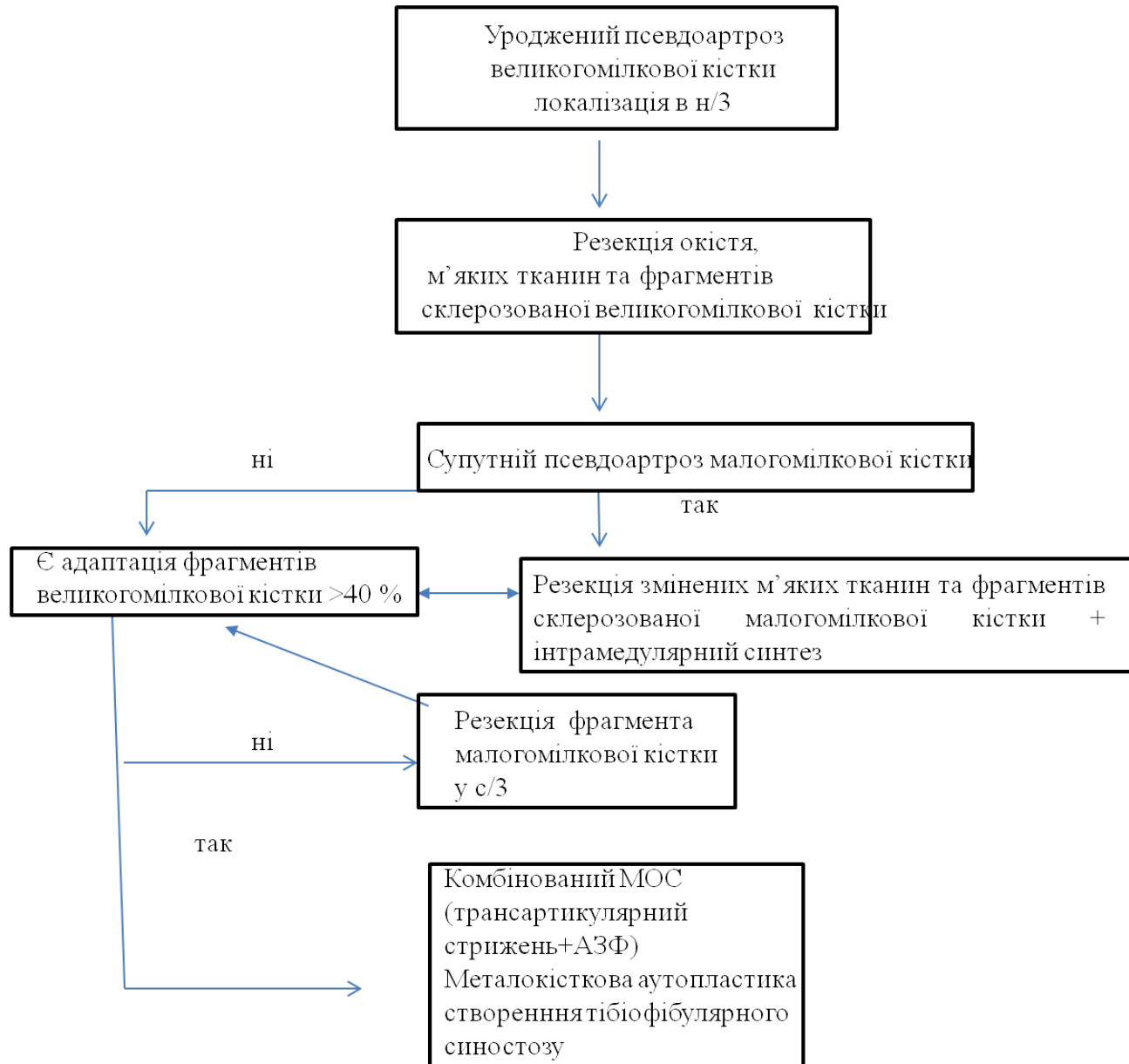
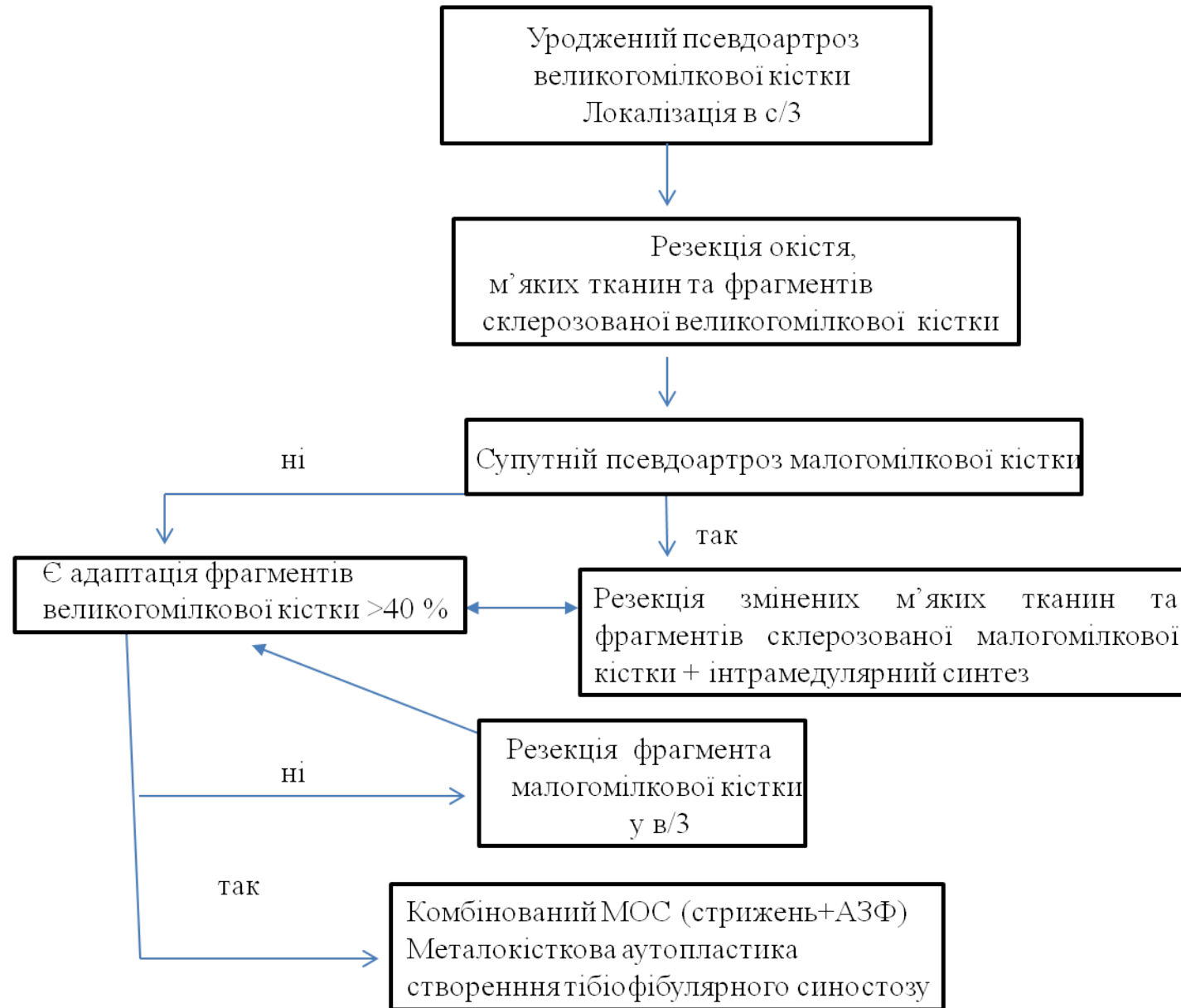
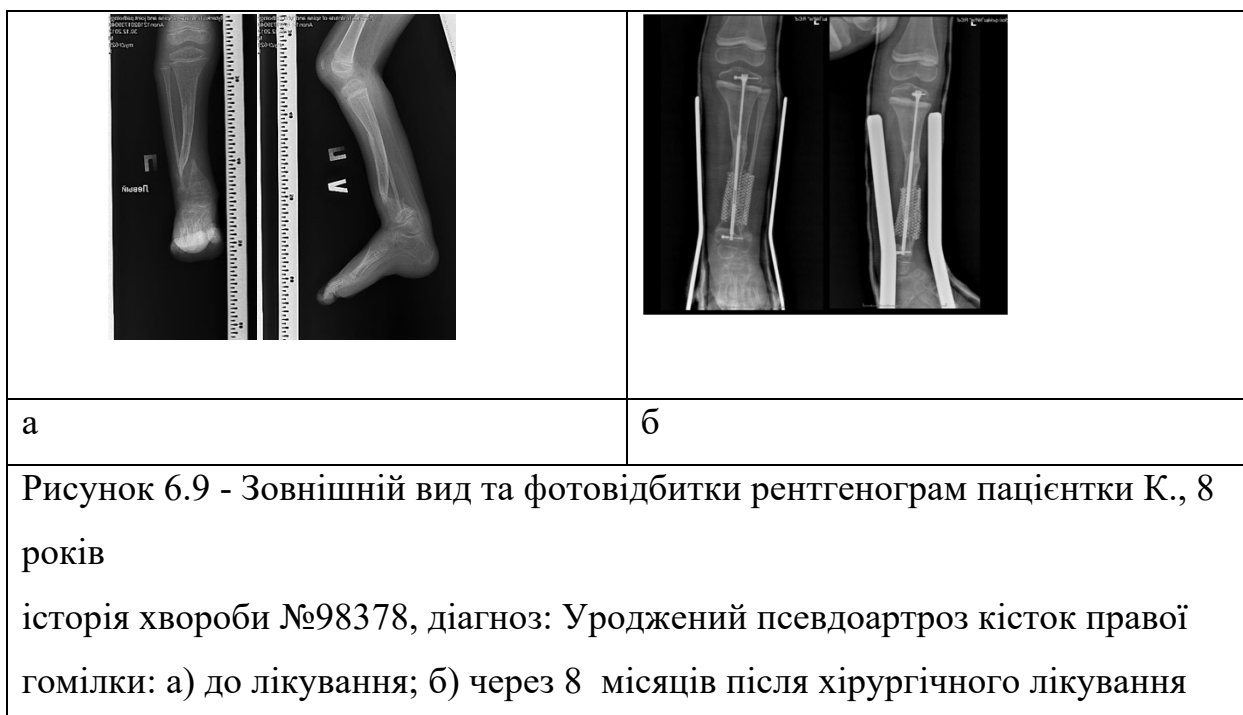


Рисунок 6.8 Алгоритм хіру лікування УПВГК у дітей з локалізацією в с/З



#### 6.4 Аналіз результатів клінічного випробування удосконаленого ІТФ та алгоритму вибору хірургічного лікування УПВГК у дітей

Виконана робота дозволила проаналізувати ефективність використаних методик, визначити найважливіші помилки та ускладнення і удосконалити ІТФ та розробити алгоритм хірургічного лікування УПВГК у дітей. Розроблений алгоритм лікування та пристрої були використані при лікуванні УПВГК у 3 дітей. Клінічні приклади хірургічного лікування УВКГ у дітей представлені на рис. 6.9 та 6.10.





## 6.4 Резюме

Ретроспективний клініко-рентгенологічний аналіз 23 пацієнтів із УПВГК показав наявність типових ортопедичних деформацій ураженої кінцівки (вальгусну деформацію проксимального та дистального відділів гомілки ( $MPTA - (74 \pm 6)^\circ$ ;  $LDTA - (74 \pm 6)^\circ$  ( $p < 0.05$ ). Середнє вкорочення ураженої кінцівки за рахунок сегментів гомілки та стопи складало ( $5 \pm 2$ ) см.

Наявність УПВГК та вторинних деформацій кінцівки призводить до виражених функціональних порушень та зниження якості життя, що відзначено за результатами оцінки за шкалою FAOS.

Хірургічне лікування УПВГК у пацієнтів, які лікувались у відділенні проводилось 3 різними методиками (із застосуванням АЗФ, із застосуванням ІТФ, комбінованим методом ІТФ+АЗФ).

Хірургічне лікування дозволило отримати консолідацію у 19 (82,6 %) пацієнтів. Найбільший відсоток первинних зрощень досягнутий у групі 3, де застосована комбінована методика хірургічного лікування.

Хірургічне лікування УПВГК у дітей супроводжувались значною кількістю ускладнень, що часто потребували хірургічних втручань

Найчастішими видами ускладнень хірургічного лікування були: незрощення, рефрактури, ушкодження елементів метало фіксатору.

Аналіз рентгенограм дозволив відмітити поступову резорбція кісткових ауто трансплантатів, що визначалась у XX % випадків, при цьому у НН (%) асоціювалась із сповільненим зрощенням, або незрощенням УПВГК. Ще однією помилкою хірургічного лікування, що призводила до ускладнень була недостатня адаптація кісткових фрагментів великогомілкової кістки, після резекції кісткових фрагментів. Найчастіше це відбувалось через часткову резекцію змінених склерозованих кінців великогомілкової кістки, що, за наявності інтактною малоюмілкової кістки призводили до появи діастазу (сегментарного дефекту) великогомілкової кістки та зміненої малоюмілкової кістки.

## ВИСНОВКИ

УПКГ – рідкісна (орфанна) ортопедична патологія, хірургічне лікування якої залишається складним та невирішеним питанням.

Численні методики хірургічного лікування, що використовуються для лікування УПКГ супроводжуються великою кількістю ускладнень, серед яких найважливішими є незрощення та рефрактури зони УПКГ. Питання обґрунтування методики хірургічного лікування УПКГ є актуальним та таким, що потребує вирішення.

Ретроспективний клініко-рентгенологічний аналіз 23 пацієнтів із УПКГ показав наявність типових ортопедичних деформацій ураженої кінцівки (вальгусну деформацію проксимального та дистального відділів гомілки (MPTA –  $(74\pm 6)^\circ$ ; LDTA- $(74\pm 6)^\circ$  ( $p < 0.05$ ). Середнє вкорочення ураженої кінцівки за рахунок сегментів гомілки та стопи склало  $5\pm 2$  см.

Наявність УПКГ та вторинних деформацій кінцівки призводить до виражених функціональних порушень та зниження якості життя (доведено оцінкою шкали FAOS).

Хірургічне лікування УПКГ у пацієнтів, які лікувались у відділенні проводилось 3 різними методиками. (із застосуванням АЗФ, із застосуванням ІТФ, комбінованим методом ІТФ+АЗФ)

Хірургічне лікування дозволило отримати консолідацію у 19 (82,6 %) пацієнтів. Найбільший відсоток первинних зрощень досягнутий у групі, де застосована комбінована методика хірургічного лікування.

Найчастішими видами ускладнень хірургічного лікування були: незрощення, рефрактури, ушкодження елементів металофіксатору.

Ретроспективний клініко-рентгенологічний аналіз 23 пацієнтів із УПКГ показав наявність типових ортопедичних деформацій ураженої кінцівки (вальгусну деформацію проксимального та дистального відділів гомілки (MPTA –  $(74\pm 6)^\circ$ ; LDTA- $(74\pm 6)^\circ$  ( $p < 0.05$ ). Середнє вкорочення ураженої кінцівки за рахунок сегментів гомілки та стопи склало  $(5\pm 2)$  см.

Наявність УПКГ та вторинних деформацій кінцівки призводить до виражених функціональних порушень та зниження якості життя (доведено оцінкою шкали FAOS).

Хірургічне лікування УПКГ у пацієнтів, які лікувались у відділенні проводилось 3 різними методиками. (із застосуванням АЗФ, із застосуванням ІТФ, комбінованим методом ІТФ+АЗФ)

Хірургічне лікування дозволило отримати консолідацію у 19 (82,6 %) пацієнтів. Найбільший відсоток первинних зрощень досягнутий у групі, де застосована комбінована методика хірургічного лікування.

Найчастішими видами ускладнень хірургічного лікування були: незрощення, рефрактури, ушкодження елементів металофіксатору.

У всіх хворих на УПКГ до початку лікування спостерігали статистично значуще зниження щільності кортикальної кісткової тканини ушкодженої великогомілкової кістки в порівнянні з контрлатеральною.

В результаті проведеного лікування відмічається наближення щільності кісткової тканини оперованої кінцівки до показників неушкодженої контрлатеральної кістки.

Основна перевага, яку надає стрижень з ротаційною стабільністю при остеосинтезі великогомілкової кістки під впливом навантажень на кручення, є зниження рівня напружень вздовж лінії перелому в проксимальному фрагменті. Нижче лінії перелому напруження залишаються досить високими. Додаткове накладання блоку з кісткових трансплантатів на обидві гомілкові кістки не призводить до значного зниження напружень вздовж лінії перелому великогомілкової кістки. В той же час напруження вище лінії перелому значно знижуються.

Використання розробленого інтрамедулярного ротаційно стабільного стрижня з блокуванням подовжнього руху при стисканні дозволяє значно знизити рівень напружень в малогомілковій кістці та в зоні псевдоартрозу великогомілкової кістки, а також, значно зменшує величини

відносних деформацій кісткового регенерату при всіх варіантах остеосинтезу.

Проведене експериментальне дослідження з КТ оцінкою кісткової щільності та обсягу трансплантатів в зоні кісткової аутопластики штучно створеного сегментарного дефекту великогомілкової кістки за умов виконання різних способів кісткової аутопластики (класична вільна аутопластика та «обгорнута металокісткова аутопластика») при комбінованому остеосинтезі фрагментів кісток (інтрамедулярна спиця+ фіксація LCP фіксація) показало суттєву перевагу «обгорнутої» металокісткової аутопластики.

Розроблено алгоритм комплексного хірургічного лікування уродженого псевдоартрозу кісток гомілки, з урахуванням типу та локалізації зони ураження, характеру супутнього ураження малогомілкової кістки, із диференційованим підходом до різних типів фіксації кісток гомілки та використанням запропонованої методики "обгорнутої" металокісткової аутопластики із титановою сіткою та проведено його апробацію.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pannier S. Congenital pseudarthrosis of the tibia. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011;97(7):750–61. doi:[10.1016/j.otsr.2011.09.001](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.09.001).[CrossRefPubMed](#)
2. Hefti F, Bollini G, Dungal P, Fixsen J, Grill F, Ippolito E, et al. Congenital pseudarthrosis of the tibia: history, etiology, classification, and epidemiologic data. *J Pediatr Orthop B.* 2000;9(1):11–5.[CrossRefPubMed](#)
3. Vander Have KL, Hensinger RN, Caird M, Johnston C, Farley FA. Congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008; 16:228–36. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19507638>.[CrossRefPubMed](#)
4. Shah H, Joseph B, Bvs N, et al. What factors influence union and Refracture of congenital Pseudarthrosis of the tibia? A multicenter long-term study [J]. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(6):e332–7.
5. Campanacci M, Nicoll EA, Pagella P. The differential diagnosis of congenital pseudarthrosis of the tibia. *Int Orthop.* 1981;4:283–8.[PubMed](#)
6. Codivilla A. On the cure of the congenital pseudoarthrosis of the tibia by means of periosteal transplantation. *J Bone Joint Surg Am.* 1906;s2–4:163–169.
7. Ippolito E, Corsi A, Grill F, Wientroub S, Bianco P. Pathology of bone lesions associated with congenital pseudarthrosis of the leg. *J Pediatr Orthop B.* 2000;9:3–10.[CrossRefPubMed](#)
8. Crawford AH. Neurofibromatosis in children. *Acta Orthop Scand* 1986;218:1-60.
9. El-Rosasy MA, Paley D, Herzenberg JE. Congenital pseudarthrosis of the tibia. In: Rozbruch SR, Ilizarov S, eds. *Limb Lengthening and Reconstruction Surgery.* New York: Informa Healthcare; 2007:485–493.
10. Boyd H, Sage F. Congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg.* 1958;40(6):1245–379. Available at: <http://jbjs.org/article.aspx?articleID=13007>. Accessed November 25, 2013.[PubMed](#)

11. Andersen K. Congenital pseudarthrosis of the leg. Late results. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58:657–62. Available at: <http://jbjs.org/article.aspx?articleID=14600>. Accessed December 1, 2013. [PubMed](#)
12. Поздеев А.П., Захарьян Е.А. Особенности течения врожденных ложных суставов костей голени у детей дистрофического и диспластического генеза // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – Т. 2. – № 1. – С. 78–84. [Pozdeev AP, Zakharyan EA. Features of congenital pseudarthrosis of the tibia of dysplastic and neurodystrofi с genesis. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2014
13. Boyd HB. Pathology and natural history of congenital pseudarthrosis of the tibia. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;166:5–13. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7083685>. [PubMed](#)
14. Tudisco C, Bollini G, Dungal P, Fixen J, Grill F, Hefti F, et al. Functional results at the end of skeletal growth in 30 patients affected by congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop B.* 2000;9:94–102. [CrossRefPubMed](#)
15. Morrissy R, Riseborough E, Hall J. Congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 1981;63(3):367–75. Available at: <http://jbjs.org/article.aspx?articleID=13007>. Accessed December 1, 2013. [PubMed](#)
16. Lehman WB, Atar D, Feldman DS, Gordon JC, Grant AD. Congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop B* 2000;9:103-7.
17. Karol LA, Haideri NF, Halliday SE, Smitherman TB, Johnston CE, 2<sup>nd</sup>. Gait analysis and muscle strength in children with congenital pseudarthrosis of the tibia: The effect of treatment. *J Pediatr Orthop* 1998;18:381-6. †
18. Paterson DC, Simonis RB. Electrical stimulation in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 1985;67:454–62. [PubMed](#)
19. Shabtai L, Ezra E, Wientroub S, Segev E. Congenital tibial pseudarthrosis, changes in treatment protocol. *J Pediatr Orthop B.* 2015 Sep;24(5):444-9.

20. Wientroub S, Grill F. Congenital pseudarthrosis of the tibia: Part 1. European Pediatric Orthopaedic Society multicenter study of congenital pseudoarthrosis. *J Pediatr Orthop B* 2000;9:1-2. †
21. Ohnishi I, Sato W, Matsuyama J, Yajima H, Haga N, Kamegaya M, et al. Treatment of congenital pseudarthrosis of the Tibia. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(2):219–24. doi:[10.1097/01.bpo.0000151054.54732.0b](https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000151054.54732.0b).  
[CrossRefPubMed](#)
22. McFarland B. Birth fracture of the tibia. *Br J Surg.* 1939;27:706–712. doi: 10.1002/bjs.18002710809.
23. Pho RWH, Levack B, Satku K, Patradul A. Free vascularized fibular graft in the treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 1985;67(1):64–70
24. Ofluoglu O, Davidson RS, Dormans JP. Prophylactic bypass grafting and long-term bracing in the management of anterolateral bowing of the tibia and neurofibromatosis-1. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(10):2126–34. doi:[10.2106/JBJS.G.00272](https://doi.org/10.2106/JBJS.G.00272).  
[CrossRefPubMed](#)
25. Strong M.L., Wong-Chung J. Prophylactic bypass grafting of the prepseudarthrotic tibia in neurofibromatosis. *J. Pediatr Orthop.* 1991; 11 (6): 757-64.
26. Поздеев А.П., Захарьян Е.А., Виленский В.А. Превентивная костная пластика при лечении латентной формы врожденного ложного сустава костей голени у детей. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2018;3-4:65-70. [https:// doi.org/10.17116/vto201803-04165](https://doi.org/10.17116/vto201803-04165)
27. Paley D, Catagni M, Argnani F, Prevot J. Treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia using the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;280:81–93.
28. Boero S, Catagni M, Donzelli O, Facchini R, Frediani PV. Congenital pseudarthrosis of the tibia associated with neurofibromatosis-1: treatment with Ilizarov's device. *J Pediatr Orthop.* 1997;17(5):675–84.  
[CrossRefPubMed](#)

29. Agashe MV, Song SH, Refai MA, Park KW, Song HR. Congenital pseudarthrosis of the tibia treated with a combination of Ilizarov's technique and intramedullary rodding. *Acta Orthop* 2012;83:515-522.
30. Grill F, Bollini G, Dungl P, Fixsen J, Hefti F, Ippolito E, et al. Treatment approaches for congenital pseudarthrosis of tibia: results of the EPOS multicenter study. European Paediatric Orthopaedic Society (EPOS). *J Pediatr Orthop*. 2000; 9: 75-89.
31. Grill F, Bollini G, Dungl P, Fixsen J, Hefti F, Ippolito E, et al. Treatment approaches for congenital pseudarthrosis of tibia: results of the EPOS multicenter study. European Paediatric Orthopaedic Society (EPOS). *J Pediatr Orthop*. 2000; 9: 75-89.
32. Ghanem I, Damsin J, Carlioz H. Ilizarov technique in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop*. 1997;17(5):685–90. [CrossRefPubMed](#)
33. Charnley J. Congenital pseudarthrosis intramedullary of the tibia nail treated by the intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am*. 1956;38(2):283–90. [PubMed](#)
34. Johnston CE, 2<sup>nd</sup>. Congenital pseudarthrosis of the tibia: Results of technical variations in the charnley-williams procedure. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A:1799-810.
35. Paley D. Congenital pseudarthrosis of the tibia: combined pharmacologic and surgical treatment using bisphosphonate intravenous infusion and bone morphogenic protein with periosteal and cancellous autogenous bone grafting, tibio-fibular cross union, intramedullary. In: Zorzi A, editor. *Bone grafting*. Vienna, Austria: InTech; 2012. doi:[10.5772/31149](#).
36. Cebrián JL, Gallego P, Francés A, Sánchez P, Manrique E, Marco F, et al. Comparative study of the use of electromagnetic fields in patients with pseudoarthrosis of tibia treated by intramedullary nailing. *Int Orthop*. 2010;34:437–40. doi:[10.1007/s00264-009-0806-1](#). [CrossRefPubMedPubMedCentral](#)

37. Zhu GH, Mei HB, He RG, et al. Combination of intramedullary rod, wrapping bone grafting and Ilizarov's fixator for the treatment of Crawford type IV congenital pseudarthrosis of the tibia: mid-term follow up of 56 cases. *BMC Musculoskelet Disord* 2016;17:443.
38. Zhu GH, Mei HB, He RG, et al. Effect of distraction osteogenesis in patient with tibial shortening after initial union of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia (CPT): a preliminary study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:216. doi: 10.1186/s12891-015-0680-5.
39. Kim HW, Weinstein SL. Intramedullary fixation and bone grafting for congenital pseudarthrosis of the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 2002;405:250-7.
40. Charnley J. Congenital pseudarthrosis of the tibia treated by intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 1956;38-A:283-90.
41. Umber JS, Moss SW, Coleman SS. Surgical treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 1982;166:28-33.
42. Iamaguchi RB, Fucs PMMB, Carlos DCA, Chakkour I, Gomes MD. Congenital pseudoarthrosis of the tibia – results of treatment by free fibular transfer and associated procedures – preliminary study. *J Pediatr Orthop B*. 2011;20(5):323–9. doi:[10.1097/BPB.0b013e328347a361](https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e328347a361).[CrossRefPubMed](#)
43. Weiland AJ, Weiss A, Moore J, Tolo V. Vascularized fibular grafts in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72(5):654–62.[PubMed](#)
44. Dormans J, Krajbich J, Zuker R, Demuynek M. Congenital pseudarthrosis of the tibia: treatment with free vascularized fibular grafts. *J Pediatr Orthop*. 1990;10:623
45. El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM. Telescoping vascularized fibular graft: a new method for treatment of congenital tibial pseudarthrosis with severe shortening. *J Pediatr Orthop B* 2004;13:48-56.

46. Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthop Clin North Am.* 2010;41(1):27–37. table of contents. doi:[10.1016/j.ocl.2009.07.011](https://doi.org/10.1016/j.ocl.2009.07.011).[CrossRefPubMed](#)
47. Westberry DE, Carpenter AM, Tisch J, Wack LI. Amputation outcomes in congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop* 2018;38:e475-e481.
48. Wagner FW Jr. Amputations of the foot and ankle. Current status. *Clin Orthop Relat Res* 1977;122:62-9.
49. Harris, R. 1.: Syme amputation. *J. Bone Joint Surg.* 38B:614. 1956.
50. McCarthy RE. Amputation for congenital pseudarthrosis of the tibia. Indications and techniques. *Clin Orthop Relat Res* 1982;4:58-61.
51. Van Ness. C. P.: Congenital pseudarthrosis of the leg. *J. Bone Joint Surg.* 48A:1467, 1966.
52. Guille JT, Kumar SJ, Shah A. Spontaneous union of a congenital pseudarthrosis of the tibia after Syme amputation. *Clin Orthop Relat Res* 1998;351:180-185.
53. Jacobsen, S T; Crawford, A H; Millar, E A; Steel, H H. The Syme amputation in patients with congenital pseudarthrosis of the tibia. *JBJS: [Apr 1983 - Volume 65 - Issue 4 - p 533-537](#)*
54. Masserman RL, Peterson HA, Bianco AJ Jr. Congenital pseudarthrosis of the tibia: a review of the literature and 52 cases from the Mayo Clinic. *Clin Orthop Relat Res.* 1974;99:140–145.
55. Guille JT, Kumar SJ, Shah A. Spontaneous union of a congenital pseudarthrosis of the tibia after Syme amputation. *Clin Orthop Relat Res* 1998;351:180-185.
56. Kesireddy N, Kheireldin RK, Lu A, et al. Current treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia:a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr Orthop B.* 2018;27(6):541–50.
57. Shah H, Joseph B, Siddesh ND. Congenital pseudarthrosis of the tibia treated by intramedullary rodding and cortical bone grafting-A followup study at skeletal maturity. *J Pediatr Orthop* 2011;31:79-88.

58. Cho TJ, Seo JB, Lee HR, Yoo WJ, Chung CY, Choi IH. Biologic characteristics of fibrous hamartoma from congenital pseudarthrosis of the tibia associated with neurofibromatosis type 1. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90:2735-44.
59. Keret D, Bollini G, Dungal P, Fixsen J, Grill F, Hefti F, *et al.* The fibula in congenital pseudoarthrosis of the tibia: The EPOS multicenter study. *J Pediatr Orthop B* 2000;9:69-74
60. O'Donnell, Courtney MD; Foster, James MD; Mooney, Ryan PA-C; Beebe, Corey MS; Donaldson, Nathan DO; Heare, Travis MD. Congenital Pseudarthrosis of the Tibia/ JBJS Reviews: [April 18, 2017 - Volume 5 - Issue 4 - e3](#)/doi:10.2106/JBJS.RVW.16.00068.
61. Захарьян Е.А. Комплексное лечение деформаций нижней конечности у пациентов с врожденным ложным суставом костей голени: Дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2017. [Zakhar'yan EA. Kompleksnoe lechenie deformatsiy nizhney konechnosti u patsientov s vrozhdennym lozhnym sustavom kostey goleni. [dissertation] Saint Peterburg; 2017. (In Russ.)]
62. Kristiansen LP, Steen H, Terjesen T. Residual challenges after healing of congenital pseudarthrosis in the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 2003;414:228-37
63. Kanaya K, Wada T, Kura H, Yamashita T, Usui M, Ishii S. Valgus deformity of the ankle following harvesting of a vascularized fibular graft in children. *J Reconstr Microsurg* 2002;18:91-6.
64. Маркс В.О. Ортопедическая диагностика. Мн.: Наука и техника, 1978. — 512 с.
65. Gutmann DH, Aylsworth A, Carey JC, Korf B, Marks J, Pyeritz RE, *et al.* The diagnostic evaluation and multidisciplinary management of neurofibromatosis 1 and neurofibromatosis 2. *JAMA* 1997;278:51-7.
66. Виленский В.А., Захарьян Е.А., Поздеев А.А., и др. Лечение детей с врожденными деформациями длинных костей нижних конечностей

- путем последовательного использования управляемого роста и чрескостного остеосинтеза (предварительное сообщение) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 12
67. Free Online Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) Calculator – OrthoToolKit - <https://orthotoolkit.com/faos/>.
68. Paley D. Principles of deformity correction. Exercise Workbook. New York: Springer-Verlag; 2002. Normal lower limb alignment and joint orientation. Ed by D. Paley. Principles of Deformity Correction. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 2005. P. 1-18.
69. Burghardt RD, Herzenberg JE. Temporary hemiepiphysiodesis with the eight-plate for angular deformities: mid-term results. J Orthop Sci. 2010;15(5):699-704. doi: 10.1007/s00776-010-1514-9.
70. Mahnken AH, Staatz G, Hermanns B, Gunther RW, Weber M. Congenital pseudarthrosis of the tibia in pediatric patients: MR imaging. AJR Am J Roentgenol. 2001;177:1025–9. [CrossRefPubMed](#)
71. Danino B, Rodl R, Herzenberg JE, et al. Guided growth: preliminary results of a multinational study of 967 physes in 537 patients. J Child Orthop. 2018;12(1):91-96. doi: 10.1302/1863-2548.12.170050.
72. Choi IH, Cho TJ, Moon HJ. Ilizarov treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia: a multi-targeted approach using the Ilizarov technique. Clin Orthop Surg. 2011;3(1):1-8. doi: 10.4055/cios.2011.3.1.1.
73. Д.В. Єршов, С.О. Хмизов, В.С. Рокутов. Діагностика передчасного закриття наросткової зони довгих кісток у дітей// [Радіологічний вісник](#). - 2017. - №1-2. – С. 65-66.
74. Korolkov O., Rakhman P., Karpinsky M., Shishka I., Yaresko O. Assessment of stress-strain distribution in flatfoot deformity (part 1). Orthopaedics,

- Traumatology and Prosthetics. 2017; 4: 80-84. DOI: 10.15674/0030-59872017480-84
75. Bone mechanics handbook. edited by Stephen C. Cowin. CRC Press Reference. 2001.
76. Vidal-Lesso A., Ledesma-Orozco E., Daza-Benítez L., Lesso-Arroyo R. Mechanical Characterization of Femoral Cartilage Under Unicompartimental Osteoarthritis. *Ingeniería Mecánica Tecnología Y Desarrollo*. 2014; 4 (6): 239 – 246.
77. Boccaccio A., Pappalettere C. *Mechanobiology of Fracture Healing: Basic Principles and Applications in Orthodontics and Orthopaedics*. Theoretical Biomechanics. Dr Vaclav Klika (Ed.). (2011).
78. Vasyuk V.L., Koval O.A., Karpinsky M.Yu., Yaresko O.V. Mathematical modeling of options for osteosynthesis of distal tibial metaphyseal fractures type C1. *Trauma*. 2019; 20 (1): 37-46. DOI: 10.22141/1608-1706.1.20.2019.158666
79. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. *Марочник сталей и сплавов*. Под ред. В. Г. Сорокина. Москва: Машиностроение; 1989. 640 с.
80. Зенкевич О.К. *Метод конечных элементов в технике*. Москва: Мир; 1978. 519с.
81. Алямовский А.А. *SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов*. Москва: ДМК Пресс; 2004. 432 с.
82. Shannon, C.E.; Huser, A.J.; Paley, D. Cross-Union Surgery for Congenital Pseudarthrosis of the Tibia. *Children* 2021,8,547. <https://doi.org/10.3390/children8070547>
83. Hefti, F.; Bollini, G.; Dungal, P.; Fixsen, J.; Grill, F.; Ippolito, E.; Romanus, B.; Tudisco, C.; Wientroub, S. Congenital Pseudarthrosis of the Tibia: History, Etiology, Classification, and Epidemiologic Data. *J. Pediatric Orthop. Part B* 2000, 9, 11–15.

84. Shah, H.; Joseph, B.; Nair, B.V.S.; Kotian, D.B.; Choi, I.H.; Richards, B.S.; Johnston, C.; Madhuri, V.; Dobbs, M.B.; Dahl, M. What Factors Influence Union and Refracture of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia? A Multicenter Long-term Study. *J. Pediatric Orthop.* 2018, 38, e332–e337.
85. Khmyzov S.O., Katsalap Ye.S., Karpinsky M.Yu., Yaresko O.V. Mathematical modeling of osteosynthesis of the lower leg bones during their congenital pseudarthrosis in the middle third. *Bulletin of problems in biology and medicine.* 2020, 4 (158), 239-246.

## ДОДАТОК А

### Оцінка стану стопи та гомілковостопного суглобу» (FAOS)

#### I. Симптоми

Відповідайте на ці запитання, думаючи про симптоми коліна протягом останнього тижня.

S1. У вас є набряк стопи / гомілковостопного суглобу?

S2. Чи чуєте ви клацання або будь-який інший тип шуму при русі стопою / гомілковостопним суглобом?

S3. Ваша стопа / гомілковостопний суглоб турбує під час руху?

S4. Чи можете ви випрямити стопу / гомілковостопний суглоб повністю?

S5. Чи можете ви повністю зігнути стопу / гомілковостопний суглоб?

S6. Наскільки вираженим є обмеження рухів у стопі / гомілковостопному суглобі після пробудження вранці?

S7. Наскільки вираженим є обмеження рухів у стопі / гомілковостопному суглобі після сидіння, лежання або відпочинку на протязі дня

Оцінка за шкалою симптомів:

#### II. Біль

P1. Як часто ви відчуваєте біль у стопі / гомілковостопному суглобі?

Який рівень болю в стопі / гомілковостопному суглобі ви відчували за останній тиждень під час наступних рухів?

P2. Скручування / поворот стопи / гомілковостопного суглобу

P3. Випрямлення стопи / гомілковостопного суглобу повністю

P4. Згинання стопи / гомілковостопного суглобу повністю

P5. Ходьба по рівній поверхні

P6. Підйом або спуск сходами

P7. Вночі, перебуваючи в ліжку

P8. Сидячи або лежачи

P9. Стоячи

### III. Функція, повсякденне життя

У цьому розділі описується здатність пересуватися і доглядати за собою. Для кожного з наступних видів діяльності:

потрібно вказати ступінь труднощів, які виникли за останній тиждень через стопу / гомілковостопний суглоб

A1. Спуск по сходах

A2. Підйом по сходах

A3. Піднявшись після сидіння

A4. Стоячи

A5. Нахилившись до підлоги / підняти предмет

A6. Ходьба по рівній поверхні

A7. Сідання / вихід з машини

A8. Похід за покупками

A9. Надягаючи шкарпетки / панчохи

A10. Піднімаючись з ліжка

A11. Знімаючи шкарпетки / панчохи

A12. Лежачи в ліжку (перевертаючись, зберігаючи положення стопи / гомілковостопного суглоба

A13. Вхід / вихід з ванни

A14. Сидячи

A15. Сідаєте / встаєте з унітазу

A16. Важкі домашні обов'язки (переміщення важких предметів, миття підлоги тощо)

A17. Легкі домашні обов'язки (приготування їжі, витирання пилу тощо)

Оцінка за шкалою щоденного життя:

### IV. Функціональні, спортивно-оздоровчі заходи

У цьому розділі описується активність високого рівня.

Необхідно вказати ступінь труднощів, які ви відчуваєте напротязі останнього тижня через стопу / гомілковостопний суглоб.

SP1. Присідання

SP2. Біг

SP3. Стрибки

SP4. Скручування / обертання на пошкодженій стопі / щиколотці

SP5. На колінах

Підрахунок балів для спорту та відпочинку:

V. Якість життя

Q1. Як часто ви згадуєте про проблему зі стопою / гомілковостопним суглобом?

Q2. Чи не змінили ви свій спосіб життя, щоб уникати діяльність, яка може завдати шкоди вашій стопі / гомілковостопному суглобу?

Q3. Наскільки вас турбує відсутність стійкості в стопі / гомілковостопному суглобі?

Q4. Взагалі, скільки виникає труднощів у вас зі стопою / гомілковостопним суглобом?