

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ РЕЦЕНЗОВАНИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ



Том 25, № 4, 2024

Травма

www.mif-ua.com



Том 25, № 4, 2024

Травма

ZASLAVSKY[®]
Publishing house

ЦЕНТР ЛІКУВАННЯ СКОЛІОЗУ



AKSAMED
КЛІНІКА СУЧАСНОЇ НЕВРОЛОГІЇ

(044) 390 0055
AKSAMED.UA

Ліцензія МОЗ України серія АГ №599054 від 21.11.2011 р.

САМОЛІКУВАННЯ МОЖЕ БУТИ ШКІДЛИВИМ ДЛЯ ВАШОГО ЗДОРОВ'Я

Міністерство охорони здоров'я України
Донецький національний медичний університет
Науково-дослідний інститут травматології та ортопедії
Асоціація ортопедів-травматологів України

Ministry of Health Service of Ukraine
Donetsk National Medical University
Research and Development Institute of Traumatology and Orthopedics
Association of Traumatologist and Orthopedists of Ukraine

Травма

TRAUMA

Travma

Спеціалізований рецензований науково-практичний журнал
Заснований у 2000 році
Періодичність виходу 6 разів на рік

Том 25, № 4, 2024

Specialized reviewed practical scientific journal
Founded in 2000 year
Periodicity 6 numbers per year

Volume 25, № 4, 2024

Включений в наукометричні і спеціалізовані бази даних

Scopus,

НБУ ім. В.І. Вернадського, «Україніка наукова», «Наукова періодика України»,
Ulrichsweb Global Serials Directory, CrossRef, WorldCat, Google Scholar, ICMJE, SHERPA/RoMEO, BASE,
NLM-catalog, NLM-Locator Plus, EBSCO, OUCI



mif-ua.com



Open Journal System

Травма

Travma

Спеціалізований рецензований
науково-практичний журнал

Том 25, № 4, 2024

ISSN 1608-1706 (print),
ISSN 2307-1397 (online)

Передплатний індекс: 96022



Засновник журналу:
Донецький національний медичний
університет

Адреса редакції:

E-mail: medredactor.vdz@gmail.com
(Тема: До редакції журналу «Травма»)
Телефон: +38 (067) 325-10-26
www.mif-ua.com, http://trauma.zaslavsky.com.ua

Електронні адреси для звертань
З питань публікації статей
fedorklimovitskiy@gmail.com
medredactor.vdz@gmail.com

З питань передплати
info@mif-ua.com
тел.: +38 (067) 325-10-26

З питань розміщення реклами
та інформації про лікарські засоби
v_iliyna@ukr.net

Журнал внесено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Наказ МОН України від 26.11.2020 № 1471. Категорія Б.

Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою Донецького національного медичного університету, протокол № 5 від 29.10.2024 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 15994-4466Р. Видано Міністерством юстиції України 02.11.2009 р.

Українською та англійською мовами

Формат: 60×84/8. Ум. друк. арк. 8,37.
Тираж 8000 прим. Зам. 2024-trauma-123.

Видавець Заславський О.Ю.
zaslavsky@i.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2128 від 13.05.2005

Друк: ТОВ «Ландпресс»

Головний редактор

Климовицький Федір Володимирович
(Лиман, Україна)

Заступник головного редактора

Чорний Володимир Сергійович
(Київ, Україна)

Відповідальний секретар

Гузовська М.Д. (Краматорськ, Україна)

Редакційна колегія

Бондаренко С.Є. (Харків, Україна),
Бур'янов О.А. (Київ, Україна),
Головач І.Ю. (Київ, Україна),
Зазірний І.М. (Київ, Україна),
Страфун С.С. (Київ, Україна),
Тяжелов О.А. (Харків, Україна),
Філіпенко В.А. (Харків, Україна),
Чернишова О.Є. (Краматорськ, Україна),
Hagen Schmal (Фрайбург-ім-Брайсгау,
Німеччина),
Robert Smigielski (Варшава, Польща),
Francesco Benazzo (Павія, Італія)

Редакційна рада

Анкін М.Л. (Київ, Україна),
Головаха М.Л. (Запоріжжя, Україна),
Гур'єв С.О. (Київ, Україна),
Климовицький Р.В. (Лиман, Україна),
Король С.О. (Київ, Україна),
Левицький А.Ф. (Київ, Україна),
Піонтковський В.К. (Рівне, Україна),
Сулима В.С. (Івано-Франківськ, Україна),
Сухін Ю.В. (Одеса, Україна),
Філь А.Ю. (Львів, Україна),
Ярмолюк Ю.О. (Київ, Україна)

Редакція не завжди поділяє думку автора публікації. Відповідальність за вірогідність фактів, власних імен та іншої інформації, використаної в публікації, несе автор. Передрук та інше відтворення в якій-небудь формі в цілому або частково статей, ілюстрацій або інших матеріалів дозволені тільки при попередній письмовій згоді редакції та з обов'язковим посиланням на джерело. Усі права захищені.

© Донецький національний медичний університет, 2024
© НДІ травматології та ортопедії Донецького національного медичного університету, 2024
© Заславський О.Ю., 2024

Травма

Travma

Specialized reviewed
practical scientific journal

Volume 25, № 4, 2024

ISSN 1608-1706 (print),
ISSN 2307-1397 (online)

Subscription index: 96022 (in Ukraine)



Founder:

**Donetsk National Medical
University**

Editorial office address:

E-mail: medredactor.vdz@gmail.com

(Subject: Editorial board of the «Trauma» Journal)

Tel.: +38 (067) 325-10-26

www.mif-ua.com, <https://trauma.zaslavsky.com.ua>

Correspondence addresses

Editorial office address

fedorklimovitskiy@gmail.com

medredactor.vdz@gmail.com

Subscription department

info@mif-ua.com

tel. +38 (067) 325-10-26

**Advertising and Drug
Promotion Department**

v_iliyna@ukr.net

The journal is included in the list of scientific periodicals of Ukraine, which can publish the results of dissertations on competition of the scientific degrees of doctor and candidate of sciences. Order of the MES of Ukraine dated 26.11.2020 No. 1471. Category B

Recommended for publication and distribution over the Internet by the scientific council of the Donetsk National Medical University, protocol No. 5 dated 29.10.2024

Registration Certificate: KB № 15994-4466 P. Issued by the Ministry of Justice of Ukraine 02.11.2009

In Ukrainian and English

Folio: 60×84/8. Printer's sheet 8,37

Circulation 8000. Order 2024-trauma-123

Publisher Zaslavsky O.Yu.

zaslavsky@i.ua

Publishing entity certificate

ДК № 2128 dated 13.05.2005

Print: Landpress Ltd.

Editor-in-Chief

Klymovytsky Fedir

(Lyman, Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief

Chorny Volodymyr

(Kyiv, Ukraine)

Executive Secretary

Huzovska Maria (Kramatorsk, Ukraine)

Editorial Board

Bondarenko S.Y. (Kharkiv, Ukraine),

Burianov O.A. (Kyiv, Ukraine),

Golovach I.Yu. (Kyiv, Ukraine),

Zazirny I.M. (Kyiv, Ukraine),

Strafun S.S. (Kyiv, Ukraine),

Tyazhelov Olexiy (Kharkiv, Ukraine),

Filipenko V.A. (Kharkiv, Ukraine),

Chernyshova O.Y. (Kramatorsk, Ukraine),

Hagen Schmal (Freiburg im Breisgau, Germany),

Robert Smigielski (Warszawa, Poland),

Francesco Benazzo (Pavia, Italia)

Editorial Council

Ankin M.L. (Kyiv, Ukraine),

Golovaha M.L. (Zaporizhzhia, Ukraine),

Guryev S.O. (Kyiv, Ukraine),

Klymovytsky R.V. (Lyman, Ukraine),

Korol S.O. (Kyiv, Ukraine),

Levitsky A.F. (Kyiv, Ukraine),

Piontkovsky V.K. (Rivne, Ukraine),

Sulyma V.S. (Ivano-Frankivsk, Ukraine),

Sukhin Y.V. (Odesa, Ukraine),

Fil A.Y. (Lviv, Ukraine),

Yarmoliuk Y.O. (Kyiv, Ukraine)

The editorial board not always shares the author's opinion. The author is responsible for the significance of the facts, proper names and other information used in the paper. No part of this publication, pictures or other materials may be reproduced or transmitted in any form or by any means without permission in writing form with reference to the original. All rights reserved.

© Donetsk National Medical University, 2024
© Research and Development Institute of Traumatology and Orthopedics of Donetsk National Medical University, 2024
© Zaslavsky O.Yu., 2024

Зміст

Contents

Оригінальні дослідження

Original Researches

Бур'янов О.А., Омельченко Т.М.

Ін'єкційні SYSADOA в системі лікування
післятравматичного остеоартриту 7

O.A. Burianov, T.M. Omelchenko

Injectable SYSADOA in the treatment
of post-traumatic osteoarthritis 7

Балан В.С., Кравчук Л.Д., Фіщенко Я.В.

Клінічне порівняння односторонньої
біпортальної ендоскопічної техніки
з інтерламінарною мікродискектомією
при однорівневій поперековій дискектомії:
проспективне дослідження 14

V.S. Balan, L.D. Kravchuk, I.V. Fishchenko

Clinical comparison of unilateral biportal
endoscopic technique with interlaminar
microdiscectomy for single-level
lumbar discectomy:
a prospective study 14

Черватюк М.С., Фіщенко Я.В.

Ефективність комбінованого фармакологічного
лікування у пацієнтів з дискогенним больовим
синдромом поперекового відділу хребта
при дегенеративно-дистрофічних
захворюваннях 21

M.S. Chervatiuk, I.V. Fishchenko

Effectiveness of combined
pharmacological treatment
in patients with lumbar discogenic
pain in degenerative dystrophic
diseases 21

Рушай А.К., Ковальчук Д.Ю., Байда М.В.

Конструктивні удосконалення
кістково-транспортної техніки
під час лікування дефектів
великогомілкової кістки 26

A.K. Rushai, D.Yu. Kovalchuk, M.V. Baida

Constructive improvements
of bone transport technique
in the treatment
of tibial defects 26

Гайко Г.В., Костогриз О.А., Сулима О.М.,
Калашніков О.В., Підгаєцький В.М.,
Осадчук Т.І., Заєць В.Б.

Вплив факторів ризику на результати
ревізійного ендопротезування
колінного суглоба 32

G.V. Gayko, O.A. Kostogryz, O.M. Sulyma,
O.V. Kalashnikov, V.M. Pidgaetskyi,
T.I. Osadchuk, V.B. Zaiets

Influence of risk factors
on the results of revision knee
replacement 32

Головіна Я.О., Малик Р.В., Карпінський М.Ю.

Кореляція даних рентгенологічної
щільності кісткової тканини у разі
сегментарної алопластики кісток *in vivo*
та у пацієнтів 43

Ya.O. Golovina, R.V. Malyk, M.Yu. Karpinsky

Correlation of radiographic
bone density data in segmental
bone alloplasty *in vivo* and
in patients 43

<i>Павлов О.Д., Павлова О.О., Мальцева В.Є., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д.</i>	<i>O.D. Pavlov, O.O. Pavlova, V.Ye. Maltseva, M.Yu. Karpinsky, O.D. Karpinska</i>
Експериментальне дослідження міцності накісткових пластин з композитного матеріалу на основі полілактиду, трикальційфосфату та гідроксилапатиту 52	Experimental study of the strength of bone plates made of composite material based on polylactide, tricalcium phosphate and hydroxylapatite 52
<i>Авер'янов Є.В., Шкрєбко В.О.</i>	<i>Ye.V. Averianov, V.O. Shkrebko</i>
Особливості гемостазу в пацієнтів з гемофілічною артропатією колінного суглоба у періопераційному періоді 56	Features of hemostasis in patients with hemophilic arthropathy of the knee joint in the perioperative period 56
<i>Бур'янов О.А., Кваша В.П., Чекушин Д.А., Соколевський Ю.Л., Карпінський М.Ю., Яреско О.В.</i>	<i>O.A. Burianov, V.P. Kvasha, D.A. Chekushyn, Yu.L. Sobolevskiy, M.Yu. Karpinsky, O.V. Yaresko</i>
Аналіз напружено-деформованого стану надплечово-ключичного суглоба при ушкодженні зв'язок дзьобо-ключичного з'єднання та різних способах фіксації 63	Analysis of the stress-strain state of the suprahumeral-clavicular joint in case of damage to the coracoclavicular ligament and various methods of fixation 63
<i>Нехлопочин О.С., Вербов В.В., Чешук Є.В., Карпінський М.Ю., Яреско О.В.</i>	<i>O.S. Nekhlepochyn, V.V. Verbov, Ye.V. Cheshuk, M.Yu. Karpinsky, O.V. Yaresko</i>
Скінченно-елементний аналіз варіантів транспедикулярної фіксації ділянки груднопоперекового переходу з вибуховим переломом хребця Th12 при нахилі тулуба назад 74	Finite element analysis of transpedicular fixation options in the thoracolumbar junction with a burst fracture of the Th12 vertebra during trunk extension 74

РУХ НА КРАЩЕ



В/М 1 РАЗ НА ДОБУ КУРСОМ 10 ДІБ*

В/М 3 РАЗИ НА ТИЖДЕНЬ КУРСОМ 6 ТИЖНІВ

* Бур'янов О.А., Омельченко Т. Ін'єкційні SYSADOA в системі лікування післятравматичного остеоартриту. Травма. 2024. Т. 25. № 4.

Інформація призначена для професійної діяльності медичних і фармацевтичних працівників, а також для розповсюдження на семінарах та конференціях. Повна інформація про лікарські засоби міститься в інструкціях для медичного застосування препаратів.

Бур'янов О.А., Омельченко Т.М.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця МОЗ України, м. Київ, Україна

Ін'єкційні SYSADOA в системі лікування післятравматичного остеоартриту

Резюме. Актуальність. Незважаючи на неоднозначність і дискусійність сучасних поглядів на застосування у базисній терапії остеоартриту препаратів SYSADOA (Symptomatic Slow Acting Drugs in Osteo-Arthritis), у численних дослідженнях було показано, що раннє призначення цих препаратів є безпечним та ефективним, а в поєднанні з протизапальним лікуванням дає кращий результат і дозволяє запобігти дегенеративному й запальному пошкодженню суглобового хряща. Існують вимоги до SYSADOA для включення їх до рекомендацій і протоколів лікування остеоартриту, дані препарати повинні бути зареєстрованими лікарськими засобами (рецептурними фармакологічними препаратами) з відповідною сертифікацією щодо складу, якості й безпечності при тривалому застосуванні, використанні в пацієнтів з мультиморбідністю, а також при прийомі з іншими ліками. Форма випуску повинна забезпечувати найкращий комплаєнс.

Мета: оцінити клінічну ефективність і безпеку застосування ін'єкційної форми SYSADOA, а саме глюкозаміну сульфату, у лікуванні пацієнтів з післятравматичним остеоартрозом надп'яtkово-гомілкового суглоба ранніх стадій (I-II за Келлгреном і Лоуренсом) після хірургічного лікування з приводу переломів кісточок гомілки давністю від 6 місяців до 2 років. **Матеріали та методи.** Проведене клінічне дослідження за дизайном є порівняльним проспективним контрольованим у паралельних групах з рівнем доказовості IIb. Пацієнти основної групи (N1 = 20) були оперовані з приводу травми і мали рентгенологічно й клінічно підтверджений діагноз: післятравматичний остеоартроз надп'яtkово-гомілкового суглоба I-II стадії (за Келлгреном і Лоуренсом). З метою ліквідації явищ загострення остеоартрозу пацієнтам призначався курс нестероїдних протизапальних препаратів (НПЗП) із застосуванням внутрішньом'язового введення мелоксикаму 1,5 мл 1 раз на добу 10 діб. У подальшому призначали внутрішньом'язове введення глюкозаміну сульфату (ампули 200 мг/мл, 2,0 мл) 400 мг 3 рази на тиждень курсом 6 тижнів. У групі порівняння (N2 = 20) пацієнтам був призначений лише аналогічний щодо основної групи курс протизапального лікування із застосуванням НПЗП упродовж 10 діб, а в подальшому проводилися лише спостереження й оцінка функціонального стану ураженого суглоба. Результати лікування оцінювали клінічно через 10 діб і 2 місяці від початку лікування за динамікою зменшення больового синдрому за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) і функціональним станом надп'яtkово-гомілкового суглоба (AOFAS), а також на підставі обліку частоти небажаних проявів і побічних реакцій у групах спостереження. **Результати.** Через 2 тижні інтенсивність больового синдрому за ВАШ у групі N1 становила $18,7 \pm 3,2$, а в групі N2 — $19,1 \pm 2,9$ ($p > 0,1$). Через 2 місяці співвідношення груп N1/N2 становило $12,2 \pm 2,3$ проти $17,9 \pm 1,9$ ($p < 0,05$). Функціональний стан надп'яtkово-гомілкового суглоба, оцінений за AOFAS, через 2 тижні в групі N1 становив $78,7 \pm 2,3$ бала проти $79,1 \pm 2,6$ бала в групі N2 ($p > 0,1$). Через 2 місяці оцінка за AOFAS у групах N1 і N2 становила $91,7 \pm 2,6$ бала проти $79,4 \pm 3,2$ бала відповідно ($p < 0,05$). Негативних наслідків, що пов'язані з внутрішньом'язовим введенням препаратів мелоксикам і глюкозаміну сульфат, не було зафіксовано. **Висновки.** У пацієнтів з ранніми стадіями післятравматичного остеоартриту надп'яtkово-гомілкового суглоба 6-тижневий курс лікування із застосуванням ін'єкційної форми глюкозаміну сульфату забезпечує ефективне зменшення больового синдрому і поліпшення функції. Аналіз побічних реакцій після застосування комбінації НПЗП та ін'єкційної форми SYSADOA показав відсутність побічних реакцій у групі клінічного спостереження за умови дотримання рекомендованих дози і режиму застосування, а також урахування і профілактики гастроінтестинальних і кардіоваскулярних ризиків.

Ключові слова: післятравматичний остеоартроз; надп'яtkово-гомілковий суглоб; глюкозаміну сульфат

Вступ

Післятравматичний остеоартрит (ОА) є найбільш вивченим різновидом вторинного остеоартриту, поширеність якого у світі є високою. Прогнози щодо подальшого зростання захворюваності вказують на те, що в найближчі 20–30 років відбудеться суттєвий приріст пацієнтів молодого віку, а також частки пацієнтів з тяжкими стадіями ОА [1–3]. Одна з дефініцій остеоартриту визначає цю патологію як «болючий дегенеративний процес, що включає прогресуюче погіршення всіх структур суглоба і зміну структури субхондральної кістки, і первинно це не внаслідок запалення» (Block, Rheumatology, 2018, 7th ed., Hochberg et al., eds) [4, 5]. У переважній більшості випадків у даний патологічний процес залучені всі тканини суглоба, включно із суглобовим хрящем, субхондральною кісткою та синовією, але первинні дегенеративні зміни відбуваються саме в суглобовому хрящі [1–4, 6–8]. Численні наукові роботи акцентують увагу на складному й багатофакторному патогенезі ОА, висвітлюють переважання катаболічних процесів у метаболізмі хондроцитів над анаболічними, пояснюють регульовану загибель клітин і зміну їх фенотипу, а саме гіпертрофію та старіння, вказують на прискорення деградації колагенових волокон і протеогліканів міжклітинного матриксу через зниження їх біосинтезу хондроцитами й прискорене руйнування внаслідок накопичення катаболічних ферментів, таких як колагеназа і стромелізін [1–3, 10, 11]. Автори звертають увагу, що для післятравматичного ОА, окрім травми, особливе значення має запалення. Саме воно є одним з провідних факторів розвитку і швидкого прогресування дегенерації суглобового хряща. Прогресування ОА обумовлює страждання пацієнтів від хронічного болю і є провідною причиною втрати функціональної активності й інвалідності серед літніх людей [10–14].

При лікуванні пацієнтів з ОА для контролю над запаленням і болем препаратами вибору є парацетамол і нестероїдні протизапальні препарати (НПЗП), а для тривалої базисної терапії на ранніх стадіях ОА найбільш вивченими, безпечними і широко застосованими у світі залишаються препарати групи SYSADOA (Symptomatic Slow Acting Drugs in Osteo-Arthritis), до яких належать сполуки глюкозаміну, хондроїтину, гіалуронової кислоти, діасереїні, сполуки на основі авокадо та сої. У наукових публікаціях показано, що ці медикаментозні засоби мають анальгетичну, протизапальну і трофічну дію на суглобовий хрящ, зменшують необхідність застосування нестероїдних протизапальних засобів, що знижує ризик виникнення в даній категорії пацієнтів НПЗП-асоційованих ускладнень [11–16]. При лікуванні ОА у фазі загострення, за наявності реактивного синовіту або помірно вираженого артрозо-артриту на першому етапі застосовують курс протизапального лікування, що передбачає першочергове призначення переважно НПЗП різних груп, а в подальшому застосовують курс базисного хондрометаболічного лікування. Незважаючи на неоднозначність і дискусійність сучасних поглядів на застосування базисної терапії ОА

препаратами SYSADOA, численними дослідженнями було показано, що раннє призначення цих препаратів є безпечним і ефективним, а в поєднанні з протизапальним лікуванням дає кращий результат і дозволяє запобігти дегенеративному і запальному пошкодженню суглобового хряща [1, 2, 10, 12, 15, 16]. Важливо відзначити, що згідно з вимогами організацій, що включають SYSADOA до рекомендацій і протоколів лікування ОА (ESCEO, ACR, OARSI тощо), дані засоби повинні бути зареєстрованими лікарськими засобами (рецептурними фармакологічними препаратами) з відповідною сертифікацією щодо складу, якості й безпечності при тривалому застосуванні, використанні в пацієнтів з мультиморбідністю, а також при прийомі з іншими ліками. Форма випуску повинна забезпечувати найкращий комплаєнс [1, 2, 8, 16].

Мета дослідження: оцінити клінічну ефективність і безпеку застосування ін'єкційної форми SYSADOA, а саме глюкозаміну сульфату, в лікуванні пацієнтів з післятравматичним остеоартрозом надп'яtkовогомілкового суглоба ранніх стадій (I–II за Келлгреном і Лоуренсом) після хірургічного лікування з приводу переломів кісточок гомілки давністю від 6 місяців до 2 років.

Матеріали та методи

Дане дослідження за дизайном належить до клінічних досліджень у паралельних групах (N1 = 20 і N2 = 20), подібних за статевим-віковим складом, характером і давністю патології. Дослідження є когортним і проспективним, у якому досліджена когорта пацієнтів спостерігалася в динаміці за результатом. Рівень доказовості даного дослідження відповідає категорії Ib.

Загальна кількість пацієнтів у дослідженні становила 40, середній вік становив $37,4 \pm 2,5$ року. Переважали пацієнти чоловічої статі — 68 % (27), пацієнтів жіночої статі було 32 % (13). Усі пацієнти групи спостереження були оперовані з приводу нестабільного внутрішньосуглобового перелому кісточок гомілки зі зміщенням уламків (44B2 за класифікацією АО/ОТА). Хірургічні втручання проведені за ідентичною методикою в одній клініці з виконанням відкритої репозиції та стабільно-функціонального остеосинтезу латеральної кісточочки з фіксацією динамічною компресійною пластиною з обмеженим контактом LC-DCP (Limited Contact — Dynamic Compression Plate) і медіальної кісточочки спицями Кіршнера з напруженою дротяною петлею за Вебером. У результаті операції було досягнуто відновлення осі й конгруентності суглоба, а також відновлено стабільність. Середній період часу від травми й операції до включення в групу дослідження становив $14,3 \pm 2,1$ місяця (від 6 до 24 місяців).

Перед початком лікування на підставі проведених клінічних, рентгенологічних і ультрасонографічних досліджень пацієнтам було встановлено діагноз: післятравматичний остеоартроз I–II ст. (за Келлгреном і Лоуренсом) у стадії загострення. При ультрасонографії в більшості пацієнтів, які були включені в групу до-

слідження, виявляли синовіт без ознак проліферації з боку синовіальної оболонки.

В основній клінічній групі пацієнтів (N1 = 20) з метою ліквідації явищ загострення ОА (запалення і болю) пацієнтам призначався курс НПЗП із застосуванням внутрішньом'язового введення мелоксикаму 1,5 мл 1 раз на добу 10 діб. Для профілактики НПЗП-асоційованих гастропатій пацієнтам призначали інгібітор протонної помпи (пантопразол) 20 мг 1 раз на добу 10 діб. У подальшому призначали внутрішньом'язове введення глюкозаміну сульфату (ампули 200 мг/мл, 2,0 мл) 400 мг 3 рази на тиждень курсом 6 тижнів.

У групі порівняння (N2 = 20) пацієнтам був призначений лише аналогічний щодо основної групи курс протизапального лікування із застосуванням НПЗП упродовж 10 діб із профілактичним призначенням гастропротекторної терапії пантопразолом за ідентичною щодо основної групи схемою. У подальшому пацієнтам даної групи проводилися лише спостереження і оцінка функціонального стану ураженого суглоба в ідентичний щодо основної групи період, що становив 2 місяці від початку лікування.

При включенні в дослідження пацієнти мали рентгенологічно засвідчені ознаки стадії А I–II за класифікацією Келлгрена і Лоуренса і помірно виражений синовіт без ознак проліферації з боку синовіальної оболонки (за даними УЗД). Пацієнти не мали інших ревматичних захворювань, а також гострих патологічних процесів з боку печінки, нирок, серцево-судинної та ендокринної систем.

Критерії включення до груп клінічного дослідження:

— пацієнти, які увійшли до дослідження, не мали інших травм суглоба, ревматичних захворювань, а також гострих патологічних процесів з боку шлунково-кишкового тракту, печінки, нирок, серцево-судинної та ендокринної систем;

— наявність підписаної інформованої згоди на участь у дослідженні.

Критерії виключення з дослідження:

— порушення пацієнтом рекомендацій щодо режиму, навантажень, реабілітації та прийому препаратів;

— порушення пацієнтом графіка контрольних оглядів та обстежень під час курсу лікування;

— наявність істотних негативних побічних ефектів від лікування з бажанням з боку пацієнта припинити лікування або необхідністю застосування інших фармакологічних або хірургічних методів лікування;

— втрата контакту з пацієнтом.

Біоетичний аспект. При включенні до клінічного спостереження всі пацієнти надавали інформовану згоду. Дослідження було виконане з дотриманням вимог і принципів біоетики Гельсінської декларації. Протокол дослідження погоджений локальним етичним комітетом при НМУ імені О.О. Богомольця.

Періоди та критерії оцінки результату

Для об'єктивного контролю й оцінки функціонального стану ураженого суглоба огляд пацієнтів та їх клінічне обстеження в обох клінічних групах проводилися

перед початком лікування, через 10 діб і 2 місяці після початку лікування. Оцінювали загальну ефективність лікування порівняно з вихідним станом пацієнтів і порівнювали результат у групах в аналогічні періоди, що дало змогу оцінити наявність ефекту і його вираженість при застосуванні ін'єкційної форми SYSADOA.

При оцінюванні результату лікування використовувались такі критерії: оцінка інтенсивності больового синдрому за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) (Visual Analog Pain Scale, Huskisson); оцінка функціонального стану надп'яtkово-гомількового суглоба методом підрахунку балів за шкалою AOFAS (American Orthopaedic Foot and Ankle Society); облік побічних ефектів і небажаних проявів у групах спостереження. При оцінюванні лікування за AOFAS для заднього відділу стопи та надп'яtkово-гомількового суглоба відмінний результат, що відповідає 100 балам, можливий у пацієнта без болю, з повним обсягом рухів заднього відділу стопи в сагітальній площині, відсутністю нестабільності в задньому відділі стопи і гомількостопному суглобі, доброю адаптацією до поверхні, здатністю пройти понад шість блоків (сходових прольотів — 3 поверхи), ходити по нерівній поверхні, відсутністю явної кульгавості, обмеження повсякденної активності та допоміжних пристроїв, необхідних для ходьби. При загальному підрахунку балів результат класифікується так: незадовільний — 0–50 балів, задовільний — 51–74 бали, добрий — 75–94 бали, відмінний — 95–100 балів. У системі оцінки передбачено 50 балів для оцінки функціонального стану, 40 балів — для оцінки больового синдрому і 10 балів — для оцінки опороздатності й адаптації [9].

Статистична обробка в групах проводилася з визначенням середніх значень і середньоквадратичного відхилення за відповідними критеріями оцінки, а вірогідність різниці в групах спостереження оцінювалася на підставі розрахунку значень *p* за критеріями Вілкоксона — Манна — Вітні та *xi*-квадрат.

Результати та обговорення

Первинні обстеження для встановлення діагнозу, а також оцінка вихідного стану і результатів лікування в клінічних групах проводилися на підставі клінічного огляду, рентгенологічного обстеження й підрахунку балів за шкалами оцінки болю і функціонального стану суглоба, які заповнювали пацієнти під час контрольних оглядів у термін 10 діб і 2 місяці після початку лікування. Через 10 діб після початку лікування в пацієнтів основної клінічної групи (N1) було визначено, що рівень больового синдрому за ВАШ відповідав значенням від «незначний» до «помірний» і становив у середньому $18,7 \pm 3,2$. В аналогічний термін спостереження в групі порівняння (N2) больовий синдром становив у середньому $19,1 \pm 2,9$ (табл. 1, рис. 1). При цьому статистичної різниці в порівнюваних групах не було ($p = 0,21$), що підтверджувало однорідність груп та однакову ефективність курсу стандартної протизапальної терапії із застосуванням НПЗП (мелоксикам) у середньодобовій дозі. Упродовж наступних шести тижнів на

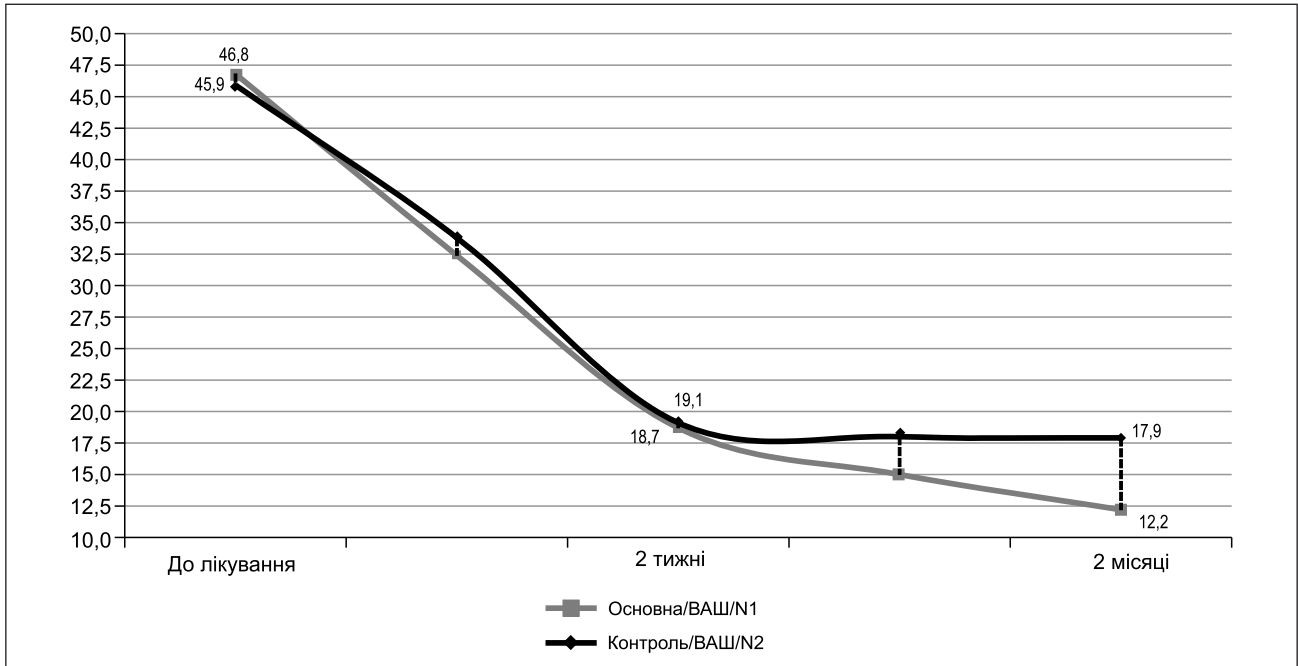


Рисунок 1. Динаміка зменшення больового синдрому (ВАШ) у групах пацієнтів з ранніми стадіями остеоартриту над'яtkово-гомількового суглоба після переломів кісточок гомілки

фоні застосування ін'єкційного глюкозаміну сульфату за рекомендованою схемою в основній клінічній групі (N1) було відзначено подальше зменшення больового синдрому, середнє значення якого становило $12,2 \pm 2,3$ зі статистично значущою вірогідністю на рівні 99 % ($p = 0,008$). У групі порівняння (N2) за відсутності подальшого базисного лікування SYSADOA в наступні шість тижнів не відзначено ніякої статистично значимої динаміки щодо больового синдрому, рівень якого наприкінці терміну спостереження становив $17,9 \pm 1,9$ ($p = 0,072$). Порівняння ж груп наприкінці спостереження показало наявність статистичної різниці між ними за рівнем болю в 95 % ($p = 0,021$). Така динаміка підтверджує ефективність застосування ін'єкційного глюкозаміну сульфату в пацієнтів даної категорії в аспекті зменшення больового синдрому (табл. 1, рис. 1).

В основній клінічній групі функціональний стан над'яtkово-гомількового суглоба за шкалою AOFAS через 10 діб після застосування курсу НПЗП (мелоксикам) становив $78,7 \pm 2,3$ бала і не мав статистично значущої різниці з аналогічним показником у групі порівняння — $79,1 \pm 2,6$ бала ($p = 0,37$), хоча приріст функції ураженого суглоба порівняно з вихідним станом був значущим в обох групах. Подальший аналіз лікування в основній групі пацієнтів засвідчив, що через 6 тижнів систематичного прийому глюкозаміну сульфату відбувся приріст функціональної здатності ураженого суглоба і збільшення значення оцінки AOFAS до $91,7 \pm 2,6$ бала зі статистично значущою різницею як порівняно з попереднім терміном спостереження ($p = 0,001$), так і порівняно з групою контролю в аналогічний термін оцінки результатів ($p = 0,012$). У групі

Таблиця 1. Динаміка больового синдрому і функціонального стану над'яtkово-гомількового суглоба в пацієнтів з ранніми стадіями ОА

Параметри	Групи		Через 10 діб		Через 2 місяці	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2
Візуальна аналогова шкала болю, Huskisson (у мм)	$46,8 \pm 3,6$	$45,9 \pm 4,3$	$18,7 \pm 3,2$ $p = 0,0001^{**}$	$19,1 \pm 2,9$ $p = 0,0001^{**}$	$12,2 \pm 2,3$ $p = 0,008^{**}$	$17,9 \pm 1,9$ $p = 0,072^{**}$
	$p = 0,59^*$		$p = 0,21^*$		$p = 0,021^*$	
Середній показник за шкалою AOFAS (у балах)	$57,6 \pm 2,8$	$56,9 \pm 2,4$	$78,7 \pm 2,3$ $p = 0,0001^{**}$	$79,1 \pm 2,6$ $p = 0,0001^{**}$	$91,7 \pm 2,6$ $p = 0,001^{**}$	$79,4 \pm 3,2$ $p = 0,94^{**}$
	$p = 0,92^*$		$p = 0,37^*$		$p = 0,012^*$	

Примітки: * — порівняно з контролем в аналогічні строки спостереження (за критерієм Вілкоксона — Манна — Вітні), різниця статистично значуща при $p < 0,05$; ** — порівняно з попереднім значенням в однорідній групі (оцінка приросту/зменшення динаміки) за критерієм χ^2 , різниця статистично значуща при $p < 0,05$.

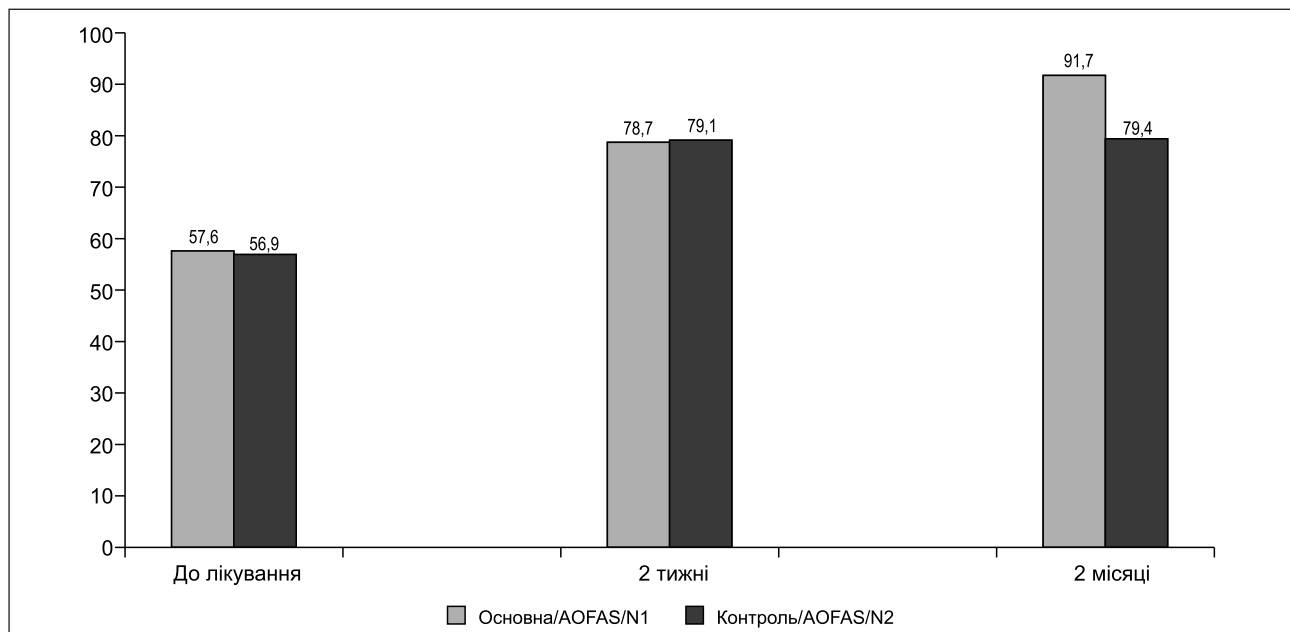


Рисунок 2. Динаміка відновлення функціональної активності (AOFAS) у групах пацієнтів з ранніми стадіями остеоартриту над'яtkово-гомiлкового суглоба після переломів кісточок гомiлки

контролю в пацієнтів, які не приймали подальше лікування SYSADOA, зміни функціонального стану ураженого суглоба не було ($p = 0,94$) аналогічно до динаміки болювого синдрому (табл. 1, рис. 2).

У низці наукових публікацій наводяться подібні дані про ефективність застосування глюкозаміну сульфату і хондроїтину сульфату в системі базисного фармакотерапевтичного лікування ранніх стадій остеоартриту. Так, у публікації O. Bruyère et al. (2019) автори засвідчили ефективність застосування рецептурного кристалічного глюкозаміну за відсутності переконливих доказів щодо доцільності застосування комбінації хондроїтину і глюкозаміну. Також було вказано на високу ефективність і рекомендації щодо застосування НПЗП у лікуванні пацієнтів з ранніми стадіями ОА для контролю болю і запалення [2]. Незважаючи на появу новітніх фармакотерапевтичних засобів і технологій лікування пацієнтів з остеоартритом, препарати групи SYSADOA є одними з найбільш вивчених, мають високий профіль безпеки і проявляють доведену ефективність на ранніх стадіях остеоартрозу за умови довготривалого їх прийому, що також було засвідчено результатами проведеного дослідження [4, 10]. У літературному огляді, опублікованому N. Veronese et al. у 2020 році, за даними аналізу 11 систематичних оглядів було підсумовано, що глюкозаміну сульфат позитивно впливає на структуру хряща, зменшує біль, покращує функцію ураженого суглоба при ОА колінного суглоба, не маючи більшої частоти побічних ефектів, ніж плацебо [16].

Оцінка переносимості та облік побічних ефектів і небажаних явищ у групах спостереження показали, що у 20 пацієнтів основної групи клінічного спостереження упродовж усього періоду лікування ускладнен-

ня або негативні побічні ефекти не спостерігалися. З метою профілактики НПЗП-асоційованих гастропатій усі пацієнти отримували профілактичну дозу інгібітора протонної помпи (пантопразол 20 мг). Негативних наслідків, що пов'язані з внутрішньом'язовим введенням препаратів мелоксикам і глюкозаміну сульфат, також не було зафіксовано.

Висновки

1. Результати проведеного клінічного дослідження засвідчили статистично значущу ефективність ($p < 0,05$) застосування НПЗП (мелоксикам) і SYSADOA (ін'єкційний глюкозаміну сульфат) при лікуванні пацієнтів з початковими стадіями післятравматичного остеоартрозу над'яtkово-гомiлкового суглоба.

2. Встановлено, що при ранніх стадіях (I–II за Келл-греном і Лоуренсом) післятравматичного остеоартриту над'яtkово-гомiлкового суглоба 6-тижневий курс лікування із застосуванням ін'єкційної форми глюкозаміну сульфату забезпечує ефективне зменшення болювого синдрому і поліпшення функції.

3. Аналіз побічних реакцій і небажаних проявів після застосування комбінації НПЗП та ін'єкційної форми SYSADOA показав відсутність побічних реакцій у групі клінічного спостереження за умови дотримання рекомендованих дози й режиму застосування, а також урахування та профілактики гастроінтестинальних і кардіоваскулярних ризиків.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямком подальших досліджень є фенотипування пацієнтів при формуванні груп дослідження й оцінка стійкості ефекту у віддаленому періоді понад 3 роки при систематичному застосуванні SYSADOA у даної категорії пацієнтів [5, 14].

Список літератури

1. Arden NK, Perry TA, Bannuru RR, Bruyère O, Cooper C, Haugen IK, et al. Non-surgical management of knee osteoarthritis: comparison of ESCEO and OARSI 2019 guidelines. *Nat Rev Rheumatol.* 2020;17:59. doi: 10.1038/s41584-020-00523-9.
2. Bruyère O, Honvo G, Veronese N, et al. An updated algorithm recommendation for the management of knee osteoarthritis from the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). *Seminars in Arthritis and Rheumatism.* 2019 Dec;49(3):337-350.
3. Carlson AK, Rawle RA, Wallace CW, Brooks EG, Adams E, Greenwood MC, et al. Characterization of synovial fluid metabolomic phenotypes of cartilage morphological changes associated with osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019;27(8):1174-1184. doi: 10.1016/j.joca.2019.04.007.
4. Cumpston M, Li T, Page MJ, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2019;2019(10). Art. No.: ED000142. <https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>.
5. Deveza LA, Nelson AE, Loeser RF. Phenotypes of osteoarthritis: current state and future implications. *Clin Exp Rheumatol.* 2019;37(Suppl 120):64-72.
6. Fuggle N, Curtis E, Shaw S, Spooner L, Bruyère O, Ntani G, et al. Safety of opioids in osteoarthritis: outcomes of a systematic review and meta-analysis. *Drugs Aging.* 2019;36(Suppl 1):129-143. doi: 10.1007/s40266-019-00666-9.
7. Hu X, Lai Z, Wang L. Effects of Taichi exercise on knee and ankle proprioception among individuals with knee osteoarthritis. *Res Sports Med.* 28(2):268-278. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1663520>.
8. Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis. *Lancet.* 2019;393(10182):1745-1759. doi: 10.1016/S0140-6736(19)30417-9.
9. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hind-foot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994;15:349-353. PMID: 7951968. DOI: 10.1177/107110079401500701.
10. Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, et al. 2019 American college of rheumatology/arthritis foundation guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee. *Arthritis Rheumatol.* 2020;72(2):220-233. <https://doi.org/10.1002/art.41142>.
11. Latourte A, Kloppenburg M, Richette P. Emerging pharmaceutical therapies for osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2020;16(12):673-688. doi: 10.1038/s41584-020-00518-6.
12. Leopoldino AO, Machado GC, Ferreira PH, Pinheiro MB, Day R, McLachlan AJ, et al. Paracetamol versus placebo for knee and hip osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;2:D13273. doi: 10.1002/14651858.CD013273.
13. Nelson AE, Fang F, Arbeeva L, Cleveland RJ, Schwartz TA, Callahan LF, et al. A machine learning approach to knee osteoarthritis phenotyping: data from the FNIH Biomarkers Consortium. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019;27(7):994-1001. doi: 10.1016/j.joca.2018.12.027.
14. Roman-Blas JA, Mendoza-Torres LA, Largo R, Herrero-Baumont G. Setting up distinctive outcome measures for each osteoarthritis phenotype. *Ther Adv Musculoskelet.* 2020;12:1759720X20937966. doi: 10.1177/1759720X20937966.
15. Sharma L. Osteoarthritis of the knee. *N Engl J Med.* 2021;384(1):51-59. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1903768>.
16. Veronese N, Demurtas J, Smith L, et al. Glucosamine sulphate: an umbrella review of health outcomes. *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease.* 2020;12. doi: 10.1177/1759720X20975927.

Отримано/Received 03.09.2024

Рецензовано/Revised 04.10.2024

Прийнято до друку/Accepted 10.10.2024

Information about authors

Olexandr Burianov, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kaftraum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2174-1882>

Taras Omelchenko, MD, DSc, PhD, Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: tnomelchenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1722-0803>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interest and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

O.A. Burianov, T.M. Omelchenko
Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Injectable SYSADOA in the treatment of post-traumatic osteoarthritis

Abstract. Background. Despite the ambiguity and controversy of modern views on the use of symptomatic slow acting drugs for osteoarthritis (SYSADOA) as the basic therapy, numerous studies have shown that the early administration of these drugs is safe and effective, and in combination with anti-inflammatory treatment gives a better result and prevents degenerative and inflammatory damage to articular cartilage. There are requirements for SYSADOA to include them in guidelines and protocols for the treatment of osteoarthritis. These products must be registered medicinal products (prescription pharmaceutical preparations) with appropriate certification regarding the composition, quality and safety for

long-term use, use in patients with multimorbidity, as well as when taking with other medicines. The dosage form should ensure the best compliance. The purpose was to evaluate the clinical effectiveness and safety of the injectable form of SYSADOA, namely glucosamine sulfate, in the treatment of patients with post-traumatic osteoarthritis of the ankle joint of the early stages (1–2 according to Kellgren and Lawrence) after surgical treatment for ankle fractures sustained from 6 months to 2 years ago. **Material and methods.** The design of the clinical research is comparative, prospective, controlled in parallel groups with the level of evidence IIB. Patients of the main group (N1 = 20) were operated for injury and had a

radiologically and clinically confirmed diagnosis of post-traumatic osteoarthritis of the ankle joint stage I–II (according to Kellgren and Lawrence). In order to eliminate the phenomena of osteoarthritis exacerbation, patients were prescribed a course of nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) with intramuscular injection of meloxicam 1.5 ml once a day for 10 days. Subsequently, intramuscular glucosamine sulfate (ampoules of 200 mg/ml, 2.0 ml) 400 mg 3 times a week was prescribed for 6 weeks. In the comparison group (N2 = 20), the patients received only a course of NSAIDs for 10 days similar to the main group, and subsequently, only observation and assessment of the functional state of the affected joint were carried out. The treatment outcomes were evaluated clinically 10 days and 2 months after the start of the treatment by the dynamics of pain syndrome reduction according to the visual analogue scale and the functional state of the ankle joint (AOFAS), as well as based on the frequency of adverse events and side effects in the observation groups. **Results.** After 2 weeks, the intensity of the pain syndrome according to the visual analogue scale in the N1

group was 18.7 ± 3.2 , and in the N2 group, it was 19.1 ± 2.9 ($p > 0.1$). After 2 months, the ratio between groups N1/N2 was 12.2 ± 2.3 versus 17.9 ± 1.9 ($p < 0.05$). The functional state of the ankle joint assessed according to the AOFAS after 2 weeks in the N1 group was 78.7 ± 2.3 points versus 79.1 ± 2.6 points in the N2 group ($p > 0.1$). After 2 months, the AOFAS score in the groups N1 and N2 was 91.7 ± 2.6 points versus 79.4 ± 3.2 points ($p < 0.05$). No negative consequences associated with intramuscular administration of meloxicam and glucosamine sulfate were recorded. **Conclusions.** In patients with early stages of post-traumatic osteoarthritis of the ankle joint, a 6-week treatment with the use of an injectable form of glucosamine sulfate provides effective pain relief and improves function. A combination of NSAIDs and the injectable form of SYSADOA showed no adverse reactions in the clinical observation group, provided that the recommended dose and regimen were followed, as well as consideration and prevention of gastrointestinal and cardiovascular risks.

Keywords: post-traumatic osteoarthritis; ankle joint; glucosamine sulfate

V.S. Balan¹, L.D. Kravchuk², I.V. Fishchenko³

¹Communal Non-Commercial Enterprise "Regional Clinical Hospital of Ivano-Frankivsk Regional Council", Ivano-Frankivsk, Ukraine

²National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

³State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Clinical comparison of unilateral biportal endoscopic technique with interlaminar microdiscectomy for single-level lumbar discectomy: a prospective study

Abstract. Background. Positive clinical outcomes of microdiscectomy vary in the range from 75 to 80 %. However, the share of unsatisfactory results with more than 2-year follow-up is 38 %, and with 8-year follow-up it reaches 40 %. To avoid postoperative fibrosis, which in the future may require repeated surgical intervention, and to improve the outcomes of surgical treatment for disc herniations, the traumatic approach is to be reduced. In this regard, endoscopic lumbar discectomy is the least invasive direct decompression technology and a promising direction of surgical treatment for herniated intervertebral discs. **Materials and methods.** A prospective study was conducted on the basis of the neurosurgery department of the spine and spinal cord of the Ivano-Frankivsk Regional Clinical Hospital. The criteria for intergroup distribution were the methods of surgical treatment: patients of the first group ($n = 57$) underwent removal of a herniated intervertebral disc by the method of unilateral biportal endoscopic discectomy, participants of the second group ($n = 60$) underwent open interlaminar microdiscectomy. **Results.** No significant differences were found in the intergroup comparison according to the Oswestry Disability Index at all stages. The duration of surgery when using endoscopic access averaged 41 minutes (38.5; 44.75) vs 60 min (57.5; 69.65) with microdiscectomy, the difference is statistically significant ($p \leq 0.01$). The volume of blood loss was 2.3 times less during endoscopic access — 53.1 ± 19.7 ml and 121.5 ± 18.4 ml ($p < 0.05$). As expected, the length of stay in the hospital was shorter in the endoscopic discectomy group — 2 days (1; 3) versus 4 days (3; 6) in the microdiscectomy group ($p \leq 0.05$), which is associated with early activation of patients, less pain syndrome, correspondingly smaller size of postoperative wound and no need for wound care. **Conclusions.** The results of our research showed the potential advantages of unilateral biportal endoscopic discectomy over interlaminar microdiscectomy.

Keywords: unilateral biportal endoscopy; interlaminar microdiscectomy

Introduction

Lumbar intervertebral disc herniation is recorded in 5–20 cases per 1,000 adults per year [1]. Intervertebral disc degeneration affects over 70 % of adults under the age of 40 and over 90 % of people aged 50 years and older. Although the disease may sometimes be asymptomatic, discogenic pain accounts for up to 80 % of all patient complaints.

Currently, there is no consensus on which methods of treatment and prevention of degenerative spinal diseases are most effective. Surgical and conservative treatment strategies depend on a wide range of somatic and psychological factors. It is generally agreed that, for both patients and physicians, conservative treatment is always preferable to surgical intervention due to its non-invasiveness.

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2024

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2024

Для кореспонденції: Кравчук Людмила Дмитрівна, кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент, кафедра терапії та реабілітації, Національний університет фізичного виховання і спорту України, вул. Фізкультури, 1, м. Київ, 03150, Україна; e-mail: kravchukwww@gmail.com; тел.: +380 (97) 877-41-67

For correspondence: Lyudmila D. Kravchuk, PhD in Physical Education and Sports, Associate Professor, Department of Therapy and Rehabilitation, National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Fizkultury st., 1, Kyiv, 03150, Ukraine; e-mail: kravchukwww@gmail.com; phone: +380 (97) 877-41-67

Full list of authors' information is available at the end of the article.

However, the effectiveness of non-surgical methods for treating degenerative spinal diseases is questionable for several reasons.

First, conservative treatment is inherently symptomatic. Second, many patients seek medical help with advanced neurological symptoms, leaving surgery as the only option.

To date, the accepted standard for surgical treatment of patients with lumbar disc herniations is open microdiscectomy [1–5]. Positive clinical outcomes of microdiscectomy range from 75 to 80 % [4, 5]; however, the rate of unsatisfactory results exceeds 38 % at more than two years of follow-up and reaches 40 % at eight years [6].

Failed open microdiscectomy is mostly associated with the consequences of surgical impact on the spine and paravertebral tissues, collectively termed “post-discectomy syndrome”. In 3–25 % of cases, post-discectomy syndrome is the reason for repeat surgery [7]. To avoid postoperative fibrosis, which may require repeat surgery, and to improve the results of surgical treatment for intervertebral disc herniations, it is crucial to minimize the trauma of the surgical approach. In this regard, lumbar endoscopic discectomy is the least invasive technology for direct decompression and a promising direction in the surgical treatment of lumbar intervertebral disc herniations [8].

Our study **purposed** to conduct a comparative analysis of the effectiveness of unilateral biportal endoscopic discectomy (UBE) and interlaminar microdiscectomy (IME) methods in patients operated for lumbar intervertebral disc herniations.

Materials and methods

A prospective study was conducted at the Department of Spinal and Spinal Cord Neurosurgery of the Ivano-Frankivsk Regional Clinical Hospital from May 2022 to Au-

gust 2023. The sample consisted of 117 patients with lumbar intervertebral disc herniations (at the L2-L3, L3-L4, L4-L5, L5-S1 levels), 68 men and 49 women.

Inclusion criteria: pain syndrome not relieved by conservative therapy for six weeks or the appearance of neurological deficit due to compression of nerve structures by a herniated intervertebral disc at levels from L2-L3 to L5-S1 confirmed by the magnetic resonance imaging (MRI) data.

Exclusion criteria: multilevel symptomatic herniations, hernia recurrence, spinal canal stenosis, spondylolisthesis, spinal instability or deformity, previous lumbar spine surgery, inflammatory diseases, severe concomitant somatic pathology.

The criteria for group distribution were the surgical treatment methods: patients in the first group (n = 57) underwent lumbar intervertebral disc herniation removal using the UBE method; participants from the second group (n = 60) had open interlaminar microdiscectomy.

The age range at the time of surgical treatment was 37 years in the UBE group with values of median and interquartile range (Me [Q1; Q3]) at 37 [31; 48], and 37 years in the IME group with values of Me [Q1; Q3] at 37 [31; 44] (p > 0.05) (Table 1).

The distribution by hernia location in the UBE and IME groups was as follows: at the L2-L3 level in 3 (5.2 %) and 2 (3.3 %) patients, respectively; at the L3-L4 level — 4 (7.1 %) and 2 (3.3 %); at the L4-L5 level — 31 (54.3 %) and 25 (41.7 %); at the L5-S1 level — 19 (33.4 %) and 31 (51.7 %), respectively (Table 1).

This study was conducted following the standard outlined in the World Medical Association Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research

Table 1. Distribution of patients by type of surgery, IME and UBE

Parameters		UBE (n = 57)	IME (n = 60)	p-value
Age, years Me [Q1; Q3]/sample size		37 [31; 48]/18–66	37 [31; 44]/18–60	> 0.05*
Gender, n (%)	Men	30 (52.6)	38 (63.3)	0.38**
	Women	27 (47.4)	22 (36.7)	
Duration of back pain, months Me [Q1; Q3]		7 [2; 16]	5 [2; 14]	> 0.05*
Duration of pain syndrome in the leg, months Me [Q1; Q3]		4 [1; 8]	5 [1; 7]	> 0.05*
ODI, % Me [Q1; Q3]		47.5 [36.25; 52.5]	45 [38; 50]	> 0.05*
The level of hernia localization, n (%)				
L2-L3		3 (5.2)	2 (3.3)	–
L3-L4		4 (7.1)	2 (3.3)	–
L4-L5		31 (54.3)	25 (41.7)	–
L5-S1		19 (33.4)	31 (51.7)	–

Notes: * — determined using Mann-Whitney U-test; ** — determined using Fisher's criterion; ODI — Oswestry Disability Index.

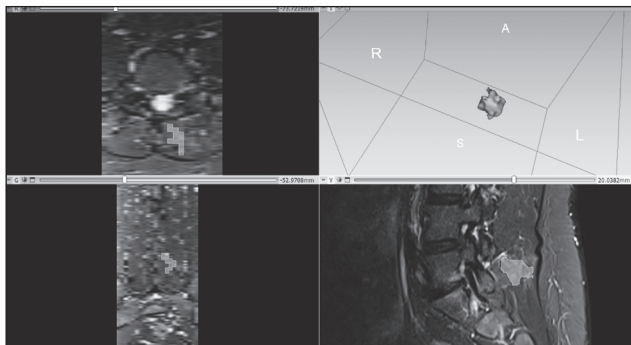


Figure 1. Clinical example of measuring the volume of the postoperative scar (on MRI scans three months after surgery) in patient M., 45 years old, who underwent UBE at the L4-L5 level

Involving Human Subjects. All participants provided voluntary consent before the study. Pain syndrome intensity was assessed using a visual analog scale (VAS), and patient satisfaction and quality of life were assessed using the ODI. The Oswestry index was evaluated in the range from 0 (no impairment) to 100 % (absolute impairment).

MRI assessment of the postoperative scar. MRI scans of the lumbar spine (from 3 to 4 months after surgery) were performed on a 1.5 Tesla machine using standard sequences (T1WI, T2WI) and Fs/Stir in 3 projections. The postoperative scar was assessed using image analysis software 3D Slicer. The method of manual segmentation was used, followed by 3D reconstruction and automatic (machine) calculation of the volume of the segmented area (postoperative scar) (Fig. 1). Segmentation was mainly performed on the T2WI sequence in the axial projection, followed by correlation with other projections and sequences for greater accuracy of the identified changes. The obtained data were entered into the table.

Statistical methods of data processing. Statistical processing of results was performed using the software programs Microsoft Excel and Statistica 8.0 (StatSoft Inc.). The following were determined: number of samples (n); arithmetic mean value (M); variance (S^2); standard deviation (SD). When analyzing the data, differences between values in the compared groups were assessed using both parametric (paired Student's t -test) and non-parametric (Mann-Whitney U -test) criteria. When presenting the results of the study, data obtained from a sample with a distribution different from normal were recorded as the median (Me) and interquartile range [$Q1$; $Q3$]. To assess the dependence between the studied indicators, the correlation coefficient (r) was calculated. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Surgical techniques

Method of biportal endoscopic discectomy. After preparing the surgical field with the patient in the prone position under endotracheal anesthesia, the level of the planned surgi-

cal intervention was determined under fluoroscopic control. The upper incision was made at the level of the lower edge of the lamina at the required level. A guide wire was inserted through the incision, onto which a series of dilators were successively mounted to expand the muscle channel, followed by the installation of a trocar with an endoscope. The lower incision was made 3 cm caudally. The formation of the muscle channel was carried out using a system of dilators. A saline delivery system was connected to the endoscope. After forming the triangulation between the arthroscope and the instruments and adjusting the fluid outflow, the soft tissues surrounding the interlaminar space were removed using a radiofrequency vaporizer. When the yellow ligament of the target interlaminar space and the lower lamina were fully exposed, an interlaminotomy was performed using an arthroscopic burr, osteotome, and Kerrison rongeurs. The yellow ligament was removed until the nerve root was completely exposed. The nerve root was medially retracted using special root retractors. Sequestrectomy and intervertebral disc curettage were performed using instruments. Hemostasis in case of epidural bleeding was achieved by applying radiofrequency coagulation electrodes. If bleeding occurred from the bone, hemostasis was achieved using bone wax. After removing the herniated intervertebral disc and decompressing the nerve root, a drain was placed, and the skin was sutured.

Method of interlaminar microdiscectomy. Interlaminar microdiscectomy was performed using a standard technique under general anesthesia with local illumination. During surgery, the patient was in the prone position. The required level was identified using a C-arm. After preparing the surgical field, a skin and subcutaneous incision of 40 to 50 mm was made along the midline to the fascia. The paravertebral muscles were dissected from the adjacent spinous processes and the interspinous ligament. The interlaminar space was isolated, a retractor was installed, and the yellow ligament was exposed on the required side. An interlaminotomy of the lower part of the cranial vertebra lamina and the upper part of the caudal vertebra lamina was performed using 3-mm Kerrison rongeurs. The yellow ligament was removed to access the spinal canal.

The passing nerve root and dural sac were mobilized and medially retracted using retractors. At this stage, the herniated intervertebral disc was identified and removed using microrongeurs. The mobility of the root was checked using a hook dissector. The dural sac was covered with a piece of subcutaneous fat, a drain was installed, and the wound was sutured in layers. The drain was connected to a vacuum bottle. An aseptic dressing was applied.

Results

The analysis of the overall summarized data and the results of clinical and instrumental examination are presented in Table 1.

Preoperative condition assessment showed that the groups had no significant differences in the following indicators: duration of back pain syndrome ($p > 0.05$), of leg pain syndrome ($p > 0.05$), and ODI ($p > 0.05$) (Table 2).

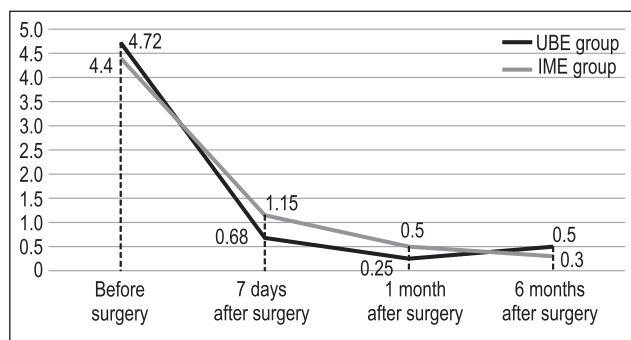


Figure 2. Dynamics of back pain syndrome according to VAS (cm) at the observation stages

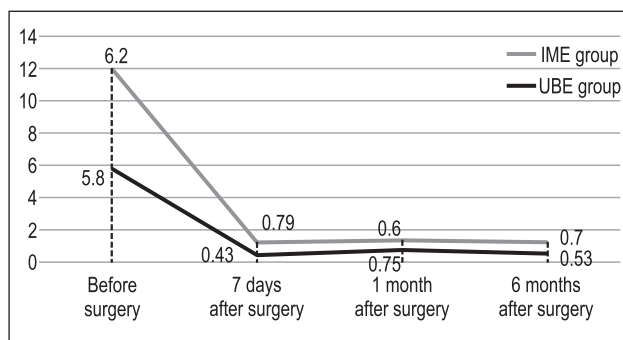


Figure 3. Dynamics of leg pain syndrome according to VAS (cm) at the observation stages

After the operation, a statistically significant decrease in pain indicators was found in each group ($p < 0.05$). The leg pain index according to VAS before surgery was on average 5.8 ± 1.4 and 6.20 ± 1.31 cm, respectively, in the UBE and IME groups. The VAS back pain index was determined in the range of 4.72 ± 1.70 and 4.4 ± 1.1 cm in the UBE and IME groups, respectively (Table 2, Fig. 2, 3).

According to the assessment of pain syndrome in the back, a significant decrease was found in both groups when compared with preoperative data ($p < 0.05$). The difference

between the groups was observed after 7 days: in the UBE patients, the pain was less pronounced — 0.68 ± 0.50 vs 1.15 ± 0.90 in the IME group ($p < 0.05$). In the future, the difference in results between groups after 1 and 6 months was not statistically significant ($p > 0.05$).

According to the assessment of radicular pain in the leg, positive dynamics in the postoperative period was found in both groups after 7 days: in the UBE patients from 5.8 ± 1.4 to 0.43 ± 0.52 ($p < 0.05$), and in the IME — from 6.20 ± 1.31 to 0.79 ± 0.68 ($p < 0.05$). In the future, positive dynamics

Table 2. Overall treatment outcomes after UBE and IME in comparison groups

Parameters		UBE (n = 57)	IME (n = 60)	p-value
Duration of surgery, min Me [Q1; Q3]		41 [38.5; 44.75]	60 [57.5; 69.65]	$\leq 0.01^{**}$
Loss of blood, ml		53.1 ± 19.7	121.5 ± 18.4	$\leq 0.01^*$
VAS score, back (M \pm SD), cm	Before surgery	4.72 ± 1.70	4.4 ± 1.1	$> 0.05^*$
	7 days after surgery	0.68 ± 0.50	1.15 ± 0.90	$< 0.05^*$
	1 month after surgery	0.25 ± 0.39	0.50 ± 0.76	$> 0.05^*$
	6 months after surgery	0.50 ± 0.27	0.30 ± 0.26	$> 0.05^*$
VAS score, leg (M \pm SD), cm	Before surgery	5.8 ± 1.4	6.20 ± 1.31	$> 0.05^*$
	7 days after surgery	0.43 ± 0.52	0.79 ± 0.68	$> 0.05^*$
	1 month after surgery	0.75 ± 0.40	0.60 ± 0.25	$> 0.05^*$
	6 months after surgery	0.53 ± 0.41	0.70 ± 0.23	$> 0.05^*$
ODI before surgery, % Me [Q1; Q3]		47.5 [36.25; 52.5]	45 [38; 50]	$> 0.05^{**}$
ODI 1 month after surgery, % Me [Q1; Q3]		14 [9; 19]	12 [9; 15]	$> 0.05^{**}$
ODI 6 months after surgery, % Me [Q1; Q3]		8 [4; 12]	4 [2; 7]	$> 0.05^{**}$
Volume of the scar, cm ³		4.15 [2.175; 4.175]	14.91 [9.375; 19]	$\leq 0.01^{**}$
<i>Additional parameters</i>				
Length of hospital stay, days Me [Q1; Q3]		2 [1; 3]	4 [3; 6]	$\leq 0.01^{**}$
Complications, n (%)		2	1	

Notes: * — determined using Student's t-test; ** — determined using the Mann-Whitney U-test; M \pm SD — mean \pm standard deviation.

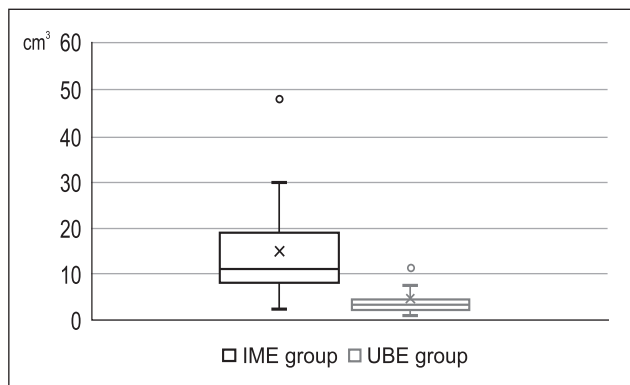


Figure 4. Evaluation of the postoperative scar (cm³) using image analysis software 3D Slicer in observation groups (3–4 months after surgery)

maintained during the examination after 1 and 6 months, no statistically significant differences were observed between the groups ($p > 0.05$).

After decompression of the nerve roots, most operated patients develop scar-adhesion changes of greater or lesser severity. Postoperative reactive changes in the area of disc herniation are manifested by thickening and swelling of the nerve root, loosening, infiltration and compaction of the epidural tissue. By the end of the third week, the stage of aseptic inflammation is replaced by the fibroblastic phase. Dense adhesions appear between the nerve root and the disc located below. After surgical interventions to remove herniated lumbar intervertebral discs, up to 60 % of adverse consequences are due to the formation of scar tissue [9]. That is why it was interesting to study the severity of fibrous changes in the zone of discoradicular conflict after surgical intervention.

It was found that in the IME group, the volume of scar-adhesive formation averaged 14.91 cm³ with an interquartile range from 9.375 to 19. In comparison, in the UBE group, the volume of the postoperative scar was 4.15 [2.175; 4.175] cm³, which is almost 3.6 times smaller. Thus, despite minimizing tissue damage during interlaminar microdiscectomy, most operated patients developed more pronounced scar-adhesive changes compared to biportal endoscopic discectomy ($p \leq 0.01$) (Fig. 4).

Quality of life assessment one month after surgery using the ODI revealed significant improvement reported by patients in both groups (Fig. 5). Before the operation, the ODI was 47.5 % [36.25; 52.5] in the UBE group and 45.5 % [38; 50] in the IME group ($p > 0.05$). One month later, the ODI was 14 % [9; 19] in the UBE patients and 12 % [9; 15] — in the IME, and at the time of the last survey after 6 months, indicators were 8 [4; 12] and 4 % [2; 7], respectively ($p > 0.05$).

Thus, the range of limitations at the time of the last survey in the UBE and IME groups corresponded to minimal violations. No significant differences were found in the intergroup comparison according to the ODI at all stages.

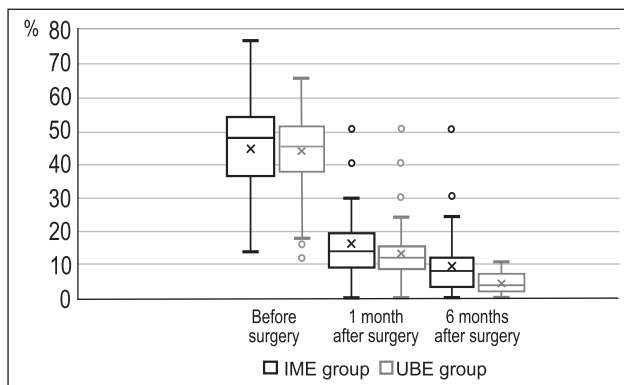


Figure 5. Dynamics of ODI in the UBE and IME groups at the observation stages, %

Separately, we conducted a comparative analysis of the main surgical indicators: the duration of the operation, the blood loss during the hospital stay (Table 2).

The duration of the operation when using endoscopic access was 41 minutes on average [38.5; 44.75] vs 60 min [57.5; 69.65] with microdiscectomy, the difference is statistically significant ($p \leq 0.01$). The volume of blood loss was 2.3 times less during endoscopic access — 53.1 ± 19.7 ml vs 121.5 ± 18.4 ml ($p < 0.05$) (Table 2). As expected, the length of stay in the hospital was shorter in the endoscopic discectomy group — 2 days [1; 3] versus 4 days [3; 6] in the microdiscectomy group ($p \leq 0.05$), which is associated with early activation of patients, less pain syndrome, correspondingly smaller size of postoperative wound and no need for wound care.

Discussion

The study by K. Choi [11] presents the results of a comparative analysis of the treatment of patients with lumbar disc herniation by 4 types of surgical interventions: microdiscectomy (MD), percutaneous endoscopic lumbar discectomy (PELD), percutaneous endoscopic interlaminar discectomy (PEID), UBE.

The largest cross-sectional area of highly intense lesions in the paraspinal muscles (according to MRI) was observed in the MD group ($p < 0.01$). Operative time and length of hospital stay were the shortest in the PELD group ($p < 0.01$). The MD group had significantly higher VAS back pain scores on postoperative days 1 and 3 than the other groups ($p < 0.01$, $p = 0.02$).

In the study of O. Kwon et al. [12], a comprehensive search in the PubMed, Embase, Web of Science, and Ovid databases published until June 30, 2021, was conducted. The purpose of this systematic review was to analyze the results and complications after UBE and compare biportal endoscopic discectomy with other surgical methods. 230 patients with lumbar disc herniation took part in 7 selected studies. The average operation time was 74.4 minutes, and the average length of stay in the hospital was 4.5 days. The average frequency of complications described in 7 articles

was 6.2 % of follow-up. According to the results of UBE, the following were determined: a shorter stay in the hospital than after microdiscectomy; no significant differences according to the ODI and VAS after 1 month.

The results of our research complement the results of S.K. Kim and co-authors [13]: the duration of surgery when using the endoscopic method is lower than during open microdiscectomy. The volume of blood loss is 2.3 times less as determined by the endoscopic method. The length of stay in the hospital is also shorter when performing UBE. The volume of scar-adhesion formations is more pronounced with interlaminar microdiscectomy than with biportal endoscopic discectomy.

Conclusions

The results of our research showed the potential advantages of unilateral biportal endoscopic discectomy over interlaminar microdiscectomy in terms of the volume of blood loss, the severity of scar-adhesion changes in the paraspinal muscles, the length of stay in the hospital, and the severity of back pain syndrome in the early postoperative period.

The prospect for further research is to observe and further study the risks and the need for repeated surgical intervention due to the scar-adhesion process in patients who underwent UBE or IME.

Research compliance with ethical standards. The publication of data obtained during biomedical research was carried out in accordance with the principles of bioethics and legislative norms and requirements for conducting biomedical research, namely: the Declaration of Helsinki (2000), the Constitution (1996) and the Civil Code of Ukraine (2006), the legislation of the Fundamentals of Ukraine on the protection health (1992), the Law of Ukraine “On information” (1992) (with amendments and additions made as of December 1, 2021).

References

1. Fjeld OR, Grovle L, Helgeland J, Småstuen MC, Solberg TK, Zwart JA, Grotle M. Complications, reoperations, re-admissions, and length of hospital stay in 34,639 surgical cases of lumbar disc herniation. *Bone Joint Journal*. 2019;1B(4):470-477. doi: 10.1302/0301-620x.101b4.bjj-2018-1184.r1.
2. Feng Z, Zhao Z, Cui W, Meng X, Hai Y. Unilateral biportal endoscopic discectomy versus microdiscectomy for lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2024;33(6):2139-2153. doi: 10.1007/s00586-023-08116-2.
3. Shen SC, Chen HC, Tsou HK, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L5-S1 disc herniation based

on image analysis and clinical findings: A retrospective review of 345 cases. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(5):e32832. doi: 10.1097/MD.00000000000032832

4. Park HJ, Choi JY, You KH, et al. Clinical and radiologic outcomes of biportal endoscopic lumbar discectomy in obese patients: a retrospective case-control study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):1117. doi: 10.1186/s12891-022-06082-2.

5. Barber SM, Nakhla J, Konakondla S, Fridley JS, Oyesele AA, Gokaslan ZL, Telfeian AE. Outcomes of endoscopic discectomy compared with open microdiscectomy and tubular microdiscectomy for lumbar disc herniations: a meta-analysis. *Journal of neurosurgery. Spine*. 2019;1-14. doi: 10.3171/2019.6.SPINE19532.

6. Lurie JD. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar disc herniation: eight-year results for the spine patient outcomes research trial. *Spine*. 2014;39(1):3-16.

7. Leven D. Risk factors for reoperation in patients treated surgically for intervertebral disc herniation: 2010–2010. *Joint Surg Am*. 2015;97(16):1316-1325.

8. Gibson JNA, Cowie JG, Ipreburg M. Transforaminal endoscopic spinal surgery: future “gold standard” for discectomy? *Surgeon*. 2012;10(5):290-296.

9. Melnychenko OP, Yakymenko IL, Shevchenko RL. *Statystychna obrobka eksperymentalnykh danykh: Navchalnyi posibnyk. Bila Tserkva, 2006. 34 p.*

10. Olmarker K, Rydevik B. Pathophysiology of spinal nerve roots as related to sciatica and disc herniation. In: *Rothman-Simeone Studies, The Spine*. Ed. by Herkowitz HN, Garfin SR, Balderston RA, et al. Philadelphia: WB Saunders; 1999. 159-172.

11. Choi KC, Shim HK, Hwang JS, et al. Comparison of Surgical Invasiveness Between Microdiscectomy and 3 Different Endoscopic Discectomy Techniques for Lumbar Disc Herniation. *World Neurosurg*. 2018;116:e750-e758. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.085.

12. Kwon O, Yoo SJ, Park JY. Comparison of Unilateral Biportal Endoscopic Discectomy with Other Surgical Techniques: A Systemic Review of Indications and Outcomes of Unilateral Biportal Endoscopic Discectomy from the Current Literature. *World Neurosurg*. 2022;168:349-358. doi: 10.1016/j.wneu.2022.06.153.

13. Kim SK, Kang SS, Hong YH, Park SW, Lee SC. Clinical comparison of unilateral biportal endoscopic technique versus open microdiscectomy for single-level lumbar discectomy: a multicenter, retrospective analysis. *J Orthop Surg Res*. 2018 Jan 31;13(1);22. doi: 10.1186/s13018-018-0725-1.

Received 01.07.2024

Revised 12.07.2024

Accepted 21.07.2024

Information about authors

Volodymyr S. Balan, Neurosurgeon, Department of Spinal Neurosurgery, Communal Non-Commercial Enterprise “Regional Clinical Hospital of Ivano-Frankivsk Regional Council”, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: hospital.if.ua@gmail.com; https://orcid.org/0009-0005-9016-9268

Lyudmila D. Kravchuk, PhD in Physical Education and Sports, Associate Professor, Department of Therapy and Rehabilitation, National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine; e-mail: kravchukwww@gmail.com; phone: +380 (97) 877-41-67; https://orcid.org/0009-0009-8572-2398

Iakiv V. Fishchenko, MD, DSc, PhD, Professor, Orthopedist, Neurosurgeon, Leading Researcher, Department of Spine Surgery with Spinal (Neurosurgical) Center, State Institution “Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine; e-mail: fishchenko@gmail.com; phone: +380 (50) 380-87-25; http://orcid.org/0000-0001-7446-0016

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Балан В.С.¹, Кравчук Л.Д.², Фіщенко Я.В.³

¹КНП «Обласна клінічна лікарня Івано-Франківської обласної ради», м. Івано-Франківськ, Україна

²Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна

³ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

Клінічне порівняння односторонньої біпортальної ендоскопічної техніки з інтерламінарною мікродискектомією при однорівневій поперековій дискектомії: проспективне дослідження

Резюме. *Актуальність.* Позитивні клінічні результати мікродискектомії коливаються в діапазоні від 75 до 80 %, однак частка незадовільних результатів при більш ніж дворічному спостереженні становить 38 %, а при восьмирічному сягає 40 %. З метою уникнення післяопераційного фіброзу, що в майбутньому може вимагати повторного хірургічного втручання, а також для покращення результатів хірургічного лікування гриж міжхребцевих дисків необхідно зменшити травматичність доступу. У цьому плані ендоскопічна поперекова дискектомія є найменш інвазивною технологією декомпресії та перспективним напрямком хірургічного лікування міжхребцевих гриж. *Матеріали та методи.* Проспективне дослідження проведено на базі нейрохірургічного відділення хребта та спинного мозку Івано-Франківської обласної клінічної лікарні. Критеріями міжгрупового розподілу були методи хірургічного лікування: хворим першої групи (n = 57) проведено видалення грижі міжхребцевого диска методом односторонньої біпортальної ендоскопічної дискектомії, хворим другої групи (n = 60) виконана відкрита інтер-

ламінарна мікродискектомія. *Результати.* Вірогідних відмінностей при міжгруповому порівнянні за індексом інвалідизації Освестрі на всіх етапах не виявлено. Тривалість операції при використанні ендоскопічного доступу становила в середньому 41 хв [38,5; 44,75] проти 60 хв [57,5; 69,65] при мікродискектомії; різниця статистично значуща ($p \leq 0,01$). При ендоскопічному доступі об'єм крововтрати був у 2,3 раза менше — $53,1 \pm 19,7$ мл та $121,5 \pm 18,4$ мл ($p < 0,05$). Як і очікувалось, тривалість перебування в стаціонарі була меншою в групі ендоскопічної дискектомії — 2 дні [1; 3] проти 4 діб [3; 6] у групі мікродискектомії ($p \leq 0,05$), що асоціюється з ранньою активізацією пацієнтів, меншим больовим синдромом, відповідно меншим розміром післяопераційної рани та відсутністю необхідності догляду за ранною. *Висновки.* Результати нашого дослідження показали потенційні переваги односторонньої біпортальної ендоскопічної дискектомії перед інтерламінарною мікродискектомією.

Ключові слова: одностороння біпортальна ендоскопія; інтерламінарна мікродискектомія

Черватюк М.С., Фіщенко Я.В.

ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

Ефективність комбінованого фармакологічного лікування у пацієнтів з дискогенним больовим синдромом поперекового відділу хребта при дегенеративно-дистрофічних захворюваннях

Резюме. Мета дослідження: визначити ефективність застосування комбінованої медикаментозної терапії в лікуванні дискогенного больового синдрому поперекового відділу хребта. **Матеріали та методи.** Був проведений ретроспективний аналіз результатів лікування 25 пацієнтів, середній вік $39,4 \pm 8,3$ року, з діагнозом: остеохондроз поперекового відділу хребта, люмбагія, дискогенний больовий синдром поперекового відділу хребта, які проходили курс консервативного лікування (НПЗП, міорелаксанти та вітаміни групи В) і носили корсет. Дослідження проводили в клініці хірургії хребта ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» в період з вересня 2023 року по жовтень 2024 року. Використовували ВАШ (см), анкетування Oswestry. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою Microsoft Excel та Statistica 8.0 (StatSoft Inc.). Оцінку результатів проводили через 1 та 6 місяців. **Результати.** Встановлено помірну ефективність використання комбінації НПЗП та міорелаксантів і вітамінів групи В у лікуванні дискогенного больового синдрому поперекового відділу хребта в короткостроковій перспективі. Віддалені результати через 6 міс. показали, що у 6 (24 %) пацієнтів спостерігали загострення больового синдрому, у 14 (56 %) — без змін і лише 3 (12 %) пацієнти отримали позитивний вплив лікування болю. Вивчення суб'єктивної оцінки самопочуття показало, що поліпшення спостерігалось протягом всього періоду спостереження, але відносно невисоке: показник за Oswestry відразу після лікування становив $36,16 \pm 6,08$ (регрес на 14,4 %), через 1 місяць — $35,6 \pm 7,59$ (регрес на 14,9 %) та через 6 місяців — $38,56 \pm 7,9$ (регрес на 12 %) після лікування. **Висновки.** Використання курсу комбінованого фармакологічного лікування з НПЗП, міорелаксантами та вітамінами групи В є ефективним у лікуванні болю в спині лише в короткостроковій (до 1 міс.) перспективі.

Ключові слова: нестероїдні протизапальні препарати; міорелаксанти; дискогенний больовий синдром

Вступ

Хронічний біль у попереку є поширеною та складною проблемою, яка постає перед лікарями різних спеціальностей. За підрахунками, до 90 % людей протягом життя відчувають сильний біль у попереку [1]. Хоча традиційно вважалося, що біль у попереку в більшості випадків минає самостійно, є дані, які показують, що у багатьох людей, які страждають від болю в попереку, виникають рецидиви або перехід у хронічний перебіг. Економічний тягар болю в попереку приголомшли-

вий. За оцінками, щорічні витрати в різних країнах на лікування болю в попереку становлять від 30 до 50 мільярдів доларів [2]. Біль у багатьох випадках може бути виснажливим і є основною причиною відсутності на роботі [3].

У більшості випадків гострого болю в нижній частині спини точну причину болю визначити неможливо [4–6]. У тих, хто страждає на хронічний біль у попереку, приблизно 39 % випадків можна віднести до дискогенного болю [7, 8]. Ця ситуація є складною,

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2024

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2024

Для кореспонденції: Черватюк Михайло Сергійович, лікар ортопед-травматолог, аспірант, відділення хірургії хребта зі спінальним (нейрохірургічним) центром, ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», вул. Бульварно-Кудрявська, 27, м. Київ, 01054, Україна; e-mail: mykhailo.chervatiuk@gmail.com; тел.: +380 (96) 433-20-06

For correspondence: Mykhailo S. Chervatiuk, Orthopedist-Traumatologist, PhD-student, Department of Spine Surgery with Spinal (Neurosurgical) Center, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Bulvarno-Kudriavska st., 27, Kyiv, 01054, Ukraine; e-mail: mykhailo.chervatiuk@gmail.com; phone: +380 (96) 433-20-06

Full list of authors' information is available at the end of the article.

оскільки не усі дегенеровані диски або грижі міжхребцевих дисків є болючими. Дегенерація міжхребцевих дисків є природною частиною процесу старіння і зазвичай починається приблизно на третьому десятилітті життя.

Незважаючи на очевидні успіхи використання нових технологій хірургічного лікування пацієнтів із дегенеративними захворюваннями хребта, консервативне лікування по праву залишається основною медичною допомогою та використовується у переважній більшості хворих. Консервативне лікування ставить перед собою завдання усунення болювого синдрому в гострий період захворювання, а після його закінчення — запобігання рецидиву. Як свідчать дослідження, понад 70–80 % пацієнтів протягом 12 тижнів лікування відчують суттєве поліпшення стану та обходяться без хірургічного втручання [9].

Мета дослідження: визначити ефективність застосування комбінованої медикаментозної терапії в лікуванні дискогенного болювого синдрому поперекового відділу хребта.

Матеріали та методи

Дослідження було проведено у клініці хірургії хребта ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» в період з вересня 2023 року по жовтень 2024 року. Проведене ретроспективне дослідження включало обстеження та оцінку результатів лікування 25 пацієнтів (11 жінок, 14 чоловіків) віком $39,4 \pm 8,3$ року (від 22 до 52 років) з діагнозом: остеохондроз поперекового відділу хребта, люмбалгія, дискогенний болювий синдром поперекового відділу хребта.

Протокол лікування пацієнтів включав прийом нестероїдних протизапальних препаратів (НПЗП), міорелаксантів та вітамінів групи В. Також пацієнтам рекомендували використовувати поперековий напівжорсткий корсет по 3–5 годин на день. Термін про-

ведення консервативного лікування становив 10–15 днів. Пацієнтів спостерігали після закінчення курсу лікування.

Інтенсивність болювого синдрому оцінювали з використанням візуальної аналогової шкали болю (ВАШ, см), задоволеність пацієнтів та якість життя — за допомогою анкетування Oswestry (Oswestry low back pain disability questionnaire) одразу після лікування, через 1 та 6 місяців. Отриманий індекс Oswestry, що характеризує ступінь функціональних порушень пацієнта, оцінювали в діапазоні від 0 (відсутність порушень) до 100 % (абсолютні).

Розподіл пацієнтів за статтю та віком наведено на рис. 1.

Статистичну обробку результатів проводили за допомогою прикладних програм Microsoft Excel та Statistica 8.0 (StatSoft Inc.). Отримані в результаті дослідження дані оброблено методами математичної статистики. Визначено: кількість вибірок (n); середнє арифметичне значення (M); дисперсію (S^2); середньоквадратичне відхилення (SD). Використовувався критерій Манна — Уїтні. Обраний рівень вірогідності P відповідав 95 %, а прийнятий рівень статистичної значущості становив 0,05 ($p = 0,05$).

Результати

Динаміка болювого синдрому за ВАШ

Середня тривалість болювого синдрому в спині, на який скаржились пацієнти, становила $13,5 \pm 2,2$ тижня. При первинному обстеженні пацієнтів вираженість болю в спині в середньому по групі була помірною та відповідала $5,8 \pm 0,8$ см за ВАШ. За результатами дослідження, одразу після лікування спостерігали помірне зниження болювого синдрому в спині, $4,0 \pm 0,8$ см за ВАШ, що було статистично значущим порівняно з даними до лікування ($t = 7,95$;

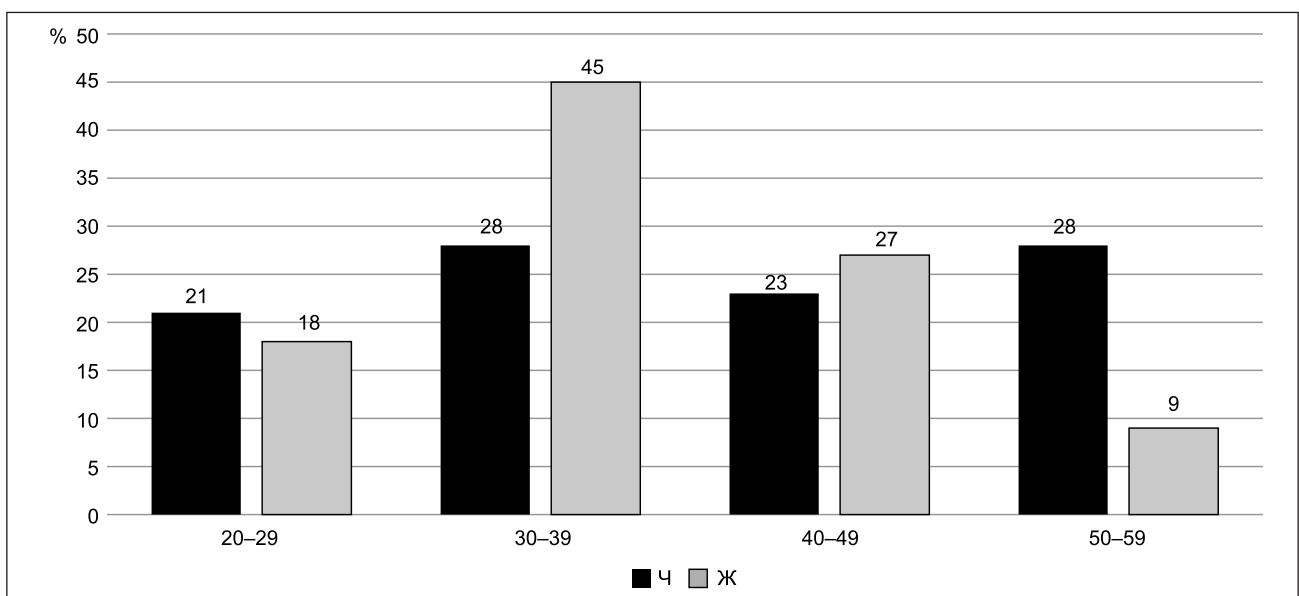


Рисунок 1. Розподіл пацієнтів за статтю та віком

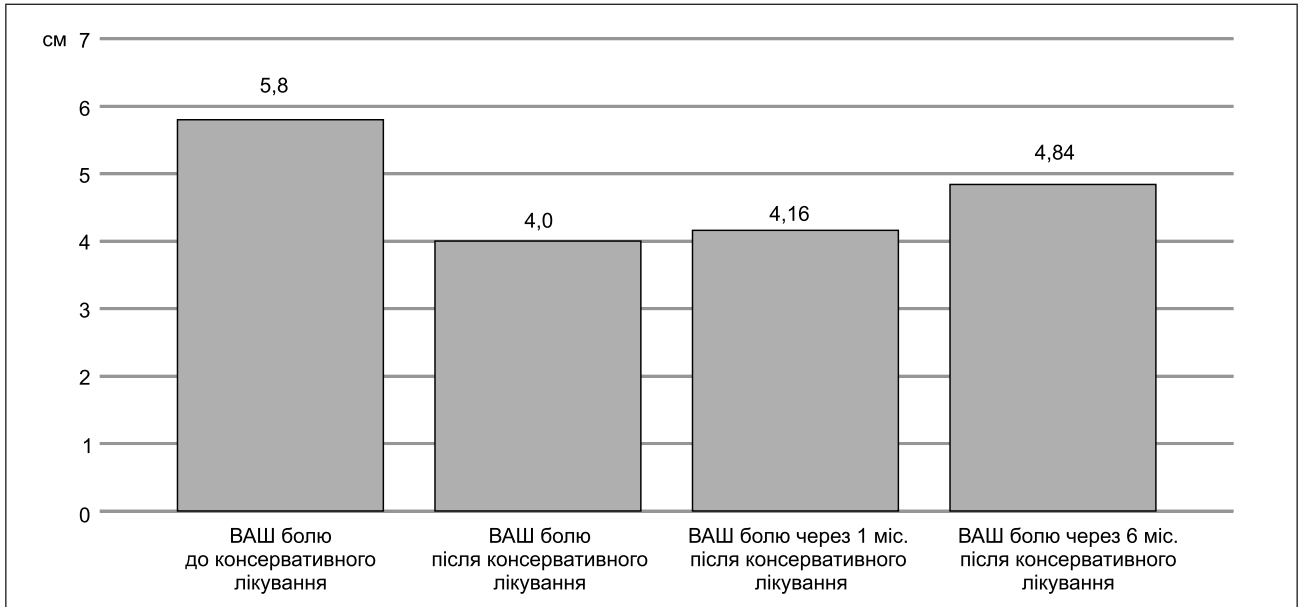


Рисунок 2. Оцінка результатів лікування пацієнтів з дискогенним больовим синдромом поперекового відділу хребта за ВАШ (см) на етапах спостереження

$p \ll 0,01$). Однак протягом періоду спостереження зменшення болю надалі не відмічали, відповідно через місяць — $4,16 \pm 1,1$ см та через 6 місяців показник збільшився до $4,84 \pm 1,3$ см ($t = 1,99$; $p = 0,057$), що дозволяє нам говорити про короткострокову ефективність застосування медикаментозної терапії в лікуванні болю в попереку. Оцінка результатів лікування за ВАШ наведена на рис. 2.

При порівнянні у відсотковому співвідношенні регресу больового синдрому було визначено наступне: поліпшення на 1 бал одразу після лікування відмічали 8 (32 %) пацієнтів, на 2 бали — 8 (32 %), більше ніж 2 бали — 7 (28 %), без змін — 2 (8 %). Через 1 місяць після курсу консервативного лікування показники больово-

го синдрому за ВАШ дещо поліпшились. Так, 7 (28 %) пацієнтів відмічали регрес болю на 1 бал, 14 (56 %) — на 2 бали, 2 (8 %) — на 3 бали, 2 (8 %) — без змін. Через 6 місяців у 6 (24 %) пацієнтів спостерігали загострення больового синдрому — збільшення за ВАШ більше ніж 2 см, 14 (56 %) — без змін. 3 пацієнти (12 %) відмічали поліпшення більше ніж на 4 бали порівняно зі станом до лікування.

Оцінка якості життя за опитувальником Oswestry

Вивчення суб'єктивної оцінки самопочуття за опитувальником Oswestry до початку лікування і після його завершення показало часткове поліпшення якості

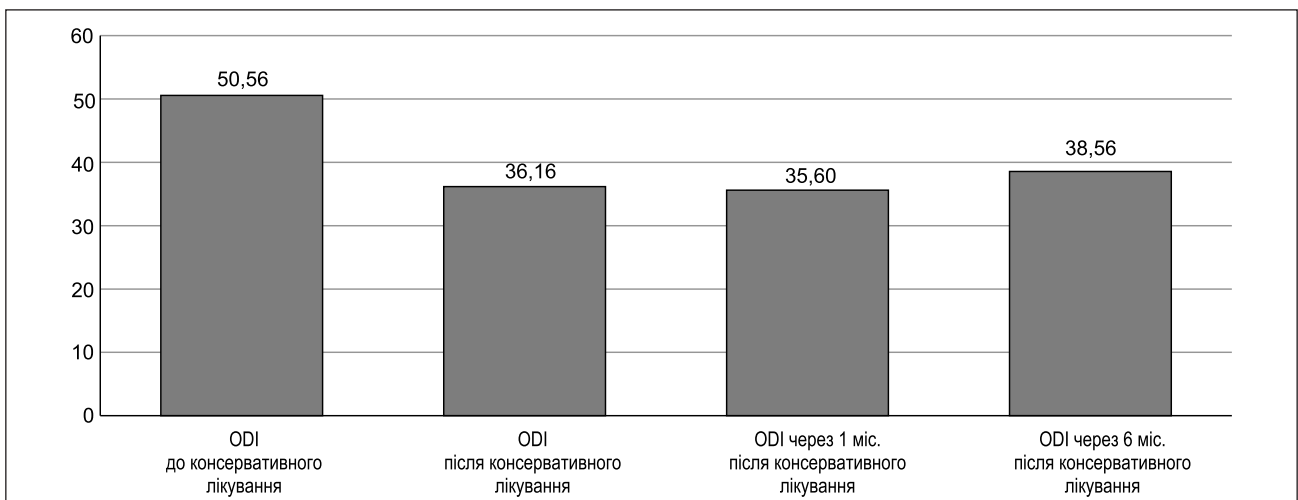


Рисунок 3. Оцінка результатів лікування пацієнтів з дискогенним больовим синдромом поперекового відділу хребта за допомогою опитувальника Oswestry на етапах спостереження

Примітка: ODI — індекс Oswestry (The Oswestry Disability Index)

життя в найближчий період спостереження. До проведеного лікування середній показник у пацієнтів становив $50,56 \pm 7,90$, відразу після лікування — $36,16 \pm 6,08$ ($t = 7,22$; $p \ll 0,01$); через 1 місяць — $35,60 \pm 7,59$ ($t = 6,827$; $p \ll 0,01$), отримані результати продемонстрували статистично значуще поліпшення порівняно з первинними даними, що зберіглося і через 6 місяців — $38,56 \pm 7,90$ ($t = 5,37$; $p \ll 0,01$) (рис. 3).

Таким чином, результати нашого дослідження показали, що застосування НПЗП, міорелаксантів та вітамінів групи В дає позитивний ефект: зменшується больовий синдром, поліпшується якість життя пацієнтів у найближчому періоді спостереження, але на віддаленому етапі відзначається регрес та повернення до вихідного стану зі збільшенням рівня болю у всіх пацієнтів.

Обговорення

У дослідженнях низки авторів продемонстрована ефективність використання міорелаксантів для полегшення дискогенного болю порівняно з плацебо [10, 11]. Застосування міорелаксантів сприяло зменшенню болю, збільшенню обсягу рухів, поліпшенню функціональної здатності опорно-рухового апарату. Однак існує думка, що найвища ефективність міорелаксантів для зменшення симптомів спостерігається при застосуванні у гострий період [12].

R. Chou, L.H. Huffman [13] у своєму дослідженні спостерігали досягнення стійкого поліпшення стану пацієнтів на 6-й день лікування при використанні комбінації НПЗП та міорелаксантів, тоді як 40–50 % пацієнтів, що приймали лише НПЗП, продовжували скаржитись на біль. Також важливим аспектом використання цього поєднання є те, що прийом міорелаксантів дозволяє зменшити дозу НПЗП, що знижує ризик виникнення побічних реакцій. Застосування міорелаксантів у комплексі з НПЗП обумовлено їх фармакологічною дією, оскільки вони усувають чи зменшують вираженість м'язового спазму як одного з важливих компонентів болю.

Також результати нещодавнього систематичного огляду та метааналізу, у який включено 5 рандомізованих клінічних досліджень за участю 1108 дорослих пацієнтів із болем у попереку, продемонстрували, що комбінована терапія диклофенаком разом із вітамінами групи В є більш ефективною щодо анальгетичного ефекту порівняно з монотерапією диклофенаком при лікуванні гострого болю у попереку.

Аналогічно, згідно з дослідженням Levin та співавт., пацієнти, які брали участь у дослідженні, зазначали кращий терапевтичний ефект та об'єктивно мали нижчі показники за ВАШ після проходження курсу комбінованого фармакологічного лікування з використанням диклофенаку та вітамінів групи В порівняно з монотерапією НПЗП [14].

Порівняння результатів нашого дослідження з іншими щодо ефективності комбінованого фармакологічного підходу з використанням НПЗП, міорелаксантів і вітамінів групи В у лікуванні дискогенного болю у

поперековому відділі хребта показало, що комбінована терапія є ефективною лише в короткостроковій (до 1 міс.) перспективі.

Висновки

У наведеному дослідженні виявлено помірну ефективність комбінації НПЗП, міорелаксантів та вітамінів групи В у короткостроковому лікуванні дискогенного больового синдрому поперекового відділу хребта. Через 6 місяців спостереження загострення больового синдрому відзначалося у 6 (24 %) пацієнтів, у 14 (56 %) — без змін, і лише у 3 (12 %) спостерігався позитивний ефект. Суб'єктивна оцінка самопочуття за ODI демонструвала незначне поліпшення: одразу після лікування — $36,16 \pm 6,08$ (регрес на 14,4 %), через 1 місяць — $35,60 \pm 7,59$ (регрес на 14,9 %), через 6 місяців — $38,56 \pm 7,90$ (регрес на 12 %). Отже, комбіноване фармакологічне лікування з НПЗП, міорелаксантами та вітамінами групи В щодо дискогенного болю ефективне лише в короткостроковій перспективі (до 1 місяця), оскільки спостерігається тенденція до регресу ефекту лікування з плином часу.

Перспективи подальших досліджень. Порівняння та визначення переваг і недоліків використання монотерапії (НПЗП, фізіотерапія, PRP-терапія) у пацієнтів з дискогенним болем у попереку.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Підготовка та процес публікації статті фінансовані виключно за власні кошти авторів.

Внесок авторів. Черватюк М.С. — збирання й обробка матеріалів, написання тексту статті; Фіщенко Я.В. — концепція і дизайн дослідження, аналіз отриманих даних, збирання й обробка матеріалів.

Список літератури

1. Frymoyer JW. Back pain and sciatica. *N Engl J Med.* 1988;318:291-300.
2. Pai S, Sundaram LJ. Low back pain: an economic assessment in the United States. *Orthop Clin North Am.* 2004 Jan;35(1):1-5. doi: 10.1016/S0030-5898(03)00101-9. PMID: 15062712.
3. Nguyen TH, Randolph DC. Nonspecific low back pain and return to work. *Am Fam Physician.* 2007 Nov 15;76(10):1497-502. PMID: 18052015.
4. Comer C, Conaghan PG. Tackling persistent low back pain in primary care. *Practitioner.* 2009 Sep;253(1721):32-4, 3. PMID: 19873857.
5. Rozenberg S, Foltz V, Fautrel B. Treatment strategy for chronic low back pain. *Joint Bone Spine.* 2012 Dec;79(6):555-9. doi: 10.1016/j.jbspin.2012.09.003. Epub 2012 Nov 11. PMID: 23148963.
6. Balagué F, Mannion AF, Pellisé F, Cedraschi C. Nonspecific low back pain. *Lancet.* 2012 Feb 4;379(9814):482-91. doi: 10.1016/S0140-6736(11)60610-7. Epub 2011 Oct 6. PMID: 2198225

7. Anderson DG, Tannoury C. *Molecular pathogenic factors in symptomatic disc degeneration. Spine J.* 2005 Nov-Dec;5(6 Suppl):260S-266S. doi: 10.1016/j.spinee.2005.02.010. PMID: 16291122.
8. Zhang YG, Guo TM, Guo X, Wu SX. *Clinical diagnosis for discogenic low back pain. Int J Biol Sci.* 2009 Oct 13;5(7):647-58. doi: 10.7150/ijbs.5.647. Erratum in: *Int J Biol Sci.* 2010;6(6):613. PMID: 19847321; PMCID: PMC2764347.
9. Павленко С.С. Про необхідність стандартизації надання медичної допомоги хворим із поперековими болями. *Біль.* 2009. № 1 (22). С. 22-25.
10. Roger Chou, Deborah Cotton, Deborah Cotton, et al. *Low Back Pain. Ann Intern Med.* 2014;160:ITC6-1. [Epub 3 June 2014]. doi: 10.7326/0003-4819-160-11-201406030-01006.
11. van Tulder M, Becker A, Bekkering T, Breen A, del Real MT, Hutchinson A et al.; COST B13 Working Group on Guidelines for the Management of Acute Low Back Pain in Primary Care. Chapter 3. *European guidelines for the management of acute nonspecific low back pain in primary care. Eur Spine J.* 2006 Mar;15 Suppl 2(Suppl 2):S169-91. doi: 10.1007/s00586-006-1071-2. PMID: 16550447; PMCID: PMC3454540.
12. Mohd Isa IL, Teoh SL, Mohd Nor NH, Mokhtar SA. *Discogenic Low Back Pain: Anatomy, Pathophysiology and Treatments of Intervertebral Disc Degeneration. Int J Mol Sci.* 2022 Dec 22;24(1):208. doi: 10.3390/ijms24010208. PMID: 36613651; PMCID: PMC9820240.
13. Chou R, Huffman LH; American Pain Society; American College of Physicians. *Medications for acute and chronic low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society/American College of Physicians clinical practice guideline. Ann Intern Med.* 2007 Oct 2;147(7):505-14. doi: 10.7326/0003-4819-147-7-200710020-00008. Erratum in: *Ann Intern Med.* 2008 Feb 5;148(3):247-8. doi: 10.7326/0003-4819-148-3-200802050-00020. PMID: 17909211.
14. Levin OS, Moseikin IA. [Vitamin B complex (milgamma) in the treatment of vertebrogenic lumbosacral radiculopathy]. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova.* 2009;109(10):30-5. PMID: 20037567.

Отримано/Received 07.07.2024

Рецензовано/Revised 18.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 27.07.2024

Information about authors

Mykhailo S. Chervatiuk, Orthopedist-Traumatologist, PhD-student, Department of Spine Surgery with Spinal (Neurosurgical) Center, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: mykhailo.chervatiuk@gmail.com; phone: +380 (96) 433-20-06; <https://orcid.org/0009-0004-7831-4621>

Iakiv V. Fishchenko, MD, DSc, PhD, Professor, Orthopedist, Neurosurgeon, Leading Researcher, Department of Spine Surgery with Spinal (Neurosurgical) Center, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: fishchenko@gmail.com; phone: +380 (50) 380-87-25; <http://orcid.org/0000-0001-7446-0016>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. The preparation and publication of the article is financed exclusively by the authors' own funds.

Authors' contribution. M.S. Chervatiuk — collection and processing of materials, writing the text of the article, I.V. Fishchenko — research concept and design, analysis of the data obtained, collection and processing of materials.

M.S. Chervatiuk, I.V. Fishchenko

State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Effectiveness of combined pharmacological treatment in patients with lumbar discogenic pain in degenerative dystrophic diseases

Abstract. Background. The purpose of the study is to determine the effectiveness of combined drug therapy in the treatment of lumbar discogenic pain. **Materials and methods.** A retrospective analysis was performed of treatment outcomes in 25 patients with an average age of 39.4 ± 8.3 years who were diagnosed with osteochondrosis of the lumbar spine, lumbago, lumbar discogenic pain and underwent a course of conservative treatment (nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs), muscle relaxants, and group B vitamins) and wore a corset. The study was conducted in the spine surgery clinic of the State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine" from September 2023 to October 2024. The visual analog scale (cm), Oswestry Disability Index were used. Statistical processing of the results was carried out using Microsoft Excel and Statistica 8.0 (StatSoft Inc.). The results were evaluated after 1 and 6 months. **Results.** A moderate effectiveness of a combination of NSAIDs, muscle relaxants

and group B vitamins in the treatment of lumbar discogenic pain in the short term has been established. Long-term results after 6 months showed that 6 (24 %) patients had an exacerbation of the pain syndrome, 14 (56 %) — no changes, and only 3 (12 %) patients achieved a positive effect of pain treatment. The study of the subjective assessment of well-being demonstrated that the improvement was observed throughout the observation period, but was relatively low: the Oswestry Disability Index immediately after treatment was 36.16 ± 6.08 (regression by 14.4 %), in 1 month — 35.60 ± 7.59 (regression by 14.9 %) and in 6 months — 38.56 ± 7.90 (regression by 12 %). **Conclusions.** The use of a course of combined pharmacological treatment with NSAIDs, muscle relaxants and group B vitamins is effective in the treatment of back pain only in the short-term (up to 1 month) perspective.

Keywords: nonsteroidal anti-inflammatory drugs; muscle relaxants; discogenic pain syndrome

УДК 616.71-001.5-089.84

Рушай А.К., Ковальчук Д.Ю., Байда М.В.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Конструктивні удосконалення кістково-транспортної техніки під час лікування дефектів великогомілкової кістки

Резюме. Актуальність. Сегментарні дефекти кісткової маси великогомілкової кістки після переломів є досить поширеною проблемою. Кістково-транспортна техніка пластики з використанням кільцевих фіксаторів є поширеною надійною тактикою їх лікування, яка застосовується у всьому світі. Вона малотравматична, створює жорстку фіксацію, достатню для зрощення. Метод має низький ризик глибокого інфікування, економічно вигідний і може здійснюватися умовах фінансових та технічних обмежень. Але є і недоліки здійснення кістково-транспортної техніки дистракційного остеогенезу. Їх усунення потенційно можливе шляхом удосконалення конструктивних властивостей кільцевих фіксаторів. **Мета роботи:** в умовах експерименту виявити найбільш ефективні конструктивні удосконалення кістково-транспортної техніки лікування дефектів великогомілкової кістки. **Матеріали та методи.** Використовували сертифіковані композитні кістки Sawbones®, які відповідають характеристикам міцності реальної кістки. Зразки фіксації фрагментів випробували у різних режимах з різними схемами розташування елементів кільцевих фіксаторів спицестрижневого типу. Використовувалася випробувальна машина TIRATEST-2151 № 48/8.9. У процесі випробування дослідний зразок фотографували при різних величинах навантаження. Зображення у цифровому вигляді обробляли на комп'ютері, використовуючи стандартну систему управління цифровим зображенням. **Результати.** Аналіз переміщення уламків кістки при різних системах кільцевих фіксаторів і різних видах навантажень свідчив про наступне. Кращі результати були отримані при такій компоновці: 1 спиця проведена в площині кільця, 2 — під кутом до площини. У стандартному варіанті (2 перехрещені спиці у площині кільця) жорсткість здавлення підвищилася на 14,4 %, згинання — на 30,8 % і скручування — на 4,8 %. Таким чином, проведення і фіксація спиць під кутом до площини кільця підвищує усі параметри жорсткості системи. Такі властивості знижують ризик розвитку таких ускладнень, як нестабільність і зміщення «транспорту» при проведенні дистракції. Важливою складовою було періопераційне мультимодальне знеболювання. **Висновки.** В експерименті виявлено, що найкращі показники жорсткості фіксації мають варіанти компоновки спиць з перехрестям не лише у фронтальній, а й у сагітальній площині. Отримані клінічні дані свідчать про перспективність застосування удосконалених кільцевих фіксаторів.

Ключові слова: дефекти великогомілкової кістки; кільцеві фіксатори

Вступ

Сегментарні дефекти кісткової маси великогомілкової кістки після переломів є актуальною медичною та соціальною проблемою. Основними методами лікування сегментарних кісткових дефектів є дистракційний остеогенез [1–3].

Кістково-транспортна техніка пластики в лікуванні дефектів і незрощень довгих кісток гомілки за допо-

могою кільцевих фіксаторів (КФ) набула поширення у всьому світі. Вона має такі переваги: реконструкція автогенною кісткою без шкоди для здорових тканин інших ділянок; стійкість до інфекції [4–6]. Але цей метод має не тільки переваги, а й недоліки, що детермінує його використання.

Техніка з використанням КФ малотравматична, створює достатню жорстку фіксацію. Метод має низь-

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2024

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2024

Для кореспонденції: Рушай Анатолій Кирилович, доктор медичних наук, професор, кафедра хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії, Інститут післядипломної освіти, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна; e-mail: Anatoliy.rushay@gmail.com; тел.: +380 (97) 359-53-34

For correspondence: Anatoliy Rushay, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Surgery, Anesthesiology and Intensive Care, Postgraduate Education Institute, Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: Anatoliy.rushay@gmail.com; phone: +380 (97) 359-53-34

Full list of authors information is available at the end of the article.

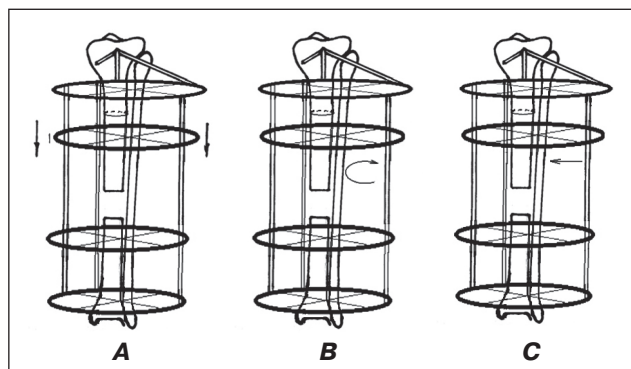


Рисунок 1. Схеми режимів випробування:
А) стиск; В) кручення; С) згин

кий ризик глибокого інфікування, економічно вигідний і технічно може виконуватися в умовах фінансових та технічних обмежень.

У випадках з використанням кістково-транспортної техніки заміщення реалізується можливість утворення високоякісної, біологічно нормальної нової кісткової тканини досить великих розмірів. Однак є й недоліки застосування кістково-транспортної техніки дистракційного остеогенезу КФ.

При зведенні «транспорт» можлива його нестабільність, закидання (кутове зміщення). При тривалому застосуванні КФ може розвинути нестабільність системи «апарат — кістка», зумовлена змінами в системі зовнішньої фіксації або явищами остеопорозу.

Удосконалення технології кістково-транспортної техніки КФ дозволить поліпшити результати лікування цієї тяжкої патології [7–9].

Мета дослідження: в умовах експерименту виявити найбільш ефективні конструктивні удосконалення кістково-транспортної техніки лікування дефектів великогомілкової кістки.

Завдання: на основі літературного аналізу та особистих спостережень виявити найбільш значущі ускладнення технології кістково-транспортної техніки КФ.

В експерименті виявити найбільш оптимальні конструктивні варіанти КФ для подальшого застосування їх в клінічній практиці.

Матеріали та методи

Дослідження проводились у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», на кафедрі динаміки та міцності машин та опору матеріалів. Використовувалася випробувальна машина TIRATEST-2151 № 48/8.9.

Використовували сертифіковані композитні кістки Sawbones®, які відповідають характеристикам міцності реальної кістки. Виробники рекомендують їх використання для тестування, порівняння або конструювання імплантатів та інших пристроїв, що фіксують уламки, зокрема апаратів зовнішньої фіксації [10]. Моделі кортикальної оболонки виготовляються із твердого пінопласту з внутрішнім губчастим матеріалом.

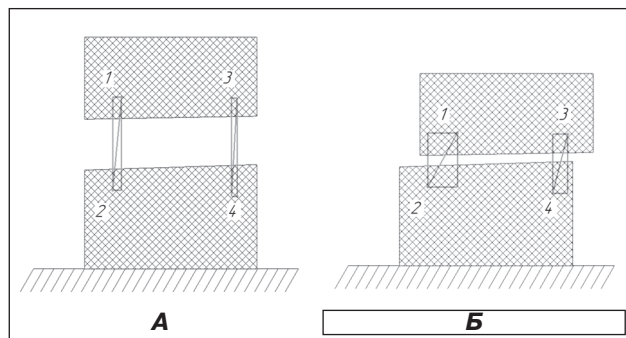


Рисунок 2. Схема фіксації деформування: ненавантажений (А) та навантажений (В) зразки;
1, 2, 3, 4 — мітки, встановлені на уламках кістки

Зразки фіксації остеотомованого фрагмента випробували у різних режимах (рис. 1).

Вибір режимів випробування базувався на аналізі ускладнень при проведенні дистракційного заміщення дефектів. У процесі дистракції «транспорт» (остеотомований фрагмент) повинен долати опір м'яких тканин. При хронічному процесі розвиваються рубцеві тканини, що викликає значний спротив транспортуванню фрагмента. На різних ділянках сегмента гомілки ці параметри дуже різняться. Так, внутрішня поверхня великогомілкової кістки покрита лише шкірою, підшкірною клітковиною і надкiсницею. Спротив переміщенню у цій ділянці мінімальний. На задній і латеральній поверхнях містяться компартменти з вираженими фасціями, які кріпляться до кістки, міжвісна мембрана, м'язи і сухожилки. Тому розподіл навантажень на остеотомований сегмент дуже нерівномірний, що може призводити до його зміщення — закидання та ротаційних зміщень. Після закінчення дистракції та зіставлення уламків на довгий час виникає потреба щільного зіставлення і стабільного утримання для зрощення фрагментів (стабільність здавлювання по осі).

Застосовували спосіб реєстрації переміщень точок біологічних препаратів за допомогою цифрової фотозйомки, що забезпечувало одночасне вимірювання зміщень різних точок біомеханічної системи «фрагмент кістки — фіксатор». При фотографуванні об'єкта було використано контрастні щодо решти зображення точки (мітки). Контрастні мітки розміщували у площинах кістки. Перед початком випробування проводили фотографування ненавантаженого зразка, це фото в подальшому використовували як базове зображення (рис. 2).

У процесі випробування дослідний зразок фотографували при різних величинах навантаження. Зображення у цифровому вигляді обробляли на комп'ютері, використовуючи стандартну систему управління цифровим зображенням.

Для досліджень реалізовано 5 схем закріплення спиць у кільці апарата, яким переміщується остеотомований фрагмент великогомілкової кістки (табл. 1).

Візуалізація варіантів наведена на рис. 3.

У процесі навантаження були записані таблиці, в яких розміщені дані, що реєструвала випробувальна установка. Таблиці містять величини переміщення (мм) і сили (Н), що прикладалася. Щоб виключити вплив на розрахунок жорсткості недійсних результатів (система реєструвала результати і під час того, коли

навантаження було знято), необхідно було побудувати графіки залежності сили (Н) від переміщення зразка (мм). Далі виділяли лінійний відрізок графіка залежності «сила — переміщення», за яким розраховувалася жорсткість системи (Н/мм).

Результати

Отримані в експерименті результати наведені в табл. 2.

Графічно жорсткість системи залежно від компонентки виглядає наступним чином (рис. 4–6).

Аналіз переміщення уламків кістки при різних системах КФ і різних видах навантажень свідчив про наступне. Найбільшу жорсткість мала система 4, у якій «транспорт» було проведено 3 спиці, з них 1 — в площині кільця, 2 — під кутом; фіксація стрижня здійснювалася з плечем жорсткості кріплення.

Збільшення кількості спиць з 2 до 3 (усі були проведені в площині кільця) вело до збільшення жорсткості здав-

Таблиця 2. Порівняння жорсткостей систем за різного просторового розміщення спиць при дії різних видів навантажень (Н/мм)

Номер схеми, її опис		Стиск вздовж осі кістки	Згин	Кручення
1	2 спиці, розташовані в одній площині	66,7	0,91	1,41
2	2 спиці, розташовані під кутом	71,3	1,05	1,36
3	3 спиці, розташовані в одній площині	69,8	0,96	1,46
4	3 спиці, 2 під кутом, 1 — у площині кільця	76,3	1,19	1,52
5	3 спиці, 1 під кутом, 2 — у площині кільця	67,1	0,93	1,48

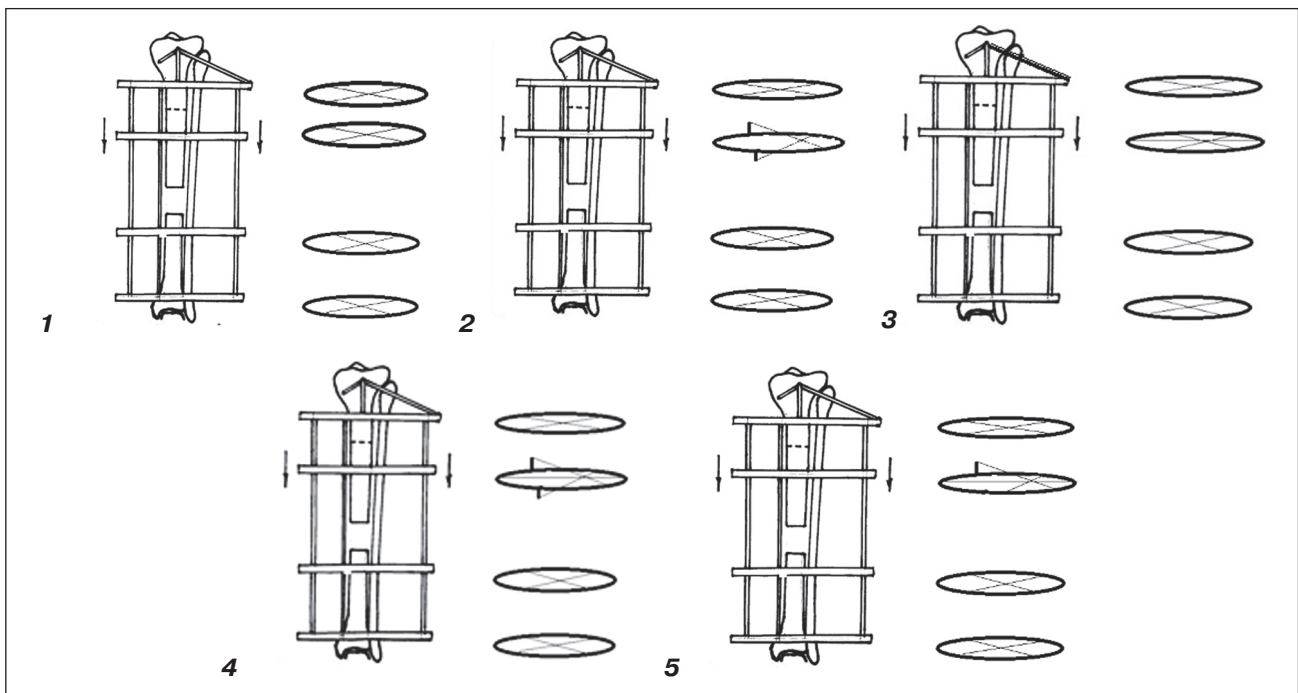


Рисунок 3. Схема розташування елементів КФ: 1) 2 спиці, розташовані в одній площині; 2) 2 спиці, розташовані під кутом до площини кільця; 3) 3 спиці, розташовані в одній площині; 4) 3 спиці, з яких 2 під кутом, 1 — у площині кільця; 5) 3 спиці, з яких 1 під кутом, 2 — у площині кільця

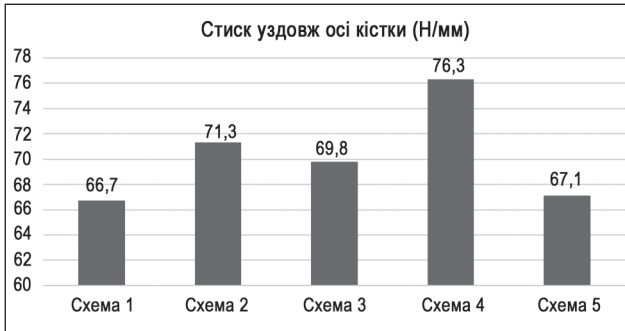


Рисунок 4. Порівняння жорсткості системи на стиск при різних схемах компоновки

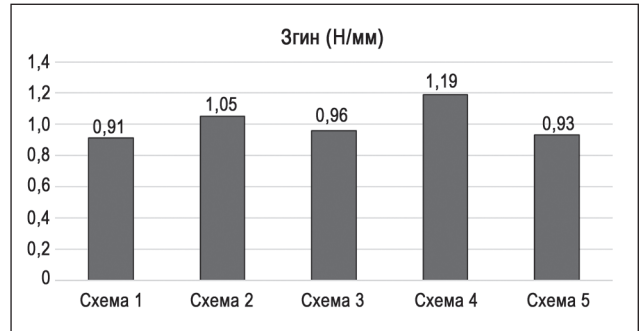


Рисунок 5. Порівняння жорсткості системи на згин при різних схемах компоновки

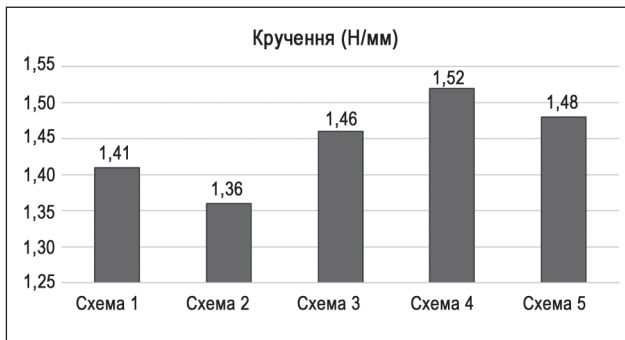


Рисунок 6. Порівняння жорсткості системи на кручення при різних схемах компоновки

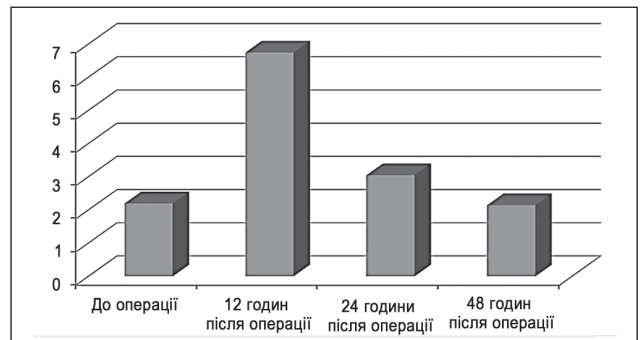


Рисунок 7. Динаміка ВАШ у балах у періопераційному періоді

лювання вздовж осі кістки системи з 66,7 до 69,8 Н/мм; згинання — з 0,91 до 0,96 Н/мм і скручування — з 1,41 до 1,46 Н/мм. Найбільш вдалою була така компоновка: 3 спиці, 2 під кутом, 1 — у площині кільця. Жорсткість значно покращилася: здавлення — до 76,3; згин — до 1,19 і скручування — до 1,52. Найкращі результати були отримані при цій компоновці. У стандартному варіанті (2 спиці у площині кільця) досягли таких поліпшень показників: жорсткість здавлення підвищилася на 14,4 % (до 76,3 Н/мм); згинання — на 30,8 % (до 1,19 Н/мм) і скручування — на 4,8 % (до 1,52 Н/мм).

Клінічна частина

Наш клінічний досвід свідчить про ймовірність виникнення запалення в зоні введення спиць та стрижня. Найчастішою причиною була нестабільність системи «апарат — кістка». Отримавши експериментальні дані щодо підвищення стабільності системи, ми використовували КФ з варіантами компоновки 3 спиць у кільці, яким низводився остеотомований фрагмент — «транспорт», з перехрестям 2 з них не лише у фронтальній, а й у сагітальній площинах.

Анестезія у хворих з незрошеннями кісток була простою, безпечною, надійною, малотоксичною, максимально тривалою. Фактори імунітету при цьому не пригнічувалися. Під час операційної травми і протягом декількох днів після неї здійснювали знеболювання і корекцію альтернативного компонента асептичного

запалення. Це потребувало застосування неселективних інгібіторів у комбінації з розчином парацетамолу (Інфулгану), до яких належить декскетопрофен (Дексалгін®). Виражений больовий синдром веде до спазму судин. Тому важливим етапом зменшення вищ запалення і потенційного поліпшення умов репаративних процесів є профілактика порушення мікроциркуляції у вогнищі й ураженому сегменті впродовж тривалого часу.

Найбільш повно всім цим вимогам відповідала спинномозкова анестезія, яка і застосовувалася нами у цих хворих. Від загальноприйнятої вона відрізнялася застосуванням декскетопрофену (Дексалгіну®) й Інфулгану з метою премедикації і знеболювання в ранньому післяопераційному періоді.

Напередодні проводилася премедикація — вводився Дексалгін®, розчин для ін'єкцій, 25 мг/мл, 2 мл. За півгодини до операції ін'єкцію повторювали.

Через 12 годин внутрішньом'язово вводили 2,0 мл Дексалгіну® навіть при відсутності болю; введення препарату тривало впродовж 3 діб. Наркотичні знеболювальні вводили у випадках вираженого больового синдрому.

Застосування у періопераційному мультимодальному знеболюванні безпечного нестероїдного протизапального препарату Дексалгін® з вираженою знеболювальною дією дозволило мінімізувати використання опіоїдних препаратів у післяопераційному періоді (лише у 3 хворих), що теж вплинуло на функціональні результати.

Таблиця 3. Результати лікування постраждалих з кістковим дефектом гомілки за оцінною анатомо-функціональною шкалою Modified Functional Evaluation Systemby Karlstrom-Olerud

Характеристика категорії	Результати за шкалою Karlstrom-Olerud	
	Абс.	%
Погані (незадовільні) результати	1	8,3
Задовільні результати з помірними порушеннями функції	3	25,0
Добрі і відмінні результати	8	66,7
Усього	12	100,0

Обговорення

Слід зазначити, що багато авторів пропонують різні удосконалення апаратів для дистракційного заміщення кісткових дефектів. Запропоновані конструкції не знайшли широкого застосування через їх складність і травматичність. Запропоноване нами удосконалення просте, малотравматичне, ефективне, базується на використанні стандартних наборів апаратів позавогнищевої фіксації. Це дозволяє використовувати його у спеціалізованих відділеннях лікарень.

Експериментальні і клінічні дані свідчать, що компоновка з проведенням в кільці, яким здійснюється дистракція остеотомованого фрагмента, 3 спиць — 2 під кутом, 1 — у площині кільця, є найбільш стабільною, особливо при здавлюванні. Клінічне застосування отриманих експериментальних даних свідчило про зниження ускладнень і поліпшення результатів. Удосконалені варіанти кістково-транспортної техніки під час лікування дефектів великогомілкової кістки були застосовані у 12 постраждалих з травматичними дефектами великогомілкової кістки. Ускладнень за типом закидання «транспорту» й виникнення нестабільності та запалення в зоні введення спиць та стрижня не спостерігалось.

У хворих клінічно оцінювали розвиток післяопераційного больового синдрому на підставі показників інтенсивності болю за 10-бальною візуально-аналоговою шкалою (ВАШ) протягом 48 годин після операції (рис. 7).

Через 12 годин після початку операції біль пацієнтами оцінювався як терпимий ($6,75 \pm 0,80$ бала).

Підвищення показників ВАШ порівняно з доопераційними ($2,25 \pm 0,80$) свідчило про поступове зменшення дії спинномозкової анестезії і премедикації (зокрема, Дексалгіну®).

З ослабленням дії спинномозкової анестезії основним напрямком знеболювання декскетпрофеном було пригнічення трансдукції (ноцицептивної рецепції), трансмісії (передачі ноцицептивної інформації в інтегративні центри центральної нервової системи) і меншою мірою — модуляція (пресинаптичного гальмування і полегшення).

На 12-ту годину після початку операції дія спинномозкової анестезії практично припинялася, а больова імпульсація була значною. Знеболювання забезпечувалося дією Дексалгіну® (пригнічення механізмів цен-

трального і периферичного генезу болю). Потреба у введенні промедолу зменшувалася.

Через 24 і 48 годин після втручання ($3,05 \pm 0,70$ бала і $2,15 \pm 0,60$ бала відповідно) біль був слабо виражений і легко переносився хворими.

Це призвело до того, що у переважної більшості оперованих (11 осіб) з використанням Дексалгіну® промедол вводився в кількості 1,0 мл одноразово, і лише у 1 знадобилося його повторне введення.

Були отримані наступні результати лікування постраждалих з кістковим дефектом гомілки з використанням КФ і запропонованих нами режимів лікування за оцінною анатомо-функціональною шкалою Modified Functional Evaluation Systemby Karlstrom-Olerud (табл. 3).

У 8 (66,7 %) хворих результати були оцінені як добрі та відмінні і лише у 1 — як незадовільний. Беручи до уваги тяжкість патології і схожість отриманих результатів інших авторів [7–9], отримані клінічні результати слід вважати непоганими.

Таким чином, спіцестрижневі вдосконалені конструкції апаратів на основі стандартних наборів дозволили уникнути багатьох ускладнень позавогнищевої фіксації та отримати добрі результати. Отримані результати вдосконаленого дистракційного остеосинтезу КФ слід вважати обнадійливими, проте ця проблема потребує подальшого вивчення.

Періопераційне знеболювання хворих з незрошеними кісток гомілки проводилося шляхом здійснення спинномозкової анестезії, яка доповнювалася застосуванням Дексалгіну® з розчином парацетамолу (Інфулгану) у вигляді премедикації і знеболювання в ранньому післяопераційному періоді. Кількість промедолу при цьому була незначною. Результати знеболювання після втручання оцінювалася хворими як адекватні.

Висновки

1. В експерименті виявлено, що найкращі показники жорсткості фіксації мають варіанти компоновки спиць з перехрестям не лише у фронтальній, а й у сагітальній площинах.

2. Отримані клінічні дані свідчать про перспективність застосування удосконалених кільцевих фіксаторів у комбінації з проведенням мультимодального періопераційного знеболювання.

Список літератури

1. Perut F.; Roncuzzi L.; Gómez-Barrena E.; Baldini N. Association between Bone Turnover Markers and Fracture Healing in Long Bone Non-Union: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2024; 13: 2333. <https://doi.org/10.3390/jcm13082333>.
2. Maimaiti X., Liu K., Yusufu A. et al. Treatment of tibial bone defects caused by infection: a retrospective comparative study of bone transport using a combined technique of unilateral external fixation over an intramedullary nail versus circular external fixation over an intramedullary nail. *BMC Musculoskelet Disord* 2024; 25: 284. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07377-2>.
3. Cao Z.M., Sui X.L., Xiao Y., Qing L.M., Wu P.F., Tang J.Y. Efficacy comparison of vascularized iliac crest bone flap and Ilizarov bone transport in the treatment of traumatic bone defects of the tibia combined with large soft tissue defects. *J Orthop Surg Res.* 2023; 18: 349. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03783-9>.
4. Zhang Q., Kang Y., Wu Y., Ma Y., Jia X., Zhang M., Lin F. Masquelet combined with free-flap technique versus the Ilizarov bone transport technique for severe composite tibial and soft-tissue defects. *Injury.* 2024; 4: 111521 <https://doi.org/10.1016/j.injury>.
5. Laksha A.A. [Biomechanical justification of the use of external fixation systems in the surgical treatment of wounded with gunshot fractures of long bones (clinical-experimental study)]: dissertation of candidate of medical sciences. *Liman*, 2018. 29 p.
6. Shidlovskiy M.S., Laksha A.A., Musienko O.S. [Characteristics of the hardness of rod apparatus for the fixation of fired fractures]. In: *Progressive technique, technology and engineering education. Materials of the XIX International Scientific and Technical Conference.* Kyiv, 2018. P. 24-27. <https://doi.org/10.20535/2409-7160.2018.XIX.241015>.
7. Liu K., Zhang H., Maimaiti X. et al. Bifocal versus trifocal bone transport for the management of tibial bone defects caused by fracture-related infection: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2023; 18: 140. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03636-5>.
8. Aktuğlu K., Erol K., Vahabi A. Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology.* 2019; 20(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/s10195-019-0527-1>.
9. Wu Y., Yin Q., Rui Y., Sun Z., Gu S. Ilizarov technique: Bone transport versus bone shortening-lengthening for tibial bone and soft-tissue defects. *Journal of Orthopaedic Science*, 2018; 23: 2: 341-345. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.12.002>.
10. Best orthopedic workshop bone models for surgical skills education training. View at: Publisher Site: <https://www.sawbones.com/ORTHOPAEDIC-MODELS-PRODUCT-INFO>.

Отримано/Received 06.07.2024

Рецензовано/Revised 17.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 26.07.2024

Information about authors

Anatoliy Rushay, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Surgery, Anesthesiology and Intensive Care, Postgraduate Education Institute, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: Anatoliyrushay@gmail.com; phone: +380 (97) 359-53-34; <https://orcid.org/0000-0002-9530-2321>

Dmytro Yu. Kovalchuk, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: Kovadimid@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3106-6048>

M.V. Baida, Department of Surgery, Anesthesiology and Intensive Care, Postgraduate Education Institute, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: surgery.postgrad@nmu.ua

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

A.K. Rushai, D.Yu. Kovalchuk, M.V. Baida
Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Constructive improvements of bone transport technique in the treatment of tibial defects

Abstract. Background. Segmental defects of the tibial bone mass after fractures are a common problem. Bone transport using ring fixators is a common reliable technique for their treatment, which is spreading all over the world. It is minimally traumatic, creates a rigid fixation sufficient for fusion. The method has a low risk of deep infection, is cost-effective, and can be performed under financial and technical constraints. However, there are also disadvantages of the bone transport technique of distraction osteogenesis. Their elimination is potentially possible by improving the design properties of ring fixators. The purpose was to identify the most effective constructive improvements in the bone transport technique for the treatment of tibial defects in the experiment. **Materials and methods.** Certified composite Sawbones® were used, which correspond to the strength characteristics of real bone. Samples of fragment fixation were tested in various modes with different arrangements of elements of the ring fixators of the spoke-rod type. The testing machine TIRAtest 2151 No. 48/8.9 was used. During the test, the prototype was photographed at different load values. The images were digitally processed

on a computer using a standard digital image management system. **Results.** The analysis of bone fragment transport with different systems of ring fixators under various types of loads showed the following. The best results were obtained with such arrangement: 1 spoke is in the plane of the ring, 2 spokes are at an angle to the plane. In the standard variant (2 crossed spokes in the plane of the ring), the compressive stiffness increased by 14.4 %; bending — by 30.8 % and torsion — by 4.8 %. Thus, the passage and fixation of spokes at an angle to the plane of the ring increases all the parameters of the system stiffness. These properties reduce the risk of complications such as instability and displacement of the “transport” during distraction. An important component was perioperative multimodal analgesia. **Conclusions.** The experiment revealed that the best indicators of fixation rigidity are obtained with the variants of the spoke arrangement with a cross not only in the frontal but also in the sagittal planes. The clinical data obtained indicate the prospects of using improved ring fixators.

Keywords: tibial defects; ring fixators

Гайко Г.В., Костогриз О.А., Сулима О.М., Калашніков О.В., Підгаєцький В.М.,
Осадчук Т.І., Заєць В.Б.

ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

Вплив факторів ризику на результати ревізійного ендопротезування колінного суглоба

Резюме. Актуальність. Проблема ревізійного ендопротезування в сучасній ортопедії стоїть надзвичайно гостро, про що свідчить збільшення його частоти. Проте ймовірні фактори, що призводять до розвитку нестабільності компонентів ендопротеза колінного суглоба, за даними різних авторів, різняться, потребують вдосконалення і методи оцінки результатів ендопротезування. **Мета:** визначити фактори ризику, що вплинули на результати ендопротезування колінного суглоба, та запропонувати методику оцінки результатів ендопротезування. **Матеріали та методи.** Робота ґрунтується на аналізі результатів лікування 105 протезованих хворих. Операції виконані за період з 2010 по 2021 рік на базі клініки ортопедії та травматології дорослих ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України». Проводилось клініко-анамнестичне обстеження пацієнтів з визначенням індексу маси тіла, супутньої патології та умов праці, осі прооперованої кінцівки, визначались ранні післяопераційні ускладнення та фактори, що призводять до тугорухомості суглоба, проводилось рентгенографічне (з визначенням перипротезних зон лізису кісткової тканини) та сонографічне дослідження. Дані, отримані в результаті обстеження, статистично оброблені. **Результати.** Встановлено фактори ризику, що вплинули на нестабільність компонентів ендопротеза колінного суглоба: важка фізична праця ($t = 1,34$ і вище, $p < 0,05$); ожиріння зі значенням $IMT \geq 30$ ($t = 2,24$ і вище, $p < 0,05$), залишкова деформація ($\chi^2 = 4,55$, $n = 2$, $p < 0,05$); ранні післяопераційні ускладнення ($Z = 7,25$, $p < 0,01$), порушення техніки цементування стегнового ($t = 1,63$ і вище, $p < 0,05$) та великогомілкового компонентів ($t = 1,36$ і вище, $p < 0,05$). Серед ранніх факторів ризику виділено: резорбцію кісткової тканини на межі «цемент — кістка» у вигляді смужки просвітлення (з локалізацією в 1, 2, 3, 4-й зонах за Нюґеонґ Mulcahy і Felix S. Chew) в дистальному відділі стегнової кістки ($t = 4,95$ і вище, $p < 0,05$), проксимальному відділі великогомілкової кістки ($t = 1,52$ і вище, $p < 0,05$), динамічна проба на нестабільність та УЗД-критерії діагностики розхитування (ознаки гіперваскуляризації, синовіт з об'ємом рідини понад 50 см³). Серед пізніх факторів ризику нестабільності визначено зміни на межі «цемент — кістка» і «імплант — цемент», з локалізацією в «зонах виступів» (5-та, 6-та, 7-ма зони за Нюґеонґ Mulcahy і Felix S. Chew) в ділянці стегнової ($t = 1,63$ і вище, $p < 0,05$) та великогомілкової кісток ($t = 1,36$ і вище, $p < 0,05$). Факторами, що вплинули на розвиток тугорухомості в протезованому суглобі, були: оперативні втручання до ендопротезування ($t = 1,53$ і вище, $p < 0,05$), ранні ускладнення ($t = 1,49$ і вище, $p < 0,05$), супутні захворювання в анамнезі ($\chi^2 = 4,55$, $p < 0,05$), пошкодження зв'язкового апарату ($\chi^2 = 7,55$, $p < 0,05$), судин, нервів під час ендопротезування ($\chi^2 = 6,55$, $p < 0,05$), залишкові деформації осі кінцівок ($\chi^2 = 4,55$, $p < 0,05$). **Висновки.** На основі вивчених факторів, що вірогідно вплинули на результати ревізійних операцій, запропоновано системний підхід до оцінки результатів ревізійного ендопротезування колінного суглоба, що дозволить уникнути післяопераційних ускладнень та поліпшить якість лікування цієї складної категорії хворих.

Ключові слова: колінний суглоб; ендопротезування; ревізія; фактори; система оцінки

Вступ

Загальновідомо, що тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТЕКС) є ефективним методом лікування пацієнтів з дегенеративно-дистрофічними захворюваннями в їх термінальних стадіях та наслідками травм колінного суглоба [1]. Зведена статистика виживання ендопротезів колінного суглоба становить близько 82 % протягом 12 років, а добрі та відмінні результати спостерігаються протягом 50–80 % цього терміну [2]. Проте проблема ревізійного ендопротезування в сучасній ортопедії стоїть надзвичайно гостро, про що свідчить збільшення його частоти [3]. Найбільш частою причиною ревізійного протезування є інфекційні ускладнення та розхитування компонентів або їх комбінація, що сумарно становлять близько 60 % від усіх ускладнень. Більшість невдач спостерігаються в перші 2 роки після операції, серед яких [4, 5]: парепротезна інфекція (25,2–44,1 % від усіх ускладнень); тугорухомість (22,6 % від усіх ускладнень); нестабільність компонентів (16,1 % від усіх ускладнень); нестабільність суглоба (2,9–13 % від усіх ускладнень); злам компонентів (9,7 % від усіх ускладнень); перипротезний остеоліз (3,2 % від усіх ускладнень); перипротезні переломи (1,5 % від усіх ускладнень); ТЕЛА, гетеротопічна осифікація, пошкодження розгинального апарату, пошкодження судин та нервів (2,2–5,7 % від усіх ускладнень).

Деякі дослідники [4, 6] вказують, що розхитування компонентів ендопротеза є однією з основних причин незадовільних результатів ТЕКС. Нестабільність може бути ранньою, внаслідок неналежної фіксації, та пізньою — у результаті остеолізу. Цементування компонентів забезпечує швидку і надійну їх фіксацію з подальшим позитивним клінічним ефектом, але тільки при чіткому дотриманні правил цементування. На особливу увагу заслуговують безцементні конструкції ендопротезів, завданням яких є можливість протезування відносно молодих пацієнтів з можливістю формування біологічної вторинної фіксації внаслідок вrostання кісткової тканини в глибину покриття ендопротезів. Але на сьогодні відсутні переконливі дані, які б свідчили про перевагу безцементних конструкцій над цементними.

Слід зазначити, що надійно фіксований цементний ендопротез поступово може розхитатися. І це пов'язано з багатьма факторами, одним з ключових є неправильне просторове розміщення компонентів та балансування проміжків [7]. Як вказує Fang et al.,

функціональність і виживання протеза залежать від вирівнювання осі кінцівки [8]. Проаналізувавши результати великої кількості первинних протезувань з середнім терміном 6,6 року після операції, автори виявили статистично значуще збільшення випадків невдач у пацієнтів з вальгусним тибіофemorальним кутом у діапазоні 2,4–7,20. Це пов'язано з концентрацією напружень як безпосередньо на кістковій тканині, так і внаслідок дії продуктів зношення поліетилену, кількість яких значно зростає через ці концентрації. На зношення поліетилену впливає не лише вирівнювання осі, але й тиск між поверхнями стегнового та гомілкового компонентів, що контактують, механізм замикання лайнера та механізм замикання між компонентами у зв'язаних протезах з можливістю ротації чи без неї. Крім того, більшість хірургів вважають, що зношення залежить від фізичної активності та надмірної маси тіла пацієнта [9, 10]. Проте імовірні фактори, що призводять до розвитку нестабільності компонентів ендопротеза колінного суглоба, за даними різних авторів, різняться, потребують вдосконалення і методи оцінки результатів ендопротезування.

Тому цікавим у науковому та практичному сенсі вважаємо проаналізувати клінічний матеріал для розв'язання нагальних питань.

Мета дослідження: визначити фактори, що вплинули на результати ендопротезування колінного суглоба, з метою поліпшення якості лікування хворих.

Матеріали та методи

Робота основана на аналізі результатів 105 хворих після ендопротезування колінного суглоба. З них 85 пацієнтів з ревізійними ендопротезуваннями та 20 пацієнтів після проведеного ендопротезування колінного суглоба без клінічних ознак нестабільності компонентів ендопротеза (контрольна група при проведенні УЗ-дослідження). Операції виконані за період з 2010 по 2021 рік на базі клініки ортопедії та травматології дорослих ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України».

Розподіл хворих з нестабільними компонентами ендопротеза за статтю та віком наведено в табл. 1 та на рис. 1.

Абсолютну більшість становлять жінки віком 60–74 роки. Коефіцієнт кореляції Пірсона, який характеризує залежність кількості хворих з нестабільними компонентами ендопротеза від віку, дорівнює: 0,98 для чоловіків та 0,85 для жінок (табл. 1).

Таблиця 1. Розподіл хворих з нестабільними компонентами ендопротеза за статтю та віком

Стать	Вік, років									
	21–44		45–59		60–74		Понад 75		Разом	
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Чоловіки	2	9,1	4	18,2	7	31,8	9	40,9	22	100,0
Жінки	8	12,7	13	20,6	23	36,5	19	30,2	63	100,0
Разом	10	11,8	17	20,0	30	35,3	28	32,9	85	100,0

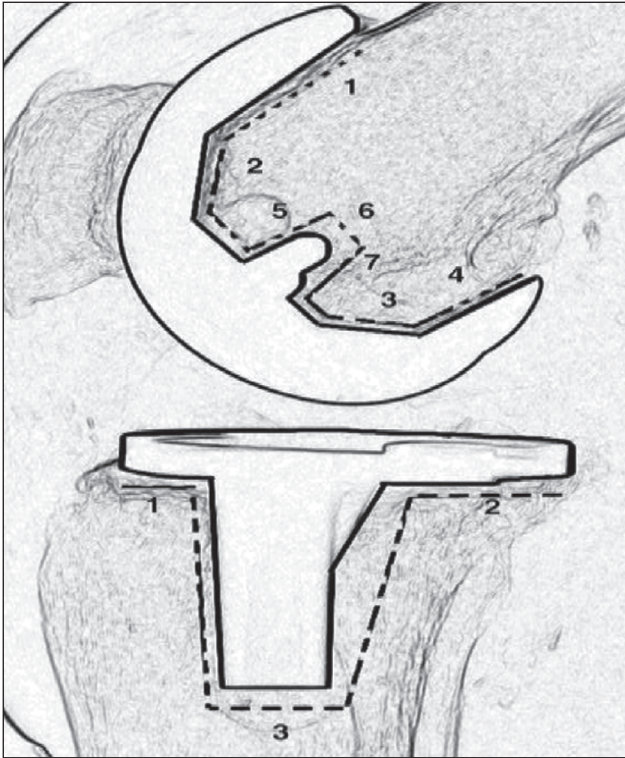


Рисунок 1. Зони контакту компонента ендопротеза, цементу та кістки в бічній проекції (схема).

Стегновий компонент: зони 1, 2 — передній фланець; зони 3, 4 — задні відділи; 5, 6, 7 — центральна зона або ніжка (за її наявності). Тибіальний компонент: зона 1 — передній відділ; зона 2 — задній відділ, зона 3 — ніжка [13]

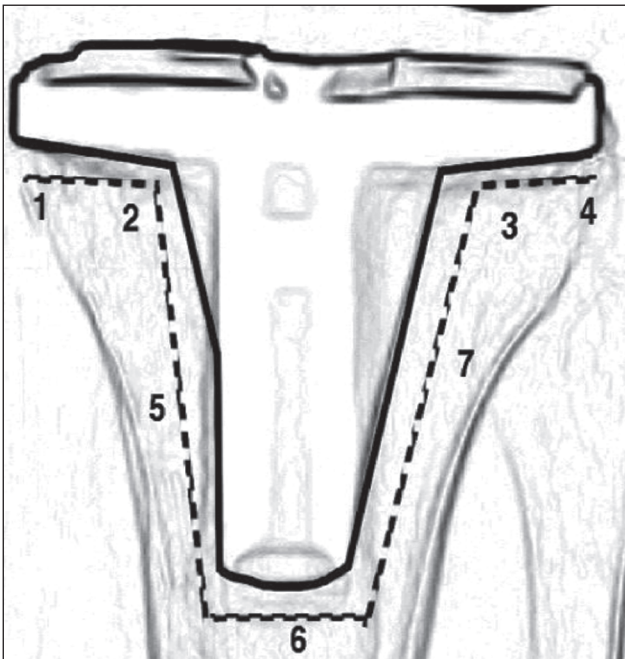


Рисунок 2. Зони контакту тибіального компонента, цементу та кістки у прямій проекції (схема). Зони 1, 2 — медіальне плато; зони 3, 4 — латеральне плато; зони 5, 6, 7 — ніжка [13]

Клінічна частина обстеження передбачає виявлення скарг хворого на біль в оперованому суглобі та умови його виникнення, користування додатковою опорою. Встановлювали масу тіла хворого, тяжкість праці та супутні захворювання. Обов'язковим моментом є вимірювання довжини оперованої кінцівки та об'єму рухів в оперованому суглобі, визначення приросту відносного вкорочення порівняно з попереднім обстеженням. Для визначення стану прооперованого колінного суглоба користувались альгофункціональним індексом Лекена [11].

У діагностиці асептичного розхитування компонентів ендопротеза колінного суглоба ключову роль відіграють променеві методи діагностики. Так, рентгенологічними ознаками розхитування компонентів ендопротеза колінного суглоба є широкі (понад 2 мм) лінії просвітлення, що прогресують на межі «цемент — кістка» або «цемент — метал», міграція або просідання компонентів ендопротеза і злам цементної мантії [12].

Нуојеong Mulcahy та Felix S. Chew у 2014 році запропонували з метою більш точної оцінки контактних поверхонь імплантата, цементу та кістки розбивати рентгенограму на умовні зони (рис. 1, 2) [13].

У ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» на базі відділу функціональної діагностики в період з 2010 по 2021 рік виконано 40 УЗ-досліджень протезованих хворих. У контрольній групі у 20 пацієнтів не було ні рентгенологічних, ні клінічних ознак асептичної нестабільності компонентів ендопротеза, у 20 інших пацієнтів мали місце клінічні ознаки асептичного розхитування ендопротеза. А саме: біль при навантаженні суглоба, обмеження функції. Вірогідних рентгенологічних ознак нестабільності в обох групах пацієнтів не було. Групи були вірогідно однорідні за віком та статтю.

Дослідження проводилось за допомогою ультразвукового апарата Siemens Sonoline G-50 с лінійним датчиком 3–7,5 МГц. Частота вибиралася залежно від глибини припустимого процесу. Використовували стандартну методику дослідження, датчик встановлювали сагітально та фронтально щодо патологічного вогнища. Оцінювали наявність або відсутність рідини інтраартикулярно, її об'єм, розміри порожнини, яка вміщує рідину, ехогенність вмісту, наявність включень та рухливість компонентів. Також проводили функціональну пробу на наявність нестабільних компонентів ендопротеза. Хворий після дослідження лежачи згинав колінний суглоб під кутом 90 градусів, і виконувалось функціональне навантаження на протезований суглоб у фронтальній площині [14].

У своїй роботі ми користувалися класифікацією кісткових дефектів ложа нестабільного протеза колінного суглоба за AORI (Anderson Orthopaedic Research Institute, USA) [15].

Конституцію пацієнтів визначали за допомогою індексу маси тіла (ІМТ, індекс Кетле) [16]. Відповідність між масою та зростом людини за ІМТ трактується наступним чином: ІМТ менше за 18,5 — недостатня маса

тіла; 18,5–24,9 — норма; 25–29,9 — ожиріння I ступеня; 30–39,9 — ожиріння II ступеня; більше ніж 40 — ожиріння III ступеня.

Для проведення розрахунків користувалися базою даних обстеження хворих з ускладненнями після проведеного ТЕКС, що були введені в таблицю Microsoft Excel 2003. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою загальноприйнятих методів (критерій Крускала — Уолліса, обчислення поліхоричного та тетрахоричного показника зв'язку, порівняння двох середніх) у програмних середовищах MS Excel 2010 та Statistica 12.6 (StatSoft). Перевірку гіпотези про нормальний розподіл проводили за допомогою моментів вищого порядку (асиметрії й ексцесу).

Результати та їх обговорення

З метою визначення факторів, що вплинули на результати ендопротезування колінного суглоба, та розробки методики оцінки результатів протезування проведено клініко-анамнестичне обстеження з визначенням супутньої патології, індексу маси тіла, показників тяжкості праці. З 85 обстежених пацієнтів у 73 % виявлено супутню патологію: ІХС була у 9 (10,6 %) хворих, гіпотиреоз — у 17 (20 %), гіпертиреоз — у 13 (15,3 %), цукровий діабет — у 23 (27 %). Щодо залежності нестабільності та маси тіла визначено вірогідне домінування випадків з ожирінням III ступеня. З ІМТ 18,5–24,9 було 18 (21,18 %), з ІМТ 25–29,9 — 24 (28,24 %), з ІМТ 30–39,9 — 36 (42,35 %), з ІМТ ≥ 40 — 7 хворих (8,24 %). Тобто надмірна маса тіла стала фактором, що призвело до виникнення нестабільності компонентів колінного суглоба (ІМТ ≥ 30 , $Z = 2,08$, $p < 0,05$). Цей висновок подібний до результатів S. Gunst, M.H. Fessy (2015), які стверджують, що ризик реендопротезувань через асептичну нестабільність великогомілкового компонента вдвічі більший у пацієнтів з ІМТ ≥ 35 кг/м², незалежно від віку чи розташування кінцівок [17].

Хворі, які звертались з нестабільністю ендопротеза, займались середньою та важкою працею. Середня важкість праці була у 21 пацієнта (24,71 %), важка пра-

ця була у 45 (52,94 %), залежність вірогідна ($Z = 6,25$, $p < 0,01$).

За типом попередніх оперативних втручань на суглобі випадки нестабільності компонентів розподілилися наступним чином: не було операцій у 51 випадку (60,0 %), МОС виростків стегнової чи великогомілкової кістки було виконано у 7 випадках (8,2 %), корекційну остеотомію стегнової чи великогомілкової кістки було виконано у 4 випадках (4,7 %), артроскопію (дебридмент, синовектомія, парціальна резекція меніска чи меніскектомія) — у 20 випадках (23,5 %), відкриту чи артроскопічну пластику хрестоподібних зв'язок було виконано у 3 випадках (3,5 %). Вірогідно домінували випадки без попередніх оперативних втручань ($t = 5,15$ і вище, $p < 0,05$). Аналогічне домінування випадків без операцій у групі з тотальною нестабільністю ($t = 4,29$ і вище, $p < 0,05$) — 63,0 %, з ізольованою нестабільністю ($t = 1,52$ і вище, $p < 0,05$) СК — 64,3 %, з ізольованою нестабільністю ($t = 2,58$ і вище, $p < 0,05$) ВК — 53,6 %. Отримані результати свідчать про те, що попередні оперативні втручання не є причиною розхитування стегнового та великогомілкового компонентів, оскільки більшість з них розхиталась саме у тих випадках, коли попередніх оперативних втручань на колінному суглобі не було (табл. 2). За даними J.V. Lim (2016), пацієнти з операціями на колінному суглобі в анамнезі мають такі ж післяопераційні результати, як і ті, хто раніше не оперувався [18].

У хворих з нестабільними ендопротезами мала місце значна кількість залишкових деформацій — 66 випадків, або 77,6 %. Таким чином, залишкові деформації осі кінцівки та позиція компонентів значно вплинули на успіх ендопротезування та стабільність компонентів. Залежність вірогідна з $Z = 3,15$, $p < 0,01$. Результати щодо високої частоти поєднання кісткових деформацій після ендопротезування колінного суглоба з нестабільністю ендопротезів узгоджуються з даними інших досліджень у цій галузі [19].

Визначали ранні ускладнення, що виникали протягом перших тижнів у хворих з нестабільними компонентами ендопротеза (табл. 3).

Таблиця 2. Розподіл випадків нестабільності залежно від попередніх оперативних втручань на протезованому суглобі

Попередні операції	Нестабільність						Разом	
	Тотальна		СК		ВК			
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Не було	27	31,8	9	10,6	15	17,6	51	60,0
МОС виростків	3	3,5	–	–	4	4,7	7	8,2
Корекційна остеотомія	4	4,7	–	–	–	–	4	4,7
Артроскопія	9	10,6	5	5,9	6	7,1	20	23,5
Пластика хрестоподібних зв'язок	–	–	–	–	3	3,5	3	3,6
Разом	43,0	50,6	14,0	16,5	28,0	32,9	85	100

Примітки: СК — стегновий компонент; ВК — великогомілковий компонент.

У хворих з нестабільними ендопротезами ранні ускладнення становили майже 94 %. Залежність вірогідна з $Z = 7,25$, $p < 0,01$. Тобто ранні післяопераційні ускладнення вплинули на розвиток нестабільності компонентів ендопротеза колінного суглоба. Дослідження Vozic et al. (2014) показало, що ранні ускладнення після тотального ендопротезування колінного суглоба, як-от інфекція, артрофіброз та нестабільність, є основними причинами ревізійних операцій. Автори виявили, що частота таких ускладнень може сягати 35 % [19].

Було досліджено розподіл випадків нестабільності за значенням об'єму рухів протезованого колінного суглоба в сагітальній площині (табл. 4).

Як видно з табл. 4, з усіх випадків розхитування компонентів вірогідну більшість ($t = 9,5$ і вище, $p < 0,05$) становили випадки нестабільності з повним обсягом рухів в оперованому суглобі, а саме 63 випадки, що становило 74,1 %. Повний об'єм рухів з ознаками перерозгинання спостерігався лише у 9 випадках (10,6 %), а тугорухомість зі згинально-розгинальними контрактурами було виявлено у 13 випадках (15,3 %). Причому повний обсяг рухів вірогідно домінував ($t = 5,8$ і вище, $p < 0,05$) як у групі

з тотальною нестабільністю компонентів ендопротеза — 31 випадок (72,1 %), так і в групах з нестабільністю СК — 9 випадків, що становить 64,3 % ($t = 1,52$ і вище, $p < 0,05$), і нестабільністю ВК — 23 випадки, що становить 82,1 % ($t = 6,79$ і вище, $p < 0,05$).

За післяопераційними рентгенограмами визначали якість первинного цементування. Вимірювали площу контакту цементної мантії та кістки стегна і гомілки у відсотках (табл. 5).

Аналізуючи табл. 5, ми визначили пряму залежність зниження частки контакту цементу з кісткою менше ніж 70 % з невдачами ендопротезування (переважають випадки контакту 40–70 % площі — 31 % випадків). Тобто якість цементування значно вплинула на розвиток нестабільності компонентів ендопротеза. Залежність вірогідна з $Z = 3,25$, $p < 0,01$. Водночас дослідження Sharkey et al. (2014) показало, що недостатній контакт цементу з кісткою (40–70 %) був одним з основних факторів, що призводило до нестабільності компонентів ендопротеза після ревізійного ендопротезування колінного суглоба [20].

Вивчили також за рентгенограмами ознаки лізису, що прогресує понад 2 мм у зонах Нуоґеонґ Mulcahy і

Таблиця 3. Розподіл хворих з нестабільними ендопротезами залежно від ранніх ускладнень

Ранні ускладнення	Нестабільні ендопротези, n = 85	
	Абс.	%
Гематоми	28	32,9
Синовіти	31	36,5
Контрактури	12	14,1
Нестабільність зв'язкового апарату	9	10,6
Разом	80	94,1

Таблиця 4. Розподіл випадків нестабільності за значенням об'єму рухів протезованого колінного суглоба в сагітальній площині

Залишкова деформація	Нестабільність компонентів						Разом	
	Тотальна		СК		ВК			
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Повний об'єм рухів	31	72,1	9	64,3	23	82,1	63	74,1
Перерозгинання	8	18,6	–	–	1	3,6	9	10,6
Тугорухомість (згинально-розгинальна контрактура)	4	9,3	5	35,7	4	14,3	13	15,3
Разом	43		14		28		85	

Таблиця 5. Розподіл хворих з нестабільними компонентами за ознаками контакту «цемент — кістка»

Контакт «цемент — кістка», %	Нестабільні ендопротези, n = 85	
	Абс.	%
40–70	27	31,8
70–90	51	60,0
90–100	7	8,2
Разом	85	100

Felix S. Chew, перелом цементної мантії та міграцію компонентів (табл. 6, 7).

Тобто визначено значну залежність наявності лізису, що прогресує понад 2 мм, у хворих з нестабільними стегновими компонентами ендопротеза — 100 % випадків. Переважав лізис у зонах 1, 2 та 5.

Визначено наявність лізису навколо нестабільного великогомілкового компонента ендопротеза у 75 хворих (88,2 % випадків). Домінував лізис у зонах 1, 2 (44,7 %) та 6, 7 (28,1 %) (табл. 7).

Таким чином, лізис кісткової тканини, що прогресує, навколо компонентів ендопротеза є при-

чиною дестабілізації компонентів ендопротеза. Залежність вірогідна з $Z = 6,25$, $p < 0,01$. А ранніми ознаками дестабілізації є його прояви в зонах 1, 2 за Нуроєонг Мулсау і Фелікс С. Чев як на стегні, так і на гоміліці. Sharkey et al. (2014) виявили, що у 60 % випадків з нестабільністю компонентів спостерігався значний лізис кістки. Автори наголошують на важливості ретельного рентгенологічного моніторингу для своєчасного виявлення ознак лізису та нестабільності [20].

Також провели УЗ-дослідження стабільних та нестабільних компонентів ендопротеза.

Таблиця 6. Розподіл хворих з нестабільними стегновими компонентами за ознаками лізису, що прогресує понад 2 мм у зонах Нуроєонг Мулсау і Фелікс С. Чев

Контакт «ендопротез — кістка», зони	Нестабільні ендопротези, n = 85	
	Абс.	%
1	16	18,8
2	16	18,8
3	11	12,9
4	10	11,7
5	16	18,8
6	7	8,2
7	9	10,5
Разом	85	100

Таблиця 7. Розподіл хворих з нестабільними великогомілковими компонентами за ознаками лізису, що прогресує понад 2 мм у зонах Нуроєонг Мулсау та Фелікс С. Чев

Контакт «ендопротез — кістка», зони	Нестабільні ендопротези, n = 85	
	Абс.	%
1	17	20,0
2	21	24,7
3	7	8,2
4	5	5,9
5	1	1,2
6	14	16,5
7	10	11,8
Разом	75	88,2

Таблиця 8. Розподіл хворих за результатами УЗД-показників залежно від ознак стабільності компонентів

УЗД-показники	Стабільні ендопротези, n = 20		Нестабільні ендопротези, n = 85	
	Абс.	%	Абс.	%
Динамічні ознаки нестабільності	0	0	69	81,2
Ознаки гіперваскуляризації	19	4,34	36	42,4
Ознаки синовіту	12	2,74	49	57,6
Середній об'єм синовіальної рідини, см ³	38	—	87	—

Визначено, що у хворих з нестабільними компонентами УЗ-ознаками нестабільності компонентів ендопротеза є ознаки гіперваскуляризації — 36 %, синовіт — 57,6 %, позитивна динамічна проба на нестабільність — 81,2 % та об'єм синовіальної рідини, у середньому більший ніж удвічі. Залежності вірогідні, $p < 0,01$ (табл. 8).

Таким чином, УЗ-ознаки нестабільності та зниження функціональної бальної оцінки менше від 15 балів є показаннями до ревізійної операції на протезованому колінному суглобі.

На основі роботи пропонується вдосконалена система рентген-функціональної оцінки результату ендопротезування, що дозволяє об'єктивувати оцінку результату ревізії.

Висновки

1. Встановлено наступні вірогідні фактори ризику, що вплинули на нестабільність компонентів ендопротеза колінного суглоба: важка фізична праця ($t = 1,34$ і вище, $p < 0,05$); ожиріння зі значенням ІМТ ≥ 30 ($t = 2,24$ і вище, $p < 0,05$), залишкова деформація ($\chi^2 = 4,55$, $n = 2$, $p < 0,05$); ранні післяопераційні ускладнення ($Z = 7,25$, $p < 0,01$), порушення техніки цементування стегнового ($t = 1,63$ і вище, $p < 0,05$) та великогомілкового компонентів ($t = 1,36$ і вище, $p < 0,05$).

2. Встановлено ранні фактори, що впливають на результати ендопротезування колінного суглоба: резорбція кісткової тканини на межі «цемент — кістка», що проявляється у вигляді смужки просвітлення з локалізацією в 1, 2, 3, 4-й зонах (за Нуоґеонґ Мулґау і Фелікс С. С'ю) як дистального відділу стегнової ($t = 4,95$ і вище, $p < 0,05$), так і проксимального відділу великогомілкової кістки ($t = 1,52$ і вище, $p < 0,05$).

3. Визначено пізні вірогідні фактори, що впливають на результати ендопротезування колінного суглоба. Домінуючими є зміни на межі як «цемент — кістка», так і «імплант — цемент», з локалізацією в «зонах виступів», а саме 5, 6, 7 (за Нуоґеонґ Мулґау і Фелікс С. С'ю), що можуть трактуватись як пізні діагностичні критерії нестабільності компонентів ендопротезів колінного суглоба з цементним типом фіксації стегнового ($t = 1,63$ і вище, $p < 0,05$) та великогомілкового компонентів ($t = 1,36$ і вище, $p < 0,05$).

4. Визначено, що з усіх випадків розхитування компонентів вірогідну більшість ($t = 9,5$ і вище, $p < 0,05$) становили випадки нестабільності з повним обсягом рухів в оперованому суглобі, а саме 63 випадки, що становило 74,1 %. Встановлений характер домінування свідчить про те, що порушення обсягу рухів у протезованому суглобі в сагітальній площині в післяопераційному періоді не має негативного впливу на розвиток нестабільності компонентів.

5. Визначені ранні рентгенологічні ознаки нестабільності (ознаки лізису стегнової та великогомілкової кісток в зонах 1 та 2 за Нуоґеонґ Мулґау і Фелікс С. С'ю у поєднанні з динамічною пробою на нестабільність та УЗД-критеріями розхитування ендопротеза (ознаки

гіперваскуляризації, синовіт з об'ємом рідини понад 50 см³ та позитивна динамічна проба).

6. На основі вивчених даних запропонована вдосконалена рентген-функціональна система оцінки протезованого суглоба та визначені оптимальні критерії діагностики розхитування компонентів і показання до своєчасної ревізії (зниження бальної оцінки менше ніж 15 балів).

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Steinhaus, M.E., Christ, A.B., & Cross, M.B. (2017). Total Knee Arthroplasty for Knee Osteoarthritis: Support for a Foregone Conclusion? *HSS journal: the Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery*, 13(2), 207-210. <https://doi.org/10.1007/s11420-017-9558-4>.
2. Ahmad Hafiz, Z., Masbah, O., Orth, & Ruslan, G.N. (2011). Total Knee Replacement: 12 Years Retrospective Review and Experience. *Malaysian Orthopaedic Journal*, 5, 34-39.
3. Pietrzak, J., Common, H., Migaud, H., Pasquier, G., Girard, I., Putman, S. (2019). Have the frequency of and reasons for revision total knee arthroplasty changed since 2000? Comparison of two cohorts from the same hospital: 255 cases (2013–2016) and 68 cases (1991–1998). *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 105, Iss 4, 639-645. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.01.025>.
4. Lewis, P.L., Robertsson, O., Graves, S.E., Paxton, E.W., Prentice, H.A., & W-Dahl, A. (2021). Variation and trends in reasons for knee replacement revision: a multi-registry study of revision burden. *Acta Orthopaedica*, 92(2), 182-188. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1853340>.
5. Martinez, R., & Chen, A.F. (2023). Outcomes in revision knee arthroplasty: Preventing reoperation for infection Keynote lecture — BASK annual congress 2023. *The Knee*, 43, A5-A10. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.07.010>.
6. Gallo, J., Goodman, S.B., Kontinen, Y.T., Wimmer, M.A., & Holinka, M. (2013). Osteolysis around total knee arthroplasty: a review of pathogenetic mechanisms. *Acta biomaterialia*, 9(9), 8046-8058. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.05.005>.
7. Chen, K., Xu, J., Dai, H., Yu, Y., Wang, Y., Zhu, Y., Tao, T., & Jiang, Y. (2023). Uncemented Tibial Fixation Has Comparable Prognostic Outcomes and Safety Versus Cemented Fixation in Cruciate-Retaining Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Clinical Medicine*, 12(5), 1961. <https://doi.org/10.3390/jcm12051961>.
8. Kim, Y.H., Park, J.W., Kim, J.S. et al. (2014). The relationship between the survival of total knee arthroplasty and postoperative coronal, sagittal and rotational alignment of knee prosthesis. *International Orthopaedics (SICOT)*, 38, 379-385. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2097-9>.
9. Kim, K.T., Lee, S., Kim, T.W., Lee, J.S., & Boo, K.H. (2012). The influence of postoperative tibiofemoral alignment on the clinical results of unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*, 24(2), 85-90. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2012.24.2.85>.

10. Vasso, M., Braile, A., Ascione, F., Toro, G., De Cicco, A., Lepore, F., & Schiavone Panni, A. (2019). Two-stage reimplantation in periprosthetic knee infection. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 23(2 Suppl), 51-58. https://doi.org/10.26355/eurrev_201904_17474.
11. Lequesne, M.G. (1997). The algofunctional indices for hip and knee osteoarthritis. *J. Rheumat*, 24, 779-781. PMID: 9101517.
12. Cassar-Gheiti, A.J., McColgan, R., Kelly, M., Cassar-Gheiti, T.M., Kenny, P., & Murphy, C.G. (2020). Current concepts and outcomes in cemented femoral stem design and cementation techniques: the argument for a new classification system. *EFORT Open Reviews*, 5(4), 241-252. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.190034>.
13. Mulcahy, H., Chew, F.S. (2014). Current Concepts in Knee Replacement: Complications. *American Journal of Roentgenology*, 202, 76-86. doi: 10.2214/AJR.13.11308.
14. Gaulrapp, H., & Eckstein, S. (2001). Der Wert der Sonographie nach endoprothetischer Versorgung des Kniegelenks [Value of ultrasound after endoprosthesis implantation of the knee joint]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 139(2), 127-133. <https://doi.org/10.1055/s-2001-15043>.
15. Engh, G.A., Rorabeck C.H. (1997). Revision total knee arthroplasty. Philadelphia: Lippincott-Raven. 459 p.
16. Berenbaum, F., Griffin, T.M., Liu-Bryan, R. (2017). Metabolic Regulation of Inflammation in Osteoarthritis. *Arthritis Rheum*, 69(1), 9-21.
17. Gunst, S., & Fessy, M.H. (2015). The effect of obesity on mechanical failure after total knee arthroplasty. *Annals of Translational Medicine*, 3(20), 310. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2015.10.37>.
18. Lim, J.B., Loh, B., Chong, H.C., & Tan, A.H. (2016). History of previous knee surgery does not affect the clinical outcomes of primary total knee arthroplasty in an Asian population. *Annals of Translational Medicine*, 4(16), 303. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.08.15>.
19. Bozic, K.J., Lau, E., Ong, K., Chan, V., Kurtz, S., Vail, T.P., Rubash, H.E., & Berry, D.J. (2014). Risk factors for early revision after primary TKA in Medicare patients. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 472(1), 232-237. <https://doi.org/10.1007/s11999-013-3045-0>.
20. Sharkey, P.F., Lichstein, P.M., Shen, C., Tokarski, A.T., & Parvizi, J. (2014). Why are total knee arthroplasties failing today — has anything changed after 10 years? *The Journal of Arthroplasty*, 29(9), 1774-1778. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.07.024>.

Отримано/Received 08.04.2024

Рецензовано/Revised 19.04.2024

Прийнято до друку/Accepted 28.04.2024

Information about authors

Georgii Gayko, MD, DSc, PhD, Professor, Academician of the National Academy of Medical Science of Ukraine, Honorary Director of State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: info@ito.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5168-6431>

Oleh Kostogryz, MD, DSc, PhD, Head of the Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: arztkostogryz@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-9533-9247>

Oleksii Sulyma, PhD in Medicine, Senior Research Fellow at the Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, Head of the Laboratory of Biomedical Engineering, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: sulymaoleksii@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1314-8915>

Oleksii Kalashnikov, MD, DSc, PhD, Leading Research Fellow, Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: Kalashnikov26@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1546-2235>

Vitalii Pidgaetskyi, PhD in Medicine, Head of the Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: pidgvm72@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7304-9145>

Taras Osadchuk, PhD in Medicine, Senior Research Fellow, Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: osadchyktaras@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0000-3308-0498>

Volodymyr Zaiets, PhD in Medicine, Research Fellow, Department of Traumatology and Orthopaedics for Adults, State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: alberta334617@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2352-3264>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

G.V. Gayko, O.A. Kostogryz, O.M. Sulyma, O.V. Kalashnikov, V.M. Pidgaetskyi, T.I. Osadchuk, V.B. Zaiets
State Institution "Institute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Influence of risk factors on the results of revision knee replacement

Abstract. Background. The problem of revision arthroplasty in modern orthopaedics is extremely acute, as evidenced by an increase in its frequency. However, the probable factors that lead to the development of instability of the knee endoprosthesis components, according to various authors, differ among themselves, and the methods for evaluating the outcomes of arthroplasty require improvement as well. The purpose was to determine the risk factors that affected the outcomes of knee replacement, and to propose a methodology for assessing the latter. **Materials and methods.** The work is based on the analysis of treatment outcomes in 105 prosthetic patients. The operations were performed from 2010 to 2021 at the basis of the clinic for orthopaedics and traumatology of adults at the State Insti-

tute of Traumatology and Orthopaedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine". A clinical and anamnestic examination of patients was carried out with evaluation of the body mass index, concomitant pathology, and working conditions, the axis of the operated limb, early postoperative complications and factors leading to joint stiffness; radiographic (with the determination of periprosthetic bone tissue lysis zones) and sonographic examination was conducted. The data obtained are statistically processed. **Results.** The risk factors that influenced the instability of knee endoprosthesis components were as follows: heavy physical work ($t = 1.34$ and higher, $p < 0.05$); obesity with body mass index ≥ 30 ($t = 2.24$ and above, $p < 0.05$), residual deformity ($\chi^2 = 4.55$, $n = 2$, $p < 0.05$);

early postoperative complications ($Z = 7.25$, $p < 0.01$), violation of cementing technique for the femoral ($t = 1.63$ and higher, $p < 0.05$) and tibial component ($t = 1.36$ and above, $p < 0.05$). Among the early risk factors, there are resorption of bone tissue at the cement-bone interface in the form of a light strip (with location in zones 1, 2, 3, 4 according to Hyojeong Mulcahy and Felix S. Chew) in the distal femur ($t = 4.95$ and higher, $p < 0.05$), the proximal tibia ($t = 1.52$ and above, $p < 0.05$), dynamic test for instability and ultrasound criteria for loosening (signs of hypervascularization, synovitis with a fluid volume of more than 50 cm^3). Among the late instability risk factors, we identified changes at the cement-bone and implant-cement interface, with localization in the protrusion zones (5, 6, 7 according to Hyojeong Mulcahy and Felix S. Chew) in the femoral ($t = 1.63$ and higher, $p < 0.05$) and tibial areas ($t = 1.36$ and above,

$p < 0.05$). The factors that influenced the development of stiffness in the prosthetic joint were operative interventions before arthroplasty ($t = 1.53$ and higher, $p < 0.05$), early complications ($t = 1.49$ and above, $p < 0.05$), concomitant diseases in the past medical history ($\chi^2 = 4.55$, $p < 0.05$), damage to the ligaments ($\chi^2 = 7.55$, $p < 0.05$), nerves, vessels during arthroplasty ($\chi^2 = 6.55$, $p < 0.05$), residual deformities of the limb axis ($\chi^2 = 4.55$, $p < 0.05$). **Conclusions.** Based on the studied factors that probably influenced the results of revision surgeries, a systematic approach to the evaluation of the outcomes of revision knee replacement is proposed, which will help avoid postoperative complications and improve the quality of treatment of this complex category of patients.

Keywords: knee joint; arthroplasty; revision; factors; evaluation system



«Аксімед»
завжди
попереду!

НА БАЗІ КЛІНІКИ «АКСІМЕД» ВІДКРИТО СУЧАСНИЙ

ЦЕНТР ПРОБЛЕМ СНУ

ЕФЕКТИВНА ДІАГНОСТИКА ТА ЛІКУВАННЯ:

- порушень дихання уві сні (нічне апное);
- усіх видів безсоння;
- синдрому неспокійних ніг.

ПРОВОДИМО НАЙСУЧАСНІШУ
ПОЛІСОМНОГРАФІЮ



AKSIMED.UA • 044 390 00 55

Фастум® Гель

Кетопрофен 2,5 % гель



Лікування БОЛЮ в м'язах та суглобах¹

30, 50, 100 г гелю у тубі



1. Показання: посттравматичний біль у м'язах та суглобах, запалення сухожиль.

За повною інформацією щодо можливих побічних ефектів звертайтеся до інструкції для медичного застосування лікарського засобу Фастум® гель, затвердженої наказом МОЗ України від 22.12.2023 р. № 2182, РП № UA/10841/01/01.

Інформація про рецептурний лікарський засіб для спеціалістів охорони здоров'я, медичних і фармацевтичних працівників.

СКОРОЧЕНА ІНСТРУКЦІЯ для медичного застосування лікарського засобу ФАСТУМ® ГЕЛЬ (FASTUM® GEL)

Склад. 1 г гелю містить кетопрофену 0,025 г. **Фармакотерапевтична група.** Нестероїдні протизапальні засоби для місцевого застосування. Код АТХ M02A A10. **Показання.** Посттравматичний біль у м'язах та суглобах, запалення сухожиль. **Протипоказання.** Гіперчутливість до діючої речовини або до будь-якої з допоміжних речовин, наявність в анамнезі гіперчутливості, наявність в анамнезі реакції фоточутливості, відомі реакції гіперчутливості, вплив сонячних променів, навіть у вигляді розсіяного світла чи УФ-опромінення в солярії під час лікування і протягом двох тижнів після його припинення, III триместр вагітності та інші.

Особливості застосування. Під час лікування та протягом 2 тижнів після його завершення рекомендується носити одяг, який закриває ділянку нанесення, для уникнення фоточутливості. 

Спосіб застосування та дози. Гель слід наносити тонким шаром (3-5 см) на уражені ділянки від 1 до 3 разів на добу, а для кращого проникнення застосувати легкі масажні рухи. **Побічні ефекти.** Іноді: місцеві шкірні реакції, такі як еритема, екзема, свербіж і відчуття печіння; рідко: дерматологічні реакції (фотосенсибілізація, бульозні висипи і кропив'янка); дуже рідко: пептична виразка, шлунково-кишкова кровотеча, діарея, контактний дерматит, ниркова недостатність або погіршення стану у разі наявності такої та інші. **Категорія відпуску.** За рецептом.

Виробник. А. Менаріні Мануфактурінг Логістікс енд Сервісес С.р.Л. **Адреса.** Via Cete Санті 3, 50131 Флоренція (ФІ), Італія.

Обов'язково уважно ознайомтеся з повною інструкцією для медичного застосування лікарського засобу Фастум® гель від 22.12.2023 р. № 2182, а саме з повним переліком протипоказань, побічних ефектів і особливостей застосування.

Представництво "Берлін-Хемі/А. Менаріні Україна ГмБХ". Адреса: м. Київ, вул. Березняківська, 29. Тел.: +38 (044) 494 33 88.
UA-Fas-02-2024-V1-Press. Останній перегляд 26.01.2024.



**BERLIN-CHEMIE
MENARINI**

Головіна Я.О.¹, Малик Р.В.², Карпінський М.Ю.³¹Черкаська медична академія, м. Черкаси, Україна²Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна³ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Кореляція даних рентгенологічної щільності кісткової тканини у разі сегментарної алопластики кісток *in vivo* та у пацієнтів

Резюме. Актуальність. Алопластичне заміщення кісткових дефектів після видалення пухлин є часто вживаним і досить успішним методом хірургічного лікування хворих з онкологічною патологією. Для оцінки ефективності оперативного втручання, що було проведено, важливо оцінити стан кісткової тканини. Використання методики дослідження рентгенологічної щільності за допомогою програмного комплексу X-Rays дозволить оцінити стан кісткової тканини у разі застосування різних методів кісткової алопластики. **Мета:** оцінити можливості методики дослідження рентгенологічної щільності за допомогою програмного комплексу X-Rays у разі сегментарної кісткової алопластики після резекційних дефектів довгих кісток в експерименті та в клініці з метою виявлення найкращих методів фіксації сегментарних алоімплантатів. **Матеріали та методи.** У цій роботі нами об'єднані 2 дослідження (експериментальне на дослідних тваринах та клінічне дослідження), які показують результати застосування різних методів кісткової алопластики та кореляцію даних експерименту й клінічної практики за даними рентгенологічної щільності. **Результати.** Отримані дані свідчать про те, що виконання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта з кістковим сегментарним алоімплантатом сприяє скорішому набуванню щільності кісткового регенерату. У результаті проведеного статистичного аналізу було виявлено деякі особливості поведінки кісткової тканини у хворих із консолідованою та неконсолідованою зоною контакту алоімплантата та кістки реципієнта. Проаналізовано зміну даних оптичної щільності кісткової тканини у разі застосування різних методів фіксації кісткового алоімплантата з кісткою реципієнта: за допомогою інтрамедулярного стрижня та за допомогою пластини; доведено, що щільність у разі застосування пластини для фіксації алоімплантата була меншою (98 ± 46 од.) порівняно з даними рентгенограм пацієнтів, яким було виконано фіксацію інтрамедулярним блокуючим стрижнем (121 ± 44 од.). **Висновки.** Результати проведеного дослідження наочно висвітлили той факт, що у разі алокомпозитного ендопротезування довгої кістки виконання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта з кістковим сегментарним алоімплантатом сприяє скорішому набуванню щільності кісткового регенерату. У разі застосування інтрамедулярного блокованого стрижня для фіксації кісткового алоімплантата ознак порушення процесу консолідації не відмічено, а вся кісткова тканина (кістки реципієнта та алоімплантат) з плином часу набувала більшої щільності.

Ключові слова: злоякісні кісткові пухлини; саркома кістки; кісткова алопластика; хірургічне лікування злоякісних пухлин кісток; рентгенологічна щільність кістки

Вступ

Одним з головних завдань під час хірургічного лікування є відновлення кістки, що була уражена пухлинним процесом. Від успіху оперативного втручання, яке було проведено, залежить онкологічний та функціональний результат лікування хворих з пухлинами

довгих кісток. Методів заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток існує багато, але найбільшого поширення отримали модульне індивідуальне ендопротезування та біореконструктивні втручання [1]. Саме біореконструктивні операції мають низку переваг перед модульним ендопротезуванням, і одним

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2024

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2024

Для кореспонденції: Головіна Яніна Олександрівна, кандидат медичних наук, викладач кафедри хірургії та екстреної медицини, Черкаська медична академія, вул. Хрещатик, 215, м. Черкаси, 18001, Україна; e-mail: dr.yanina.golovina@gmail.com; тел.: +380 (50) 402-72-43

For correspondence: Yanina O. Golovina, PhD in Medicine, Lecturer at the Department of Surgery and Emergency Medicine, Cherkasy Medical Academy, Khreshchatyk st., 215, Cherkasy, 18001, Ukraine; e-mail: dr.yanina.golovina@gmail.com; phone: +380 (50) 402-72-43

Full list of authors information is available at the end of the article.

із головних є відновлення кісткової тканини та зон прикріплення м'язів і сухожиль [2]. Алопластичне заміщення кісткових дефектів після видалення пухлин є часто вживаним і досить успішним методом хірургічного лікування хворих з онкологічною патологією. Поряд з великими перевагами цього методу існує і низка недоліків та ускладнень, серед яких — відсутність зрощення кістки реципієнта та алоімплантата. Усі переломи алотрансплантатів — складна проблема для онкологічних пацієнтів [3, 4]. Тому суворе дотримання методики імплантації алотрансплантата та методів фіксації дозволяє зменшити ризик виникнення таких ускладнень.

У сучасному світі дуже цінується час активного життя людини, тому важливим питанням стало відновити функцію ураженої кінцівки пацієнта у максимально короткий термін. З цією метою великі сегментарні кісткові алоімплантати фіксуються до кістки реципієнта різними металевими конструкціями, як накісними, так і інтрамедулярними [5, 6].

Вивчення та вирішення питання з'єднання алотрансплантата з кісткою реципієнта, процесів репарації в цій зоні, відносин між алотрансплантатом та ендопротезом дозволять досягнути поліпшення результатів хірургічного лікування хворих з кістковими пухлинами завдяки зменшенню відсотка таких ускладнень, як переломи алоімплантатів, відсутність зрощення алоімплантата та кістки реципієнта (порушення процесу репаративного остеогенезу) [7, 8].

Зважаючи на наведене вище, для оцінки ефективності оперативного втручання, що було проведено, важливо оцінити стан кісткової тканини. Щільність кісткової тканини є одним із основних показників, який визначає міцність кістки, її стійкість до механічного навантаження. Для цього існують рентгенологічні шкали оцінки та денситометричні методи.

Для рентгенологічної оцінки стану алокомпозитного ендопротезування прийнято застосовувати радіографічну систему ISOLS (International society of limb salvage) [9]. Виконується оцінка декількох факторів:

- ремоделювання кістки (досліджується зона контакту алотрансплантата та кістки реципієнта);
- зона контакту ніжки ендопротеза з кісткою (оцінюється контакт поверхні ніжки ендопротеза та кістки);
- якість фіксації ендопротеза у кістці;
- зрощення алотрансплантата та кістки реципієнта;
- резорбція в зоні контакту алотрансплантата та кістки реципієнта;
- переломи алотрансплантатів.

Кожен з цих факторів оцінюється як «відмінно», «добре», «задовільно» та «погано».

Для діагностики стану кісткової тканини, її щільності використовують рентгенологічне, денситометричне дослідження або КТ. Рентгенівські промені мають високу проникність, але проходять через тканини різної щільності нерівномірно. На цій особливості засновано вимірювання кісткової щільності. Такий метод дозволяє оцінити структуру кістки, стан її перебудови у разі

кісткової пластики або переломів, виявити патологічні процеси.

Таким чином, на сучасному етапі продовжуються дослідження з виявлення найкращого методу кісткової алопластики для зменшення різних ускладнень цього виду заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток, а використання методики дослідження рентгенологічної щільності за допомогою програмного комплексу X-Rays дозволить оцінити стан кісткової тканини у разі застосування цього методу хірургічного втручання.

Мета роботи: оцінити можливості методики дослідження рентгенологічної щільності за допомогою програмного комплексу X-Rays у разі сегментарної кісткової алопластики післярезекційних дефектів довгих кісток в експерименті та в клініці з метою виявлення найкращих методів фіксації сегментарних алоімплантатів.

Матеріали та методи

У цій роботі нами об'єднані 2 дослідження (експериментальне на дослідних тваринах та клінічне дослідження), які показують результати застосування різних методів кісткової алопластики та кореляцію даних експерименту та клінічної практики за даними рентгенологічної щільності. Окремо ці дослідження докладно подані у наших попередніх публікаціях [10, 11].

Експериментальна частина дослідження

Робота виконана на 60 лабораторних білих щурах-самцях (вік — 5 міс., жива маса тіла — 350–400 г) популяції експериментально-біологічної клініки ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМНУ». Експеримент на щурах проведений із дотриманням вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986) [12] та Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (ст. 26) [13].

Усі хірургічні втручання виконували в умовах асептики та антисептики під загальним знеболюванням: аміназин (10 мг/кг живої маси, в/м) та кетамін (50 мг/кг живої маси, в/м). План експерименту затверджений на засіданні комітету з біоетики інституту (протокол № 204 від 15.06.2020 р), а також отримано позитивне рішення щодо відповідності виконаного дослідження сучасним вимогам біоетики (протокол № 227 від 28.11.2022 р.).

Тварин розподілили на дві групи: у 1-й групі тварин виконали поперечну остеотомію стегнової кістки з імплантацією алокомпозитного ендопротеза (30 тварин) (рис. 1); у 2-й групі виконали східцеподібну остеотомію стегнової кістки з імплантацією алокомпозитного ендопротеза (30 тварин) (рис. 2).

Для дослідження використовували цифрові рентгенограми щурів.

Після виведення тварин з експерименту (через 6 міс.) виділяли препарати оперованих стегнових кісток, після чого виконували їх одномоментний рентгенівський знімок (рис. 3, 4). Виконання знімка пре-

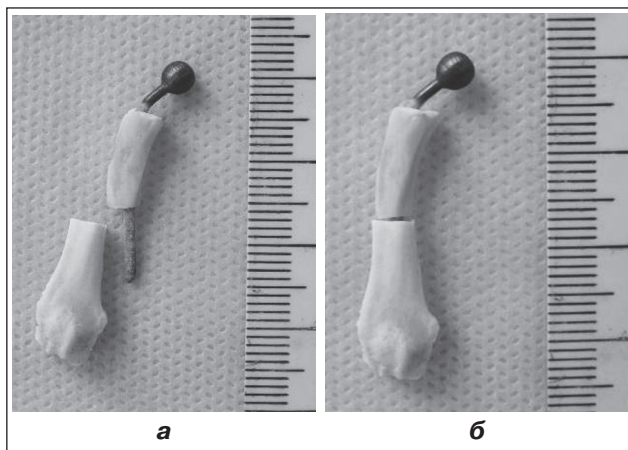


Рисунок 1. Зовнішній вигляд моделі стегнової кістки щура після виконання поперечної остеотомії (а) та заміщення дефекту алокомполитним ендопротезом (б) (1-ша група)

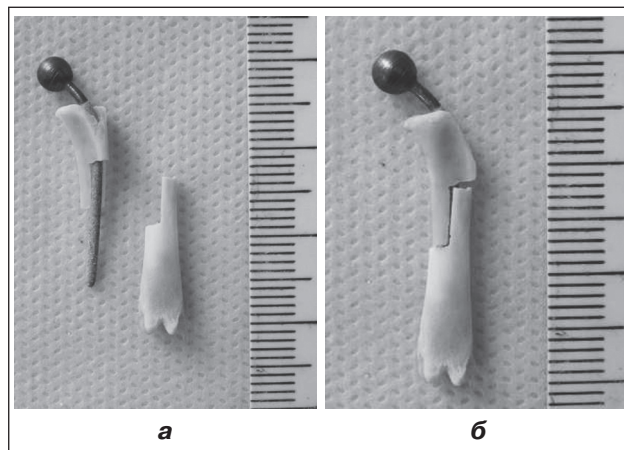


Рисунок 2. Зовнішній вигляд моделі стегнової кістки щура після виконання східцеподібної остеотомії (а), заміщення дефекту алокомполитним ендопротезом (б) (2-га група)

паратів одним кадром дозволило запобігти похибці вимірювань, пов'язаній з розбіжністю якості знімків (яскравість, контрастність та ін.). На рентгенологічних знімках препаратів стегнових кісток вимірювали оптичну щільність кісткового регенерату (зону контакту алоімплантата та кістки реципієнта) та кіркового шару кістки реципієнта нижче від дистального кінця ендопротеза (рис. 5).

Вимірювання проводили за допомогою програмного комплексу X-Rays, розробленого в Харківському національному університеті радіоелектроніки [1]. Дані експерименту були оброблені статистично. Розраховували середнє значення (M) та його стандартне відхилення (SD) чи стандартну похибку (SE), а також мінімальне та максимальне значення. У межах однієї групи проводили порівняння за допомогою парного Т-тесту (регенерат/кістка реципієнта), порівняння між групами — за допомогою Т-тесту для незалежних вибірок з розрахунком різниці середніх ($(M \pm SE)$ або

$(M \pm SD)$), критичного значення тесту (t) та статистичної значущості (p). Аналіз даних проводили в пакеті для статистичного аналізу IBM Statistic SPSS 20.0.

Клінічні дослідження

Рентгенометричне дослідження оптичної щільності кісткової тканини у пацієнтів, яким було виконано оперативне втручання з приводу пухлин кісток, проводилося у лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». Усім хворим було виконано видалення пухлини *en block* та заміщення післярезекційного дефекту довгої кістки сегментарним кістковим алоімплантатом, що був фіксований різними методами. Дослідження проводили за допомогою програмного комплексу X-Rays. Проаналізовано рентгенограми 13 пацієнтів, яким виконано сегментарну кісткову алопластику післярезекційних дефектів довгих кісток з фіксацією пластинами або блокуючими інтрамеду-

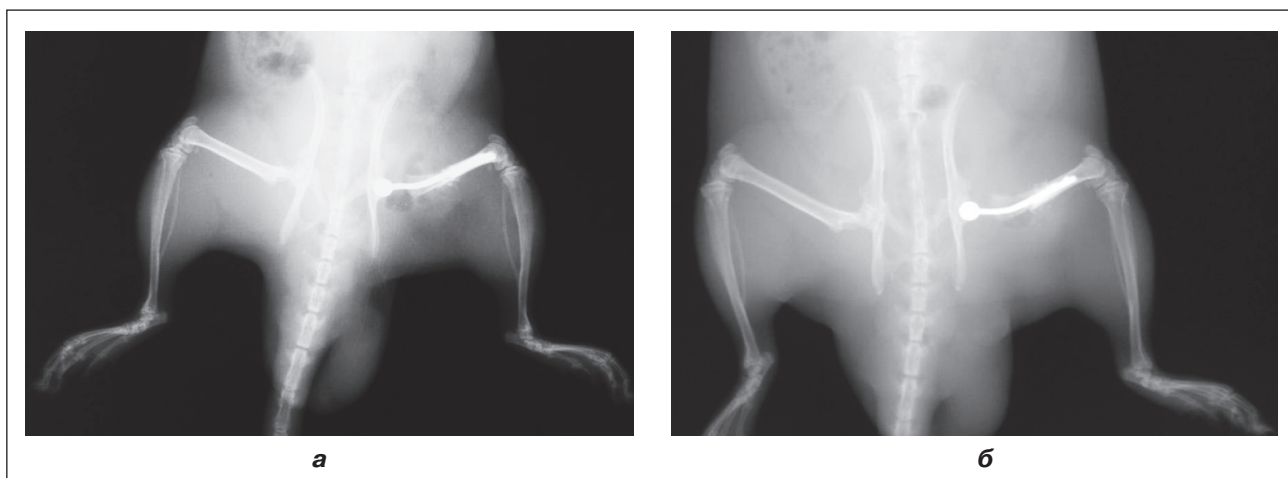


Рисунок 3. Рентгенограми щурів після експериментального моделювання дефекту верхньої половини стегнової кістки з проведенням його заміщення: а) 1-ша група; б) 2-га група

лярними стрижнями, а також застосовувалися додатково у зоні контакту алоімплантата та кістки реципієнта кісткові автотрансплантати.

Розподіл пацієнтів за локалізацією вогнища та методом фіксації сегментарного алоімплантата був наступний: 6 (46,2 %) пацієнтів з локалізацією пухлинного

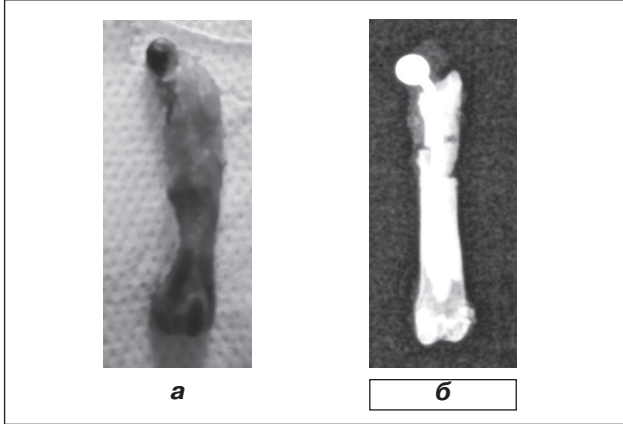


Рисунок 4. Препарати стегнових кісток щурів: а) зовнішній вигляд; б) рентгенологічний вигляд

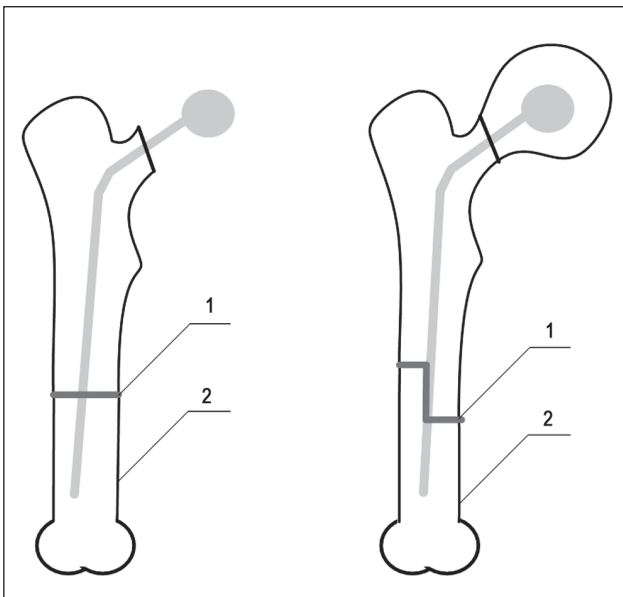


Рисунок 5. Схема вимірювання: 1 — точка вимірювання щільності кісткового регенерату; 2 — точка вимірювання щільності кісткової тканини реципієнта

процесу у стегновій кістці, 7 (53,8 %) — у великогомілкової кістці. Переважно уражались метадіафізарні частини довгих кісток. Метод фіксації алоімплантата за допомогою інтрамедулярних блокуючих стрижнів застосовано у 6 випадках (46,2 %), а метод, який передбачав фіксацію алоімплантатів пластинами, — у 7 випадках (53,8 %) (табл. 1). Враховуючи результати експериментального дослідження та кращі результати у разі використання східцеподібної остеотомії кістки реципієнта та алоімплантата, всім пацієнтам виконувалась саме ця остеотомія.

Ретроспективно досліджували оптичну щільність кіркового шару у 4 точках: 1 — кістка реципієнта на 10 см від зони остеотомії, 2 — кістка реципієнта на 2 см від зони остеотомії, 3 — зона контакту кісткового алоімплантата та кістки реципієнта та 4 — кірковий шар алоімплантата (рис. 6). Оцінка даних проводилась у 3 терміни: 1 — після оперативного втручання, 2 — через 1 місяць після операції, 3 — через 5–12 місяців після операції.

Отримані дані оброблені статистично. Оцінку оптичної щільності у пацієнтів проводили із розрахунками середнього (М) вибірки та його стандартного відхилення (SD). Порівняння двох груп проводили за допомогою Т-тесту для незалежних вибірок, оцінку повторних вимірювань (три періоди спостережень) проводили за методом загальної лінійної моделі (ЗЛМ) для повторних спостережень (критерій Піллая (F, p)).

Результати

Результати експериментального дослідження

Після виконання алокомполітного ендопротезування (*in vivo*) з поперечною остеотомією (1-ша група) абсолютні значення оптичної щільності регенерату та кісткової тканини реципієнта становили 161 ± 19 од. та 222 ± 12 од. відповідно. Після використання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта та алоімплантата (2-га група) ці показники були на рівні 216 ± 26 од. для регенерату та 230 ± 25 од. для кістки реципієнта. У 2-й групі щурів (зі східцеподібною остеотомією) щільність кісткового регенерату більш наближена до щільності кісткової тканини реципієнта, про що свідчить показник різниці середніх: $-13,8 \pm 6,3$ од. проти $-61,0 \pm 16,5$ од. для 1-ї групи тварин (табл. 2).

Таблиця 1. Розподіл пацієнтів за локалізацією та методом фіксації сегментарних алоімплантатів у кістці реципієнта, n (%)

Локалізація	Метод фіксації		Усього
	Накістковий остеосинтез	Інтрамедулярний блокуваний (алокомполітне ендопротезування)	
Стегнова кістка	4 (30,8)	2 (15,4)	6 (46,2)
Великогомілкова кістка	3 (23,1)	4 (30,8)	7 (53,8)
Усього	7 (53,8)	6 (46,2)	13 (100,0)

Таким чином, через 6 міс. після алокомпозитного ендопротезування стегнових кісток щурів оптична щільність кістки реципієнта не має статистично значущих відмінностей ($p = 0,373$) залежно від методу, що був застосований в обох групах тварин. Але показники оптичної щільності кісткового регенерату (зона контакту алоімплантата та кістки реципієнта, 216 ± 26 од.) у 2-й групи тварин (із застосуванням східцеподібної остеотомії) наблизилися до показників оптичної щільності кістки реципієнта. У 1-й групі тварин (з використанням поперечної остеотомії) оптична щільність кісткового регенерату статистично вірогідно нижча ($p = 0,001$), ніж у 2-й групі, і становить 161 ± 19 од.



Рисунок 6. Схематичне зображення точок вимірювання оптичної щільності кісткового шару кістки реципієнта та кісткового алоімплантата: 1 — кістка реципієнта на 10 см від зони остеотомії; 2 — кістка реципієнта на 2 см від зони остеотомії; 3 — зона контакту кісткового алоімплантата та кістки реципієнта; 4 — кірковий шар алоімплантата

Ці дані свідчать про те, що виконання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта з кістковим сегментарним алоімплантатом сприяє скорішому набуттю щільності кісткового регенерату.

Результати клінічного дослідження

У досліджуваній групі пацієнтів, яким аналізували оптичну щільність за рентгенограмами, у 3 випадках не відзначалося зрощення кістки реципієнта та алоімплантата. Переважно це були пацієнти з ураженням патологічним процесом стегнової кістки, і у цих випадках застосовувався накістковий остеосинтез для фіксації алоімплантата. У пацієнтів з локалізацією пухлинного процесу у великогомілковій кістці ускладнень з порушенням консолідації не було відзначено. Проведено порівняльний аналіз значень оптичної щільності кісткової тканини у пацієнтів з наявністю зрощення кістки реципієнта та алоімплантата або з відсутністю консолідації фрагментів.

У результаті проведеного статистичного аналізу було доведено деякі особливості поведінки кісткової тканини у хворих із консолідованою та неконсолідованою зоною контакту алоімплантата та кістки реципієнта (табл. 3).

На 1-му терміні спостереження (після операції) було виявлено, що у хворих з відсутністю зрощення оптична щільність зони контакту (точка 3) була значущо ($p = 0,044$) меншою (99 ± 18 од.), ніж у хворих з нормальною консолідацією (160 ± 40 од.). Це свідчить про нещільний контакт між кісткою реципієнта та алоімплантатом під час оперативного втручання. Далі з часом (на 2-му та 3-му термінах спостереження) оптична щільність зони контакту (точка 3) у хворих із зрощенням залишалася практично незмінною — від 160 ± 40 од. до 167 ± 52 од., тоді як при незрощенні ця зона поступово набирає щільності від 99 ± 18 од. до 172 ± 7 од. За даними ЗЛМ, різниці у динаміці щільності зони контакту немає ($F = 1,985$; $p = 0,232$), через 1 рік після операції оптична щільність в обох групах наближається до близьких рівнів. У разі аналізу оптичної щільності кіркового шару кістки реципієнта у точці 1 (на 10 см від зони остеотомії) у пацієнтів, у яких була відсутня консолідація кістки реципієнта та алоімплантата, спосте-

Таблиця 2. Результати порівняльного аналізу оптичної щільності між кістковим регенератом (зона контакту алоімплантата та кістки реципієнта) та кістковою тканиною реципієнта у 1-й та 2-й групах щурів через 6 місяців після алокомпозитного ендопротезування

Показник оптичної щільності кісткової тканини, од.	Оптична щільність кісток (од.) у групах щурів			
	1-ша група, поперечна остеотомія		2-га група, східцеподібна остеотомія	
	Регенерат	Кістка реципієнта	Регенерат	Кістка реципієнта
M ± SD	161 ± 19	222 ± 12	216 ± 26	230 ± 25
Min ± max	132 ÷ 190	207 ÷ 245	180 ÷ 265	200 ÷ 280
Статистична значущість між показниками	(M ± SD)	-61,0 ± 16,5		-13,8 ± 6,3
	t, p	t = -11,118; p = 0,001		t = -6,222; p = 0,001

рігається поступове зменшення щільності з 171 ± 11 од. до 163 ± 14 од. ($p = 0,042$ та $p = 0,05$ відповідно) за весь період спостереження. У пацієнтів із нормальним зрощенням кістки реципієнта та алоімплантата щільність у цій зоні залишається практично однаковою, у межах 200 од. Оптична щільність кісткової тканини алоімплантата (точка 4) у пацієнтів обох підгруп з часом зростає, однак у пацієнтів зі зрощенням цей процес відбувається більш стрімкими темпами, але має однаковий

напрямок розвитку, що і обумовило відсутність різниці в динаміці ($F = 0,462$; $p = 0,534$). Це свідчить про кращу перебудову кісткового алоімплантата у разі наявності його консолідації та кістки реципієнта.

Проаналізуємо зміну даних оптичної щільності кісткової тканини у разі застосування різних методів фіксації кісткового алоімплантата з кісткою реципієнта: за допомогою інтрамедулярного стрижня та за допомогою пластини (табл. 4).

Таблиця 3. Результати аналізу оптичної щільності кісткової тканини у пацієнтів зі зрощенням ($n = 10$) та відсутністю консолідації ($n = 3$) кістки реципієнта і кісткового алоімплантата

Зона вимірювання оптичної щільності на рентгенограмах (точки)	Результат хірургічного лікування	Оптична щільність кісткової тканини на різних термінах спостереження, од. (медіана (25% кватиль; 75% кватиль))		
		1-й (після операції)	2-й (через 1 міс. після операції)	3-й (через 5–12 міс. після операції)
Точка 1 (кістка реципієнта на 10 см від зони остеотомії)	Зрощення	178,5 (156,0; 217,0)	197,6 (176,5; 211,0)	190,5 (168,6; 220,0)
	Відсутність консолідації	172,5 (159,1; 179,8)	162,3 (138,1; 187,9)	167,6 (147,3; 173,3)
Точка 2 (кістка реципієнта на 2 см від зони остеотомії)	Зрощення	181,0 (150,0; 187,8)	171,1 (159,4; 184,2)	179,3 (170,7; 200,0)
	Відсутність консолідації	172,5 (153,9; 180,2)	154,5 (152,3; 178,5)	181,4 (167,6; 182,9)
Точка 3 (зона контакту алоімплантата та кістки реципієнта)	Зрощення	115,2 (76,8; 122,0)	126,4 (119,3; 141,0)	132,0 (110,4; 162,9)
	Відсутність консолідації	89,3 (89,0; 120,1)	135,8 (121,4; 142,3)	178,8 (165,3; 195,0)
Точка 4 (алоімплантат)	Зрощення	164,0 (139,1; 175,0)	153,2 (142,0; 167,5)	175,0 (160,0; 190,9)
	Відсутність консолідації	175,8 (130,4; 188,6)	143,5 (141,7; 208,0)	200,7 (146,3; 223,9)

Таблиця 4. Динаміка оптичної щільності кісткової тканини кістки реципієнта та кісткового алоімплантата залежно від застосування різних методів фіксації

Зона вимірювання оптичної щільності на рентгенограмах (точки)	Метод фіксації кісткового алоімплантата та кістки реципієнта	Оптична щільність кісткової тканини на різних термінах спостереження, од. (медіана (25% кватиль; 75% кватиль))		
		1-й (після операції)	2-й (через 1 міс. після операції)	3-й (через 5–12 міс. після операції)
Точка 1 (кістка реципієнта на 10 см від зони остеотомії)	Пластина ($n = 6$)	180,7 (172,5; 264,6)	195,0 (162,3; 211,0)	173,5 (167,6; 230,0)
	Стрижень ($n = 7$)	156,6 (154,0; 176,3)	181,7 (133,0; 200,2)	178,7 (150,5; 192,2)
Точка 2 (кістка реципієнта на 2 см від зони остеотомії)	Пластина	179,0 (162,9; 184,1)	178,5 (154,5; 180,0)	181,4 (177,1; 200,0)
	Стрижень	166,5 (137,6; 187,8)	161,3 (129,7; 184,2)	174,7 (150,1; 186,0)
Точка 3 (зона контакту алоімплантата та кістки реципієнта)	Пластина	89,3 (62,3; 120,1)	130,7 (121,4; 141,0)	165,3 (130,0; 195,0)
	Стрижень	120,4 (85,0; 122,0)	127,4 (119,3; 150,7)	131,8 (110,4; 153,6)
Точка 4 (алоімплантат на 5 см від зони остеотомії)	Пластина	175,8 (155,0; 188,6)	148,0 (142,0; 208,0)	185,0 (160,0; 223,9)
	Стрижень	145,1 (133,0; 173,0)	151,6 (140,8; 166,1)	175,0 (150,5; 190,9)

Порівнюючи різниці показників, виявили статистично значуще збільшення показника оптичної щільності кіркового шару алоімплантата в ділянці стегна (в точці 4) в 3-му терміні проти вихідного рівня на відміну від сегмента гомілки ($U = 5,00$, $Z = 2,21$, $p = 0,027$). Порівнюючи різниці показників, виявили статистично значущі вищі показники оптичної щільності в точці 3 в 3-му терміні проти вихідного рівня у групі пацієнтів, у яких не досягнуто консолідації, порівняно із групою пацієнтів із підтвердженою консолідацією кістки реципієнта та сегментарного алоімплантата ($U = 0,00$, $Z = -2,45$, $p = 0,014$).

Аналіз зміни оптичної щільності зони контакту алоімплантата та кістки реципієнта (точка 3) показав, що первинно після операції її щільність у разі застосування пластини для фіксації алоімплантата була меншою (98 ± 46 од.) порівняно з даними рентгенограм пацієнтів, яким було виконано фіксацію інтрамедулярним блокуючим стрижнем (121 ± 44 од.).

Обговорення

Останніми роками для заміщення великих після-резекційних дефектів довгих кісток найбільш поширеним стає застосування масивних алотрансплантатів у комбінації з ендопротезами — алокомпозитного ендопротезування. Застосування цієї методики хірургічного втручання дозволяє зменшити ризики виникнення ускладнень у разі тільки алопластики або тільки ендопротезування [5].

Використання сегментарних алоімплантатів супроводжується низкою ускладнень, що характерні саме для цього методу заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток [14]. Найчастішими з них є відсутність зрощення алоімплантата та кістки реципієнта, лізис і переломи алоімплантата, а у разі алокомпозитного ендопротезування — нестабільність ендопротеза [15]. Важливим питанням у разі алокомпозитного ендопротезування є надійність методу фіксації сегментарного алоімплантата та кістки реципієнта. Багатьма авторами доведено, що стабільна фіксація алоімплантата та його щільне прилягання до кістки реципієнта дозволяє досягнути їхнього зрощення. Існує декілька методик фіксації кісток у разі алокомпозитного ендопротезування. Важливим для прогнозування розвитку несправжнього суглоба є тип з'єднання між донорською кісткою та кісткою реципієнта. R. Saranna [16] визначив три основні типи з'єднання як базові: кірково-кірковий, кірково-губчастий та губчасто-губчастий. Він встановив 50 % кірково-кіркових зрощень, 91 % — кірково-губчастих та усіх губчасто-губчастих з'єднань за умов післяопераційної ПХТ. Відомо, що у разі тісного контакту між зіставленими фрагментами в кірковому шарі діафіза кістки частота зрощень зростає. Якщо розмір щілини перевищує 1 мм, частота зрощення значно зменшується. Клінічні дослідження показали, що для кращого зрощення слід застосовувати ригідну фіксацію. Також для стабілізації використовують накісткові

пластини та інтрамедулярні фіксатори. Але частота переломів алотрансплантатів зростає після фіксації пластиною. Інтрамедулярна фіксація, навіть із проксимальним та дистальним блокуванням, може не забезпечити адекватних умов для зрощення. Інтрамедулярний стрижень із блокуванням є недостатньо ефективним для зрощення в діафізі довгої кістки: несправжні суглоби виникли у всіх 12 випадках такої фіксації. Тому досить ефективно застосувати малі компресійні пластини в місцях остеотомії разом з інтрамедулярним стрижнем. Додатковим методом зменшення ризику утворення несправжнього суглоба є введення у зону остеотомії подрібнених авто- чи алотрансплантатів. Часто з цією метою застосовують демінералізований кістковий матрикс. Проте такі додаткові методи не мають великого значення, якщо пацієнт має злюякісну пухлину і отримує ад'ювантну ПХТ [17].

У наведеній роботі порівняно результати застосування східцеподібної остеотомії для з'єднання алоімплантата та кістки реципієнта у разі різних методів фіксації. Результати проведеного нами дослідження наочно висвітлили той факт, що при алокомпозитному ендопротезуванні довгої кістки виконання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта з кістковим сегментарним алоімплантатом сприяє скорішому набуванню щільності кісткового регенерату.

Більш стабільна фіксація кісткового алоімплантата із кісткою реципієнта, а також збільшення площини контакту цих кісток за рахунок використання східцеподібної остеотомії кісток, що з'єднуються, обумовлюють отримання найбільшої оптичної щільності кісткового регенерату.

Відсутність консолідації алоімплантата та кістки реципієнта спостерігали виключно в разі застосування методики фіксації алоімплантата пластинами. У цих випадках визначена знижена оптична щільність у зоні контакту алоімплантата та кістки реципієнта відразу після операції, що можна пояснити нещільним контактом між кісткою та сегментарним алоімплантатом. Незважаючи на те, що з часом зона контакту зміцнюється, міцність новоутвореного кісткового регенерату не забезпечує достатню стабільність у цій групі пацієнтів. Крім того, у хворих з відсутністю консолідації спостерігали також знижену оптичну щільність кіркового шару кістки реципієнта.

У разі застосування інтрамедулярного блокуваного стрижня для фіксації кісткового алоімплантата ознак порушення процесу консолідації не відмічено, а вся кісткова тканина (кістки реципієнта та алоімплантат) з плином часу набувала більшої щільності.

Таким чином, застосування сегментарних кісткових алоімплантатів для заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток, виконання фіксації алоімплантата за допомогою інтрамедулярного блокуваного стрижня зменшує кількість ускладнень, пов'язаних з порушенням процесу консолідації алоімплантата та кістки реципієнта.

ВИСНОВКИ

1. Результати проведеного дослідження наочно висвітлили той факт, що при алокомпозитному ендопротезуванні довгої кістки виконання східцеподібної остеотомії для з'єднання кістки реципієнта з кістковим сегментарним алоімплантатом сприяє скорішому набуванню щільності кісткового регенерату.

2. Більш стабільна фіксація кісткового алоімплантата із кісткою реципієнта, а також збільшення площини контакту цих кісток завдяки використанню східцеподібної остеотомії кісток, що з'єднуються, обумовлюють отримання найбільшої оптичної щільності кісткового регенерату.

3. У разі застосування інтрамедулярного блокового стрижня для фіксації кісткового алоімплантата ознак порушення процесу консолідації не відмічено, а вся кісткова тканина (кістки реципієнта та алоімплантат) з плином часу набувала більшої щільності.

4. Застосування сегментарних кісткових алоімплантатів для заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток, виконання фіксації алоімплантата за допомогою інтрамедулярного блокованого стрижня зменшує кількість ускладнень, пов'язаних з порушенням процесу консолідації алоімплантата та кістки реципієнта.

Перспективи подальших досліджень. Планується продовження роботи над розробками методів алопластичного заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток у пацієнтів зі злоякісними пухлинами.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про фінансування. Фінансування видатками Державного бюджету України. НДР «Розробити методики біорекострукції дефектів довгих кісток та суглобів при хірургічному лікуванні хворих з кістковими пухлинами» (2018–2020), номер держреєстрації 0118U003215.

Список літератури

1. Baldwin P., Li D.J., Auston D.A., Mir H.S., Yoon R.S., Koval, K.J. (2019). Autograft, allograft, and bone graft substitutes: clinical evidence and indications for use in the setting of orthopaedic trauma surgery. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 33, 4, 203–213. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001420>.
2. Perez J.R., Jose J., Mohile N.V., Boden A.L., Greif D.N., Barrera C.M., Conway S., Subhawong T., Ugarte A., & Pretell-Mazzini J. (2020). Limb salvage reconstruction: Radiologic features of common reconstructive techniques and their complications. *Journal of Orthopaedics*, 21, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.03.043>.
3. Reif T., Schoch B., Spiguel A., Elhassan B., Wright T., Sanchez-Sotelo J., & Wilke B.K. (2020). A retrospective review of revision proximal humeral allograft-prosthetic composite procedures: An analysis of proximal humeral bone stock restoration. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 29(7), 1353–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.10.029>.

4. Sohn H.S., Oh, J.K. (2019). Review of bone graft and bone substitutes with an emphasis on fracture surgeries. *Biomaterials Research*, 23, 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0157-y>.

5. Gharedaghi M., Peivandi M.T., Mazloomi M., Shoorin H.R., Hasani M., Seyf P., Khazaei F. (2016). Evaluation of clinical results and complications of structural allograft reconstruction after bone tumor surgery. *Arch Bone Joint Surgery*, 4(3), 236–242. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27517069/>.

6. Crenn V., Quinette Y., Bouthors C., Missenard G., Viard B., Anract P., Boisgard S., Mascard E., & Gouin, F. (2022). Intercalary allograft reconstruction following femoral tumour resection: Mid- and long-term results and benefits of adding a vascularised fibula autograft. *World Journal of Surgical Oncology*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12957-022-02650-x>.

7. Gundle K.R. (2020). CORR Insights®: Do Massive Allograft Reconstructions for Tumors of the Femur and Tibia Survive 10 or More Years After Implantation? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 478(3), 525–526. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000856>.

8. Jayaramaraju D., Venkataramani H., Rajasekaran R.B., Agraharam D., Sabapathy S.R., & Rajasekaran S. (2019). Modified Capanna's Technique (Vascularized Free Fibula Combined with Allograft) as a Single-Stage Procedure in Post-traumatic Long-Segment Defects of the Lower End of the Femur: Outcome Analysis of a Series of 19 Patients with an Average Gap of 14 cm. *Indian Journal of Plastic Surgery: Official Publication of the Association of Plastic Surgeons of India*, 52(3), 296–303. <https://doi.org/10.1055/s-0039-3400672>.

9. Langlais F., & Tomeno B. (2012). Limb Salvage: Major Reconstructions in Oncologic and Nontumoral Conditions 5th International Symposium, St. Malo ISOLS-GETO. Springer Science & Business Media.

10. Вирва О.Е., Головіна Я.О., Малик Р.В., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. (2020). Рентгенометричне дослідження щільності кісток у разі алокомпозитного ендопротезування (експеримент in vivo). *Ортопедія, травматологія і протезування*, (4), 18–24. <https://doi.org/10.15674/0030-59872020418-24>.

11. Головіна Я.О., Малик Р.В., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. (2022). Дослідження рентгенологічної кісткової щільності у пацієнтів з кістковими пухлинами у разі застосування сегментарних кісткових алоімплантатів. *Травма*, 23 (1), 43–50. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.1.23.2022.881>.

12. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей. Страсбург, 18 березня 1986 року: офіційний переклад [Електронний ресурс]. Верховна Рада України. Офіц. веб-сайт (Міжнародний документ Ради Європи). Режим доступу до документа: http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=994_137.

13. Про захист тварин від жорстокого поводження: Закон України № 3447-IV від 21.02.2006 р. [Електронний ресурс]. Верховна Рада України. Офіц. веб-сайт. Режим доступу до документа: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=3447-15>.

14. Colangeli S., Andreani L., D'Arienzo A., Mani O., Resuccia G., & Capanna R. (2022). Biological Reconstruction of the Tibial Diaphysis and Ankle — III: Arthrodesis with Mas-

sive Allograft. B.H. Özger, F.H. Sim, A. Puri, & L. Eralp (eds.). *Orthopedic Surgical Oncology For Bone Tumors: A Case Study Atlas* (p. 333-343). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73327-8_32.

15. Garcia-Coiradas J., Garcia-Maroto R., Cebrian J.L., & Lopez-Duran L. (2015). Structural bone allograft fractures in oncological procedures. *International Orthopaedics*, 39(11), 2261-2265. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-2980-7>.

16. Capanna R., Campanacci D.A., Belot N., Beltrami G., Manfrini M., Innocenti M., & Ceruso M. (2007). A new reconstructive technique for intercalary defects of long bones: The

association of massive allograft with vascularized fibular autograft. Long-term results and comparison with alternative techniques. *The Orthopedic Clinics of North America*, 38(1), 51-60, vi. <https://doi.org/10.1016/j.oocl.2006.10.008>.

17. Dubina A., Shiu B., Gilotra M., Hasan S.A., Lerman D., & Ng V.Y. (2017). What is the Optimal Reconstruction Option after the Resection of Proximal Humeral Tumors? A Systematic Review. *The Open Orthopaedics Journal*, 11, 203-211. <https://doi.org/10.2174/1874325001711010203>.

Отримано/Received 04.07.2024

Рецензовано/Revised 15.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 24.07.2024

Information about authors

Yanina O. Golovina, PhD in Medicine, Lecturer at the Department of Surgery and Emergency Medicine, Cherkasy Medical Academy, Cherkasy, Ukraine; e-mail: dr.yanina.golovina@gmail.com; phone: +380 (50) 402-72-43; <https://orcid.org/0000-0002-1605-9109>

Roman V. Malyk, PhD in Medicine, Assistant, Department of Traumatology and Orthopaedics, Physical and Rehabilitation Medicine, Educational and Scientific Institute of Postgraduate Education, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: dr.roman.malyk@gmail.com; phone: +380 (50) 015-05-50; <https://orcid.org/0000-0001-9070-4834>

Mykhailo Yu. Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; phone: +380 (67) 571-48-63; <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Information about funding. Funding by expenditures of the State Budget of Ukraine. NDR "Develop methods of bioconstruction of defects of long bones and joints during surgical treatment of patients with bone tumors" (2018–2020), state registration number 0118U003215.

Ya.O. Golovina¹, R.V. Malyk², M.Yu. Karpinsky³

¹Cherkasy Medical Academy, Cherkasy, Ukraine

²Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

³State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Correlation of radiographic bone density data in segmental bone allografts *in vivo* and in patients

Abstract. Background. Alloplastic replacement of bone defects after tumor removal is a commonly used and quite successful method of surgical treatment of patients with cancer. To evaluate the effectiveness of surgical intervention, it is important to study the state of the bone tissue. The radiological density research with the X-Rays software package will allow assessing the state of bone tissue in the case of using different methods of bone allografts. The purpose of the study was to evaluate the options of the X-ray density technique with the X-Rays software package in segmental bone allografts for post-resection defects of long bones in the experiment and in the clinic in order to identify the best methods for fixing segmental allografts. **Material and methods.** In this work, we combine 2 studies (experimental on animals, and clinical research) that show the results of using different methods of bone allografts and the correlation of experimental and clinical data based on radiological density. **Results.** The data obtained indicate that a stepwise osteotomy to connect the recipient's bone with a segmental allograft contributes to the rapid acquisition of bone regenerate density. The statistical analysis revealed some peculiarities of

bone tissue behavior in patients with consolidated and unconsolidated contact zone between the allograft and the recipient bone. The change in the data of bone optical density was analyzed when using different methods to fix the bone allograft with the recipient bone: by means of an intramedullary rod and a plate. It was proved that the density in case of using a plate was lower (98 ± 46 units) compared to the data of radiographs of patients who underwent fixation with an intramedullary blocking rod (121 ± 44 units). **Conclusions.** The results of the study clearly highlighted the fact that in allocomposite replacement of the long bone, a stepwise osteotomy to connect the recipient bone with a segmental allograft contributes to the rapid acquisition of bone regenerate density. In case of using an intramedullary blocking rod to fix a bone allograft, no signs of violation of the consolidation process were noted, and the whole bone tissue (recipient bone and allograft) gained more density over time.

Keywords: malignant bone tumors; bone sarcoma; bone allograft; surgical treatment of malignant bone tumors; radiographic bone density

Павлов О.Д.¹, Павлова О.О.¹, Мальцева В.Є.², Карпінський М.Ю.², Карпінська О.Д.²

¹Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Експериментальне дослідження міцності накісткових пластин з композитного матеріалу на основі полілактиду, трикальційфосфату та гідроксилапатиту

Резюме. Актуальність. В ортопедії та травматології у складі гвинтів та фіксаційних штифтів, пластин та анкерів, кейджів значне місце посідають полімерні матеріали, що резорбуються та розчиняються в біологічних рідинах. Найчастіше використовують імплантати з L-полімолочної кислоти. Підвищити їх якість можливо шляхом введення в їх склад керамічних матеріалів, зокрема трикальційфосфату (ТКФ) та гідроксилапатиту (ГА). Однак імплантати з різним процентним співвідношенням та складом керамічного матеріалу розрізняються властивостями міцності та поведінки в кістці. **Мета:** в умовах експерименту перевірити міцність на згин пластин з композитного матеріалу на основі полілактиду (PLA), трикальційфосфату та гідроксилапатиту на відповідність розрахунковим показникам. **Матеріали та методи.** Були виготовлені зразки пластин з матеріалу, який містив 70 % PLA, 20 % ТКФ і 10 % ГА. Методом 3D-друку було виготовлено пластини товщиною 8,5, 9,5 і 10,7 мм, які за розрахунковими даними відповідають масі пацієнта 50, 70 і 100 кг відповідно. Усього було виготовлено по 3 пластини кожного розміру. Усі зразки випробували на згин. Величину навантаження поступово збільшували від 100 до 1000 Н з кроком 100 Н. На кожному кроці фіксували величину прогину зразка. **Результати.** У результаті проведених досліджень було визначено величину прогину зразків пластин різної товщини з композитного матеріалу на основі PLA, ТКФ і ГА залежно від величини навантаження. Виконували перевірку відповідності прогину зразків пластин при навантаженні, що відповідають масі пацієнта, на яку вони були розраховані, — 50, 70 та 100 кг, допустимій межі прогину, за яку обирали розрахунковий прогин стандартної титанової пластини. Результати показали, що показники прогину всіх зразків не мають статистично значущих відхилень від допустимої межі величини прогину. Для всіх груп зразків показник критерію p значно перевищує критичне значення 0,05. **Висновки.** Проведені експериментальні дослідження міцності на згин пластин з композитного матеріалу, який містить 70 % PLA, 20 % ТКФ і 10 % ГА, довели, що величини прогину всіх випробуваних зразків пластин відповідають розрахунковим значенням, відхилення показників не перевищують допустимого значення 5 %.

Ключові слова: полілактид; трикальційфосфат; гідроксилапатит; накісткова пластина; згин

Вступ

В ортопедії та травматології у складі гвинтів та фіксаційних штифтів, пластин та анкерів, кейджів значне місце посідають полімерні матеріали, що резорбуються та розчиняються в біологічних рідинах [1, 2].

Серед таких матеріалів частіше використовують імплантати з L-полімолочної кислоти (L-полілактид), особливістю яких є біодеградація, остеointegraція, здатність індукувати процеси утворення кісткової тканини та висока біосумісність з організмом [1, 3]. Пе-

ревагою таких імплантів є їх повне розсмоктування, що позбавляє від необхідності операції з видалення імплантата або фіксуючого пристрою, а отже, запобігає пошкодженню тканин. Підвищити якість біоматеріалів на основі полілактидів (PLA) можливо шляхом введення в їх склад керамічних матеріалів, зокрема трикальційфосфату (ТКФ) та гідроксилапатиту (ГА) [4]. Однак імплантати з різним процентним співвідношенням та складом керамічного матеріалу розрізняються властивостями міцності та поведінки в кістці. У наших попередніх роботах були проведені розрахунки міцності композитних матеріалів і пластин на їх основі залежно від відсоткового вмісту PLA, ТКФ і ГА [5], а також експериментальні дослідження зразків з PLA залежно від його поруватості [6].

Мета: в умовах експерименту перевірити міцність на згин пластин з композитного матеріалу на основі полілактиду, трикальційфосфату та гідроксилапатиту на відповідність розрахунковим показникам.

Матеріали та методи

Для перевірки розрахункових параметрів пластин з композитного матеріалу на основі PLA, ТКФ і ГА було проведено експериментальне дослідження величини їх прогину. Для цього на підставі розрахункових даних [5] були виготовлені зразки пластин з матеріалу, який містив 70 % PLA, 20 % ТКФ і 10 % ГА. Методом 3D-друку було виготовлено пластини товщиною 8,5, 9,5 і 10,7 мм, які за розрахунковими даними відповідають масі пацієнта 50, 70 і 100 кг відповідно [5]. Усього було виготовлено по 3 пластини кожного розміру.

Усі зразки випробували на згин. Для проведення експерименту було обрано таку ж схему навантаження, що і для проведення розрахунків [5] (рис. 1).

Величину навантаження поступово збільшували від 100 до 1000 Н з кроком 100 Н. На кожному кроці фіксували величину прогину зразка. За величину допустимої

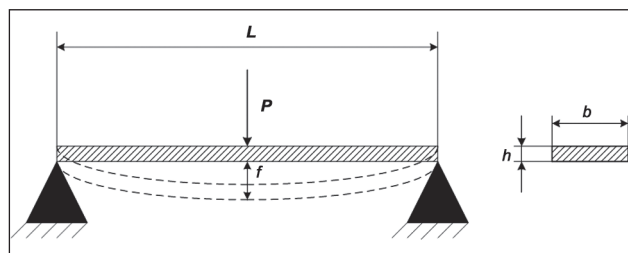


Рисунок 1. Розрахункова схема випробування пластин на згин

межі прогину обрано розрахункову величину прогину 5,48 мм пластини з титану [5].

Результати випробувань було оброблено методом описової статистики. Розраховували середнє значення (M) та стандартне відхилення (SD). Порівняння результатів експерименту із розрахунковими значеннями виконували за допомогою одновибіркового T-тесту.

Результати

У результаті проведених досліджень було визначено величину прогину зразків пластин різної товщини з композитного матеріалу на основі PLA, ТКФ і ГА залежно від величини навантаження. Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 1.

Наочне уявлення про зміни величини прогину зразків пластин різної товщини залежно від величини навантаження можна отримати за допомогою графіка, який наведено на рис. 2.

На наступному кроці роботи виконували перевірку відповідності прогину зразків пластин при навантаженнях, що відповідають масі пацієнта, на яку вони були розраховані, — 50, 70 та 100 кг, допустимій межі прогину, за яку обирали розрахунковий прогин стандартної титанової пластини. Для цього розраховану допустиму межу прогину 5,48 мм порівнювали з

Таблиця 1. Величини прогину пластин з композитного матеріалу на основі PLA, ТКФ і ГА залежно від величини навантаження

Навантаження, Н	Величина прогину, мм (M ± SD)		
	Товщина пластини (вага пацієнта)		
	8,5 мм (50 кг)	9,5 мм (70 кг)	10,7 мм (100 кг)
100	1,09 ± 0,11	0,78 ± 0,05	0,55 ± 0,01
200	2,18 ± 0,25	1,56 ± 0,12	1,09 ± 0,09
300	3,27 ± 0,41	2,34 ± 0,26	1,64 ± 0,13
400	4,36 ± 0,50	3,12 ± 0,42	2,19 ± 0,21
500	5,46 ± 0,53	3,91 ± 0,44	2,73 ± 0,28
600	6,54 ± 0,66	4,69 ± 0,51	3,28 ± 0,46
700	7,63 ± 0,74	5,47 ± 0,55	3,83 ± 0,45
800	8,72 ± 0,81	6,25 ± 0,70	4,37 ± 0,51
900	9,81 ± 0,85	7,03 ± 0,78	4,92 ± 0,58
1000	10,90 ± 0,92	7,81 ± 0,81	5,49 ± 0,61

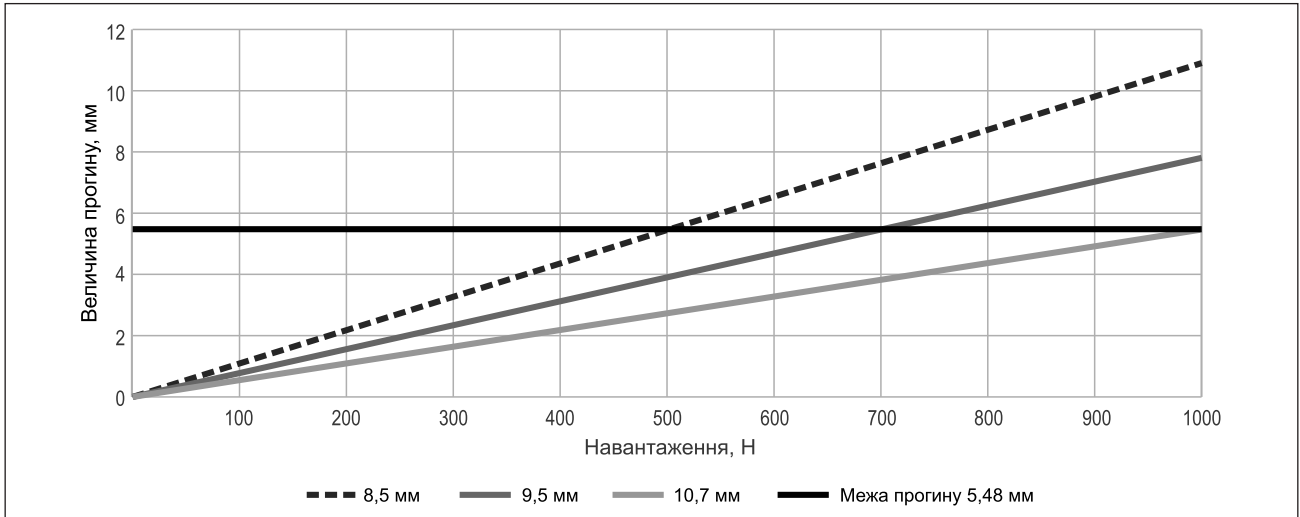


Рисунок 2. Графік залежності величини прогину пластин на основі PLA, ТКФ і ГА залежно від величини навантаження

експериментальними значеннями, які були отримані при навантаженні пластин у 500, 700 та 1000 Н. Перевірку виконували за допомогою одновибіркового Т-тесту. Результати статистичного аналізу наведено в табл. 2.

Результати статистичного аналізу продемонстрували, що показники прогину всіх зразків не мають статистично значущих відхилень від допустимої межі величини прогину. Для всіх груп зразків показник критерію *p* значно перевищує критичне значення 0,05.

Діаграма, яка наведена на рис. 3, надає наочне уявлення про відмінності величин прогину зразків пластин з композитного матеріалу від допустимої межі величини прогину.

Наведена діаграма показує відсутність статистично значущих відмінностей між показниками величини прогину пластин різної товщини при розрахунковому навантаженні для кожної групи та допустимою межею величини прогину. Знак «—» перед значеннями критерію *t* в групах пластин товщиною 8,5 та 9,5 мм (табл. 2)

вказує на те, що середнє значення величини прогину зразків в цих групах нижче за допустиму межу величини прогину.

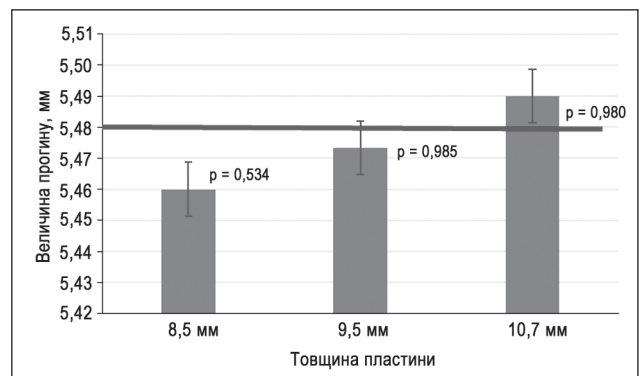


Рисунок 3. Діаграма відмінності величин прогину зразків пластин з композитного матеріалу від допустимої межі величини прогину

Таблиця 2. Результати порівняльного аналізу величини прогину зразків пластин із композитного матеріалу на основі PLA, ТКФ і ГА та допустимої межі величини прогину

Показники	Величина прогину, мм		
	Товщина пластини (вага пацієнта)		
	8,5 мм (50 кг)	9,5 мм (70 кг)	10,7 мм (100 кг)
Зразок 1	6,04	6,05	6,10
Зразок 2	5,35	5,41	5,48
Зразок 3	4,99	4,96	4,89
Допустима межа прогину	5,48	5,48	5,48
Середнє значення, M	5,46	5,47	5,49
Стандартне відхилення, SD	0,53	0,55	0,61
Статистична значущість різниці (t, p)	t = -5,460 p = 0,534	t = -0,021 p = 0,985	t = 0,029 p = 0,980

Висновки

Проведені експериментальні дослідження міцності на згин пластин з композитного матеріалу, який містить 70 % PLA, 20 % ТКФ і 10 % ГА, довели, що величини прогину всіх випробуваних зразків пластин відповідають розрахунковим значенням, відхилення показників не перевищують допустимого значення 5 %.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Радченко В.А., Дедух Н.В., Малышкина С., Бенгус Л.М. Биорезорбируемые полимеры в ортопедии и травматологии. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2006; (3): 116-124.
2. Kontakis G.M., Pagkalos J.E., Tosounidis T.I., Melissas J., Katonis P. Bioabsorbable materials in orthopaedics. *Acta Orthop. Belg.* 2007; 73: 159-169.

3. Терещенко В.П., Кирилова И.А., Ларионов П.М. Матрицы-носители в тканевой инженерии костной ткани. *Успехи современного естествознания*. 2015; (8): 66-70.

4. Корж Н.А., Радченко В.А., Кладченко Л.А., Малышкина С.В. Имплантационные материалы и остеогенез. Роль индукции и кондукции в остеогенезе. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2003; (2): 150-154.

5. Хвистюк О.М., Павлов О.Д., Карпинский М.Ю., Карпинська О.Д. Розрахунок міцнісних характеристик композитного матеріалу на основі полілактиду трикальційфосфату та гідроксіапатиту. *Травма*. 2020; 21(1): 85-91. DOI: 10.22141/1608-1706.1.21.2020.197802.

6. Пастух В.В., Павлов А.Д., Карпинский М.Ю., Карпинская Е.Д., Сова Н.В. Экспериментальное исследование предела прочности образцов материала на основе полилактиды и трикальцийфосфата, изготовленных методом 3D-печати с разной пористостью, в зависимости от срока гидратации. *Geogian Medical News*. 2021; (7-8): 173-178. PMID: 34511467

Отримано/Received 05.07.2024

Рецензовано/Revised 16.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 25.07.2024

Information about authors

Oleksii D. Pavlov, Assistant, Department of Traumatology and Orthopaedics, Physical and Rehabilitation Medicine, Educational and Scientific Institute of Postgraduate Education, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: slegg190887@gmail.com; phone: +380 (93) 954-47-21; <https://orcid.org/0000-0002-3686-1262>

Olena O. Pavlova, MD, DSc, PhD, Professor, Department of General and Clinical Pathological Physiology named after D.O. Alpern, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: slegg@i.ua; phone: +380 (67) 799-28-84; <https://orcid.org/0000-0002-0570-3931>

Valentyna Ye. Maltseva, PhD in Biological Sciences, Head of the Laboratory of Connective Tissue Morphology, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: maltseva.val.evg@gmail.com; phone: +380 (95) 741-35-55, +380 (57) 725-14-51; <https://orcid.org/0000-0002-9184-0536>

Mykhailo Yu. Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; phone: +380 (67) 571-48-63; <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>

Olena D. Karpinska, Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: helen.karpinska@gmail.com; phone: +380 (57) 725-14-74, +380 (99) 486-34-63; <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

O.D. Pavlov¹, O.O. Pavlova¹, V.Ye. Maltseva², M.Yu. Karpinsky², O.D. Karpinska²

¹Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

²State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Experimental study of the strength of bone plates made of composite material based on polylactide, tricalcium phosphate and hydroxylapatite

Abstract. Background. In orthopedics and traumatology, polymer materials that are resorbed and dissolve in biological fluids occupy a significant place as screws and fixation pins, plates and anchors, cages. Most often, implants from L-poly-lactic acid (PLA) are used. It is possible to increase their quality by including ceramic materials into their composition, in particular tricalcium phosphate (TCF) and hydroxylapatite (HA). However, implants with different percentages and compositions of ceramic material differ in strength and behavior in bone. The purpose was to check the bending strength of plates made of a composite material based on polylactide, tricalcium phosphate and hydroxylapatite for compliance with the calculated indicators under experimental conditions. **Materials and methods.** Plate samples were made from a material containing 70 % PLA, 20 % TCF and 10 % HA. Using the 3D printing method, plates with a thickness of 8.5, 9.5, and 10.7 mm were produced which, according to the calculated data, correspond to the patient's weight of 50, 70, and 100 kg, respectively. A total of 3 plates of each size were made. All samples were tested for bending. The load magnitude increased gradually from 100 to 1000 N

with a step of 100 N. At each step, the deflection of the sample was recorded. **Results.** As a result of the research, the deflection was evaluated for samples of plates with different thicknesses made of composite material based on PLA, TCF and HA, depending on the load magnitude. The deflection of the plate samples was checked under loads corresponding to the patient's weight for which they were calculated — 50, 70 and 100 kg, and the permissible limit of deflection, for which the calculated deflection of the standard titanium plate was chosen. The results showed that the deflection indicators of all samples do not have statistically significant deviations from the permissible limit. For all groups of samples, the p criterion significantly exceeds the critical value of 0.05. **Conclusions.** Experimental studies on the bending strength of plates made of composite material containing 70 % PLA, 20 % TCF and 10 % HA proved that the deflection of all tested samples correspond to the calculated values, the deviations of the indicators do not exceed the permissible level of 5 %.

Keywords: polylactide; tricalcium phosphate; hydroxylapatite; bone plate; bend

Авер'янов Є.В.¹, Шкрєбко В.О.²¹ДУ «Інститут гематології та трансфузіології НАМН України», м. Київ, Україна²Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Особливості гемостазу в пацієнтів з гемофілічною артропатією колінного суглоба у періопераційному періоді

Резюме. Актуальність. Сьогодні гемофілію вважають гематологічно-ортопедичним захворюванням, що розвивається внаслідок ураження різних анатомічних структур опорно-рухової системи, серед яких домінують синовіальні суглоби — так звані суглоби-мішені, майже в усіх хворих на гемофілію. **Метою** нашого дослідження було проаналізувати вплив рівня факторів згортання крові у пацієнтів з гемофілічними артропатіями колінного суглоба в різні періоди хірургічного лікування. **Матеріали та методи.** Для виконання дослідження нами було проаналізовано 77 випадків гемофілії, усі хворі перебували на стаціонарному й амбулаторному лікуванні у КНП «Київська міська клінічна лікарня № 9» у період з 2008 по 2022 рік. До першої групи ввійшли 43 (55,8 %) пацієнти, яким виконана хірургічна синовектомія. До другої групи ввійшли 34 (44,2 %) пацієнти, яким виконана операція тотального ендопротезування колінного суглоба. **Результати.** У пацієнтів дослідних груп рівень фактора згортання крові в передопераційному періоді становив $1,66 \pm 0,15$ МО/мл у першій групі та $1,83 \pm 0,15$ МО/мл у другій. До операції всім пацієнтам вводився препарат фактора згортання VIII у дозі 50 МО/кг маси тіла. У результаті під час оперативного втручання рівень фактора згортання крові у першій групі становив $92,6 \pm 2,0$ МО/мл, а у другій — $98,5 \pm 2,2$ МО/мл. Ці середні показники рівня дефіцитного фактора згортання VIII є типовою прогнозованою відповіддю на введення рекомбінантного концентрату дефіцитного фактора. Такі рівні фактора згортання VIII відповідали нормальному рівню фактора згортання VIII під час операції та не потребували інтраопераційної корекції. У післяопераційному періоді відбувалося вірогідне зниження рівня фактора згортання VIII до $69,3 \pm 1,4$ МО/мл у пацієнтів першої групи та $75,3 \pm 1,5$ МО/мл у другій групі. Таке падіння у післяопераційному періоді є природним, зважаючи на типову фармакокінетику препаратів фактора згортання VIII у пацієнтів з гемофілією. **Висновки.** Взавши до уваги отримані показники фактора згортання VIII, а також особливості фармакокінетики його рекомбінантного препарату, у післяопераційному періоді пацієнтам обох груп спостереження вводили підтримуючу дозу 25 МО/кг.

Ключові слова: гемофілія; колінний суглоб; дефіцит; фактор згортання крові VIII

Вступ

Сьогодні гемофілію вважають гематологічно-ортопедичним захворюванням, що розвивається внаслідок ураження різних анатомічних структур опорно-рухової системи, серед яких домінують синовіальні суглоби — так звані суглоби-мішені, майже в усіх хворих на гемофілію [5]. Гемофілія А зустрічається частіше, ніж гемофілія В, з поширеністю 1 на 5000 живонароджених чоловічої статі порівняно з 1 на 30 000 відповідно [10].

Специфічне ураження великих суглобів є характерною ознакою, що супроводжує класичну гемофілію, та основним чинником ранньої інвалідизації хворих [2]. Проблема ураження суглобів у хворих на гемофілію тісно пов'язана з неадекватністю замісної гемостатичної терапії на етапах розвитку геморагічних ускладнень, наявністю інгібіторних антитіл до фактора VIII/IX, специфікою порушень гомеостазу на фоні дефіциту прокоагулянтної активності фактора VIII/IX [3, 7]. На частоту

розвитку гемартрозів впливає і ступінь тяжкості гемофілії. Частота ураження суглобів зростає пропорційно зниженню прокоагулянтної активності фактора VIII/IX [10].

Структура крововиливів при гемофілії розподіляється приблизно таким чином: 70–80 % — гемартрози (частіше страждають колінні, ліктьові, гомілково-стопні суглоби); 10–20 % — гематоми м'яких тканин; 14–20 % — гематурія; близько 8 % — шлунково-кишкові кровотечі; менше ніж 5 % — церебральні крововиливи [9]. Якщо у пацієнтів з легкою гемофілією кровотеча виникає рідко, зазвичай лише після значної травми або операції, то у пацієнтів з тяжкою гемофілією може спостерігатися кілька епізодів на місяць, і це, як правило, спонтанна кровотеча в результаті мінімальної травми або повсякденної діяльності. Водночас останні дані доводять, що гемартроз може (хоча й рідше) виникати й у пацієнтів із помірною або легкою гемофілією [4, 9]. Багато факторів сприяють розвитку та прогресуванню артропатії у хворих на гемофілію. Хоча кровотеча в суглоб є ключовою подією, що провокує процес, механізми, за допомогою яких кровотеча в суглоб призводить до синовіального запалення (синовіт), руйнування хрящів і кісток (артропатія) та які пояснюють гетерогенність клінічних фенотипів, незважаючи на схожі рівні активності фактора VIII або IX, остаточно не встановлені [8].

Метою нашого дослідження було провести аналіз рівня факторів згортання крові у пацієнтів з гемофілічними артропатіями колінного суглоба в різні періоди хірургічного лікування.

Матеріали та методи

Для виконання нашого дослідження нами було проаналізовано 77 випадків гемофілії, усі пацієнти перебували на стаціонарному й амбулаторному лікуванні у КНП «Київська міська клінічна лікарня № 9» у період з 2008 по 2022 рік. З огляду на особливості гемофілії, усі 100 % хворих були чоловічої статі. Середній вік становив $39,4 \pm 5,8$ року. У 67 (87,0 %) виявлена гемофілія типу А, а в 10 (13,0 %) — гемофілія типу В. У всіх пацієнтів була виявлена гемофілічна артропатія та планувалось або виконано оперативне втручання на колінних суглобах. У 52 пацієнтів (67,5 %) спостерігалось одностороннє ураження колінного суглоба, а у 25 пацієнтів (32,5 %) — двобічне ураження. З метою якісного аналізу масив дослідження був поділений на дві групи. До першої групи увійшли 43 (55,8 %) пацієнти, яким виконана хірургічна синовектомія. Показанням до оперативного втручання була гемофілічна артропатія II–III ступеня, з гемартрозами до 5 разів на рік. Середній вік пацієнтів становив $34,4 \pm 4,8$ року. До другої групи увійшли 34 (44,2 %) пацієнти, яким виконана операція тотального ендопротезування колінного суглоба. Показанням до операції була наявність гемофілічної артропатії колінного суглоба III–IV ступеня, з наявністю нестабільності й осьової деформації у суглобі. Середній вік пацієнтів становив $40,1 \pm 5,5$ року. Техніка тотального ендопротезування колінного суглоба була стандартною.

Клініко-лабораторні дослідження проводились у лабораторії закладу. Рентгенологічне дослідження суглобів виконувалося на рентгенапараті SIEMENS, ультразвукове дослідження — на апараті експертного класу TOSHIBA. Комп'ютерна томографія — на мультиспіральному 32-зрізовому апараті SIEMENS, МРТ — на апараті SIEMENS Magniton Concerta з напругою магнітного поля 0,35 Тл. Статистична обробка проводилася за допомогою непараметричної методики. З огляду на чисельність ознак, що аналізуються, та необхідність забезпечення одноманітності результативних показників, для здійснення коректного порівняння нами була обрана методика обрахування коефіцієнта поліхоричного показника зв'язку, що запропонована К. Пірсоном [1].

Результати

На сьогодні основним і найефективнішим методом профілактики та лікування кровотеч при неускладненій імунним інгібітором формі гемофілії є замісна гемостатична терапія лікарськими препаратами концентрату факторів згортання крові людини. Замісна гемостатична терапія є одним із найсуттєвіших чинників впливу на перебіг гемостатичних реакцій у хворих на гемофілію. Вважається, що під впливом екзогенних факторів VIII і IX відбувається часткове або повне (залежно від дози) відновлення гемостатичної функції. Адекватне заміщення дефіциту фактора VIII відкриває можливість ефективно лікувати не тільки кровотечі або крововиливи у хворих на гемофілію, але й проводити їм складні оперативні втручання. Для отримання адекватної картини розподілу замісної гемостатичної терапії фактором згортання VIII ми провели аналіз його вмісту у крові пацієнтів масиву дослідження у доопераційному періоді, під час операції та після 24 годин у післяопераційному періоді.

Аналіз вмісту фактора згортання VIII серед пацієнтів з ураженнями колінного суглоба, хворих на гемофілію, у передопераційному періоді наведено у табл. 1.

У передопераційному періоді були виявлені деякі особливості розподілу вмісту фактора згортання VIII. Так, найчастіше рівень фактора VIII становив 1,1–2,0 МО/мл. Саме цей рівень фактора VIII виявлявся у 46,5 % пацієнтів першої групи та 47,0 % другої, і вони посідали перше рангове місце у своїх групах. На другому ранговому місці — пацієнти з рівнем до 3,0 МО/мл. У першій групі пацієнтів з таким рівнем фактора VIII було дещо більше. Подібна тенденція спостерігалась і у пацієнтів з критично низьким рівнем фактора VIII, що становив 0–1,0 МО/мл. В обох групах спостереження такі пацієнти посідали третє рангове місце. Рівень фактора VIII вище ніж 3,0 МО/мл зустрічався значно рідше, і лише у другій групі відмічалось збільшення рівня до 4,0 МО/мл у 8,8 % пацієнтів.

Середній рівень фактора згортання VIII у пацієнтів першої групи становив $1,66 \pm 0,15$ МО/мл, а другої — $1,83 \pm 0,15$ МО/мл. Встановлено, що вірогідно вираженої різниці рівня фактора згортання VIII серед пацієнтів дослідних груп виявлено не було. Як у пацієнтів

Таблиця 1. Аналіз вмісту фактора згортання VIII серед пацієнтів масиву дослідження у передопераційному періоді

Уміст фактора VIII (МО/мл)	Група 1, абс.	Група 1, %	Ранг	Група 2, абс.	Група 2, %	Ранг
0–1,0	7	16,3	3	5	14,7	3
1,1–2,0	20	46,5	1	16	47,0	1
2,1–3,0	12	27,9	2	8	23,5	2
3,1–4,0	1	2,3	5	3	8,8	4
4,1–5,0	2	4,6	4	2	5,9	5
5,1–6,0	1	2,3	5	–	–	–
Загалом	43	100,0	–	34	100,0	–

першої групи, так і другої рівень фактора згортання VIII був майже у 100 разів меншим, ніж у здорових людей. Упродовж виконання дослідження нами запропоновано методологію проведення замісної гемостатичної терапії у пацієнтів масиву дослідження. За основу було взято дані протоколу лікування гемофілії, де вказується перед будь-яким оперативним втручанням, що рекомендована активність дефіцитного фактора VIII повинна становити 100 МО/мл для відновлення сталого гемостатичного потенціалу крові пацієнта.

Для визначення вірогідності виявлених показників табл. 1 нами було проведено поліхоричний аналіз за методикою Пірсона. Показник взаємного сполучення ϕ^2 0,9772, поліхоричний показник зв'язку C 0,7030, критерій вірогідності Пірсона χ^2 75,2444. **Вказані показники свідчать, що аналіз вмісту фактора згортання VIII серед пацієнтів масиву дослідження у передопераційному періоді лежить у межах поля вірогідності** (χ^2 75,2444 \geq χ^2_{st} 20,5150) ($p \leq 0,001$), що дає змогу використання у клінічному алгоритмі лікування уражень колінного суглоба у хворих на гемофілію.

У передопераційному періоді ми вимірювали масу тіла хворого та розраховували необхідну дозу рекомбінантного фактора VIII, яка повинна забезпечити активність дефіцитного фактора на рівні 100 МО/мл. Обов'язковим є визначення параметрів кардіограми. До введення препарату рекомбінантного фактора VIII проводили забір крові для загального аналізу крові, біохімічного дослідження, визначення параметрів коагулограми, серед яких у першу чергу брали до уваги показники протромбінового часу, активованого парціального тромбoplastинного часу та кількість фібриногену. Перед забором крові в усіх пацієнтів визначалися: температура тіла, пульс, артеріальний тиск і частота дихання. Такі ж дослідження проводилися під час оперативного втручання і через 24 години після нього.

Перед початком дослідження ми розраховували дозу для досягнення очікуваної активності фактора VIII за формулою:

$$D = m \times OA \times 0,5,$$

де D — необхідна доза фактора VIII;

OA — очікувана активність, у відповідності до цієї корисної моделі $OA = 100$ МО/мл;

m — маса тіла пацієнта;

0,5 — спеціальний перерахунковий коефіцієнт для фактора VIII.

Якщо виявлена активність була більшою, ніж очікувана активність, нами використовувалася така формула:

$$D = m \times (OA - (C_{\max} - OA)) \times 0,5.$$

Якщо C_{\max} (активність фактора VIII) менша, ніж очікувана активність, то доза фактора перед оперативним втручанням розраховується за формулою:

$$D = m \times (OA + (OA - C_{\max})) [2].$$

У пацієнтів, яким було потрібне призначення додаткових введень препарату фактора VIII, ми співвідносили характеристики рівня крововтрати у певний часовий проміжок від введення препарату та об'єм введення інфузійних середовищ під час операції. Відповідно до Наказу МОЗ України від 30.07.2010 р. № 647 «Клінічний протокол надання медичної допомоги хворим на гемофілію. МКХ-10: D66, D67, D68.1» активність фактора VIII повинна доводитися до 50 МО/мл навіть при неускладнених гемофілічних гемартрозах, для чого необхідно ввести препарат фактора VIII у дозі близько 25 МО/мл. Для пацієнта з вагою 70 кг вона становить близько 1750 МО. При факторі VIII у кріопреципітаті 70 МО/40 мл разовий об'єм трансфузії має бути близько 1000 мл. Тоді як згідно з рекомендаціями ВООЗ щодо гемофілії (2020 р.) рівень дефіцитного фактора згортання при малих операціях на суглобах інтраопераційно повинен становити 60–80 МО/мл, а для великих оперативних втручань — 80–100 МО/мл.

Аналіз вмісту фактора згортання VIII серед пацієнтів з ураженнями колінного суглоба, хворих на гемофілію, під час операції наведено у табл. 2.

Як показав аналіз, серед пацієнтів першої групи найчастіше виявлявся рівень ФЗ VIII 81–90 МО/мл. Майже у третини пацієнтів першої групи був виявлений такий рівень фактора VIII під час оперативного втручання. У ранговому розподілі ці пацієнти посі-

Таблиця 2. Аналіз умісту фактора згортання VIII серед пацієнтів масиву дослідження під час операції

Уміст фактора VIII (МО/мл)	Група 1, абс.	Група 1, %	Ранг	Група 2, абс.	Група 2, %	Ранг
50–60	4	9,3	4	–	–	–
61–70	4	9,3	4	–	–	–
71–80	11	25,6	2	5	14,7	3
81–90	14	32,5	1	7	20,6	2
91–100	10	23,3	3	19	55,9	1
101–110	–	–	–	3	8,8	4
Загалом	43	100,0	–	34	100,0	–

дали перше місце. У другій групі подібних пацієнтів було у 1,6 раза менше, у результаті вони посідали друге рангове місце. Друге рангове місце у першій групі посідали пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 71–80 МО/мл. У другій групі пацієнтів з таким значенням фактора згортання VIII було лише 14,7 %, що в понад 1,7 раза менше, ніж серед пацієнтів першої групи. Ранговий розподіл визначив для них третє рангове місце. У 23,3 % пацієнтів першої групи було виявлено найвищий рівень фактора згортання VIII, що був у межах 91–100 МО/мл. Цей високий показник фактора згортання VIII був виявлений у 55,9 % пацієнтів другої групи, де вони посідали перше рангове місце. Найрідше у першій групі спостерігалися пацієнти з інтраопераційним рівнем фактора згортання VIII 50–60 та 60–70 МО/мл. Серед пацієнтів першої групи ці рівні фактора згортання VIII зустрічалися з однаковою частотою, тому такі хворі посідали останнє, четверте рангове місце. У другій групі пацієнтів з подібним рівнем дефіцитного фактора згортання VIII виявлено не було.

Для визначення вірогідності виявлених показників у табл. 2 нами було проведено поліхоричний аналіз за методикою Пірсона. Показник взаємного сполучення ϕ^2 0,5921, поліхоричний показник зв'язку C 0,6098, критерій вірогідності Пірсона χ^2 45,5917. **Вказані показники свідчать, що аналіз умісту фактора згортання**

VIII серед пацієнтів масиву дослідження під час операції лежить у межах поля вірогідності (χ^2 45,5917 \geq χ^2_{st} 11,0700) ($p \leq 0,05$), що дає змогу використання у клінічному алгоритмі лікування уражень колінного суглоба у хворих на гемофілію.

Таким чином, варто зауважити, що в першій групі у 90,7 % пацієнтів вдалося досягти рекомендованого рівня фактора згортання VIII і лише 9,3 % пацієнтів не мали інтраопераційно допустимого рівня цього дефіцитного фактора. Серед пацієнтів другої групи рекомендований рівень фактора згортання VIII вдалося досягти у 85,3 % пацієнтів, а у 14,7 % пацієнтів цього досягти не вдалося і фактор VIII був на зниженому, однак достатньому рівні для виконання оперативного втручання з тотального ендопротезування колінного суглоба.

Аналіз умісту фактора згортання VIII серед пацієнтів з ураженнями колінного суглоба, хворих на гемофілію, у післяопераційному періоді наведено у табл. 3.

Через 24 години у післяопераційному періоді рівень фактора згортання VIII у пацієнтів дослідних груп отримав тенденцію до значного зниження. Так, серед пацієнтів першої групи у 30,2 % осіб спостерігався рівень фактора згортання VIII 50–60 МО/мл. У ранговому розподілі вони посідали перше рангове місце у групі.

Таблиця 3. Аналіз умісту фактора згортання VIII серед пацієнтів масиву дослідження у післяопераційному періоді

Уміст фактора VIII (МО/мл)	Група 1, абс.	Група 1, %	Ранг	Група 2, абс.	Група 2, %	Ранг
50–60	13	30,2	1	14	41,2	1
61–70	6	13,9	4	8	23,5	2
71–80	7	16,4	3	6	17,6	3
81–90	9	20,9	2	5	14,7	4
91–100	5	11,6	5	1	2,3	5
101–110	3	7,0	6	–	–	–
Загалом	43	100,0	–	34	100,0	–

У другій групі пацієнтів з таким рівнем фактора згортання VIII було дещо більше, вони також посідали перше рангове місце. Варто зауважити, що в обох групах спостереження, незважаючи на крововтрату під час оперативного втручання, рівень фактора згортання VIII у післяопераційному періоді не опускався до показників доопераційного періоду. Друге рангове місце у першій групі посідали пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 80–90 МО/мл. Таких пацієнтів у першій групі було 20,9 %, а в другій — 14,7 %. У другій групі пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 80–90 МО/мл були на четвертому ранговому місці. В обох групах спостереження майже з однаковою частотою зустрічалися пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 71–80 МО/мл. У ранговому розподілі обох груп ці пацієнти посідали третє місце.

Серед пацієнтів першої групи у 13,9 % випадків виявлявся рівень фактора згортання VIII 61–70 МО/мл. У ранговому розподілі ці пацієнти посідали четверте рангове місце у групі. Тоді як серед пацієнтів другої групи такий рівень зустрічався у 23,5 % випадків, що у 1,7 раза частіше. Саме ці пацієнти посідали у другій групі друге рангове місце. В обох групах спостереження на п'ятому ранговому місці пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 91–100 МО/мл. Однак якщо у першій групі таких пацієнтів було 11,6 %, то у другій — лише 2,3 %, що у 5 разів менше. Найрідше у першій групі зустрічалися пацієнти з рівнем фактора згортання VIII 100–110 МО/мл. Це 7,0 % випадків. У другій групі пацієнтів з таким рівнем фактора згортання VIII виявлено не було.

Для визначення вірогідності виявлених показників нами було проведено поліхоричний аналіз за методикою Пірсона. Показник взаємного сполучення ϕ^2 0,8296, поліхоричний показник зв'язку C 0,6733, критерій вірогідності Пірсона χ^2 63,8792. **Вказані показники свідчать, що аналіз вмісту фактора згортання VIII серед пацієнтів масиву дослідження у післяопераційному періоді лежить у межах поля вірогідності** (χ^2 63,8792 \geq χ^2_{st} 11,0700) ($p \leq 0,05$), що дає змогу використання у клінічному алгоритмі лікування уражень колінного суглоба у хворих на гемофілію.

Як показав аналіз рівня фактора згортання VIII у післяопераційному періоді, в обох групах спостереження виявлена тенденція до зниження його вмісту у периферичній крові. Так, до межового рівня вмісту фактора згортання VIII 50–60 МО/мл його падіння було виявлено у 30,2 % пацієнтів першої групи і 41,2 % пацієнтів другої. Рівень фактора згортання крові VIII до 70 МО/мл був визначений у 44,1 % пацієнтів першої групи та 64,7 % пацієнтів другої. Саме цим пацієнтам проводилася додаткова корекція у післяопераційному періоді. Середні рівні фактора згортання крові VIII до 90 МО/мл спостерігалися приблизно з подібною частотою в обох групах. Високі рівні фактора згортання VIII 90–110 МО/мл, що є достатнім у післяопераційному періоді, у групах спостереження виявлялись по-різному. Так, серед пацієнтів першої групи такі показники фактора згортання VIII виявлялись у 18,6 % випадків, а у другій групі таких пацієнтів було лише 2,3 %.

Обговорення

Сучасні досягнення призвели до зміни мети лікування гемофілії — від збільшення тривалості життя пацієнтів до запобігання пошкодженню суглобів і захисту від гемофільної артропатії. Водночас профілактичні заходи зменшують частоту кровотеч у будь-якому віці, але рух у суглобі можна зберегти, лише якщо їх розпочати до 3-річного віку, тобто починати якомога швидше та продовжувати протягом усього життя [11].

J. Hmida et al. (2022) стверджують, що кожне підвищення рівня факторів VIII і IX у плазмі крові на 1 % асоціюється зі зниженням частоти суглобової кровотечі на 18 %. Останні рекомендації Європейського консенсусу щодо лікування гемофілії та Всесвітньої федерації гемофілії (WFH) пропонують мінімальний цільовий рівень факторів VIII і IX від 3 до 5 % для збереження функції суглобів. Однак регулярна гематологічна профілактика (внутрішньовенні ін'єкції дефіцитних факторів VIII і IX) для 25–30 % пацієнтів, хворих на гемофілію, не є доступною через її вартість. Більше того, первинна профілактика не дає 100% ефективності, і ускладнення з боку опорно-рухового апарату все одно виникають [3]. Крім того, у багатьох пацієнтів спостерігається зниження комплаєнса при регулярних ін'єкціях та через необхідність венозного доступу, тому часто розвивається артропатія. Введення вищих доз фактора VIII/IX відразу після епізоду кровотечі є частішим методом запобігання подальшому пошкодженню (вторинна профілактика за вимогою). Оскільки гіперваскуляризація та крихкість синовіальної оболонки тривають приблизно 6 тижнів після кровотечі, рекомендована подібна тривалість вторинної профілактики після кожного епізоду гемартрозу [8]. Приблизно 15–20 % пацієнтів з гемофілією виробляють антитіла-інгібітори до фактора VIII чи IX, які заважають утворенню тромбів і припиненню кровотечі. Це визнано найтяжчим ускладненням, яке затягує реабілітацію. Повідомляється, що його частота становить приблизно 25–30 % у пацієнтів з тяжкою формою гемофілії А та 3–5 % у пацієнтів з гемофілією В, які проходять профілактичне лікування [7].

На думку S.H. Wang (2017), при проведенні хірургічних втручань у хворих на гемофілію А доцільно виділяти пацієнтів, які не мають суттєвих впливів коморбідних факторів на систему гемостазу, і хворих, лікування яких потребує корекції гемостазу у зв'язку з наявністю коморбідності. Зміни реакцій системи гемостазу у пацієнтів без виражених коморбідних чинників, які можуть впливати на процеси фібриноутворення, можна коригувати лише стандартною замісною терапією з урахуванням даних типової фармакокінетики препарату фактора VIII у дозі, що буде застосовуватися перед хірургічним втручанням. Оптимальним є підняття активності фактора VIII до 100 МО/мл. У пацієнтів без коморбідності це досягається шляхом введення препарату фактора VIII у дозі 50 МО/кг маси тіла. Водночас навіть за відсутності коморбідності необхідно враховувати ризики виникнення додаткових, не встановлених у передопераційному періоді факторів, які можуть посилювати кровотечу, наприклад, артеріальної гіпертензії [10].

Висновки

У нашому дослідженні у пацієнтів дослідних груп рівень фактора згортання крові у передопераційному періоді становив $1,66 \pm 0,15$ МО/мл у першій групі та $1,83 \pm 0,15$ МО/мл у другій. До операції усім пацієнтам вводився препарат фактора згортання VIII у дозі 50 МО/кг маси тіла. У результаті під час оперативного втручання рівень фактора згортання крові становив у першій групі $92,6 \pm 2,0$ МО/мл, а у другій — $98,5 \pm 2,2$ МО/мл. Ці середні показники рівня дефіцитного фактора згортання VIII є типовою прогнозованою відповіддю на введення рекомбінантного концентрату дефіцитного фактора. Такі рівні фактора згортання VIII відповідали нормальному рівню фактора згортання VIII під час операції і не потребували інтраопераційної корекції. У післяопераційному періоді відбувалося вірогідне зниження рівня фактора згортання VIII до $69,3 \pm 1,4$ МО/мл у пацієнтів першої групи та $75,3 \pm 1,5$ МО/мл — другої. Таке падіння у післяопераційному періоді є природним, зважаючи на типову фармакокінетику препаратів фактора згортання VIII у пацієнтів з гемофілією. Взв'язавши до уваги отримані показники фактора згортання VIII, а також особливості фармакокінетики його рекомбінантного препарату, у післяопераційному періоді пацієнтам обох груп спостереження вводили підтримуючу дозу 25 МО/кг.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Климовицкий В.Г., Колодежный А.В., Вертыло Н.А. *Применение математической статистики в медико-биологических исследованиях: монография. Донецк: Донеччина, 2004. 96 с.*
2. Ющенко П.В., Семеняка В.І., Бурнасва С.В. та ін. *Спосіб забезпечення ефективного гемостазу у хворих на гемофілію А при проведенні оперативних втручань. Патент на копію модель № 120457. Публікація 10.11.2017. Бюл. № 21.*

3. Gualtierotti R, Solimeno LP, Peyvandi F. Hemophilic arthropathy: Current knowledge and future perspectives. *J Thromb Haemost.* 2021 Sep;19(9):2112-21. doi: 10.1111/jth.15444.

4. Hmida J, Hilberg T, Ransmann P, Tomschi F, Klein C, Koob S, et al. Most subjectively affected joints in patients with haemophilia — what has changed after 20 years in Germany? *Haemophilia.* 2022 Apr 14. doi: 10.1111/hae.14564.

5. Krüger S, Hoffmeister M, Hilberg T. Pain and structural alterations in knee joints in patients with haemophilia. *Haemophilia.* 2018 Jul;24(4):657-66. doi: 10.1111/hae.13472.

6. Li Z, Feng B, Du Y, Wang Y, Bian Y, Weng X. Complications of total knee arthroplasty in patients with haemophilia compared with osteoarthritis and rheumatoid arthritis: A 20-year single-surgeon cohort. *Haemophilia.* 2020 Sep;26(5):861-6. doi: 10.1111/hae.14115.

7. Solimeno LP, Pasta G. Knee and ankle arthroplasty in hemophilia. *J Clin Med.* 2017 Nov 22;6(11):107. doi: 10.3390/jem6110107.

8. Timmer MA, Foppen W, Schutgens RE, Pisters MF, Fischer K. Comparing findings of routine Haemophilia Joint Health Score and Haemophilia Early Arthropathy Detection with UltraSound assessments in adults with haemophilia. *Haemophilia.* 2017 Mar;23(2):e141-e143. doi: 10.1111/hae.13147.

9. Van Vulpen LFD, Thomas S, Keny SA, Mohanty SS. Synovitis and synovectomy in haemophilia. *Haemophilia.* 2021 Feb;27(Suppl 3):96-102. doi: 10.1111/hae.14025.

10. Wang SH, Chung CH, Chen YC, Cooper AM, Chien WC, Pan RY. Does hemophilia increase risk of adverse outcomes following total hip and knee arthroplasty? A propensity score-matched analysis of a nationwide, population-based study. *J Arthroplasty.* 2019 Oct;34(10):2329-36. doi: 10.1016/j.arth.2019.05.062.

11. Wilding J, Zourikian N, Di Minno M, Khair K, Marquardt N, Benson G, et al. Obesity in the global haemophilia population: prevalence, implications and expert opinions for weight management. *Obes Rev.* 2018 Nov;19(11):1569-1584. doi: 10.1111/obr.12746.

Отримано/Received 02.07.2024

Рецензовано/Revised 13.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 22.07.2024

Information about authors

Yevhenii Averianov, PhD in Medicine, Head of the Department of Surgical Hematology, State Institution "Institute of Hematology and Transfusiology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: evg.averianov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6516-8814>

Vladyslav Shkrebko, PhD-student, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: shkrebko.vlad@gmail.com; phone: +380 (63) 322-54-55, +380 (44) 234-40-62; <https://orcid.org/0009-0000-8302-7628>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Ye. V. Averianov¹, V.O. Shkrebko²

¹State Institution "Institute of Hematology and Transfusiology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

²Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Features of hemostasis in patients with hemophilic arthropathy of the knee joint in the perioperative period

Abstract. Background. Today, hemophilia is considered a hematological-orthopedic disease that develops as a result of damage to various anatomical structures of the musculoskeletal system among

which the synovial joints, the so-called target joints, dominate in almost all patients with hemophilia. The aim of our study was to analyze the influence of the level of coagulation factors in patients

with hemophilic arthropathies of the knee joint in different periods of surgical treatment. **Materials and methods.** To carry out our research, we analyzed data from 77 patients with hemophilia who underwent inpatient and outpatient treatment at the MNPE “Kyiv City Clinical Hospital 9” from 2008 to 2022. The first group included 43 (55.8 %) patients who underwent surgical synovectomy. The second group comprised 34 (44.2 %) patients who underwent total knee arthroplasty. **Results.** In our study, the coagulation factor level in the preoperative period was 1.66 ± 0.15 IU/ml in the first group, and 1.83 ± 0.15 IU/dl in the second group. Before surgery, all patients were administered coagulation factor VIII at a dose of 50 IU/kg of body weight. As a result, during surgery, the coagulation factor level was 92.6 ± 2.0 IU/dL in the first group, and 98.5 ± 2.2 IU/dL in the second group. These mean levels of factor VIII deficiency are a typical predicted response to administration of

recombinant factor VIII concentrate. Such content of coagulation factor VIII corresponded to the normal level of coagulation factor VIII during surgery and did not require intraoperative correction. In the postoperative period, there was a significant decrease in the level of coagulation factor VIII to 69.3 ± 1.4 IU/dl in patients of the first group and 75.3 ± 1.5 IU/dl in the second group. Such a drop in the postoperative period is natural, taking into account the typical pharmacokinetics of coagulation factor VIII preparations in patients with hemophilia. **Conclusions.** Given the obtained indicators of coagulation factor VIII, as well as the peculiarities of the pharmacokinetics of its recombinant drug, patients of both observation groups were administered a maintenance dose of 25 IU/kg in the postoperative period.

Keywords: hemophilia; knee joint; deficiency; coagulation factor VIII

УДК 616.71-007.44:612.015.1

DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.25.2024.989>Бур'янов О.А.¹, Кваша В.П.¹, Чекушин Д.А.¹, Соболевський Ю.Л.¹, Карпінський М.Ю.², Яресько О.В.²¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Аналіз напружено-деформованого стану надплечово-ключичного суглоба при ушкодженні зв'язок дзьобо-ключичного з'єднання та різних способах фіксації

Резюме. Актуальність. Існують два основні способи фіксації акроміального кінця ключиці за допомогою металевих конструкцій: гачкоподібна пластина (*hook plate*) і спосіб Вебера. Кожен із них має свої переваги та недоліки. При застосуванні способу Вебера це порушення цілісності дроту та спиць, руйнування акроміального відростка лопатки й акроміального кінця ключиці, міграція спиць. При використанні *hook plate* це біль у плечі, руйнування кісткової тканини в ділянці акроміального відростка та субакроміальний конфлікт. **Мета:** провести порівняльний аналіз фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером, *hook plate* та запропонованою конструкцією шляхом вивчення напружено-деформованого стану надплечово-ключичного суглоба при поєднаному ушкодженні *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* і різних способах фіксації. **Матеріали та методи.** Побудована скінченно-елементна модель надплечово-ключичного суглоба, яка складалася з лопатки, ключиці та зв'язок надплечово-ключичного та дзьобо-ключичного комплексів, на якій моделювали поєднане ушкодження зв'язок надплечово-ключичного суглоба, а саме *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum*, з трьома способами фіксації: за Вебером, *hook plate* та запропонованою конструкцією. **Результати.** Встановлено, що всі типи фіксаторів дозволяють отримати приблизно однаковий рівень напружень у кісткових елементах моделі. Винятком є фіксація за Вебером, при якій напруження на акроміальному кінці ключиці й акроміальному відростку лопатки збільшуються в декілька разів і навіть перевищують межю міцності кортикальної кістки, що може бути причиною руйнування кісткової тканини. Напруження в самому дроті навіть можуть перевищувати межю міцності хірургічної сталі та бути причиною його розриву. *Hook plate* не забезпечує достатнього зниження рівня напружень у неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного з'єднання. Напруження на самій пластині можуть наближатися до межі міцності хірургічної сталі, що може спричинити її ушкодження. Фіксатор шарнірного типу забезпечує як найкращий розподіл напружень у кісткових елементах моделі, так і досить низький рівень напружень у неушкоджених зв'язках. За критерієм мінімізації величини відносних деформацій у зв'язках ключично-лопаткового зчленування найкращі результати показав фіксатор шарнірного типу. Найбільші відносні деформації у зв'язках виникають при фіксації пластиною *hook plate*. **Висновки.** Фіксація акроміального кінця ключиці за Вебером не забезпечує його надійної фіксації. Рівень напружень у дроті при відведенні кінцівки наближається до межі міцності хірургічної сталі, а напруження в неушкоджених зв'язках можуть навіть перевищувати межю міцності кортикальної кістки. Все це може бути причиною таких ускладнень, як розрив дроту і руйнування кісткової тканини у місці контакту з ним. Фіксатор *hook plate* не забезпечує достатнього зниження рівня напружень у неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного з'єднання. Напруження на самій пластині можуть наближатися до межі міцності хірургічної сталі, що може стати причиною її ушкодження. Фіксатор запропонованої конструкції забезпечує найкращий баланс як за критерієм розподілу напружень в елементах моделі, так і за величиною відносних деформацій у неушкоджених зв'язках.

Ключові слова: надплечово-ключичний суглоб; зв'язки; фіксація

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2024

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2024

Для кореспонденції: Карпінський Михайло Юрійович, старший науковий співробітник, лабораторія біомеханіки, ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України», вул. Григорія Сковороди, 80, м. Харків, 61024, Україна; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; тел.: +380 (67) 571-48-63

For correspondence: Mykhailo Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Hryhoriya Skovorody st., 80, Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; phone: +380 (67) 571-48-63

Full list of authors information is available at the end of the article.

Вступ

Вивихи акроміального кінця ключиці (АКК) — це поширена травма, яка становить від 3 до 26 % усіх випадків вивихів і близько 10 % від травм плечового пояса, найчастіше зустрічається у молодих чоловіків працездатного віку, що надає цій проблемі значної соціальної важливості [1]. Існує два основні методи фіксації АКК за допомогою металевих пристроїв: гачкова пластина (hook plate), запропонована G.E. Fade та J.E. Scullion (2002) [2], і метод Вебера (tension band wiring) [3].

Кожен метод має свої переваги та недоліки. При використанні методу Вебера можуть виникати такі ускладнення, як пошкодження дроту та спиць, руйнування акроміального відростка лопатки й акроміального кінця ключиці, а також міграція спиць, що обумовлено механічними характеристиками цих конструкцій [4]. Недоліками застосування hook plate є біль у плечі, руйнування кісткової тканини, особливо в зоні акроміального відростка, а також субакроміальний конфлікт [5].

Наявність цих недоліків у сучасних фіксуючих системах погіршує результати лікування, що створює потребу в розробці нових методів стабілізації АКК.

Мета: провести порівняльний аналіз фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером, hook plate та запропонованою конструкцією шляхом вивчення напружено-деформованого стану надплечово-ключичного суглоба (НКС) при поєднаному ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum і різних способах фіксації.

Матеріали та методи

У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» була побудована скінченно-елементна модель надплечово-ключичного суглоба, яка складалася з лопатки, ключиці та зв'язок надплечово-ключичного та дзьобо-ключичного комплексів [6] (рис. 1).

У цьому дослідженні моделювали поєднане ушкодження зв'язок надплечово-ключичного суглоба, а саме lig. conoideum та lig. trapezoideum (рис. 2).

При кожному варіанті ушкодження зв'язок НКС моделювали фіксацію АКК трьома способами: за Вебером, hook plate та запропонованою конструкцією [7] (рис. 3).

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. Як скінченний елемент був обраний 10-вузловий тетраedr із квадратичною апроксимацією. Механічні властивості матеріалів відібрано з джерел

літератури [8–11]. Використані характеристики (E — модуль пружності Юнга, ν — коефіцієнт Пуассона) наведені у табл. 1.

При проведенні дослідження моделювали навантаження, які діють на НКС при відведенні верхньої кінцівки на кут 90°. До моделей прикладали сили, що імітували дію м'язів: середня порція дельтоподібного м'яза (middle deltoid) — 173,4 Н, передня порція дельтоподібного м'яза (anterior deltoid) — 121,9 Н, задня порція дельтоподібного м'яза (posterior deltoid) — 371,3 Н, надостистий м'яз (supraspinatus) — 190,7 Н, підлопатковий м'яз (subscapularis) — 1029,8 Н, підостистий м'яз (infraspinatus combined) — 55,6 Н [12]. Схема навантаження моделі наведена на рис. 4.

Для порівняння величин напружень в елементах моделей з різними ушкодженнями та варіантами фіксації були обрані контрольні точки. Схема розташування контрольних точок наведена на рис. 5 та у табл. 2.

Реєстрували максимальний рівень напружень у зв'язках, кісткових елементах і на металевих конструкціях. Окрім того, вивчали величини відносних деформацій у зв'язках. Порівняння результатів моделювання здійснювали з моделлю надплечово-ключичного суглоба, напружено-деформований стан якої досліджували в нашій попередній роботі [6]. Побудову моделі здійснювали у програмі SolidWorks [14]. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували з використанням програми ANSYS [15].

Результати

На першому етапі роботи був проведений аналіз напружено-деформованого стану моделі при ушкодженні зв'язок НКС. Картина розподілу напружень у моделі з ушкодженням lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior наведена на рис. 6.

Ушкодження обох зв'язок дзьобо-ключичного з'єднання призводить до зниження напружень на дзьобоподібному відростку лопатки до 3,2 МПа, що є наслідком відсутності механізму його навантаження, тобто саме зв'язок. Це призводить до того, що все навантаження зі стабілізації НКС бере на себе акроміально-ключичний зв'язковий комплекс. Це визначається підвищенням рівня напружень на акроміальному відростку до 287,9 МПа і акроміальному кінці ключиці до 274,1 МПа. Таким чином, зв'язки акроміально-ключичного комплексу мають підвищене навантаження, що призводить до збільшення їх напруження в

Таблиця 1. Механічні характеристики використаних матеріалів

Матеріал	Модуль пружності Юнга E, МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν	Межа міцності, МПа
Кортикальна кістка	18 350,0	0,3	170,0
Губчаста кістка	1040,0	0,3	10,0
Зв'язки	330,0	0,4	
Хрящ	5,58	0,44	
Хірургічна сталь AISI 316L	200 000	0,30	505,0

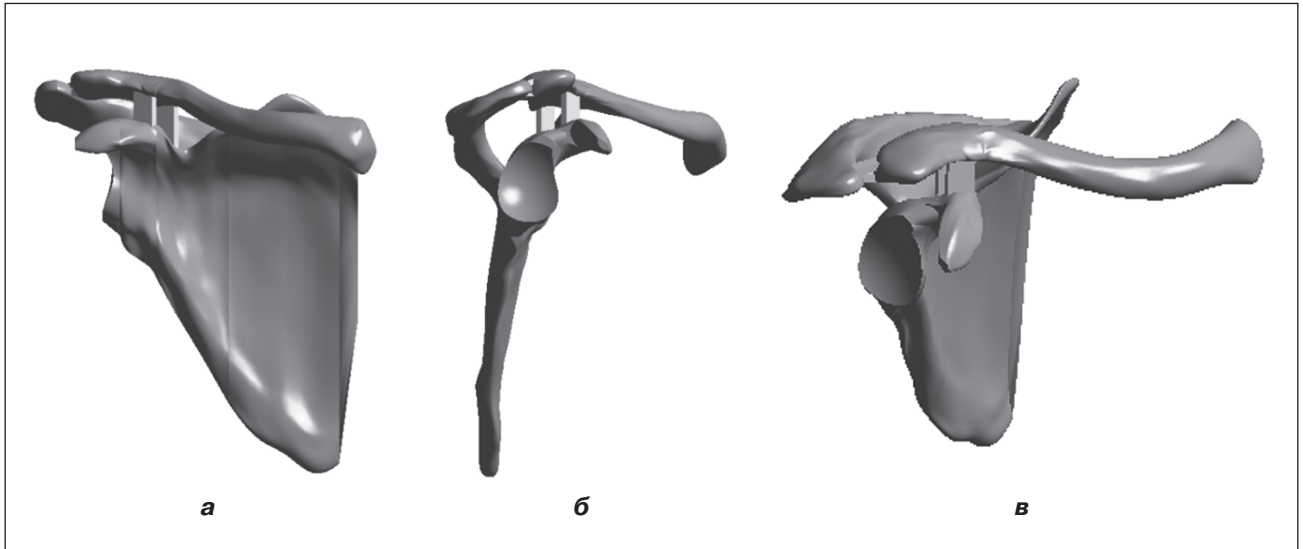


Рисунок 1. Модель плечолопаткового зчленування: а – вигляд у фронтальній площині; б – вигляд у сагітальній площині; в – вигляд зверху

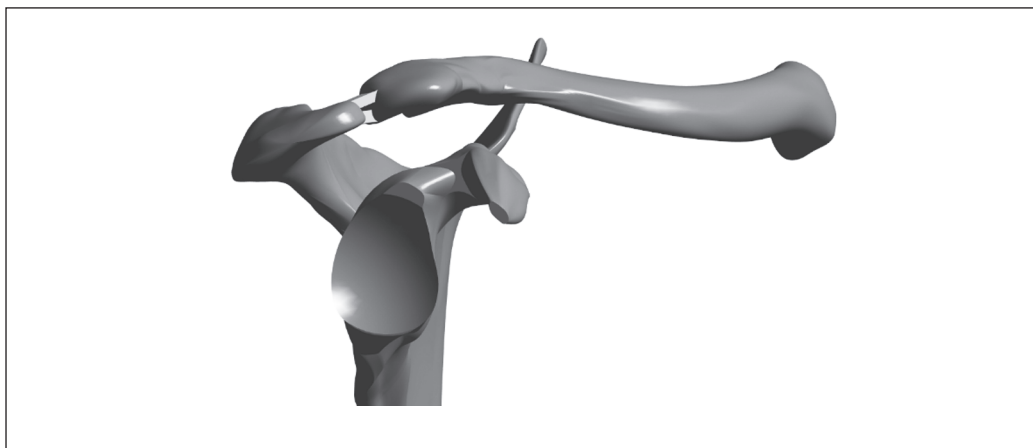


Рисунок 2. Варіант моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum*

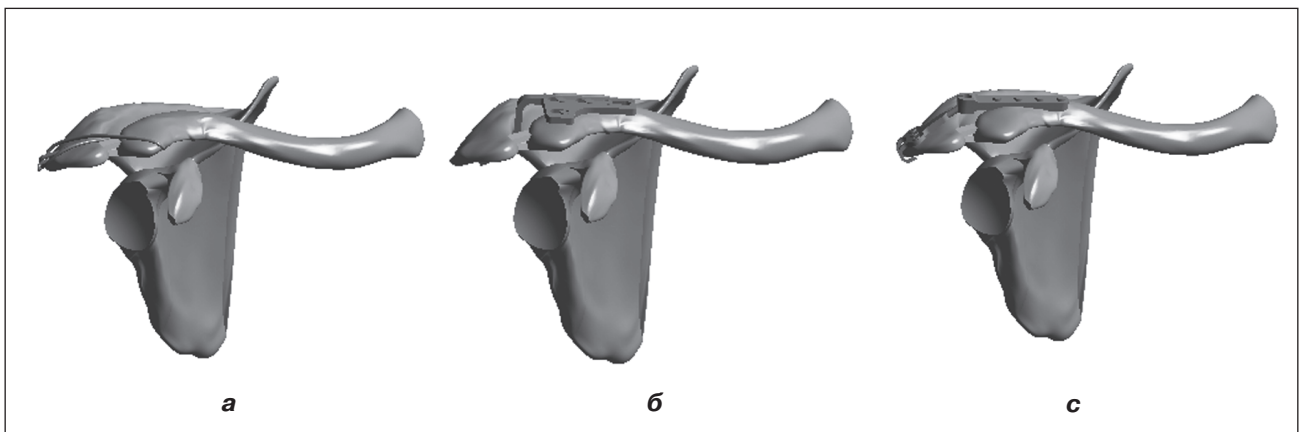


Рисунок 3. Моделі з фіксацією акроміального кінця ключиці: а – за Вебером; б – hook plate; в – фіксатором запропонованої конструкції

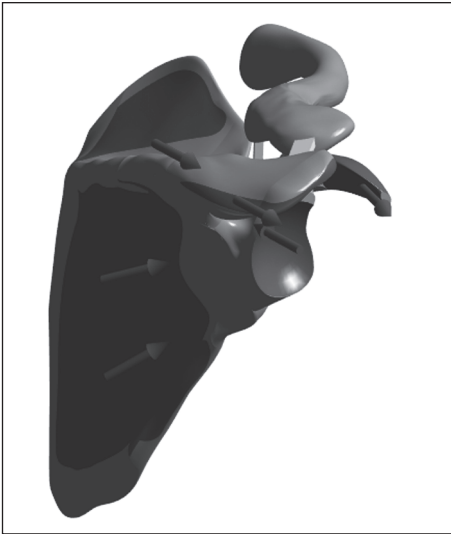


Рисунок 4. Схема навантаження моделі

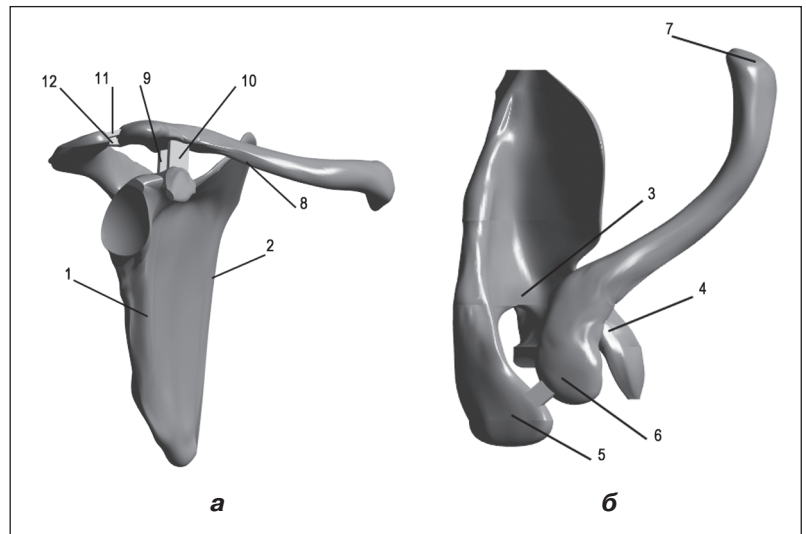


Рисунок 5. Схема розташування контрольних точок: а – вигляд спереду; б – вигляд зверху

Таблиця 2. Контрольні точки

Контрольні точки	Анатомічна ділянка	Елемент моделі
1	Латеральний край	Лопатка
2	Медіальний край	
3	Виїмка лопатки	
4	Дзьобоподібний відросток	
5	Акроміальний відросток	
6	Акроміальний кінець	Ключиця
7	Грудинний кінець	
8	Тіло	Зв'язки
9	Конічна (lig. conoideum)	
10	Трапезієподібна (lig. trapezoideum)	
11	Верхня надплечово-ключична (lig. acromioclaviculare superior)	
12	Lig. acromioclaviculare inferior	

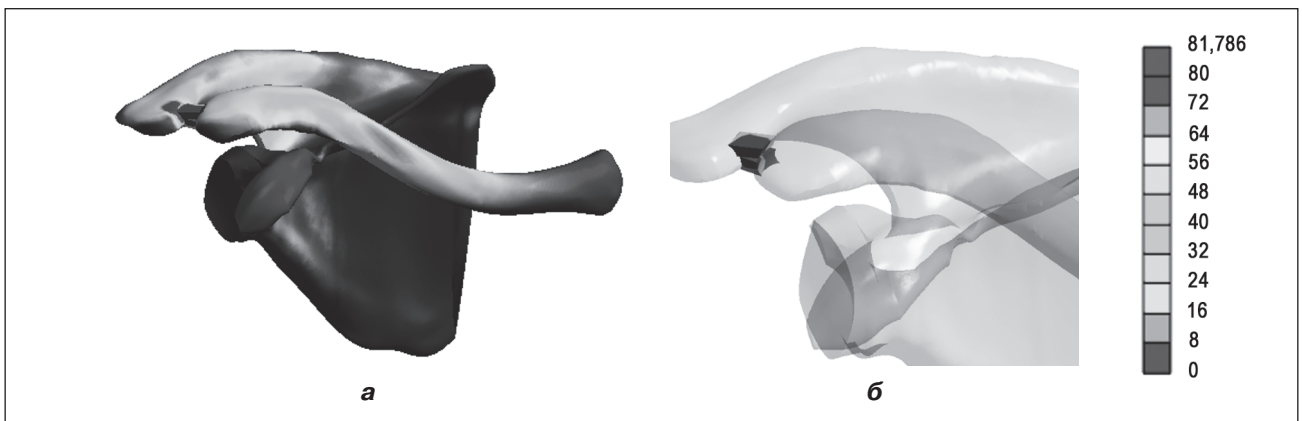


Рисунок 6. Розподіл напружень в елементах моделі з ушкодженням lig. conoideum та lig. trapezoideum: а – у кісткових елементах; б – у зв'язках

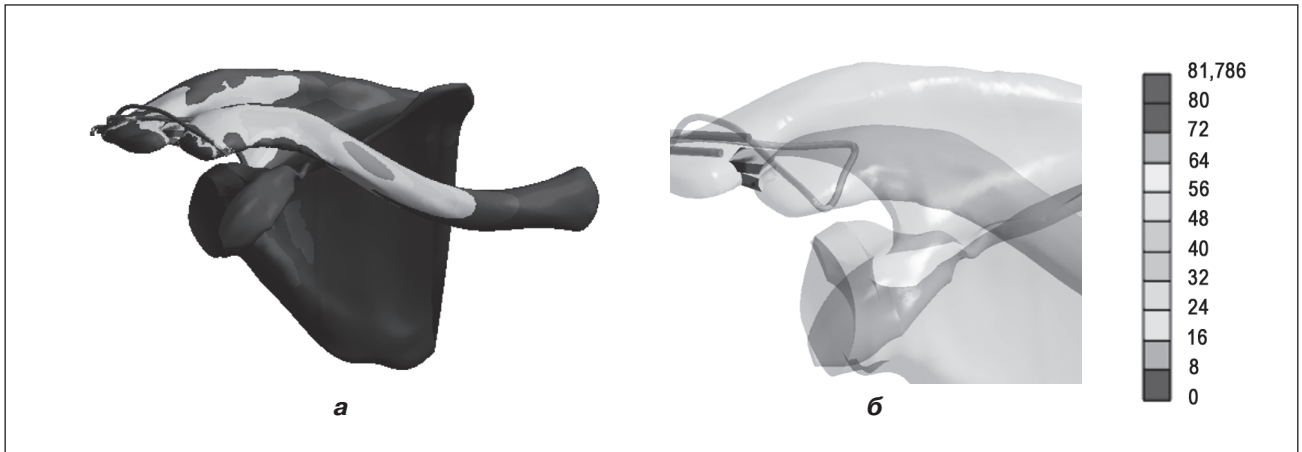


Рисунок 7. Розподіл напружень в елементах моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при фіксації акроміального кінця ключиці за Вебером: а — у кісткових елементах; б — у зв'язках

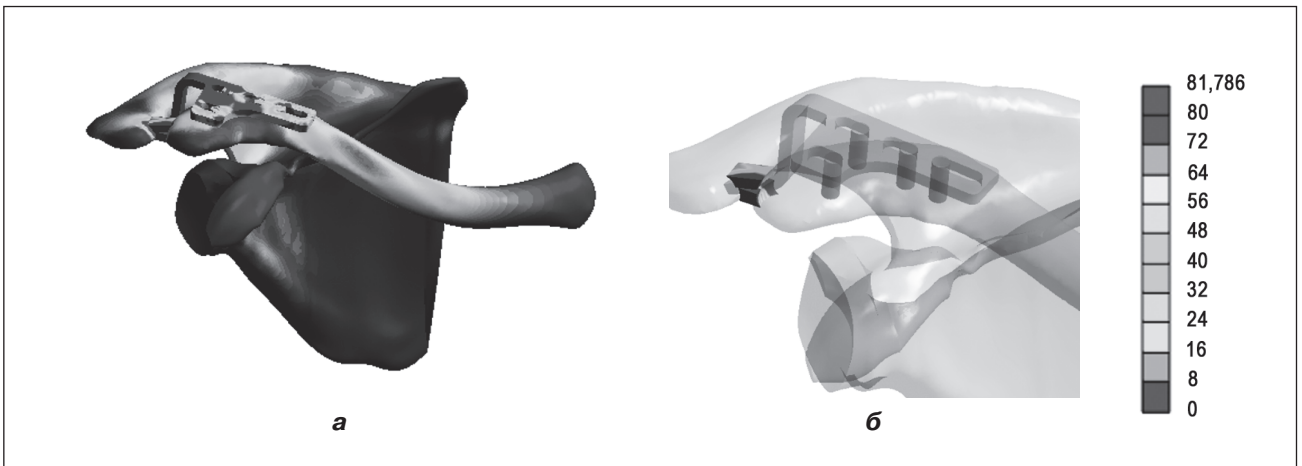


Рисунок 8. Розподіл напружень в елементах моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при фіксації акроміального кінця ключиці фіксатором *hook plate*: а — у кісткових елементах; б — у зв'язках

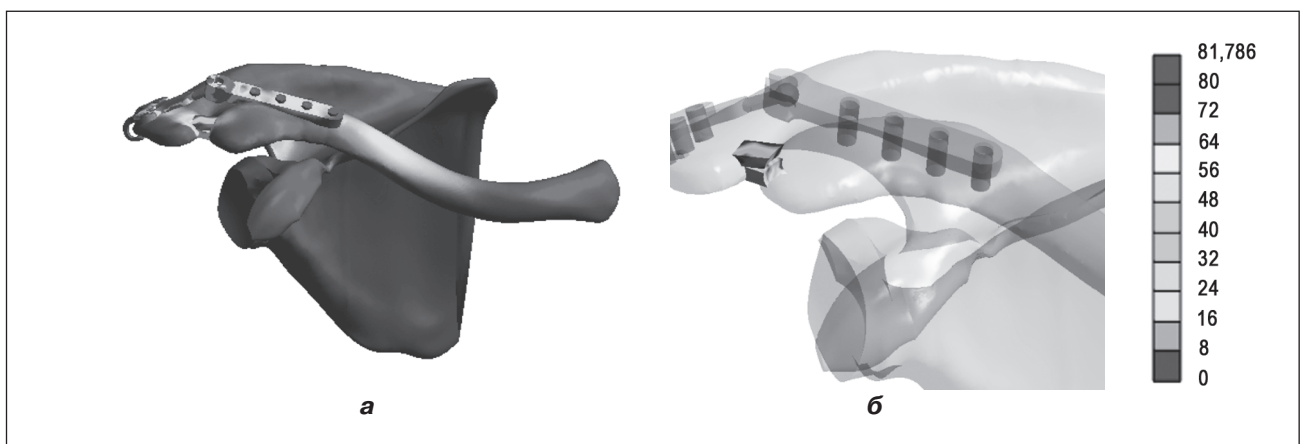


Рисунок 9. Розподіл напружень в елементах моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при фіксації акроміального кінця ключиці запропонованою конструкцією: а — у кісткових елементах; б — у зв'язках

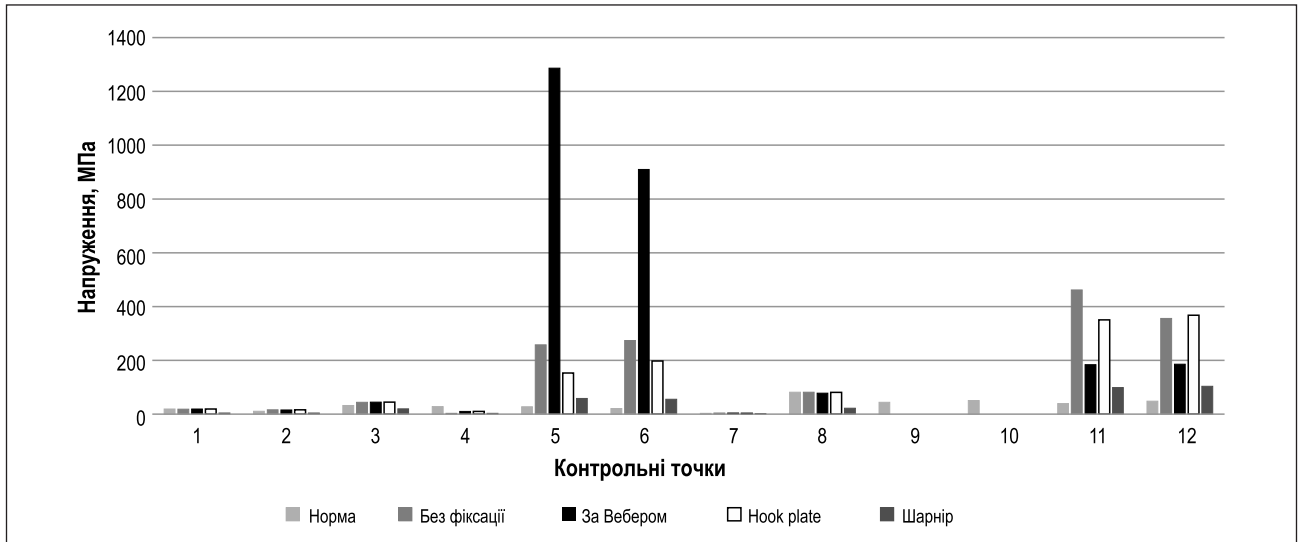


Рисунок 10. Діаграма величин напружень у контрольних точках моделі з ушкодженням *lig. coronoideum* та *lig. trapezoideum* при різних варіантах фіксації акроміального кінця ключиці

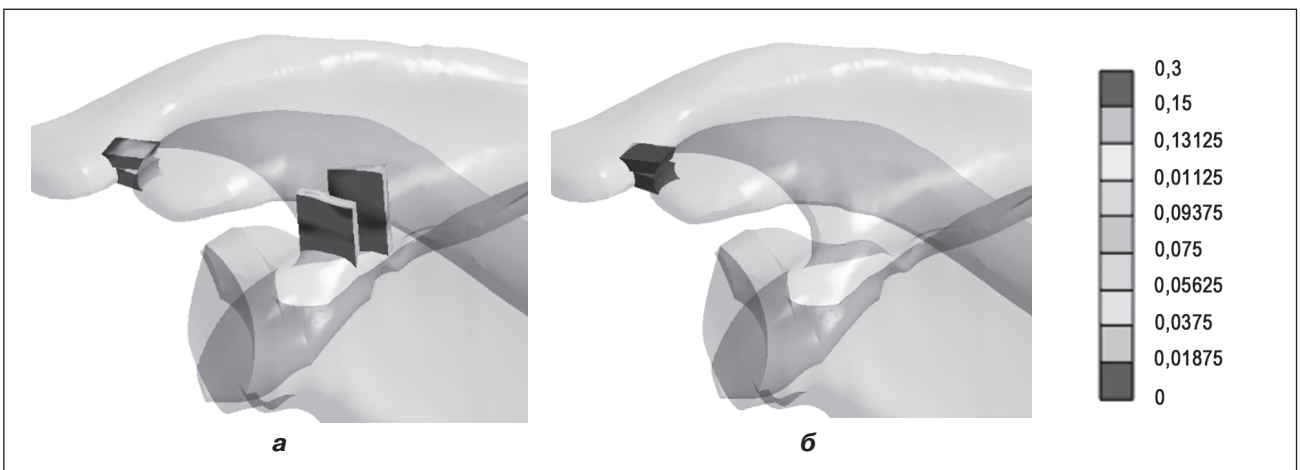


Рисунок 11. Розподіл відносних деформацій у зв'язках моделі: а – в нормі; б – при ушкодженні *lig. coronoideum* та *lig. trapezoideum* без фіксації

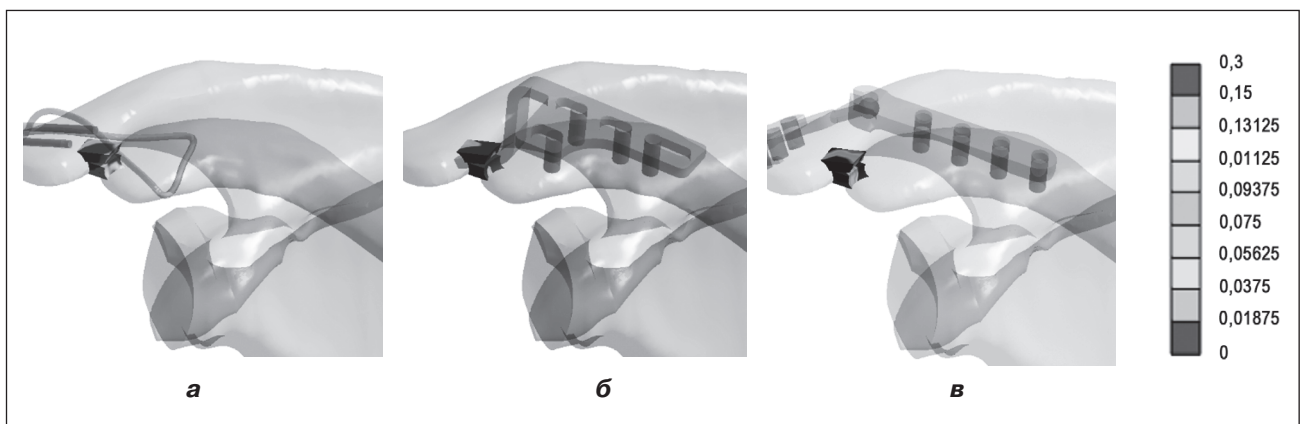


Рисунок 12. Розподіл відносних деформацій у моделях при ушкодженні *lig. coronoideum* та *lig. Trapezoideum*: а – фіксація за Вебером; б – фіксатор *hook plate*; в – фіксатор запропонованої конструкції

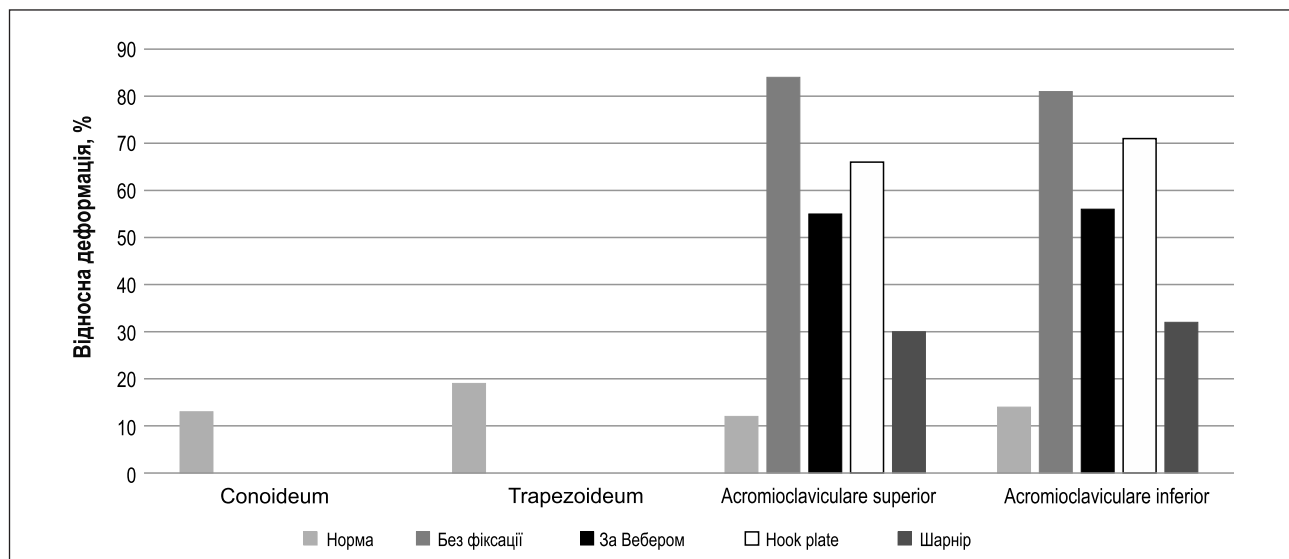


Рисунок 13. Діаграма величин відносних деформацій у зв'язках моделей при ушкодженні lig. acromioclaviculare inferior та lig. acromioclaviculare superior

декілька разів порівняно з моделлю в нормі, а саме до 461,9 та 356,1 МПа на lig. acromioclaviculare superior та lig. acromioclaviculare inferior відповідно. Ці показники значно перевищують межу міцності тканин зв'язок, тому відведення кінцівки за таких пошкоджень, скоріш за все, буде неможливим.

Розподіл напружень у кісткових елементах моделі при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum з фіксацією АКК за Вебером наведено на рис. 7.

Виконання фіксації АКК шпильками та серкляжним дротом при ушкодженні обох зв'язок дзьобо-ключичного з'єднання викликає значне підвищення рівня напружень на АКК до 909,8 МПа і акроміальному відростку лопатки до 1286,0 МПа. Ці показники наближуються до межі міцності кортикальної кістки, що може бути причиною руйнування кісткових елементів НКС. При цьому напруження у самому дроті сягають позначки 943,3 МПа, що вдвічі перевищує межу міцності хірургічної сталі, з якої він виготовлений. Отже, напруження у неушкоджених зв'язках ключично-акроміального комплексу залишаються на досить високому рівні — 184,0 і 186,0 МПа на lig. acromioclaviculare superior та lig. acromioclaviculare inferior відповідно.

На рис. 8 наведено розподіл напружень у кісткових елементах моделі з ушкодженням lig. conoideum та lig. trapezoideum при фіксації АКК hook plate.

Фіксатор hook plate дозволяє знизити рівень напружень на акроміальному відростку та акроміальному кінці ключиці до прийнятних показників 153,2 МПа та 197,7 МПа відповідно. Але напруження у неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного комплексу залишаються на досить високому рівні, який перевищує межу міцності тканин зв'язок, а саме 350,7 і 368,1 МПа на lig. acromioclaviculare superior та lig. acromioclaviculare inferior відповідно. Напруження на самій пластині також набувають значень, що дорівню-

ють межі міцності хірургічної сталі, а саме 525 МПа. Це може бути причиною перелому пластини.

Напружено-деформований стан моделі з ушкодженням lig. conoideum та lig. trapezoideum при фіксації АКК запропонованою конструкцією наведено на рис. 9.

Застосування шарнірного фіксатора дозволяло досягти рівномірного розподілу напружень у лопатці, при цьому їх показники були навіть нижчими за значення у нормі. Максимальний рівень напружень у виїмці лопатки не перевищував 20,1 МПа. Напруження на акроміальному відростку та акроміальному кінці ключиці суттєво зменшувалися — до 58,3 та 55,5 МПа відповідно, що значно нижче порівняно з попередніми моделями. Напруження в неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного комплексу також знижувались і були нижчими за показники всіх попередніх моделей — 98,9 МПа на lig. acromioclaviculare superior і 103,6 МПа на lig. acromioclaviculare inferior, хоча це все ще вдвічі перевищує значення норми. Напруження на елементах самої конструкції також були нижчими, ніж у попередніх варіантах. Максимальні значення напружень на пластинах сягали 263,2 МПа на лопатці та 301,6 МПа на ключиці відповідно.

Дані про величини максимальних напружень у контрольних точках моделей з ушкодженням lig. conoideum та lig. trapezoideum при різних варіантах фіксації АКК наведені у табл. 3.

Порівняльні величини напружень у контрольних точках моделі з ушкодженням lig. conoideum та lig. trapezoideum при різних варіантах фіксації АКК наведені на рис. 10.

Наведені дані свідчать про те, що фіксатор запропонованої конструкції дозволяє отримати найнижчий рівень напружень у лопатці та ключиці, зіставний із показниками моделі в нормі, а також значно знизити рівень напружень у неушкоджених зв'язках порівняно з моделлю без фіксації.

Дані про величини напружень в елементах металевих конструкцій моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при різних варіантах фіксації АКК наведені у табл. 4.

Наведені дані свідчать про те, що фіксатор запропонованої конструкції шарнірного типу забезпечує найнижчий рівень напружень в елементах самої конструкції серед всіх досліджених фіксаторів. При фіксації серкляжним дротом максимальні напруження у дроті можуть перевищувати межу міцності хірургічної сталі та, відповідно, стати причиною його розриву. Напруження на фіксаторі *hook plate* також можуть сягати межі міцності хірургічної сталі, тому його треба використовувати дуже обережно.

На останньому етапі роботи вивчали величини відносних деформацій у зв'язках моделей в нормі та при ушкодженні *lig. conoideum* і *lig. trapezoideum*, а також при всіх варіантах фіксації акроміального кінця ключиці. Картина розподілу відносних деформацій у зв'язках на моделі в нормі та при ушкодженні *lig. conoideum* і

lig. trapezoideum без фіксації акроміального кінця ключиці наведена на рис. 11.

Проведене дослідження показало, що в нормі при відведенні верхньої кінцівки максимальних відносних деформацій 19 % зазнає *lig. trapezoideum*, мінімальних 12 % — *lig. acromioclaviculare superior*. Відносні деформації *lig. conoideum* та *lig. acromioclaviculare inferior* визначаються на рівні 13 і 14 % відповідно. При ушкодженні обох зв'язок дзьобо-ключичного з'єднання всі навантаження беруть на себе зв'язки акроміально-ключичного зчленування, що призводить до значного збільшення їх відносних деформацій — до 84 % *lig. acromioclaviculare superior* і 81 % *lig. acromioclaviculare inferior*.

Розглянемо, як впливає на величини відносних деформацій неушкоджених зв'язок фіксація АКК. Розподіл відносних деформацій у моделях з різними варіантами фіксації АКК при ушкодженні *lig. conoideum* і *lig. trapezoideum* наведено на рис. 12.

Застосування фіксації за Вебером дозволяє знизити відносні деформації в усіх неушкоджених зв'язках,

Таблиця 3. Величини напружень у контрольних точках моделі з ушкодженням *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при різних варіантах фіксації акроміального кінця ключиці

Контрольні точки		Напруження, МПа				
		Норма	Без фіксації	За Вебером	Hook plate	Шарнір
Лопатка	1	19,3	18,8	19,2	19,1	4,6
	2	11,2	16,2	16,0	16,2	4,6
	3	32,5	44,3	45,1	45,0	20,1
	4	28,2	3,2	10,3	10,1	3,1
	5	27,9	257,9	1286,0	153,2	58,3
Ключиця	6	21,2	274,1	909,8	197,7	55,5
	7	3,0	4,4	4,6	3,4	2,3
	8	81,8	81,8	78,3	81,2	22,5
Зв'язки	9	44,0				
	10	50,6				
	11	39,5	461,9	184,0	350,7	98,9
	12	48,2	356,1	186,0	368,1	103,6

Таблиця 4. Величини напружень в елементах металевих конструкцій моделі при пошкодженні *lig. conoideum* та *lig. trapezoideum* при різних варіантах фіксації акроміального кінця ключиці

Варіанти фіксації	Напруження, МПа									
	Дріт	Спиця передня	Спиця задня	Пластина	Латеральні гвинти	Медіальні гвинти	Пластина, лопатка	Пластина, ключиця	Гвинти на лопатці	Гвинти на ключиці
За Вебером	943,3	822,5	611,5							
Hook plate				525	366,7	167,7				
Шарнір							263,2	301,6	38,4	39,7

Таблиця 5. Максимальні величини відносних деформацій у зв'язках моделей при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum

Контрольні точки	Відносна деформація, %				
	Норма	Без фіксації	За Вебером	Hook plate	Шарнір
Lig. conoideum	13				
Lig. trapezoideum	19				
Lig. acromioclaviculare superior	12	84	55	66	30
Lig. acromioclaviculare inferior	14	81	56	71	32

а саме до 55 % lig. acromioclaviculare superior та 56 % lig. acromioclaviculare inferior.

Використання hook plate дозволяє знизити рівень відносних деформацій у зв'язках дзьобо-ключичного зчленування нижче від рівня моделі без фіксації, але порівняно з іншими методами фіксації відносні деформації визначаються найвищими, а саме до 65 % lig. acromioclaviculare superior та 71 % lig. acromioclaviculare inferior.

Запропонований фіксатор шарнірного типу дозволяє знизити показники відносних деформацій у неушкоджених зв'язках нижче за моделі з іншими фіксаторами. Максимум відносних деформацій lig. acromioclaviculare superior становить 30 %, lig. acromioclaviculare inferior — 32 %. Дані про максимальні величини відносних деформацій у зв'язках моделей наведені в табл. 5.

Наочне уявлення про співвідношення величин відносних деформацій у зв'язках моделей при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 13.

За результатами дослідження можна стверджувати, що за критерієм мінімізації величини відносних деформацій у зв'язках ключично-лопаткового зчленування при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum найкращі результати показав запропонований фіксатор шарнірного типу. Найбільші деформації у зв'язках виникають при фіксації пластиною hook plate, хоча вони й нижчі від рівня показників моделі без фіксації.

Обговорення

У результаті проведених досліджень встановлено, що всі типи фіксаторів при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum дозволяють отримати приблизно однаковий рівень напружень у кісткових елементах моделі. Винятком є фіксація за Вебером, при якій напруження на АКК і акроміальному відростку лопатки збільшуються в декілька разів і навіть перевищують межу міцності кортикальної кістки, що може бути причиною руйнування кісткової тканини в зоні контакту з металевими елементами. Напруження в самому дроті можуть перевищувати навіть межу міцності хірургічної сталі та, як наслідок, стати причиною його розриву. Hook plate, з точки зору величин напружень в елементах моделі, не забезпечує достатнього зниження рівня напружень у неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного з'єднання. Крім

того, напруження на самій пластині можуть наближатися до межі міцності хірургічної сталі, що може стати причиною її ушкодження. Фіксатор шарнірного типу забезпечує як найкращий розподіл напружень у кісткових елементах моделі, так і досить низький рівень напружень у неушкоджених зв'язках.

За критерієм мінімізації величини відносних деформацій у зв'язках ключично-лопаткового зчленування при ушкодженні lig. conoideum та lig. trapezoideum найкращі результати показав метод фіксації з використанням запропонованого фіксатора шарнірного типу. Найбільші відносні деформації у зв'язках виникають при фіксації пластиною hook plate, хоча вони й нижчі від рівня показників моделі без фіксації.

Висновки

Фіксація акроміального кінця ключиці за Вебером не забезпечує надійної фіксації НКС. Рівень напружень у дроті при відведенні кінцівки при ушкодженні зв'язок ключично-акроміального з'єднання наближається до межі міцності хірургічної сталі, а напруження в неушкоджених зв'язках можуть навіть перевищувати межу міцності кортикальної кістки. Усе це може бути причиною таких ускладнень, як розрив дроту й руйнування кісткової тканини в місці контакту з ним, та, як наслідок, втрати стабільності НКС.

Фіксатор hook plate не забезпечує достатнього зниження рівня напружень у неушкоджених зв'язках акроміально-ключичного з'єднання, крім того, напруження на самій пластині можуть наближатися до межі міцності хірургічної сталі, що може стати причиною її ушкодження.

Фіксатор запропонованої конструкції забезпечує найкращий баланс як за критерієм розподілу напружень в елементах моделі, так і за величиною відносних деформацій у неушкоджених зв'язках.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Buryanov O, Kvasha V, Chekushyn D, Naumenko V. Analysis of long-term results of surgical treatment of acromioclavicular dislocation. *Trauma*. 2021; 22(6): 4-9. [in Ukrainian]. doi.org/10.22141/1608-1706.

2. Ho-Seok Oh, Sungmin Kim, Jeong-Hun Hyun, Myung-Sun Kim. Effect of subacromial erosion shape on rotator cuff and clinical outcomes after hook plate fixation in type 5 acromioclavicular joint dislocations: a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022; 23: 42. doi: 10.1186/s12891-021-04987-y.

3. Firat Ozan, Sefa Gök, Kürşat Tuğrul Okur, İbrahim Altun, Murat Kahraman, Ali Eray Günay, Kamil Yamak. Results of Tension Band Wiring Technique for Acute Rockwood Type III Acromioclavicular Joint Dislocation. *Cureus.* 2020; 12(12): e12203. doi: 10.7759/cureus.12203.

4. Michele Fosser, Antonio Camporese. Operative treatment of acute acromioclavicular joint dislocations graded Rockwood III–V: a retrospective and comparative study between three different surgical techniques. *Acta Biomed.* 2021; 92(5): e2021325. doi: 10.23750/abm.v92i5.10678.

5. Ding Xu, Yulong Shi, Peng Luo, Weikang Wang, Weijun Guo, Weigang Lou, Jianming Chen. Influential factors of subacromial impingement syndrome after hook plate fixation for acromioclavicular joint dislocation. A retrospective study. *Medicine (Baltimore).* 2021; 100(23): e26333. doi: 10.1097/MD.00000000000026333.

6. Бур'янов О.А., Кваша В.П., Чекушин Д.А., Задніченко М.О., Карпінський М.Ю., Яреско О.В. Напружено-деформований стан надплечово-ключичного суглоба при ушкодженні зв'язок ключично-акроміального суглоба і різних способах фіксації. *Травма.* 2024; 25(3): 83–93. doi: 10.22141/1608-1706.3.25.2024.978.

7. Патент на корисну модель №12472 UA МПК А61В17/56. Позасуглобовий динамічний фіксатор при ви-

вихах акроміального кінця ключиці / Бур'янов О.А., Кваша В.П., Марцьоха А.В., Чекушин Д.А. (Патенто власник Національний медичний університет імені О.О. Бозомольця). Заявка и201709326 від 15.11.2017. Опубл. 25.04.2018. Бюл. № 8.

8. Cowin SC. *Bone Mechanics Handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2001. 980 s.

9. Boccaccio A, Pappalettere C. *Mechanobiology of Fracture Healing: Basic Principles and Applications in Orthodontics and Orthopaedics*. In: *Theoretical Biomechanics*. Prague: Intech-Open. 2011: 21–48. doi: 10.5772/19420.

10. Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2008; 1(1): 30–42. doi: 10.1016/j.jmbbm.2007.07.001, PMID: 19627769.

11. Savio L-Y Woo, Steven D Abramowitch, Robert Kilger, Rui Liang. *Biomechanics of knee ligaments: injury, healing, and repair*. *Journal of Biomechanics.* 2006; 39: 1–20. PMID: 16271583. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.10.025

12. Yi-Wen Chang, Richard E. Hughes, Fong-Chin Su, Eiji Itoi, Kai-Nan An. Prediction of muscle force involved in shoulder internal rotation. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery.* 2000; 9(3): 188–195.

13. Rao SS. *The Finite Element Method in Engineering*. Butterworth-Heinemann. 2017: 782.

14. Kurowski PM. *Engineering Analysis with COSMOS-Works 2007*. SDC Publications. 2007. 263 s.

Отримано/Received 03.07.2024

Рецензовано/Revised 14.07.2024

Прийнято до друку/Accepted 23.07.2024

Information about authors

Olexandr Burianov, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kaftraum@ukr.net; fax: +380 (44) 288-01-26; phone: +380 (67) 796-68-76; <https://orcid.org/0000-0002-2174-1882>

Volodymyr P. Kvasha, MD, DSc, PhD, Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: vlkvash@ukr.net; phone: +380 (50) 381-65-57; <https://orcid.org/0000-0002-7444-6289>

Dmytro A. Chekushyn, PhD-student, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: xumuk0274@gmail.com; phone: +380 (68) 576-69-90; <https://orcid.org/0000-0002-1151-4803>

Yuriy L. Sobolevskiy, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: soburik@icloud.com; phone: +380 (44) 288-01-26; <https://orcid.org/0000-0002-8690-8620>

Mykhailo Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; phone: +380 (67) 571-48-63; <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>

Olexander Yaresko, Junior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution «Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv, Ukraine; e-mail: avyresko@gmail.com; phone: +380 (57) 725-14-74; <https://orcid.org/0000-0002-2037-5964>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

O.A. Burianov¹, V.P. Kvasha¹, D.A. Chekushyn¹, Yu.L. Sobolevskiy¹, M.Yu. Karpinsky², O.V. Yaresko²

¹Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

²State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Analysis of the stress-strain state of the suprahumeral-clavicular joint in case of damage to the coracoclavicular ligament and various methods of fixation

Abstract. Background. There are two main methods to fix the acromial end of the clavicle with the help of metal structures: a hook plate, and the Weber's method. Each of them has advantages and disadvantages. When using the Weber's method, they are a violation of the integrity of the wire and spikes, destruction of the acromion process and the acromial end of the clavicle, migration of the spikes. When using a hook plate, this is a pain in the

shoulder, destruction of bone tissue in the area of the acromion process, and subacromial conflict. Purpose: to conduct a comparative analysis of the fixation of the acromial end of the clavicle according to Weber, with hook plate and the proposed construction by studying the stress-strain state of the suprahumeral-clavicular joint with a combined injury of the lig. conoideum and lig. trapezoidum and various methods of fixation. **Materials and methods.**

The finite element model of the suprahumeral-clavicular joint was built, which consisted of the scapula, clavicle, and ligaments of the suprahumeral-clavicular and coracoclavicular complexes. A combined injury of the ligaments of the suprahumeral-clavicular joint was modeled, namely lig.conoideum and lig.trapezoideum, with three methods of fixation: according to the Weber, hook plate and the proposed construction. **Results.** It was found that all types of fixators allow obtaining approximately the same level of stress in the bone elements of the model. An exception is Weber's fixation, in which the stress on the acromial end of the clavicle and on the acromion process increases several times and even exceeds the strength limit of the cortical bone, which can be the cause of bone tissue destruction. The stresses in the wire itself can even exceed the strength limit of surgical steel and cause its break. A hook plate does not provide a sufficient stress reduction in the intact ligaments of the acromial-clavicular joint. The stress on the plate itself can approach the strength limit of surgical steel, which can cause its damage. The hinge-type fixator provides the best stress distribution, both in the bone elements of the model, and a fairly low level

of stress in the intact ligaments. According to the criterion of minimizing the amount of relative deformations in the ligaments of the clavicle-scapular joint, the best results were shown by the hinge-type fixator. The largest relative deformations in the ligaments occur during fixation with a hook plate. **Conclusions.** Fixation of the acromial end of the clavicle according to Weber does not ensure its reliable fixation. The level of stresses in the wire during abduction of the limb approaches the strength limit of surgical steel, and stresses in the intact ligaments may even exceed the strength limit of cortical bone. All this can be the cause of complications such as breaking of the wire and destruction of bone tissue in the place of contact with it. The hook plate fixator does not provide sufficient stress reduction in the intact ligaments of the acromial-clavicular joint. The stresses on the plate itself can approach the strength limit of surgical steel, which can cause its damage. The fixator of the proposed design provides the best balance, in terms of both stress distribution in the model elements and the magnitude of relative deformations in the intact connections.

Keywords: acromioclavicular joint; ligaments; fixation

Нехлопочин О.С.¹, Вербов В.В.¹, Чешук Є.В.¹, Карпінський М.Ю.², Яренько О.В.²

¹ДУ «Інститут нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова НАМН України», м. Київ, Україна

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України»,

м. Харків, Україна

Скінченно-елементний аналіз варіантів транспедикулярної фіксації ділянки грудопоперекового переходу з вибуховим переломом хребця Th12 при нахилі тулуба назад

Резюме. Актуальність. Стратегія терапії вибухових неврологічно не ускладнених переломів грудопоперекового відділу хребта продовжує викликати розбіжності серед хірургів, залишаючись актуальною темою для дискусій. Водночас при лікуванні травм грудопоперекового переходу зазвичай надається перевага хірургічним методам, зважаючи на біомеханічні особливості ділянки. **Мета:** вивчити напружено-деформований стан моделі грудопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом хребця Th12 при різних варіантах транспедикулярної фіксації і нахилі тулуба назад. **Матеріали та методи.** Розроблена математична скінченно-елементна модель грудопоперекового відділу хребта людини із вибуховим переломом хребця Th12, а також була врахована транспедикулярна система стабілізації. Моделювали 4 варіанти транспедикулярної фіксації з використанням коротких фіксувальних і довгих гвинтів, які проходять крізь передню поверхню тіла хребця, а також двох поперечних стяжок та без них. **Результати.** Встановлено, що для моделей з короткими гвинтами без поперечних стяжок, довгими гвинтами без поперечних стяжок, короткими гвинтами з поперечними стяжками та довгими гвинтами з поперечними стяжками показники напруження в тілі пошкодженого хребця становили відповідно 19,7, 29,3, 19,2 та 29,0 МПа. Щодо зон контакту «метал — кісткова тканина», пікові навантаження були визначені у зоні входу гвинтів у дугу хребця L2 і становили 11,1, 23,3, 11,1 та 22,1 МПа для зазначених моделей відповідно. Водночас при розгляді гвинтів найбільше напруження демонстрували транспедикулярні гвинти в тілі хребця L2 — 42,9, 45,5, 40,6 та 42,8 МПа відповідно. **Висновки.** При нахилі тулуба назад використання поперечних стяжок дозволяє знизити рівень напружень у всіх контрольних точках моделей незалежно від довжини використаних фіксуючих гвинтів, водночас застосування бікортікальних гвинтів супроводжується збільшенням показників напруження саме травмованого хребця. **Ключові слова:** грудопоперековий перехід; травматичне пошкодження; транспедикулярна фіксація; вибуховий перелом; нахил назад

Вступ

Стратегія терапії вибухових неврологічно не ускладнених переломів грудопоперекового відділу хребта продовжує залишатися прикладом концепції клінічної невизначеності [1]. Питання вибору між хірургічним та консервативним лікуванням таких травм продовжує викликати розбіжності серед хірургів, залишаючись актуальною темою для дискусій [2]. Відсутність єдиних

підходів до терапії пацієнтів з клінічно та радіологічно схожими травмами призводить до значної варіативності в лікувальній тактиці [3].

Прихильники консервативного лікування стверджують, що більшість грудопоперекових неврологічно не ускладнених переломів можна успішно лікувати без хірургічного втручання, використовуючи методи іммобілізації та фізіотерапії. На їхню думку, консервативний

підхід дозволяє уникнути хірургічних ризиків і зменшити ймовірність ускладнень [4]. Водночас прихильники хірургічного лікування наголошують на важливості інтраопераційної корекції для запобігання деформації хребта, відновлення анатомічної цілісності та прискорення процесу реабілітації [5]. Проблема ускладнюється тим, що існуючі дослідження, які порівнюють хірургічне та консервативне лікування таких пошкоджень, демонструють суперечливі результати [6].

Попри визнання доказової медицини як основного методу підвищення якості медичних рішень, її застосування при лікуванні травм хребта має певні обмеження. Одним із таких обмежень є недостатня кількість якісних рандомізованих контрольованих досліджень, що цілком закономірно в контексті травматичних пошкоджень хребта. Багато рекомендацій базуються на невеликих за обсягом обсерваційних дослідженнях або даних окремих клінічних випадків. Крім того, значний дисонанс вносить очевидна біомеханічна гетерогенність окремих ділянок хребтового стовпа в межах його груднопоперекового відділу.

Груднопоперековий перехід, через свою морфофункціональну специфіку, є найбільш уразливою ділянкою хребта в контексті травматичних пошкоджень. Відомо, що понад 46 % усіх переломів хребтового стовпа, що становить більше ніж 61 % всіх травм груднопоперекового відділу хребта, припадає на зону Th11–L2 [7]. Така специфіка, очевидно, визначає підвищені вимоги до іммобілізації і, незважаючи на існуючі розбіжності, у більшості випадків диктує необхідність хірургічної корекції [8].

Мета дослідження: вивчити напружено-деформований стан моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом хребця Th12 при різних варіантах транспедикулярної фіксації і нахилі тулуба назад.

Матеріали та методи

У лабораторії біомеханіки Інституту патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України була розроблена математична скінченно-елементна модель груднопоперекового відділу хребта людини із вибуховим переломом хребця Th12, також була врахована транспедикулярна система стабілізації. Детальний опис та характеристики моделі наведено в попередніх публікаціях [9, 10].

Вибуховий перелом моделювали шляхом розділення тіла хребця Th12 декількома площинами на окремі фрагменти (рис. 1). Проміжки між фрагментами диска заповнювали матеріалом, який імітував міжуламковий регенерат. Фактично запропонована модель імітувала травматичне пошкодження типу A4 зі значною фрагментацією тіла, але без зміщення уламків у хребтовий канал, що, відповідно, не вимагало відкритої декомпресії.

Моделювали 4 варіанти транспедикулярної фіксації з використанням коротких фіксувальних і довгих гвинтів, які проходять крізь передню поверхню тіла хребця, а також двох поперечних стяжок та без них (рис. 2).

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. Як скінченний елемент обрано 10-вузловий тетраедр з квадратичною апроксимацією. Механічні властивості біологічних тканин (кортикальна та губчаста кістка, міжхребцеві диски) для математичного моделювання обрано за даними [11–14]. Матеріал елементів металоконструкцій — титан. Механічні характеристики штучних матеріалів обирали за даними технічної літератури [15]. Для аналізу використовували такі характеристики, як E — модуль пружності (модуль Юнга), ν — коефіцієнт Пуассона. Дані про механічні характеристики матеріалів наведено в табл. 1.

Напружено-деформований стан моделей досліджували під впливом згинаючого навантаження, що діє спереду назад та імітує нахил тулуба назад. Навантаження прикладали до тіла Th9 хребця та суглобових поверхонь його остистих виростків. Величина навантаження становила 350 Н, що відповідає вазі верхньої частини тіла. По каудальній поверхні диска L5 модель мала жорстке закріплення. Схема навантаження моделі наведена на рис. 3а.

Для зручності дослідження змін напружено-деформованого стану моделей залежно від способу транспедикулярної фіксації величину напруження визначали на контрольних точках (рис. 3б–г).

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували з використанням методу скінченних елементів. Критерієм оцінки напруженого стану моделей було напруження за Мізесом [16]. Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей здійснювали за допомогою програмного комплексу CosmosM [17].

Таблиця 1. Механічні характеристики матеріалів, використаних при моделюванні

Матеріал	Модуль Юнга, МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν
Кортикальна кістка	10 000	0,3
Губчаста кістка	450	0,2
Суглобовий хрящ	10,5	0,49
Міжхребцеві диски	4,2	0,45
Міжуламковий регенерат	1,0	0,45
Титан BT-16	110 000	0,3

Результати

На першому етапі роботи вивчали напружено-деформований стан моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад. Транспедикулярна фіксація короткими гвинтами без поперечних стяжок. Розподіл напружень у моделі наведено на рис. 4.

Проведені дослідження показали, що при використанні коротких гвинтів без поперечних стяжок при нахилі тулуба назад максимальні напруження 31,0 МПа виникають у тілі хребця L4. У тілах хребців L2, L3 та L5 напруження теж набувають значної величини і визначаються в межах від 18,1 до 23,7 МПа. Напруження на зруйнованому хребці Th12 визначаються теж на досі високому рівні — 19,7 МПа. Навколо фіксуючих

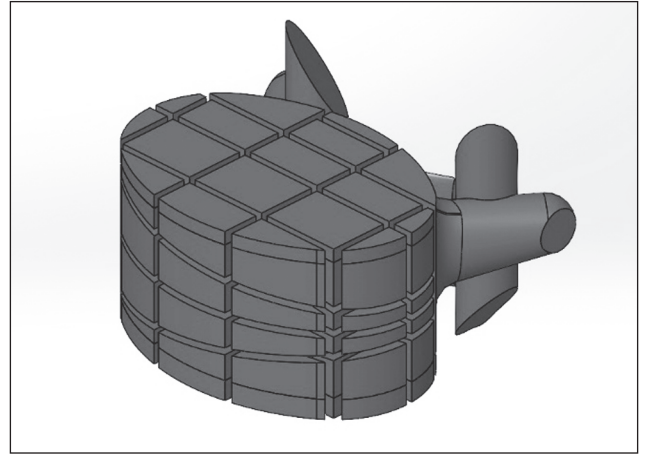


Рисунок 1. Модель хребця Th12

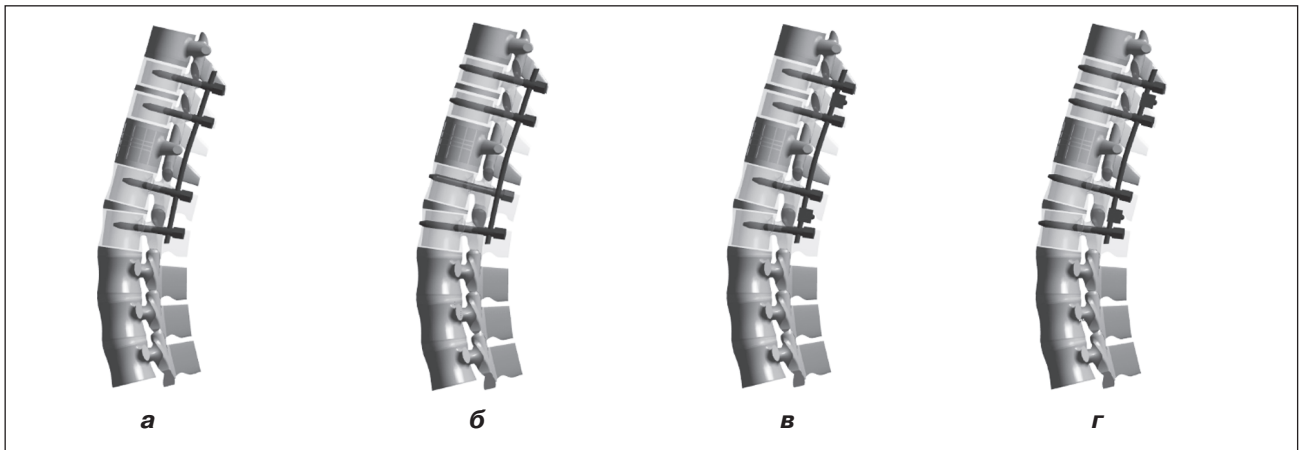


Рисунок 2. Моделі з різними варіантами транспедикулярної фіксації: а — короткі гвинти без поперечних стяжок; б — довгі гвинти без поперечних стяжок; в — короткі гвинти з поперечними стяжками; г — довгі гвинти з поперечними стяжками

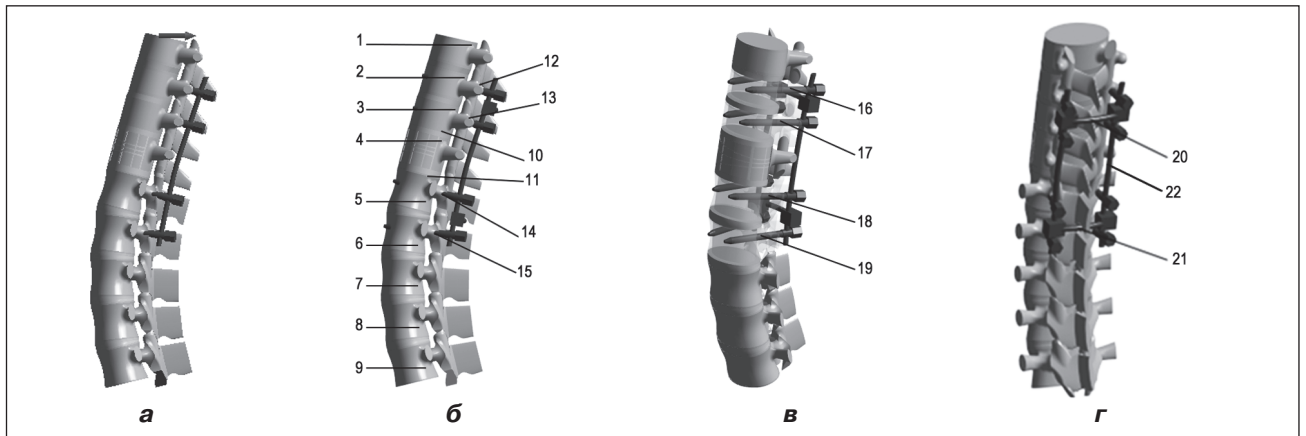


Рисунок 3. Схема навантаження моделей (а) та розташування контрольних точок (б–г): 1 — тіло хребця Th9; 2 — тіло хребця Th10; 3 — тіло хребця Th11; 4 — тіло хребця Th12; 5 — тіло хребця L1; 6 — тіло хребця L2; 7 — тіло хребця L3; 8 — тіло хребця L4; 9 — тіло хребця L5; 10 — нижня замикальна пластинка тіла хребця Th11; 11 — верхня замикальна пластинка тіла хребця L1; 12 — вхід гвинтів у дугу хребця Th10; 13 — вхід гвинтів у дугу хребця Th11; 14 — вхід гвинтів у дугу хребця L1; 15 — вхід гвинтів у дугу хребця L2; 16 — гвинти у тілі хребця Th10; 17 — гвинти у тілі хребця Th11; 18 — гвинти у тілі хребця L1; 19 — гвинти у тілі хребця L2; 20 — стяжки між гвинтами в тілах хребців Th10 і Th11; 21 — стяжки між гвинтами в тілах хребців L1–L2; 22 — опорні балки

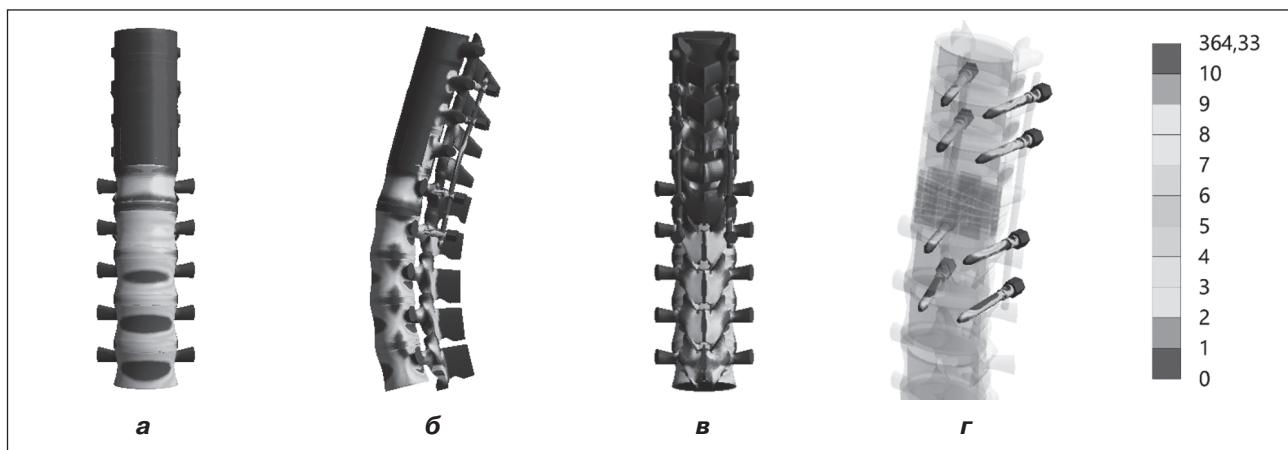


Рисунок 4. Картина розподілу напружень у моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад. Транспедикулярна фіксація короткими гвинтами без поперечних стяжок: а — вигляд спереду; б — вигляд збоку; в — вигляд ззаду; г — гвинти

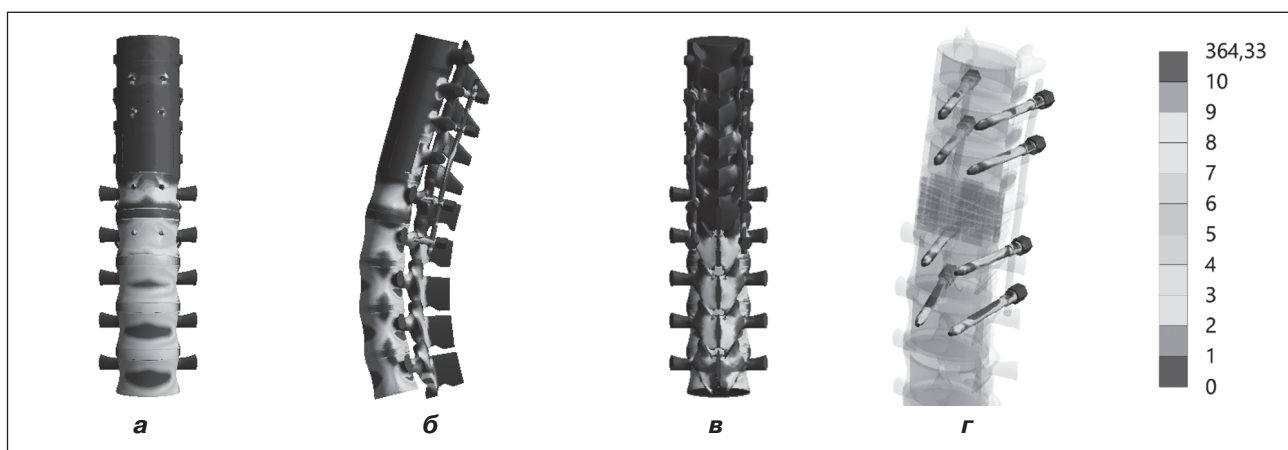


Рисунок 5. Картина розподілу напружень у моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад. Транспедикулярна фіксація довгими гвинтами без поперечних стяжок: а — вигляд спереду; б — вигляд збоку; в — вигляд ззаду; г — гвинти

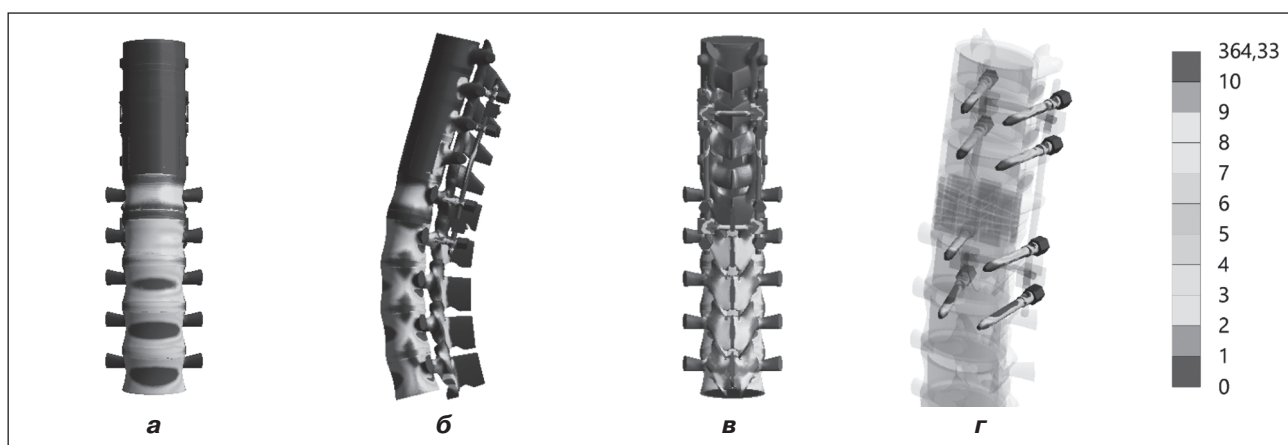


Рисунок 6. Картина розподілу напружень у моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад. Транспедикулярна фіксація короткими гвинтами з поперечними стяжками: а — вигляд спереду; б — вигляд збоку; в — вигляд ззаду; г — гвинти

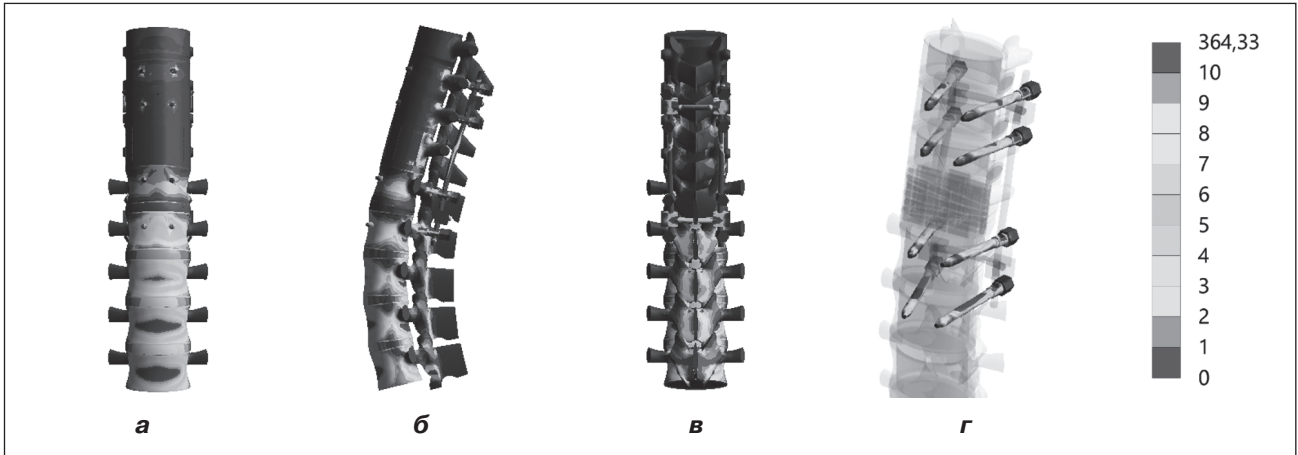


Рисунок 7. Картина розподілу напружень у моделі груднопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад. Транспедикулярна фіксація довгими гвинтами з поперечними стяжками: а – вигляд спереду; б – вигляд збоку; в – вигляд ззаду; г – гвинти

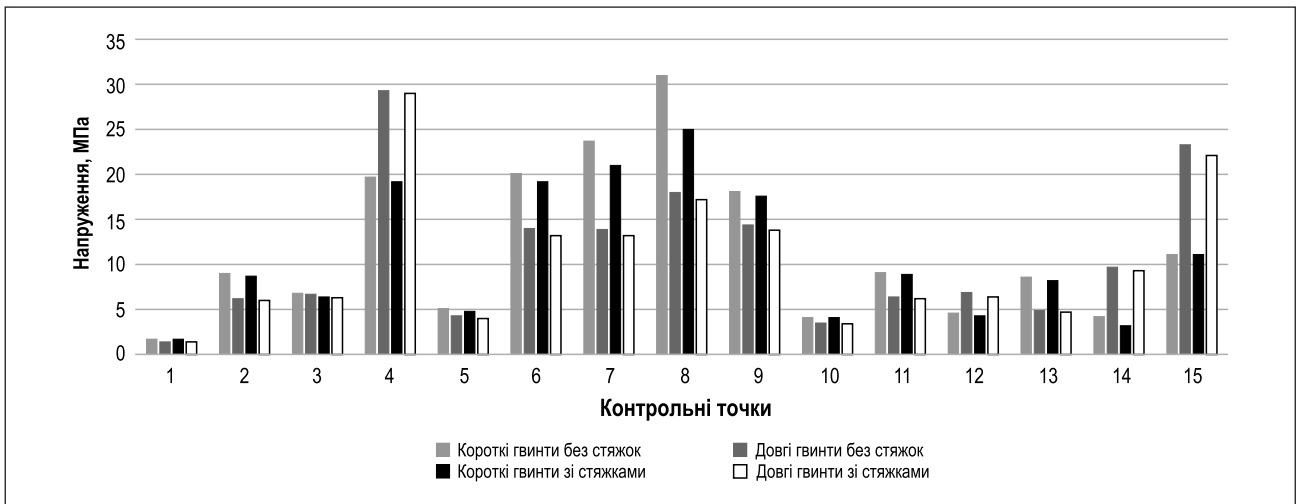


Рисунок 8. Діаграма величин напружень у контрольних точках на кісткових елементах моделей

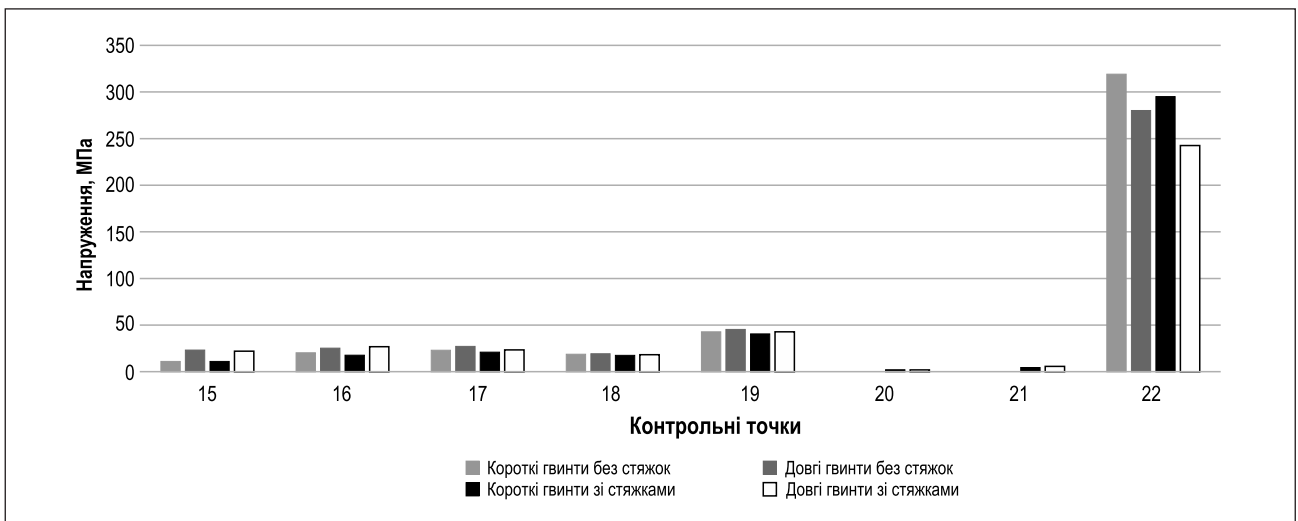


Рисунок 9. Діаграма величин напружень у контрольних точках на елементах металевих конструкцій моделей

гвинтів максимальні напруження 11,1 та 8,6 МПа виникають у дугах хребців L3 та Th11 відповідно, в інших хребцях цей показник не перевищує межі 4,6 МПа. Найбільш напруженим з фіксуєчих гвинтів є гвинт у хребці L2 — 42,9 МПа, мінімально напруженим є гвинт у хребці L1 — 18,8 МПа. Напруження на гвинтах у хребцях грудного відділу розподілені майже рівномірно і визначаються в межах від 20,4 до 23,1 МПа. Напруження в опорних балках визначаються на рівні 319,2 МПа.

На рис. 5 наведено напружено-деформований стан моделі грудопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад, транспедикулярна фіксація довгими гвинтами без поперечних стяжок.

Заміна фіксуєчих гвинтів на довгі при нахилі тулуба назад веде до незначних змін рівня напружень у кісткових структурах, в основному в бік зниження. Незначне підвищення рівня напружень у середньому на 0,2 МПа

визначається в тілах хребців L2–L5. Пошкоджений хребець Th12 є єдиним хребцем, напруження в якому значно підвищуються і сягають позначки 29,3 МПа. Навколо фіксуєчих гвинтів спостерігається підвищення в 2 рази рівня напружень у дугах хребця L3 — до 23,3 МПа, при цьому в дугах хребця Th11 напруження знижуються також вдвічі до позначки 4,9 МПа. У всіх елементах металевої конструкції рівень напружень підвищився, за винятком опорних балок, у яких спостерігали зниження напружень до рівня 280,2 МПа. Найбільш значне підвищення напружень відбулося на гвинті в хребці L2 — до 45,5 МПа.

Картину розподілу напружень у моделі грудопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом тіла хребця Th12 під впливом навантаження, що імітує нахил назад, транспедикулярна фіксація короткими гвинтами з поперечними стяжками, можна спостерігати на рис. 6.

Таблиця 2. Напруження під впливом навантаження, що імітує нахил тулуба назад, у моделях грудопоперекового відділу хребта з вибуховим переломом хребця Th12 за різних варіантів транспедикулярної фіксації

Контрольні точки		Напруження, МПа					
		Модель без стяжок		Модель зі стяжками			
№	Зона	Короткі гвинти	Довгі гвинти	Короткі гвинти	Довгі гвинти		
1	Кісткова тканина	Тіло хребця Th9	1,7	1,4	1,7	1,4	
2		Тіло хребця Th10	9,0	6,2	8,7	6,0	
3		Тіло хребця Th11	6,8	6,7	6,4	6,3	
4		Тіло хребця Th12	19,7	29,3	19,2	29,0	
5		Тіло хребця L1	5,1	4,3	4,8	4,0	
6		Тіло хребця L2	20,1	14,0	19,2	13,2	
7		Тіло хребця L3	23,7	13,9	21,0	13,2	
8		Тіло хребця L4	31,0	18,0	25,0	17,2	
9		Тіло хребця L5	18,1	14,4	17,6	13,8	
10		Нижня замикальна пластинка хребця Th11	4,1	3,5	4,1	3,4	
11		Верхня замикальна пластинка хребця L1	9,1	6,4	8,9	6,2	
12		Вхід гвинтів у дугу хребця Th10	4,6	6,9	4,3	6,4	
13		Вхід гвинтів у дугу хребця Th11	8,6	4,9	8,2	4,7	
14		Вхід гвинтів у дугу хребця L1	4,2	9,7	3,2	9,3	
15		Вхід гвинтів у дугу хребця L2	11,1	23,3	11,1	22,1	
16		Металеві конструкції	Гвинти в тілі хребця Th10	20,4	25,4	17,8	26,9
17			Гвинти в тілі хребця Th11	23,1	27,2	21,1	23,5
18			Гвинти в тілі хребця L1	18,8	19,4	17,7	18,4
19			Гвинти в тілі хребця L2	42,9	45,5	40,6	42,8
20		Стяжки між гвинтами в тілах хребців Th10 та Th11	–	–	2,1	2,0	
21		Стяжки між гвинтами в тілах хребців L1 та L2	–	–	4,5	5,8	
22		Опорні балки	319,2	280,2	295,1	242,6	

Використання поперечних стяжок дозволяє знизити рівень напружень при нахилі тулуба назад у всіх контрольних точках моделі. Величини напружень саме на стяжках визначаються на рівні 2,1 та 4,5 МПа в грудному та поперековому відділах відповідно.

На останньому етапі роботи розглянемо вплив поперечних стяжок при використанні довгих фіксуєчих гвинтів на розподіл напружень у моделі при нахилі тулуба назад (рис. 7).

Як показали проведені дослідження, використання довгих гвинтів у комбінації з поперечними стяжками при нахилі тулуба назад не призводить до значних змін в напружено-деформованому стані моделі порівняно з моделлю з довгими гвинтами без стяжок, але всі зміни спрямовані в бік зменшення величини напружень.

Дані про величини максимальних напружень у всіх контрольних точках моделей при всіх варіантах транспедикулярної фіксації наведені в табл. 2.

Діаграма, яка наведена на рис. 8, дозволяє наочно порівняти величини напружень у кісткових елементах моделей при всіх варіантах транспедикулярної фіксації.

Як бачимо на діаграмі, при нахилі тулуба назад принципів відмінностей між варіантами транспедикулярної фіксації хребта не спостерігається. Загальну тенденцію можна охарактеризувати так: довгі гвинти дозволяють знизити рівень напружень у кісткових елементах моделі порівняно з короткими, виняток становлять зони навколо фіксуєчих гвинтів у хребцях поперекового відділу. Поперечні стяжки знижують рівень напружень на всіх контрольних точках моделі порівняно з моделями без стяжок.

Отримати наочне уявлення про величини напружень в елементах металевих конструкцій допоможе діаграма, яка наведена на рис. 9.

Результати проведеного дослідження показали, що при нахилі тулуба назад використання довгих гвинтів призводить до підвищення рівня напружень саме на цих гвинтах. Позитивний вплив, з точки зору зниження рівня напружень, як в кісткових елементах моделей, так і в елементах конструкції справляють поперечні стяжки.

Обговорення

Значний прогрес у розвитку методів інтраопераційної візуалізації та вдосконалення хірургічного інструментарію, що спостерігається в останні десятиліття, сприяє впровадженню малоінвазивних технологій, включно з їх застосуванням у лікуванні травматичних пошкоджень хребта. Подібна тактика найбільш обґрунтована у випадках неврологічно неускладнених травм, які в переважній більшості не потребують відкритої декомпресії структур хребтового каналу. Результати низки досліджень демонструють, що черезшкірне встановлення транспедикулярних систем стабілізації, порівняно з відкритими методами, характеризується коротшим часом хірургічного втручання, меншою крововтратою, менш вираженими больовими відчуттями у післяопераційний період і зниженим ризиком ін-

фекційних ускладнень [18]. Проте, з іншого боку, цей метод супроводжується вищими дозами опромінення. Низка дослідників вважає виправданим застосування малоінвазивної перкутанної стабілізації більшості вибухових переломів грудопоперекового відділу, які не супроводжуються неврологічними ускладненнями, за винятком переломів типу А4 з вираженою фрагментацією тіл, які, на думку дослідників, потребують антеролатеральної реконструкції [19]. З іншого боку, низка публікацій демонструє перевагу заднього монодоступу при виконанні як тілозамісного, так і стабілізуючого етапів хірургічної корекції пошкоджень А4 у ділянці грудопоперекового переходу [20, 21].

Питання про необхідність резекції тіла хребця з встановленням міжтілової опори при пошкодженнях типу А4 у ділянці грудопоперекового переходу залишається відкритим. З одного боку, очевидно, що міжтіловий корпорадез тілозамісним імплантом у комбінації з транспедикулярною фіксацією є біомеханічно більш сприятливим, знижуючи навантаження на найбільш уразливі елементи стабілізуючої системи. З іншого боку, подібне втручання, незалежно від доступу, є значно більш травматичним для пацієнта, тривалішим і технічно складнішим у виконанні та пов'язане з вищими ризиками ускладнень. Крім того, застосування ізольованої транспедикулярної фіксації є економічно доцільнішим, проте також супроводжується підвищеними механічними вимогами до самої транспедикулярної фіксації.

Наведені вище дані є фрагментом роботи, спрямованої на підвищення надійності фіксації вибухових неврологічно неускладнених переломів ділянки грудопоперекового переходу. Дані літератури демонструють, що при розробці клінічних рекомендацій автори виходять з того, що малоінвазивна і відкрита стабілізація мають ідентичний біомеханічний результат і відрізняються лише методом встановлення гвинтів. Водночас роль поперечних стяжок, які значною мірою забезпечують перерозподіл критичних зон навантаження у стабілізованій ділянці хребта, фактично ігнорується. Окремі дослідження показують, що саме відсутність з'єднання балок між собою, що характерно для малоінвазивної стабілізації, призводить до більш вираженої втрати інтраопераційно досягнутої корекції [22]. Таким чином, твердження про безумовні переваги малоінвазивного встановлення транспедикулярної фіксації є дещо передчасним, а в низці випадків відкрита або комбінована установка може бути більш доцільною.

Виявлення і оцінка зон критичного напруження при стабілізації травмованого рухового сегмента хребта є ключовою умовою визначення найнадійнішого методу фіксації. Водночас наявні у літературі дослідження не дозволяють повною мірою оцінити розподіл навантажень на кісткові структури, зони контакту «кістка — метал» та різні елементи металоконструкцій, оскільки зазвичай оцінюються одиничні ділянки моделей. У цьому аспекті наше дослідження певною мірою є унікальним, що, однак, ускладнює критичний аналіз отриманих результатів, оскільки порівняння з даними

інших дослідників є утрудненим. Також, аналізуючи наявні роботи, присвячені скінченно-елементному аналізу методів фіксації вибухових переломів, можна спостерігати схожу тенденцію, що свідчить про валідність використаної моделі. Встановлено, що екстензійне навантаження викликає більші значення напружень як на елементах металокоплексу, так і на кістковій тканині порівняно з компресійним навантаженням, але менше порівняно з флексією [23, 24]. Загалом виявлення біомеханічно найбільш доцільних методів фіксації, що сприятиме підвищенню надійності фіксації і зменшенню частоти дислокації або фрагментації металокоплексу, можливе при комплексній оцінці отриманих результатів, що є предметом подальших досліджень.

Висновки

При нахилі тулуба назад використання поперечних стяжок дозволяє знизити рівень напружень во всіх контрольних точках моделей незалежно від довжини використаних фіксуєчих гвинтів.

Збільшення довжини фіксуєчих гвинтів призводить до підвищення рівня напружень на самих гвинтах і, як наслідок, у тілах хребців поперекового відділу навколо цих гвинтів, що має безумовне клінічне значення. Довгі бікортікальні гвинти, за нашими даними, викликають значне підвищення показників напруження тіла травматично ураженого хребця при моделюванні екстензії.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Внесок авторів. Нехлопочин О.С. — концепція та дизайн роботи, збір і аналіз даних, написання статті, остаточне затвердження статті; Вербов В.В., Чешук Є.В. — збір та аналіз даних, критичний огляд; Карпінський М.Ю. — концепція та дизайн роботи, відповідальність за статистичний аналіз, написання статті, остаточне затвердження статті; Яресько О.В. — збір та аналіз даних, відповідальність за статистичний аналіз.

Список літератури

1. Freedman B. *Equipoise and the ethics of clinical research. The New England journal of medicine.* 1987;317(3):141-145. doi: 10.1056/nejm198707163170304; PMID: 3600702.
2. Rabb CH, Hoh DJ, Anderson PA, Arnold PM, Chi JH, Dailey AT, et al. *Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guidelines on the Evaluation and Treatment of Patients with Thoracolumbar Spine Trauma: Operative Versus Nonoperative Treatment. Neurosurgery.* 2019;84(1):E50-e52. doi: 10.1093/neuros/nyy361; PMID: 30203034.
3. Dandurand C, Öner CF, Hazenbiller O, Bransford RJ, Schnake K, Vaccaro AR, et al. *Understanding Decision Making as It Influences Treatment in Thoracolumbar Burst Fractures Without Neurological Deficit: Conceptual Framework and Methodology. Global Spine J.* 2024;14(1_suppl):8s-16s. doi: 10.1177/21925682231210183; PMID: 38324598.

4. Mulcahy MJ, Dower A, Tait M. *Orthosis versus no orthosis for the treatment of thoracolumbar burst fractures: A systematic review. J Clin Neurosci.* 2021;85:49-56. doi: 10.1016/j.jocn.2020.11.044; PMID: 33581789.

5. Vaccaro AR, Lim MR, Hurlbert RJ, Lehman RA, Jr., Harrop J, Fisher DC, et al. *Surgical decision making for unstable thoracolumbar spine injuries: results of a consensus panel review by the Spine Trauma Study Group. J Spinal Disord Tech.* 2006;19(1):1-10. doi: 10.1097/01.bsd.0000180080.59559.45; PMID: 16462211.

6. Tanasansomboon T, Kittipibul T, Limthongkul W, Yingsakmongkol W, Kotheeranurak V, Singhatanadgige W. *Thoracolumbar Burst Fracture without Neurological Deficit: Review of Controversies and Current Evidence of Treatment. World Neurosurg.* 2022;162:29-35. doi: 10.1016/j.wneu.2022.03.061; PMID: 35318156.

7. Nekhlopochny OS, Verbov VV, Verbovska SA, Cheshuk IV. *Meta-analysis of the frequency of thoracolumbar junction fractures in the context of traumatic spinal injuries in the adult population. Pain, Joints, Spine.* 2024;14(2):61-68. doi: 10.22141/pjs.14.2.2024.422.

8. McLain RF, Sparling E, Benson DR. *Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report. J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(2):162-167. doi: 10.2106/00004623-199302000-00002; PMID: 8423176.

9. Nekhlopochny O, Verbov V, Cheshuk I, Karpinsky M, Yaresko O. *Mathematical Modeling of Variants of Transpedicular Fixation at the Thoracolumbar Junction after ThXII Vertebrectomy during Trunk Backward Bending. Orthopaedics Traumatology and Prosthetics.* 2023(2):43-49. doi: 10.15674/0030-59872023243-49.

10. Nekhlopochny OS, Verbov VV, Cheshuk IV, Karpinsky MY, Yaresko OV. *Finite Element Analysis of Thoracolumbar Junction Transpedicular Fixation Variants after Resection of the Th12 Vertebra While Forward Bending. Bulletin of Problems Biology and Medicine.* 2023;169(2):281-287. doi: 10.29254/2077-4214-2023-2-169-281-296.

11. Cowin SC. *Bone Mechanics Handbook. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2001. 980 p.*

12. Boccaccio A, Pappalettere C. *Mechanobiology of Fracture Healing: Basic Principles and Applications in Orthodontics and Orthopaedics. In: Klika V, editor. Theoretical Biomechanics. Croatia: InTech; 2011. P. 21-48.*

13. Nekhlopochny A, Nekhlopochny S, Karpinsky M, Shvets A, Karpinskaya E, Yaresko A. *Mathematical Analysis and Optimization of Design Characteristics of Stabilizing Vertebral Body Replacing Systems for Subaxial Cervical Fusion Using the Finite Element Method. Hirurgija Pozvanočnika.* 2017;14(1):37-45. doi: 10.14531/ss2017.1.37-45.

14. Radchenko VA, Kutsenko VA, Popov AI, Karpinsky MY, Karpinska OD. *Modeling the variants of transpedicular fixation of the thoracic spine in the rejection of one-three vertebrae. Trauma.* 2022;18(5):95-102. doi: 10.22141/1608-1706.5.18.2017.114125.

15. Niinomi M. *Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. J Mech Behav Biomed Mater.* 2008;1(1):30-42. doi: 10.1016/j.jmbbm.2007.07.001, PMID: 19627769.

16. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 271 с.
17. Алямовский А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. ЛумПес, 2022.
18. Phan K, Rao PJ, Mobbs RJ. Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of thoracolumbar fractures: Systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Clin Neurol Neurosurg.* 2015;135:85-92. doi: 10.1016/j.clin-neuro.2015.05.016; PMID: 26051881.
19. Greenberg JK, Burks SS, Dibble CF, Javeed S, Gupta VP, Yahanda AT, et al. An updated management algorithm for incorporating minimally invasive techniques to treat thoracolumbar trauma. *J Neurosurg Spine.* 2021:1-10. doi: 10.3171/2021.7.spine21790; PMID: 34715673.
20. Sasani M, Ozer AF. Single-stage posterior corpectomy and expandable cage placement for treatment of thoracic or lumbar burst fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(1):E33-40. doi: 10.1097/BRS.0b013e318189fcd; PMID: 19127146.
21. Hong SH, Suh SP, Yeom J, Kim JY, Lee SG, Han JW. Minimally Invasive Spine Surgery versus Open Posterior Instrumentation Surgery for Unstable Thoracolumbar Burst Fracture. *Asian Spine J.* 2021;15(6):761-768. doi: 10.31616/asj.2020.0572; PMID: 34000798.
22. Perna A, Santagada DA, Bocchi MB, Zirio G, Proietti L, Tamburrelli FC, et al. Early loss of angular kyphosis correction in patients with thoracolumbar vertebral burst (A3-A4) fractures who underwent percutaneous pedicle screws fixation. *Journal of Orthopaedics.* 2021;24:77-81. doi: 10.1016/j.jor.2021.02.029; PMID: 33679031.
23. Basaran R, Efendioglu M, Kaksi M, Celik T, Mutlu İ, Ucar M. Finite Element Analysis of Short-Versus Long-Segment Posterior Fixation for Thoracolumbar Burst Fracture. *World Neurosurg.* 2019;128:e1109-e1117. doi: 10.1016/j.wneu.2019.05.077; PMID: 31103754.
24. Wang H, Mo Z, Han J, Liu J, Li C, Zhou Y, et al. Extent and location of fixation affects the biomechanical stability of short- or long-segment pedicle screw technique with screwing of fractured vertebra for the treatment of thoracolumbar burst fractures: An observational study using finite element analysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(26):e11244. doi: 10.1097/md.00000000000011244; PMID: 29952989.

Отримано/Received 01.09.2024

Рецензовано/Revised 12.09.2024

Прийнято до друку/Accepted 21.09.2024

Information about authors

Oleksii S. Nekhlopochny, PhD in Medicine, Neurosurgeon, Senior Research Fellow, Department of Spinal Pathology, Department of Restorative Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: AlexeyNS@gmail.com; phone: +380 (95) 033-04-48; <https://orcid.org/0000-0002-1180-6881>

Vadym V. Verbov, PhD in Medicine, Neurosurgeon, Department of Restorative Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: v.verbov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3074-9915>

Ievgen V. Cheshuk, Neurosurgeon, Department of Restorative Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: evcheshuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8063-2141>

Mykhailo Yu. Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; phone: +380 (67) 571-48-63; <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>

Olexander V. Yaresko, Junior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: avyresko@gmail.com; phone: +380 (57) 725-14-74; <https://orcid.org/0000-0002-2037-5964>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

Authors' contribution. O.S. Nekhlopochny — work concept and design, data collection and analysis, writing the article, final approval of the article; V.V. Verbov, Ie.V. Cheshuk — data collection and analysis, critical review; M.Yu. Karpinsky — work concept and design, responsibility for statistical analysis, writing the article, final approval of the article; O.V. Yaresko — data collection and analysis, responsibility for statistical analysis.

O.S. Nekhlopochny¹, V.V. Verbov¹, Ie.V. Cheshuk¹, M.Yu. Karpinsky², O.V. Yaresko²

¹State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

²State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Finite element analysis of transpedicular fixation options in the thoracolumbar junction with a burst fracture of the Th12 vertebra during trunk extension

Abstract. Background. The therapeutic strategy for burst neurologically intact fractures of the thoracolumbar spine continues to cause disagreement among surgeons, remaining a relevant topic for discussion. At the same time, when treating injuries of the thoracolumbar junction, surgical methods are generally preferred due to the biomechanical characteristics of this region. The purpose was to study the stress-strain state of a lumbar spine model with a burst fracture of the Th12 vertebra under various transpedicular fixation options during trunk extension. **Materials and methods.** A finite element model of the human thoracolumbar spine with a burst fracture of the Th12 vertebra was developed, along with a transpedicular stabilization system. Four transpedicular fixation options were modeled using short and long screws passing through the anterior surface of the vertebral body, as well as models with and without cross-links. **Results.** It was found that for models with short screws without cross-

links, long screws without cross-links, short screws with cross-links, and long screws with cross-links, the stress values in the body of the injured vertebra were 19.7, 29.3, 19.2, and 29.0 MPa, respectively. Regarding the metal-bone contact zones, peak loads were identified at the screw entry point into the L2 vertebral arch and amounted to 11.1, 23.3, 11.1, and 22.1 MPa for the respective models. At the same time, the highest stress values were observed in the transpedicular screws within the L2 vertebral body — 42.9, 45.5, 40.6, and 42.8 MPa, respectively. **Conclusions.** During trunk extension, the use of cross-links reduces the stress levels at all control points of the models, regardless of the length of the fixation screws. However, the use of bicortical screws is associated with an increase in stress levels specifically in the injured vertebra.

Keywords: thoracolumbar junction; traumatic injury; transpedicular fixation; burst fracture; trunk extension

РЕАБІЛІТАЦІЯ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТІВ І ТРАВМ

НЕВРОЛОГІЧНА КЛІНІКА "АКСІМЕД"



АКСІМЕД
КЛІНІКА СУЧАСНОЇ НЕВРОЛОГІЇ

ВУЛ. ТУМАНЯНА, 3 • AKSİMED.UA
(044) 390-00-55

20 РОКІВ
ДОСВІДУ

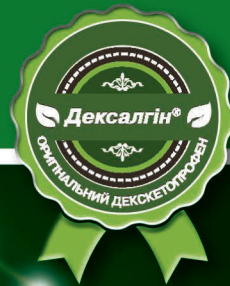


САМОПІКУВАННЯ МОЖЕ БУТИ ШКІДЛИВИМ ДЛЯ ВАШОГО ЗДОРОВ'Я

Симптоматичне лікування гострого болю ^{1,2,3,*}

Дексалгін®

декскетопрофену трометамол



ШВИДКА ³⁻⁵ та **ЕФЕКТИВНА** ^{1,6-10}
знеболювальна дія



Інформація про рецептурні лікарські засоби для спеціалістів охорони здоров'я, медичних і фармацевтичних працівників.

Фармакотерапевтична група. Нестероїдні протизапальні та протиревматичні засоби. Похідні пропіонової кислоти. Код АТХ M01A E17.

ДЕКСАЛГІН® ІН'ЄКТ. **Склад:** 1 таблетка, вкрита плівковою оболонкою, містить декскетопрофену трометамолу 36,9 мг, що еквівалентно декскетопрофену 25 мг. **Лікарська форма.** Таблетки, вкриті плівковою оболонкою. **Показання.** Симптоматична терапія болю від легкого до помірного ступеня, наприклад, м'язово-скелетний біль, болісні менструації (дисменорея), зубний біль. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до декскетопрофену, будь-якого іншого нестероїдного протизапального засобу (НПЗЗ) або до допоміжних речовин препарату. Помірне або тяжке порушення функції нирок (кліренс креатиніну ≤ 59 мл/хв). Тяжке порушення функції печінки (10-15 балів за шкалою Чайлда-П'ю) та інші. **Спосіб застосування та дози.** Дорослим. Залежно від виду та інтенсивності болю рекомендована доза становить 12,5 мг (1/2 таблетки, вкритої плівковою оболонкою) кожні 4-6 годин або 25 мг (1 таблетка, вкрита плівковою оболонкою) кожні 8 годин. Добова доза не повинна перевищувати 75 мг. Небажаний дії препарату можна звести до мінімуму шляхом застосування мінімально ефективних доз протягом якомога коротшого проміжку часу, необхідного для усунення симптомів. Дексалгін® не передбачений для тривалої терапії; лікування триває, поки є симптоми. Одночасний прийом з іншою спільною всмоктування лікарського засобу, тому при гострому болю рекомендовано приймати препарат не менше ніж за 30 хвилин до їди. **Побічні реакції.** Найчастіше спостерігаються побічні реакції з боку травного тракту. Повний перелік протипоказань, побічних реакцій, а також докладну інформацію про спосіб та особливості застосування можна знайти в інструкції для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® від 03.03.2023 р. № 428, РП № UA/9258/01/01. **Виробник.** Laboratorios Menarini S. A. Альфонс XII, 587, Бадалона, Барселона, 08918 Іспанія. А. Менаріні Мануфактурінг Логістік енд Сервісес С.р.л. Віа Кампо ді Піле, 67100 Л'Аква (АК), Італія.

ДЕКСАЛГІН® ІН'ЄКТ. **Склад:** 1 мл розчину для ін'єкцій/інфузій містить декскетопрофену трометамолу 36,9 мг, що еквівалентно декскетопрофену 25 мг (одна ампула по 2 мл містить декскетопрофену трометамолу 73,8 мг, що еквівалентно декскетопрофену 50 мг). **Лікарська форма.** Розчин для ін'єкцій/інфузій. **Показання.** Симптоматичне лікування гострого болю середньої та високої інтенсивності у випадках, коли пероральне застосування препарату недоцільне, наприклад, при післяопераційних болях, ниркових коликах та болю у попереку. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до декскетопрофену, будь-якого іншого нестероїдного протизапального засобу (НПЗЗ) або до допоміжних речовин препарату. Помірне або тяжке порушення функції нирок середнього або тяжкого ступеня (кліренс креатиніну ≤ 59 мл/хв). При тяжкому порушенні функції печінки (10-15 балів за шкалою Чайлда-П'ю) та інші. **Спосіб застосування та дози.** Дорослим. Рекомендована доза становить 50 мг з інтервалом 8-12 годин. При необхідності повторну дозу вводять через 6 годин. Максимальна добова доза не має перевищувати 150 мг. **ДЕКСАЛГІН® ІН'ЄКТ** призначений для короточасного застосування, тому його слід застосовувати тільки у період гострого болю (не довше 2 діб). Пацієнтів слід переводити на пероральне застосування анальгетиків, якщо це можливо. Побічні реакції можна скоротити за рахунок застосування найменшої ефективної дози протягом якомога коротшого проміжку часу, необхідного для покращення стану. **Побічні реакції.** Порушення з боку травного тракту спостерігалися найчастіше. Повний перелік протипоказань, побічних реакцій, а також докладну інформацію про спосіб та особливості застосування можна знайти в інструкції для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® ін'єкт від 18.10.2023 р. № 1808, РП № UA/3764/01/01. **Виробник.** Альфасісма С.П.А., вул. Енріко Фермі, 1 - 65020 Аланно (Пескара), Італія.

ДЕКСАЛГІН® САШЕ. **Склад:** декскетопрофену трометамолу: 1 ододозовий пакет містить декскетопрофену трометамолу 36,9 мг, що еквівалентно декскетопрофену 25 мг. **Лікарська форма.** Гранули для орального розчину. **Показання.** Короточасне симптоматичне лікування гострого болю від легкого до середнього ступеня тяжкості, наприклад, м'язово-скелетний біль, дисменорея та зубний біль. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до декскетопрофену, будь-якого іншого нестероїдного протизапального засобу (НПЗЗ) або до допоміжних речовин препарату. Помірне або тяжке порушення функції нирок (кліренс креатиніну ≤ 59 мл/хв). Тяжке порушення функції печінки (10-15 балів за шкалою Чайлда-П'ю) та інші. **Спосіб застосування та дози.** Дорослим. Залежно від виду та інтенсивності болю рекомендована доза становить 25 мг кожні 8 годин. Добова доза не повинна перевищувати 75 мг. Небажаний дії препарату можна звести до мінімуму шляхом застосування мінімально ефективної дози протягом якомога коротшого проміжку часу, необхідного для усунення симптомів. Перед застосуванням розчинити вміст всієї 1 пакету у склянки води та добре перемішати для кращого розчинення. Отриманий розчин слід приймати відразу після приготування. Дексалгін® саше призначений тільки для короточасного застосування, необхідного для усунення симптомів. **Побічні реакції.** Порушення з боку травного тракту спостерігалися найчастіше. Повний перелік протипоказань, побічних реакцій, а також докладну інформацію про спосіб та особливості застосування можна знайти в інструкції для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® саше від 03.03.2023 р. № 428, РП № UA/9258/02/01. **Виробник.** Laboratorios Menarini S. A. Альфонс XII, 587, Бадалона, Барселона, 08918 Іспанія.

¹ Інструкція для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® ін'єкт від 03.03.2023 р. № 428, РП № UA/9258/01/01. ² Інструкція для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® саше від 03.03.2023 р. № 428, РП № UA/9258/02/01. ³ Інструкція для медичного застосування лікарського засобу Дексалгін® ін'єкт від 18.10.2023 р. № 1808, РП № UA/3764/01/01. ⁴ Sanchez-Carpena J, et al. Comparison of dexketoprofen trometamol and dipyrone in the treatment of renal colic. Clin Drug Invest 2003, 23:139-152. ⁵ Barbojn MJ, et al. Clinical pharmacokinetics of dexketoprofen. Clin Pharmacokinet 2001, 40:245-262. ⁶ Marengo JL, et al. A multicentre, randomised, double-blind study to compare the efficacy and tolerability of dexketoprofen trometamol versus diclofenac in the symptomatic treatment of knee osteoarthritis. Clin Drug Invest 2000, 19:247-256. ⁷ Metscher B, et al. Dexketoprofen-trometamol and tramadol in acute lumbago. Fortschr Med Onk 2000, 118:147-151. ⁸ Leman P, et al. Randomised controlled trial of the onset of analgesic efficacy of dexketoprofen and diclofenac in lower limb injury. Emerg Med J 2003, 20:511-513. ⁹ Ay, MO et al. Comparison of the Analgesic Efficacy of Dexketoprofen Trometamol and Meperidine HCl in the Relief of Renal Colic. American Journal of Therapeutics 2013, May 9, 1-8. ¹⁰ Karaman Y, et al. Efficacy of Dexketoprofen trometamol for acute postoperative pain relief after ENT surgery: a comparison with paracetamol and metamizole. Nobel Medicus, 2010, 6(2), 47-50.

* Показання: симптоматичне лікування гострого болю від легкого до помірного ступеня тяжкості (Дексалгін® ін'єкт) та сильного (Дексалгін® саше) болю. Пацієнтам особливих груп (літнього віку, при порушеннях функції печінки легкого та помірного ступеня тяжкості, при порушеннях функції нирок легкого ступеня тяжкості) дозу препарату слід підбирати індивідуально. Обов'язково уважно ознайомтеся з повною інструкцією для медичного застосування лікарських засобів Дексалгін® ін'єкт від 18.10.2023 р. № 1808, Дексалгін® ін'єкт від 18.10.2023 р. № 1808, Дексалгін® саше від 03.03.2023 р. № 428, а саме з повним переліком побічних ефектів, особливостей застосування, способом застосування та дозами. Дексалгін® не передбачений для тривалої терапії; лікування триває, поки є симптоми. Дексалгін® ін'єкт призначений для симптоматичного лікування гострого болю середньої та високої інтенсивності у випадках, коли пероральне застосування препарату недоцільне. Дексалгін® ін'єкт призначений для короточасного застосування, тому його слід застосовувати тільки у період гострого болю (не довше 2 діб). Пацієнтів слід переводити на пероральне застосування анальгетиків, якщо це можливо. Дексалгін® саше призначений тільки для короточасного застосування, необхідного для усунення симптомів.