



# Травма

[www.mif-ua.com](http://www.mif-ua.com)



Том 27, № 2, 2026

# 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 січні 2000 року  
Періодичність виходу 6 разів на рік

Том 27, № 2, 2026

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

Volume 27, № 2, 2026

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 27, № 2, 2026

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



*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, https://trauma-journal.com

Електронні адреси для звертань

*З питань публікації статей*

fedorklimovitskiy@gmail.com

medredactor.vdz@gmail.com

*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 № 1 від 26.02.2026 р.*

*Реєстрація: ідентифікатор медіа R30-05649. Рішення  
Національної ради України з питань телебачення  
та радіомовлення № 3279 від 05.12.2024. Адреса,  
за якою здійснюється редакційний контроль: Україна,  
м. Кропивницький, вул. Ю. Коваленка, буд. 4а*

Українською та англійською мовами

Формат: 60x84/8. Ум. друк. арк. 13,49.

Тираж 8000 прим. Зам. 2026-trauma-131.

Видавець Заславський О.Ю.

oleksandrzaslavsky@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 2128 від 13.05.2005

Друк: ТОВ «Ландпрес»

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),

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, 2026

© НДІ травматології та ортопедії Донецького національного медичного університету, 2026

© Заславський О.Ю., 2026

# ТРАВМА

## Travma

Specialized reviewed  
practical scientific journal

Volume 27, № 2, 2026

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



**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-journal.com>

**Correspondence addresses**

**Editorial office address**

fedorklimovitskiy@gmail.com

medredactor.vdz@gmail.com

**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. 1 dated 26.02.2026*

*Registration: Media identifier R30-05649. Decision of the National Council of Ukraine on Television and Radio Broadcasting No. 3279 dated December 5, 2024. The address at which the editorial control is carried out: Ukraine, Kropyvnytskiy, Yu. Kovalenka st., 4a*

In Ukrainian and English

Folio: 60x84/8. Printer's sheet 13,49.

Circulation 8000. Order 2026-trauma-131.

Publisher Zaslavsky O.Yu.  
oleksandrzaslavsky@gmail.com  
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),

**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, 2026  
© Research and Development Institute of Traumatology and Orthopedics of Donetsk National Medical University, 2026  
© Zaslavsky O.Yu., 2026

## ЗМІСТ

## Оригінальні дослідження

- Бур'янов О.А., Кваша В.П., Кравчук М.В.,  
Мясніков Д.В., Дебич А.П.  
Сучасні технології лікування пацієнтів  
з поєднаними переломами ключиці  
та ребер ..... 6
- Долгополов О.В., Безрученко С.О.,  
Салюк Р.В., Суворов В.Л., Карпінська О.Д.,  
Карпінський М.Ю.  
Експериментальне дослідження стабільності  
остеосинтезу перелому надплечового  
відростка та ості лопатки із дефектом кісткової  
тканини накістковими пластинами ..... 13
- Нікітін О.Д., Кордубайло І.А., Нішкумай О.І.,  
Резніков Г.Д., Міке К.С. Chan, Клокол Д.Є.  
Особливості лікування остеопенії  
в пацієнтів із сечокам'яною хворобою ..... 23
- Чорна В.В., Гуменюк Н.І., Кривецька Н.В.,  
Нестерова С.Ю., Іщенко О.В.  
Ретроспективний порівняльний аналіз  
особливостей офтальмологічних ушкоджень,  
хірургічного лікування та медичної реабілітації  
військовослужбовців у різних регіонах ..... 30
- Кузь У.В., Дівнич Ю.О., Гудз І.М.,  
Василюк С.М., Ничвид Є.В., Дубас В.І.,  
Омельчук В.П., Сулима В.С.  
Малоінвазивна гібридна фіксація  
та реабілітація при переломах  
надп'яtkово-гомількового суглоба типу В/С  
за Danis-Weber у пацієнтів із цукровим  
діабетом: порівняльні результати ..... 41
- Євсеєнко В.Г., Зазірний І.М., Левицький Є.А.,  
Бородюк Д.В.  
Порівняльний аналіз результатів зворотного  
ендопротезування плечового суглоба  
з дефектами суглобової поверхні лопатки:  
огляд літератури ..... 52

## Contents

## Original Researches

- O.A. Burianov, V.P. Kvasha, M.V. Kravchuk,  
D.V. Miasnikov, A.P. Debych  
Modern technologies for treating patients  
with combined fractures of the clavicle  
and ribs ..... 6
- O.V. Dolhopolov, S.O. Bezruchenko,  
R.V. Saliuk, V.L. Suvorov, O.D. Karpinska,  
M.Yu. Karpinsky  
Experimental study on the stability of  
osteosynthesis for a fracture of the suprahumeral  
process and the scapular spine with a bone  
tissue defect using bone plates ..... 13
- O.D. Nikitin, I.A. Kordubailo, O.I. Nishkumay,  
H.D. Reznikov, Mike K.S. Chan, D.Ye. Klokol  
Specific features of osteopenia management  
in patients with nephrolithiasis ..... 23
- V.V. Chorna, N.I. Humeniuk, N.V. Kryvetska,  
S.Yu. Nesterova, O.V. Ishchenko  
Retrospective comparative analysis  
of ophthalmic injury patterns, surgical  
management, and medical rehabilitation  
of military personnel across different regions ... 30
- U.V. Kuz, Yu.O. Divnych, I.M. Gudz,  
S.M. Vasyliuk, Ye.V. Nychvyd, V.I. Dubas,  
V.P. Omelchuk, V.S. Sulyma  
Minimally invasive hybrid fixation  
and rehabilitation in diabetic patients  
with Danis-Weber B/C  
ankle fractures: comparative  
outcomes ..... 41
- V.H. Yevsieienko, I.M. Zazirnyi, Ye.A. Levytskyi,  
D.V. Borodiuk  
Comparative analysis of outcomes  
of reverse shoulder arthroplasty  
in the presence of glenoid articular  
surface defects: a literature review ..... 52

<i>Гур'єв С.О., Анкін М.Л., Бариллович М.М., Кушнір Г.П.</i>	<i>S.O. Guryev, M.L. Ankin, M.M. Barylovych, H.P. Kushnir</i>
Клініко-епідеміологічна характеристика посттравматичної нейропатії сідничного нерва в постраждалих із пошкодженням кульшової западини ..... 62	Clinical and epidemiological characteristics of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip socket injuries ..... 62
<i>Сокрут М.В., Климовицький Ф.В., Івнєв Б.Б., Сокрут О.П., Литвинова О.В., Сокрут В.М., Попов В.М., Муллахметов А.Г.</i>	<i>M.V. Sokrut, F.V. Klymovytskyi, B.B. Ivniev, O.P. Sokrut, O.V. Lytvynova, V.M. Sokrut, V.M. Popov, A.G. Mullakhmetov</i>
Форми соматогеній, поєднаних із серопозитивним та серонегативним ревматоїдним артритом, з позицій гомеокінезу..... 68	The forms of somatogenies associated with seropositive and seronegative rheumatoid arthritis from homeokinesis perspective..... 68
<i>Головіна Я.О., Малик Р.В.</i>	<i>Ya.O. Golovina, R.V. Malyk</i>
Порівняльний аналіз результатів застосування сегментарної кісткової алопластики та індивідуального модульного ендопротезування..... 74	Comparative analysis of the results of segmental bone alloplasty and modular, custom-made endoprosthesis replacement ..... 74
<i>Герасименко А.С., Юрик О.Є., Герасименко С.І., Бабко А.М., Полулях Д.М., Громадський В.В., Поліщук О.С.</i>	<i>A.S. Gerasymenko, O.Ye. Yurik, S.I. Gerasymenko, A.M. Babko, D.M. Poluliah, V.V. Hromadskyi, O.S. Polishchuk</i>
Біомеханічні передумови тендинопатії власної зв'язки надколінка після артроскопії колінного суглоба..... 82	Biomechanical prerequisites for patellar tendinopathy after knee arthroscopy ..... 82
<b>Лікарю, що практикує</b>	
<i>Григор'єва Н.В., Корж М.О., Тронько М.Д., Маньковський Б.М., Яцишин Р.І., Головач І.Ю., Страфун С.С., Сміян С.І., Гурженко Ю.М., Рекалов Д.Г., Нікітін О.Д., Орленко В.Л., Проценко Г.О., Калашніков А.В., Лучицький В.Є., Мусієнко А.С., за підтримки Української асоціації остеопорозу</i>	<i>N.V. Grygorieva, M.O. Korzh, M.D. Tronko, B.M. Mankovsky, R.I. Yatsyshyn, I.Yu. Golovach, S.S. Strafun, S.I. Smiyan, Yu.M. Gurzhenko, D.G. Rekalov, O.D. Nikitin, V.L. Orlenko, G.O. Protsenko, A.V. Kalashnikov, V.Ye. Luchytskyi, A.S. Musiienko, with the support of Ukrainian Association of Osteoporosis</i>
Рекомендації щодо діагностики, профілактики та лікування остеопорозу у чоловіків ..... 93	Recommendations for the diagnosis, prevention and treatment of osteoporosis in men ..... 93
<b>To General Practitioner</b>	

Бур'янов О.А.<sup>1</sup>, Кваша В.П.<sup>1</sup>, Кравчук М.В.<sup>1</sup>, Мясніков Д.В.<sup>1</sup>, Дебич А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Київська клінічна лікарня на залізничному транспорті № 1, м. Київ, Україна

## Сучасні технології лікування пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер

**Резюме. Актуальність.** Серед постраждалих з множинними травмами приблизно 50 % мають ушкодження грудної клітки, що суттєво впливає на результати лікування та виживаність. У пацієнтів із множинними травмами, які отримали тупу травму грудної клітки, найбільш поширеними ушкодженнями є переломи ребер (86 %), ключиці/ключиць (19 %) або їх комбінації (19 %). Переломи ключиці та ребер вважаються маркерами тяжкості травми грудної клітки, а їх поєднання суттєво підвищують рівень летальності. За результатами аналізу джерел літератури встановлено, що у пацієнтів із тупою травмою грудної клітки та супутніми переломами ключиці не виявлено суттєвих відмінностей між оперативним і консервативним лікуванням переломів ключиці, проте деякі дослідження вказують на значний вплив стабілізації ключиці на кінцеві результати лікування. **Мета:** поліпшити результати лікування пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер шляхом обґрунтування та впровадження сучасних технологій та диференційованої тактики надання допомоги. **Матеріали та методи.** Клінічне дослідження базується на обстеженні та лікуванні 101 пацієнта з поєднаними переломами ключиці та ребер. Середній вік учасників становив  $48,7 \pm 16,4$  року. Постраждалі були розподілені на дві групи: основна — 48 осіб, порівняльна — 53. **Результати.** Серед учасників з поєднаними переломами ключиці та ребер переважали постраждалі чоловічої статі — 85 осіб (84,2 %), жіночої — 16 (15,8 %). Середня кількісна характеристика ушкоджених ребер становить  $4,2 \pm 1,5$  на одного постраждалого. В осіб віком 61 рік і старше цей показник суттєво вищий ( $5,5 \pm 1,4$ ), що можна пояснити віковою втратою еластичності даних структур. За питомою вагою переважають переломи середньої третини ключиці — близько 74,0 %; акроміального кінця — 20,6 %; грудинного — 5,4 %. Після-травматична пневмонія серед пацієнтів основної групи констатована в 31,3 % випадків, у порівняльній — 39,6 %. Представники основної групи мали статистично доведені ( $p \leq 0,05$ ) кращі показники застосування штучної вентиляції легень та терміну перебування у відділенні інтенсивної терапії. Летальність в основній групі становила 4,2 %, в порівняльній — 7,5 %. Дані особи мали два домінуючих конкуруючих ушкодження: травма грудної клітки та черепно-мозкова травма, що зумовило тяжкий або вкрай тяжкий загальний стан. **Висновки.** Поєднані переломи ключиці та ребер частіше зустрічаються у чоловіків (84,2 %) у віковому діапазоні 31–50 років (50,5 %). Середня кількісна характеристика ушкоджених ребер становить  $4,2 \pm 1,5$  на одного постраждалого. В осіб віком 61 рік і старше цей показник суттєво більший ( $5,5 \pm 1,4$ ). За локалізацією серед переломів ключиці переважають переломи середньої третини — близько 74,0 %. Серед супутніх ушкоджень превалюють черепно-мозкові травми — 23,8 % (серед яких відкрита — 41,7 %), які є конкуруючими домінуючими ушкодженнями і суттєво погіршують загальний стан пацієнта, впливають на тактику лікування та показники летальності. Хірургічна стабілізація ключиці та ребер та активна легенева гігієна дозволяють покращити показники післятравматичної пневмонії (31,3 % випадків проти 39,6 %), зменшити потребу в штучній вентиляції легень ( $10,6 \pm 8,4$  проти  $16,7 \pm 7,9$ ), термін перебування у відділенні інтенсивної терапії ( $14,6 \pm 10,6$  проти  $23,6 \pm 10,2$  днів) та показники летальності (4,2–7,5 %), а також відновити функцію плечових суглобів (оцінка за American Shoulder and Elbow Surgeons score  $98,8 \pm 2,8$  проти  $83,0 \pm 11,7$  бала; Shoulder Pain and Disability Index становив  $2,0 \pm 3,2$  проти  $20,7 \pm 22,3$  бала).

**Ключові слова:** політравма; поєднані переломи ключиці та ребер; консервативне лікування; остеосинтез

## Вступ

Серед постраждалих з множинними травмами приблизно 50 % мають ушкодження грудної клітки (ГК), що суттєво впливає на результати лікування та виживаність. У пацієнтів із множинними травмами, які отримали тупу травму ГК, найбільш поширеними ушкодженнями є переломи ребер (86 %), ключиці/ключиць (19 %) або їх комбінації (19 %). Переломи ключиць та переломи ребер вважаються маркерами тяжкості травми грудної клітки, а їх поєднання суттєво підвищують рівень летальності. У цьому контексті смертність серед осіб з травмою ГК становить близько 30 %. Пошкодження легені, яка є органом-мішенню для вторинного післятравматичного запалення, є чинником розвитку поліорганної недостатності та зумовлює пізню летальність (близько 24 %) [1, 2].

Попри це, поєднані переломи ключиці та множинні переломи, особливо верхніх ребер, можуть призвести до складних деформацій грудної клітки та порушення функції плечового суглоба [3].

Поєднання множинних переломів ребер і ключиці призводять до порушення стабільності та дихальної підтримки ГК і, як наслідок, до респіраторних ускладнень та тривалішої госпіталізації [4].

Тактика лікування ізольованих переломів ключиці та ребер, незважаючи на свою дуалістичність, доволі широко показана в сучасних світових джерелах літератури, однак взаємний вплив цих комбінованих ушкоджень та їх лікування залишаються дискусійними. За результатами аналізу джерел літератури встановлено, що у пацієнтів із тупою травмою грудної клітки та супутніми переломами ключиці не виявлено суттєвих відмінностей між оперативним і консервативним лікуванням переломів ключиці, проте деякі дослідження вказують на значний вплив стабілізації ключиці на кінцеві результати лікування [5, 6]. Однак не можна дійти остаточного висновку за цими результатами через невелику кількість спостережень.

Водночас тривають дискусії щодо того, чи сприяє фіксація перелому ключиці в осіб з поєднаними переломами ребер забезпеченню стабільності грудної стінки та поліпшенню результатів лікування [7].

**Мета:** поліпшити результати лікування пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер шляхом обґрунтування та впровадження сучасних технологій та диференційованої тактики надання допомоги.

## Матеріали та методи

Клінічне дослідження базується на обстеженні та лікуванні 101 пацієнта з поєднаними переломами ключиці та ребер. Середній вік учасників становив  $48,7 \pm 16,4$  року.

Дане клінічне дослідження виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини (2000 р.), включно з переглядом EC-GCP, Конституції та Основ законодавства України про охорону здоров'я (1992 р.), усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень (акт експертизи від 30.04.2025 р.), а також за добровільної згоди пацієнта на участь в дослідженні, підтвердженої підписом в інформованій згоді.

Пацієнти були розподілені на дві групи: основна — 48 постраждалих (проводилось оперативне лікування (металоостеосинтез), порівняльна — 53 (консервативне лікування).

Типування переломів ключиці проводили за класифікацією AO/ASIF [8].

Функціональний стан плечового суглоба оцінювали за шкалою функції плечових суглобів Каліфорнійського університету, Лос-Анджелес (UCLA) [9].

Усі розрахунки виконували за допомогою персонального комп'ютера з використанням комп'ютерних програм статистичного аналізу STAT 12, SPSS, Statgraphics та Microsoft Excel 2016. Відмінність між величинами, які порівнювались, вважалася вірогідною при  $p < 0,05$ .

## Результати

Серед осіб з поєднаними переломами ключиці та ребер ( $n = 101$ ) переважали чоловіки — 85 (84,2 %) осіб, жінок було 16 (15,8 %).

Поєднані переломи ключиці та ребер частіше зустрічаються у чоловіків (84,2 %) у віковому діапазоні 31–50 років (50,5 %). Середня кількісна характеристика ушкоджених ребер становить  $4,2 \pm 1,5$  на одного постраждалого. У пацієнтів віком 61 рік і старше цей показник суттєво більший ( $5,5 \pm 1,4$ ), що можна пояснити віковою втратою еластичності даних структур. Що стосується локалізації переломів ключиці, то отримані дані відповідають показникам при ізольованих переломах. За питомою вагою переважають переломи середньої третини ключиці — близько 74,0 %; акроміального кінця — 20,6 %; грудинного — 5,4 %.

**Таблиця 1. Характеристика пацієнтів з поєднаними ушкодженнями ключиці та ребер**

Вік, роки	n/%	Стать		Кількість ребер (n) (M ± m)	Перелом ключиці (%)		
		Ч	Ж		Грудинний кінець	Середня третина	Акроміальний кінець
20–30	10/9,9	10	0	$3,0 \pm 1,9$	10	70	20
31–40	23/22,8	21	2	$4,5 \pm 1,5$	4,4	73,9	21,7
41–50	28/27,7	25	3	$4,2 \pm 1,4$	3,6	75,0	21,4
51–60	19/18,8	16	3	$3,8 \pm 1,4$	5,3	73,6	21,1
≥ 61	21/20,8	13	8	$5,5 \pm 1,4$	4,8	76,2	19,0
Усього	101/100	85	16	$4,2 \pm 1,5$	5,4	74,0	20,6

Характеристика учасників за обставинами травмування та статтю подана на рис. 1.

Таким чином, у травмогенезі превалюють дорожньо-транспортні пригоди (питома вага становить 64,4 %) як серед чоловіків, так і серед жінок.

Супутніми ушкодженнями були: черепно-мозкові травми (ЧМТ) — 23,8 % (серед яких відкрита — 41,7 %); перелом плечової кістки, передпліччя — 5,9 та 4,0 % відповідно; лопатки — 8,9 %; грудини — 5,0 %; тіл хребців — 4,0 %; великогомілкової кістки — 3,0 %, стегнової — 1,0 %; кісток таза — 2,0; лицьового черепа — 4,0; забої та рани голови, обличчя — 11,9 %.

За поданими даними можна дійти висновку, що конкурентним домінантним ушкодженням у пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер є ЧМТ, яка зустрічається в 23,8 % випадків.

Учасники були розподілені на дві групи: основну (n = 48) та порівняльну (n = 53) (табл. 2).

Згідно з отриманими даними, серед переломів ключиці переважають переломи середньої третини (близько 75 %).

За кількістю ушкоджених ребер найбільшу питому вагу мають переломи > 3 ребер — близько 60 %. Окрім перелому ребер, у пацієнтів діагностовано: забій легень — 47–48 %, пневмоторакс — 29–30 %, гемоторакс — близько 22 % випадків.

Лікування учасників обох груп базувалось на принципах Damage Control Surgery (DCS) та Damage Control Orthopedics (DCO).

### Лікування пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер (група порівняння)

1. Для іммобілізації ключиці використовували стандартизовані ортези.

2. Головним чинником консервативного лікування пацієнтів з переломами ребер було адекватне знеболювання, яке забезпечувалось різнонаправленими заходами:

- епідуральна аналгезія та паравертебральні блокади відповідної ділянки або міжреберного нерва;
- внутрішньовенні, ентральні аналгетики та внутрішньоплевральна аналгезія;
- мультимодальна аналгезія (регіонарні, системні аналгетики та аналгетичні допоміжні засоби).

### Лікування пацієнтів з поєднаними переломами ключиці та ребер (основна група)

1. Перелом ключиці: металоостеосинтез. Показаннями до оперативного лікування були: відкритий перелом; уламковий перелом із потенційною загрозою перфорації шкіри або можливим розвитком ускладнень; перелом зі зміщенням по довжині  $\geq 1$  см в осіб  $\leq 50$  років.

2. Переломи ребер: металоостеосинтез. Показаннями до оперативного лікування були: уламкові переломи  $\geq 3$  ребер зі зміщенням, що супроводжуються парадоксальними рухами грудної клітки або потен-

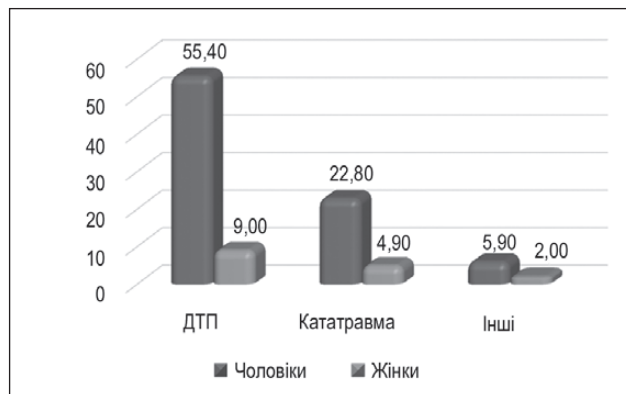


Рисунок 1. Характеристика пацієнтів за обставинами травмування та статтю, %

ційною загрозою ушкодження легень або діафрагми; переломи ребра/ребер з ушкодженнями легень або діафрагми; переломи ребер зі зміщенням, асоційовані з переломом грудини або з двобічними переломами ключиці; гострий респіраторний дистрес-синдром, який супроводжується нестабільністю грудної клітки; патологічна рухомість грудної клітки, яка супроводжується зростанням дихальної недостатності; довготривала (більше місяця) патологічна рухомість грудної клітки; некупований біль при неефективності консервативних заходів.

3. Мультимодальна аналгезія за сходінковим принципом: слабкий біль — ненаркотичні аналгетики, нестероїдні протизапальні препарати (НПЗП) + ад'ювантна терапія; помірний — слабкий опіоїд, ненаркотичні аналгетики, НПЗП + ад'ювантна терапія; сильний — сильний опіоїд, ненаркотичні аналгетики, НПЗП + ад'ювантна терапія.

4. Легенева гігієна.

Протипоказання до оперативного лікування:

- гемодинамічна нестабільність;
- черепно-мозкова травма (шкала коми Глазго  $\leq 10$ );
- інфекція: емпієма плеври, медіастиніт, тяжка пневмонія;
- потреба в тривалій штучній вентиляції легень з інших причин;
- нестабільні переломи хребта або таза (дані переломи стабілізуються першочергово).

Відносні протипоказання до оперативного лікування:

- тяжкий забій контралатеральної легені;
- забруднене хірургічне поле;
- локальна інфекція передньої стінки грудної клітки поза межами операційного поля.

Оптимальним терміном для остеосинтезу переломів ключиці та ребер були перші чотири доби після травми.

При порівняльному аналізі результативності лікування в обох групах враховувались такі показники: легеневі ускладнення; потреба в штучній вентиляції легень; термін перебування у відділенні інтенсивної терапії; летальність; функція плечового суглоба.

Післятравматична пневмонія серед пацієнтів основної групи констатована в 31,3 % випадків, в порівняльній — 39,6 %. Серед учасників обох груп спостерігається тенденція до зростання частоти цього стану з віком. Так, серед молодих осіб віком 20–50 років частка пневмонії становила від 17 до 20 %, у пацієнтів > 50 років — від 31 до 62 % ( $p < 0,05$ ).

Порівняльний аналіз терміну штучної вентиляції легень, перебування у відділенні інтенсивної терапії та летальності подано в табл. 3.

Таким чином, учасники основної групи мали статистично доведені ( $p \leq 0,05$ ) кращі показники щодо штучної вентиляції легень та терміну перебування у відділенні інтенсивної терапії.

Летальність в основній групі становила 4,2 %, в порівняльній — 7,5 %. Дані особи мали два домінуючих конкуруючих ушкодження: травма грудної клітки та ЧМТ, що зумовило тяжкий або вкрай тяжкий загальний стан. Показник за шкалою ISS становив 41,3, за шкалою TS —  $5,9 \pm 1,5$  бала, за шкалою коми Глазго 7–8 балів.

Дані щодо консолідації ключиці у пацієнтів основної та порівняльної групи подані в табл. 4.

Оцінка за ASES для ураженої сторони становила  $83,0 \pm 11,7$  бала, тоді як для неуразеної —  $98,8 \pm 2,8$  бала; SPADI ураженої сторони становив  $20,7 \pm 22,3$  бала, а неуразеної —  $2,0 \pm 3,2$  бала. У 31 (58,5 %) учасника відмічалось вкорочення ключиці, у 6 (11,3 %) — подовження, у 16 (30,2 %) довжина ключиці залишилася незмінною. Результати також показали, що пацієнти страждали переважно від зменшення діапазону рухів та болю в ділянці плечових суглобів. Особи з укороченою ключицею скаржились на біль під час закладення руки за шию та при максимальному відведенні верхньої кінцівки, з подовженою — на труднощі під час розміщення предмета на високій полиці та киданні м'яча.

## Обговорення

Консервативна терапія залишається стандартним методом лікування травм грудної клітки за відсутності її деформації та загрозового зміщення відламків ребер для внутрішніх органів. Спонтанне загоєння ребер пов'язане зі значним болем і дискомфортом, тому основою консервативного лікування є адекватний контроль болю для запобігання вторинним легенеvim ускладненням, що виникають внаслідок недостат-

**Таблиця 2. Характеристика ушкоджень у пацієнтів основної та порівняльної груп**

Характеристика ушкоджень		Основна		Порівняльна		p
		n	%	n	%	
Ключиця	Грудинний кінець	2	4,2	2	3,8	> 0,05
	Середня третина	36	75	40	75,5	> 0,05
	Акроміальний кінець	10	20,8	11	20,8	> 0,05
Кількість ребер	< 3	9	18,8	10	18,9	> 0,05
	3	10	20,8	11	20,8	> 0,05
	> 3	29	60,4	10	60,3	> 0,05
Ускладнення	Забій легень	23	47,9	25	47,2	> 0,05
	Пневмоторакс	14	29,2	16	30,2	> 0,05
	Гемоторакс	11	22,9	12	22,6	> 0,05

**Таблиця 3. Показники терміну штучної вентиляції легень, перебування у відділенні інтенсивної терапії та летальності**

Показник	Група		p
	Основна (n = 48)	Порівняльна (n = 53)	
Штучна вентиляція легень, дні	$10,6 \pm 8,4$	$16,7 \pm 7,9$	0,001
Перебування у відділенні інтенсивної терапії, дні	$14,6 \pm 10,6$	$23,6 \pm 10,2$	0,003
Летальність, %	4,2	7,5	0,014

**Таблиця 4. Результати консолідації ключиці у пацієнтів основної та порівняльної групи, n (%)**

Ознака	Основна (n = 48)	Порівняльна (n = 53)
Несправжній суглоб	1 (2,1)	22 (41,5)
Консолідація зі зміною довжини ключиці	0 (0)	31 (58,5)

ньою вентиляції легень через болючі дихальні рухи. До того ж порушення консолидації призводять до розвитку псевдоартрозу та хронічного болювого синдрому [10–12].

Застережливим чинником для застосування хірургічної стабілізації ребер є можливі ускладнення. Загальний ризик ускладнень, пов'язаних з хірургічним втручанням та імплантатами, становить 10,3 % з інфекцією рани у 2,2 % пацієнтів та інфекцією, пов'язаною з переломом, у 1,3 % осіб. Легеневі ускладнення були виявлені у 30,9 % учасників, а загальна летальність становила 2,9 % та була зумовлена самою травмою, летальні випадки не були безпосередньо пов'язані з хірургічною процедурою, що дає підстави вважати хірургічну стабілізацію безпечною процедурою, яка дозволяє поліпшити якість життя після фіксації перелому ребер (середньозважений індекс EQ-5D 0,80) [13–15].

Останніми роками спостерігається зростання інтересу до оперативного лікування множинних переломів ребер та деформації грудної клітки. Протягом останніх кількох десятиліть досягнуто значного прогресу у лікуванні переломів ребер, включаючи превентивне знеболювання та ранню мобілізацію, агресивну легеневу гігієну, штучну вентиляцію легень за потреби та внутрішню фіксацію ребер (ORIF). ORIF продовжує розвиватися та отримувати визнання завдяки останнім досягненням у технології біоматеріалів та хірургічній техніці і вважається дієвим варіантом лікування [16, 17].

Одним із стримуючих чинників щодо проведення хірургічної стабілізації ребер є додаткова травматичність під час виконання доступу. Загально визнаним є латеральний торакотомічний розріз, оскільки він забезпечує широкий огляд всієї грудної стінки. Однак велика м'язова дисекція, пов'язана з цим доступом, може призвести до негативних наслідків (біль у ранньому післяопераційному періоді, збільшення ризиків інфікування), тому розробка та впровадження щадних технік, які мінімізують ушкодження м'яких тканин, є перспективним напрямком. Водночас з огляду на різноманітний характер переломів ребер (кількість, локалізація, площина зламу) виникає потреба в чіткому передопераційному плануванні хірургічного втручання та ретельній техніці, яка включає малоінвазивний розріз, вибір фіксуючої конструкції та інструментальне забезпечення. Сучасні адитивні технології відіграють важливу роль у цьому напрямі [18–20].

Потребують подальшого вивчення питання щодо показань до вибору методу лікування з урахуванням загального стану пацієнта — гемодинамічно стабільний/нестабільний [5, 22].

Тривають дискусії щодо доцільності стабілізації ключиці в осіб з поєднаними переломами ребер для забезпечення стабільності грудної стінки та поліпшення функції легень.

Більшість дослідників вважає, що стабілізація ключиці не поліпшує легеневі показники та не впливає на кількість ускладнень, однак позитивно впливає на якість життя [6, 7].

Експерсія грудної клітки призводить до посилення болю в ділянці перелому ключиці, а неможливість забезпечення достатньої зовнішньої іммобілізації у даних пацієнтів зумовлює вторинні зміщення відламків та порушує процеси консолидації. Несправжні суглоби ключиці при консервативному лікуванні спостерігаються у 31–42 % випадків, а консолидація при некоректному положенні відламків призводить до зменшення діапазону рухів та болю в ділянці плечових суглобів. Однак оперативне лікування значно знижує частоту незрощень, відновлює анатомічні параметри ключиці, що забезпечує повноцінні рухи в плечовому суглобі та скорочує термін консолидації [22, 23].

В осіб із комбінованими ушкодженнями особливо доцільно виконувати остеосинтез ключиці з використанням концепції малоінвазивного накісткового остеосинтезу пластиною, що забезпечує мінімальну травматичність оперативного втручання та суттєво зменшує частоту ускладнень [25, 26].

## Висновки

1. Поєднані переломи ключиці та ребер частіше зустрічаються у чоловіків (84,2 %) у віковому діапазоні 31–50 років (50,5 %). Середня кількісна характеристика ушкоджених ребер становить  $4,2 \pm 1,5$  на одного постраждалого. В осіб віком 61 рік і старше цей показник суттєво вищий ( $5,5 \pm 1,4$ ), що можна пояснити віковою втратою еластичності даних структур. Що стосується локалізації переломів ключиці, то переважають переломи середньої третини — близько 74,0 %, акроміального кінця — 20,6 %; грудинного — 5,4 %. Серед супутніх ушкоджень превалюють черепно-мозкові травми — 23,8 % (серед яких відкриті — 1,7 %), які є конкуруючими домінуючими ушкодженнями, суттєво погіршують загальний стан пацієнта, впливають на тактику лікування та показники летальності.

2. Хірургічна стабілізація ключиці та ребер, виконана за показаннями, та активна легенева гігієна дозволяють поліпшити показники післятравматичної пневмонії (31,3 % випадків проти 39,6 %), зменшити потребу в штучній вентиляції легень ( $10,6 \pm 8,4$  проти  $16,7 \pm 7,9$ ), зменшити термін перебування у відділенні інтенсивної терапії ( $14,6 \pm 10,6$  проти  $23,6 \pm 10,2$  дня) та показники летальності (4,2 проти 7,5 %), а також відновити функцію в плечових суглобах (за ASES:  $98,8 \pm 2,8$  проти  $83,0 \pm 11,7$  бала; SPADI:  $2,0 \pm 3,2$  проти  $20,7 \pm 22,3$  бала).

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

**Інформація про фінансування.** Автори заявляють про відсутність сторонньої фінансової підтримки даного дослідження.

**Внесок авторів.** Бур'янов О.А. — концепція і дизайн дослідження; Кваша В.П., Дебіч А.П. — аналіз отриманих результатів; Кравчук М.В. — збирання і обробка матеріалів; Мясніков Д.В. — написання тексту.

## Список літератури

1. Sweet A.A.R., Beks R.B., IJpma F.F.A. et al. Epidemiology of combined clavicle and rib fractures: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(5):3513-3520. doi: 10.1007/s00068-021-01701-4.
2. Yeates E.O., Grigorian A., Nahmias J. et al. Isolated thoracic injury patients with rib fractures undergoing rib fixation have improved mortality. *J Surg Res.* 2021;262:197-202. doi: 10.1016/j.jss.2021.01.016.
3. Бур'янов О.А., Кравчук М.В., Кваша В.П., Канзюба А.І. Поєднані ушкодження ключиці та грудної клітки: сучасні погляди на діагностику та лікування. *Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина».* 2025;1(71):10-16. doi: 10.32782/2415-8127.2025.71.2.
4. Bakir M.S., Langenbach A., Pinther M. et al. The significance of a concomitant clavicle fracture in flail chest patients: incidence, concomitant injuries, and outcome of 12,348 polytraumata from the TraumaRegister DGU®. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48:3623-3634. doi: 10.1007/s00068-021-01819-5.
5. Fokin A.A., Hus N., Wycech J. et al. Surgical stabilization of rib fractures: indications, techniques, and pitfalls. *JBJS Essent Surg Tech.* 2020;10(2):0032. doi: 10.2106/JBJS.ST.19.00032.
6. Graf A., Wendler D., Court T. et al. Acute clavicle fixation after blunt chest trauma: effect on pulmonary outcomes and patient disposition. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33:1921-1927. doi: 10.1007/s00590-022-03368-y.
7. Hoepelman Ruben J., van der Linde Rens A., Beeres Frank J.P. et al. In patients with combined clavicle and multiple rib fractures, does fracture fixation of the clavicle improve clinical outcomes? A multicenter prospective cohort study of 232 patients. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2023;95(2):249-255. doi: 10.1097/TA.0000000000004001.
8. Murphy A., Molinari A., Rasuli B. et al. AO classification of clavicle fractures. Reference article, *Radiopaedia.org* (Accessed on 12 Dec 2024). doi: 10.53347/rID-74186.
9. Moorthy V., Chen J.Y., Lee M. et al. The UCLA Shoulder Score Is a Better Predictor of Treatment Success Than the Constant and Oxford Shoulder Scores After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A 2-Year Follow-Up Study. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021;3(2):485-490. doi: 10.1016/j.asmr.2020.11.003.
10. Elawamy A., Morsy M.R., Ahmed M.A.Y. Comparison of Thoracic Erector Spinae Plane Block with Thoracic Paravertebral Block for Pain Management in Patients With Unilateral Multiple Fractured Ribs. *Pain Physician.* 2022;25(6):483-490. PMID: 36122257.
11. Bachoumas K., Levrat A., Le Thuaut A. et al. Epidural analgesia in ICU chest trauma patients with fractured ribs: retrospective study of pain control and intubation requirements. *Ann Intensive Care.* 2020;10(1):116. doi: 10.1186/s13613-020-00733-0.
12. Franssen A.J.P.M., Daemen J.H.T., Luyten J.A. et al. Treatment of traumatic rib fractures: an overview of current evidence and future perspectives. *J Thorac Dis.* 2024;16(8):5399-5408. doi: 10.21037/jtd-23-1832.
13. Peek J., Beks R.B., Hietbrink F. et al. Complications and outcome after rib fracture fixation: A systematic review. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2020;89(2):411-418. doi: 10.1097/TA.0000000000002716.
14. Cooper E., Wake E., Cho C. et al. Outcomes of rib fractures in the geriatric population: A 5-year retrospective, single-institution, Australian study. *ANZ J Surg.* 2021;91(9):1886-1892. doi: 10.1111/ans.17064.
15. Sawyer E., Wullschlegler M., Muller N. et al. Surgical Rib Fixation of Multiple Rib Fractures and Flail Chest: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Surg Res.* 2022;276:221-234. doi: 10.1016/j.jss.2022.02.055.
16. Oppizzi G., Xu D., Patel T. et al. Open reduction internal fixation of rib fractures: a biomechanical comparison between the RibLoc U Plus® system and anterior plate in rib implants. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2023;49(1):383-391. doi: 10.1007/s00068-022-02075-x.
17. Sermonesi G., Bertelli R., Pieracci F.M. et al. Surgical stabilization of rib fractures (SSRF): the WSES and CWIS position paper. *World J Emerg Surg.* 2024;19(1):33. doi: 10.1186/s13017-024-00559-2.
18. Zhang D., Zhou X., Yang Y. et al. Minimally invasive surgery rib fracture fixation based on location and anatomical landmarks. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(5):3613-3622. doi: 10.1007/s00068-021-01676-2.
19. Lo H.L., Lee J.Y., Lu C.K. et al. Ultra minimally invasive surgical stabilization of Rib fractures (uMI-SSRF): reduction and fixation techniques to minimize the surgical wound. *World J Emerg Surg.* 2024;19(1):35. doi: 10.1186/s13017-024-00566-3.
20. Zhou X., Zhang D., Xie Z. et al. Application of pre-operative 3D printing in the internal fixation of posterior rib fractures with embracing device: a cohort study. *BMC Surg.* 2023;23(1):237. doi: 10.1186/s12893-023-02128-x.
21. Hemati K., Gray A.T., Agrawal A. A Comprehensive Review of the Non-operative Management of Traumatic Rib Fractures. *Curr Anesthesiol Rep.* 2024;14:567-575. doi: 10.1007/s40140-024-00645-w.
22. Irfan S.A., Ali A.A., Ashkar A. et al. Predictors requiring special attention to prevent clavicle fracture nonunion: a systematic review of literature. *Trauma Surg Acute Care Open.* 2023;8(1):001188. doi: 10.1136/tsaco-2023-001188.
23. Kamil M. Amer, Dominick V. Congiusta, Pooja Suri et al. Clavicle fractures: Associated trauma and morbidity. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma.* 2021;13:53-56. doi: 10.1016/j.jcot.2020.08.020.
24. Matsubara Y., Nakamura Y., Sasashige Y. et al. Long-term conservative treatment outcomes for midshaft clavicle fractures: a 10-to-30-year follow-up. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):952. doi: 10.1186/s13018-023-04450-9.
25. Devkota P., Acharya B.M., Pradhan N.M.S. et al. Minimally-Invasive Plate Osteosynthesis for Clavicle Fractures. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2021;57(2):295-300. doi: 10.1055/s-0041-1731358.
26. La Banca V., Lima G.H.V., Vigano A.V.P. et al. Complications and clinical outcomes with minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) technique for midshaft clavicle fractures: a systematic review and meta-analysis. *JSES International.* 2024;8(2):257-267. doi: 10.1016/j.jseint.2023.10.007.

Отримано/Received 16.02.2026

Рецензовано/Revised 15.03.2026

Прийнято до друку/Accepted 24.03.2026

**Information about authors**

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

Mykola V. Kravchuk, PhD-student, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: theoned1one@gmail.com; phone: +380 (98) 906-82-08; <https://orcid.org/0009-0000-7890-2491>

Dmytro V. Miasnikov, Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: osokor15@gmail.com; phone: +380 (66) 720-72-82; <https://orcid.org/0000-0002-2019-2471>

Andrian P. Debych, Orthopedic Traumatologist, Department of Orthopedics and Traumatology, Kyiv Clinical Hospital on Railway Transport 1, Kyiv, Ukraine; e-mail: debych668@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-8718-7922>

**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 authors declared that this study has received no financial support.

**Authors' contribution.** O.A. Burianov — research concept and design; V.P. Kvasha, A.P. Debych — analysis of the results obtained; M.V. Kravchuk — collection and processing of materials; D.V. Miasnikov — writing text.

O.A. Burianov<sup>1</sup>, V.P. Kvasha<sup>1</sup>, M.V. Kravchuk<sup>1</sup>, D.V. Miasnikov<sup>1</sup>, A.P. Debych<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kyiv Clinical Hospital on Railway Transport 1, Kyiv, Ukraine

### Modern technologies for treating patients with combined fractures of the clavicle and ribs

**Abstract. Background.** Among patients with multiple injuries, approximately 50 % have chest trauma, which significantly affects treatment outcomes and survival rates. In patients with multiple injuries who have suffered blunt chest trauma, the most common injuries are rib fractures (86 %), clavicle/clavicle fractures (19 %), or a combination of these (19 %). Clavicle and rib fractures are considered markers of chest injury severity, and their combination significantly increases mortality. According to some authors, in patients with blunt chest trauma and concomitant clavicle fractures, no differences were found between surgical and conservative treatment of clavicle fractures, while others point to a significant impact of clavicle stabilization on the final outcomes. The purpose was to improve treatment outcomes in patients with combined clavicle and rib fractures by substantiating and implementing modern technologies and differentiated care. **Materials and methods.** The clinical study is based on the examination and treatment of 101 patients with combined clavicle and rib fractures. Their average age was  $48.7 \pm 16.4$  years. Patients were divided into two groups: the main ( $n = 48$ ) and comparison ones ( $n = 53$ ). **Results.** In the total cohort, males prevailed ( $n = 85$ , 84.2 % versus 16 females (15.8 %)). The average number of damaged ribs was  $4.2 \pm 1.5$  per patient. In patients aged 61 and older, this indicator is significantly higher ( $5.5 \pm 1.4$ ), which can be explained by age-related loss of elasticity of these structures. In terms of specific weight, fractures of the middle third of the clavicle predominate — about 74.0 %; fractures of the acromial end accounted for 20.6 %, of the sternal end — 5.4 %. Post-traumatic pneumonia was found

in 31.3 % of cases in the main group, in the comparison group — in 39.6 %. Patients in the main group had statistically proven ( $p \leq 0.05$ ) better indicators for artificial lung ventilation and length of stay in the intensive care unit. Mortality in the main group was 4.2 %, in the comparison one — 7.5 %. These patients had two dominant competing injuries: chest trauma and traumatic brain injury, which caused severe or extremely severe general condition. **Conclusions.** Combined clavicle and rib fractures are more common in men (84.2 %) in the 31–50 age group (50.5 %). The average number of damaged ribs is  $4.2 \pm 1.5$  per patient. In patients aged 61 and older, this indicator is significantly higher ( $5.5 \pm 1.4$ ). In terms of location, fractures of the middle third of the clavicle prevail — about 74.0 %. Among concomitant injuries, traumatic brain injuries predominate — 23.8 % (of which 41.7 % are open), which are competing dominant injuries, significantly worsen the general condition of the patient, affect treatment tactics and mortality rates. Surgical stabilization of the clavicle and ribs and active pulmonary hygiene improve the rate of post-traumatic pneumonia (31.3 vs. 39.6 % of cases), the need for artificial lung ventilation ( $10.6 \pm 8.4$  vs.  $16.7 \pm 7.9$ ), reduce the length of stay in the intensive care unit ( $14.6 \pm 10.6$  vs.  $23.6 \pm 10.2$ ) and mortality rates (4.2–7.5 %), and restores shoulder joint function (according to American Shoulder and Elbow Surgeons score:  $98.8 \pm 2.8$  points vs.  $83.0 \pm 11.7$  points; Shoulder Pain and Disability Index was  $2.0 \pm 3.2$  points vs.  $20.7 \pm 22.3$  points).

**Keywords:** polytrauma; combined clavicle and rib fractures; conservative treatment; osteosynthesis

DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.27.2026.1071>

Долгополов О.В.<sup>1</sup>, Безрученко С.О.<sup>1</sup>, Салюк Р.В.<sup>1</sup>, Суворов В.Л.<sup>1</sup>, Карпінська О.Д.<sup>2</sup>, Карпінський М.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

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

## Експериментальне дослідження стабільності остеосинтезу перелому надплечового відростка та ості лопатки із дефектом кісткової тканини накістковими пластинами

**Резюме. Актуальність.** Частота переломів лопатки у військовослужбовців, які перебували в зоні бойових дій, приблизно у 20 разів перевищує показники серед цивільного населення. Імовірною причиною невдач фіксації є недостатня стабільність конструкції, особливо у випадках дефекту кісткової тканини. Одним із можливих шляхів підвищення міцності остеосинтезу є використання двох пластин, розташованих в ортогональній площині. **Мета:** експериментально вивчити стабілізуючі властивості різних варіантів остеосинтезу фрагментів перелому надплечового відростка та ості лопатки накістковими пластинами при переломах із дефектом кісткової тканини. **Матеріали та методи.** Дослідження виконували на анатомічних моделях лопатки, виготовлених із поліуретану високої щільності. Для відтворення перелому створювали модельований дефект надплечового відростка та ості лопатки довжиною 20 мм. Вивчали два варіанти остеосинтезу — однією пластиною та двома пластинами (по 5 зразків). Визначали величину переміщення фрагментів лопатки під впливом навантаження у двох площинах (вертикальній і горизонтальній). Навантаження збільшували від 0 до 50 Н з кроком 10 Н. **Результати.** Остеосинтез надплечового відростка лопатки однією пластиною забезпечує стабільну фіксацію фрагментів лише у вертикальній площині, коли навантаження діє перпендикулярно до площини накісткової пластини. У такому випадку зміщення відростка можливе лише за умови деформації металевої пластини. Під впливом навантаження у горизонтальній площині відзначаються найбільші величини переміщення, оскільки сила діє паралельно площині пластини, а опір їй забезпечується виключно фіксуючими гвинтами. Таким чином, недоліком остеосинтезу однією пластиною є його ефективність лише у протидії навантаженням у вертикальній площині. Накладання двох пластин на верхню та передню поверхні надплечового відростка забезпечує стабільність конструкції як при вертикальних, так і при горизонтальних навантаженнях. Невелика різниця у величинах переміщень між цими варіантами зумовлена геометричними особливостями пластин: бічна пластина мала меншу товщину порівняно з верхньою, що знижувало її опір горизонтальним навантаженням. **Висновки.** Стабільність моделі фіксації перелому надплечового відростка та ості лопатки з дефектом кісткової тканини істотно залежить від конфігурації остеосинтезу та напрямку прикладеного навантаження. Фіксація однією пластиною на верхній поверхні ключиці забезпечує відносно ефективну протидію вертикальним навантаженням, однак при горизонтальному навантаженні спостерігається значне збільшення переміщення фрагментів, що вказує на недостатню жорсткість конструкції в цій площині. Проте фіксація двома пластинами забезпечує істотно менші переміщення надплечового відростка при навантаженнях в обох площинах, що свідчить про підвищення жорсткості та стабільності конструкції.

**Ключові слова:** лопатка; перелом; остеосинтез; стабільність; навантаження

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

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 Yu. Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of NAMSU, 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.

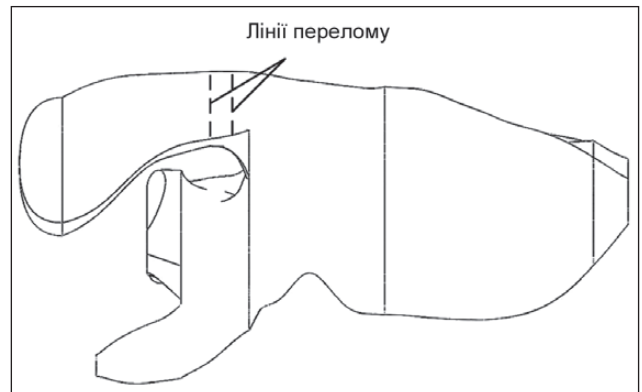
## Вступ

Переломи лопатки належать до відносно рідкісних ушкоджень у цивільній травматології, становлячи близько 1 % усіх переломів скелета людини та 3–5 % ушкоджень плечового пояса [1, 2]. Така низька частота зумовлена анатомічними особливостями лопатки, яка захищена потужним м'язовим шаром і має здатність до амортизації механічного навантаження. [3]. Серед структур лопатки, що найчастіше зазнають ушкодження, виділяють надплечовий (акроміальний) відросток, переломи якого становлять 8–18 % усіх переломів лопатки. Комбіновані ушкодження надплечового відростка та ості лопатки спостерігаються у 9–29 % випадків, що свідчить про складність механізму травми в цій анатомічній ділянці. Рівень подібних ушкоджень у військовослужбовців є значно вищим [4, 5]. За даними D.C. Roberts та співавт., серед 572 переломів верхньої кінцівки у військових було виявлено 44 переломи лопатки (7,7 %) [6]. Подібні результати наведено О.Є. Лоскутовим, який повідомляє, що серед 1809 пораних військовослужбовців у 31,5 % спостерігались вогнепальні переломи, серед яких переломи лопатки і ключиці зафіксовано у 14,7 % пацієнтів [7]. Таким чином, автори наголошують, що частота переломів лопатки у військовослужбовців, які перебували в зоні бойових дій, приблизно у 20 разів перевищує показники серед цивільного населення. Попри наявні повідомлення про успішне хірургічне лікування переломів лопатки, масштабні дослідження, спрямовані на оцінку ефективності сучасних систем фіксації для переломів лопатки, залишаються обмеженими [2]. Низка публікацій вказує на високу частоту ускладнень, як-от незрощення, злам або міграція металофіксаторів при переломах надплечового відростка та ості лопатки [8]. Імовірною причиною невдач фіксації є недостатня стабільність конструкції, особливо у випадках дефекту кісткової тканини. Одним із можливих шляхів підвищення міцності остеосинтезу є використання двох пластин, розташованих в ортогональній площині. Подібний підхід довів свою ефективність при фіксації переломів проксимального відділу плечової кістки, ключиці та передпліччя, однак дослідження ефективності цього методу при переломах надплечового відростка та ості лопатки, особливо в умовах бойової травми, залишаються поодинокими [9–11]. У зв'язку з цим постає необхідність у вивченні біомеханічних характеристик різних варіантів фіксації переломів лопатки з дефектом кісткової тканини, що дозволить визначити оптимальну конфігурацію остеосинтезу для забезпечення максимальної стабільності.

**Мета:** експериментально вивчити стабілізуючі властивості різних варіантів остеосинтезу фрагментів перелому надплечового відростка та ості лопатки накістковими пластинами при переломах із дефектом кісткової тканини.

## Матеріали та методи

У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» були проведені експериментальні дослідження стабілізуючих властивостей остеосинтезу фрагментів перелому надплечового відростка та ості лопатки на-



**Рисунок 1. Схема моделювання перелому надплечового відростка та ості лопатки із дефектом кісткової тканини**

кістковими пластинами при переломах із дефектом кісткової тканини. Робота є продовженням досліджень стабільності остеосинтезу ключиці і лопатки при їх вогнепальних переломах [12]. Експериментальне дослідження виконували на анатомічних моделях лопатки, виготовлених із поліуретану високої щільності, який імітує механічні властивості кортикальної та губчастої кісткової тканини. Для відтворення перелому створювали модельований дефект надплечового відростка та ості лопатки довжиною 20 мм (рис. 1).

Досліджували два варіанти остеосинтезу. Варіант 1: фіксація спеціалізованою блокуючою пластиною 3,5 мм та гвинтами, розташованими на верхній поверхні надплечового відростка та ості лопатки — у горизонтальній площині. Варіант 2: фіксація двома спеціалізованими блокуючими пластинами 3,5 та 2,4 мм та гвинтами, встановленими відповідно по верхній та задній поверхні надплечового відростка та ості лопатки у двох взаємно перпендикулярних (ортогональних) площинах — горизонтальній та вертикальній (рис. 2).

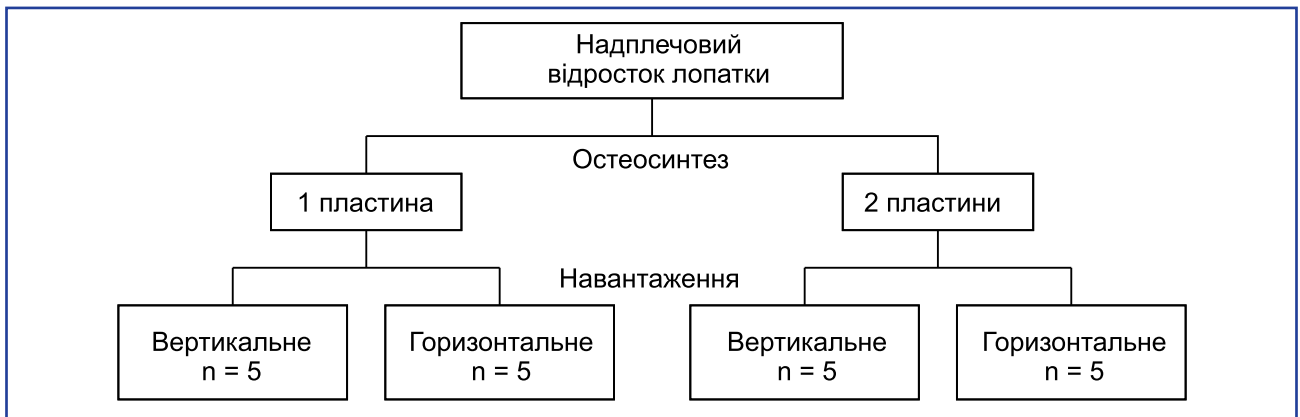
Дизайн експериментального дослідження наведено на рис. 3.

Як показано на схемі, вивчали два варіанти остеосинтезу надплечового відростка та ості лопатки — однією пластиною та двома пластинами. Кожна експериментальна група складалася з 5 зразків. Визначали величину переміщення фрагментів перелому лопатки під впливом навантаження у двох площинах, у вертикальній (зверху донизу) і горизонтальній (спереду назад). Зміна напрямку навантаження здійснювалася шляхом повороту зразка на 90° відносно осі випробувального стенду. Схеми навантаження наведено на рис. 4.

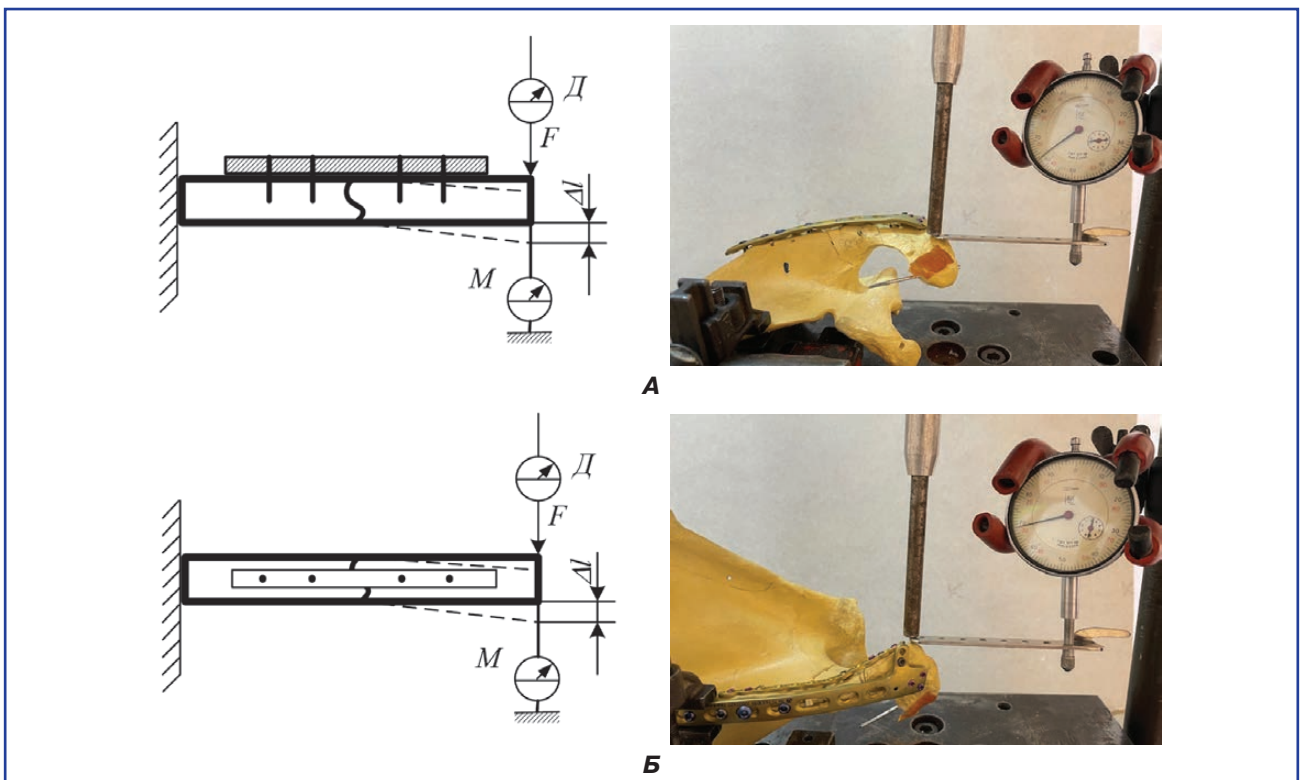
При проведенні випробувань лопатку жорстко закріплювали, навантаження прикладали до її надплечового відростка. Навантаження ступінчасто збільшували від 0 до 50 Н з кроком 10 Н. Вище навантаження не піднімали, оскільки в деяких випадках величина переміщення надплечового відростка перевищувала межу вимірювання мікрометра 10,00 мм. Величину навантаження вимірювали за допомогою тензодинамометричного датчика SBA-100L, результати контролювали за допомогою пристрою рестрації даних CAS типу CI-2001A.



**Рисунок 2. Варіанти остеосинтезу перелому надплечового відростка та ості лопатки із дефектом кісткової тканини: А – однією пластиною; Б – двома пластинами**



**Рисунок 3. Дизайн експерименту**



**Рисунок 4. Схеми навантаження моделей: А – у вертикальній площині (зверху вниз); Б – у горизонтальній площині (спереду назад)**

На кожному кроці збільшення навантаження вимірювали величину переміщення 1 надплечового відростка лопатки за допомогою мікрометричного індикатора часового типу.

Дані були оброблені статистично. Для кожного кластера експерименту визначали середнє значення (М) та стандартне відхилення (SD). Для порівняння груп застосовували багатофакторний дисперсійний аналіз (MANOVA) з подальшим post hoc-тестом Duncan [13].

## Результати

У результаті проведених експериментальних досліджень були отримані дані про величини переміщення надплечового відростка лопатки при різних варіантах його остеосинтезу залежно від напрямку та величини навантаження. Результати статистично оброблено і подано в табл. 1.

Графічно зміни величини переміщення надплечового відростка лопатки залежно від величини і напрямку навантаження при остеосинтезі однією пластиною наведено на рис. 5.

Проведені експериментальні дослідження засвідчили, що стабільність остеосинтезу надплечового відростка лопатки за допомогою однієї пластини істотно залежить від напрямку прикладеного навантаження. У разі дії сили у вертикальній площині, перпендикулярній до площини пластини, зміщення фрагмента залишаються незначними: від  $0,23 \pm 0,02$  мм при навантаженні 10 Н до  $3,19 \pm 0,12$  мм при навантаженні 50 Н. Це свідчить про достатню ефективність пластини у протидії вертикальним навантаженням.

Протилежна ситуація спостерігається при дії навантаження в горизонтальній площині, паралельній до площини пластини. Вже за мінімального навантаження 10 Н зміщення надплечового відростка становить  $2,51 \pm 0,31$  мм, а при навантаженні 50 Н зміщення сягає  $9,64 \pm 0,26$  мм. Подібні результати пояснюються тим, що при вертикальному навантаженні опір забезпечується усією накістковою пластиною, тоді як у разі

горизонтального навантаження основну функцію фіксації виконують лише гвинти, оскільки пластина практично не бере участі у стабілізації.

Розглянемо динаміку надплечового відростка лопатки при остеосинтезі двома накістковими пластинами, розташованими у взаємно перпендикулярних площинах. Графік, який наведений на рис. 6, надає уявлення про характер змін залежно від величини і напрямку навантаження.

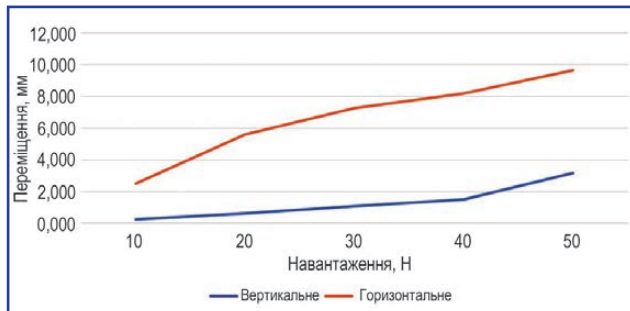
Остеосинтез надплечового відростка та ості лопатки із дефектом кісткової тканини двома пластинами продемонстрував принципово інші результати випробувань. Побудовані графіки показали, що криві залежності величини зміщень від напрямку прикладеного навантаження розташовані майже паралельно, що свідчить про незначний вплив напрямку згинаючої сили на стабільність відростка. При навантаженні 10 Н переміщення залишаються мінімальними та становлять  $0,16 \pm 0,02$  мм у випадку вертикального навантаження і  $0,31 \pm 0,06$  мм — при горизонтальному. Зі зростанням навантаження показники зміщень поступово збільшуються, досягаючи  $1,97 \pm 0,13$  мм при вертикальному навантаженні та  $3,27 \pm 0,13$  мм при горизонтальному. Різниця між цими значеннями становить дещо більше ніж 1,3 мм. Такі результати пояснюються тим, що у випадку використання двох пластин опір навантаженню забезпечується одночасно обома конструкціями — як у вертикальній, так і в горизонтальній площині. Незначні відмінності у величинах переміщень зумовлені різницею у геометричних параметрах пластин, зокрема тим, що бічна пластина має меншу товщину.

На наступному етапі роботи було проведено порівняльний аналіз для виявлення статистично значущих різниць між показниками переміщення надплечового відростка лопатки залежно від варіанта остеосинтезу та напрямку навантаження. Дослідження виконували за допомогою багатофакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan. Результати аналізу при навантаженні 10 Н наведені в табл. 2.

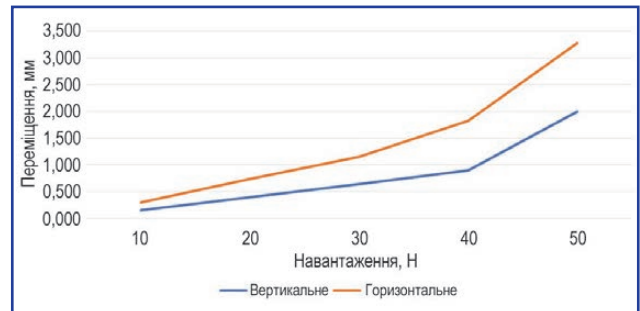
**Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень переміщень надплечового відростка лопатки при різних варіантах його остеосинтезу залежно від напрямку та величини навантаження**

Навантаження		Переміщення, мм	
Напрямок навантаження	Величина, Н	1 пластина	2 пластини
Вертикальне навантаження	10	$0,23 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$
	20	$0,64 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,04$
	30	$1,07 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,07$
	40	$1,51 \pm 0,19$	$0,88 \pm 0,13$
	50	$3,19 \pm 0,12$	$1,97 \pm 0,13$
Горизонтальне навантаження	10	$2,51 \pm 0,31$	$0,31 \pm 0,06$
	20	$5,58 \pm 0,08$	$0,74 \pm 0,09$
	30	$7,25 \pm 0,09$	$1,15 \pm 0,10$
	40	$8,19 \pm 0,16$	$1,83 \pm 0,23$
	50	$9,64 \pm 0,26$	$3,27 \pm 0,13$

Результати дисперсійного аналізу показали, що при навантаженні 10 Н усі досліджувані зразки незалежно від напрямку дії сили та варіанта остеосинтезу забезпечують порівнянну стабільність надплечового відростка лопатки. Єдиним винятком стали зразки з остеосинтезом за допомогою однієї пластини під дією горизонтального навантаження: середнє значення їх переміщень становило 2,51 мм, що дозволило виділити їх в окрему



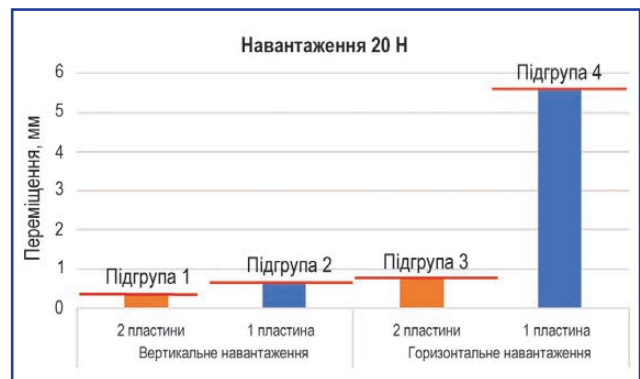
**Рисунок 5.** Графік величини переміщення надплечового відростка лопатки залежно від величини і напрямку навантаження при остеосинтезі однією пластиною



**Рисунок 6.** Графік величини переміщення надплечового відростка лопатки залежно від величини і напрямку навантаження при остеосинтезі двома пластинами



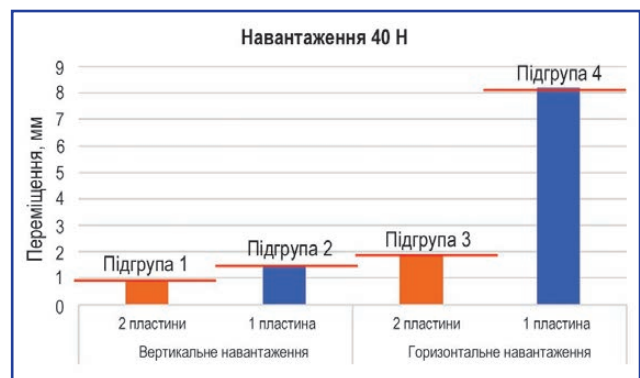
**Рисунок 7.** Розподіл величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 10 Н за критерієм статистично значущої різниці  $\alpha = 0,05$



**Рисунок 8.** Розподіл величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 20 Н за критерієм статистично значущої різниці  $\alpha = 0,05$



**Рисунок 9.** Розподіл величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 30 Н за критерієм статистично значущої різниці  $\alpha = 0,05$



**Рисунок 10.** Розподіл величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 40 Н за критерієм статистично значущої різниці  $\alpha = 0,05$

Підвищення величини навантаження до 20 Н веде до відокремлення всіх груп підслідних зразків залежно від напрямку навантаження і варіанта остеосинтезу, що свідчить про статистичну значущість різниці між ними на рівні  $p < 0,05$ . Найкращий результат продемонстрували зразки з остеосинтезом двома пластинами під впливом вертикального навантаження: середній показник зміщення надплечового відростка лопатки становив 0,39 мм, що віднесло їх до першої підгрупи. Статистично значуще ( $p < 0,05$ ) найгірший результат, в середньому 5,58 мм, показали зразки з остеосинтезом однією пластиною під впливом навантаження в горизонтальній площині, тому вони потрапили до четвертої підгрупи. Зразки з остеосинтезом однією пластиною під впливом вертикального навантаження (середній показник переміщення 0,64 мм) та з остеосинтезом двома пластинами під впливом горизонтального навантаження (0,74 мм) потрапили відповідно до 2-ї та 3-ї підгруп, що означає статистично значущу різницю ( $p < 0,05$ ) як між ними, так між 1-ю та 4-ю підгрупами.

Наочне уявлення про розподіл величин переміщення надплечового відростка лопатки за критерієм статистичної значущості різниці надає діаграма, яка наведена на рис. 8.

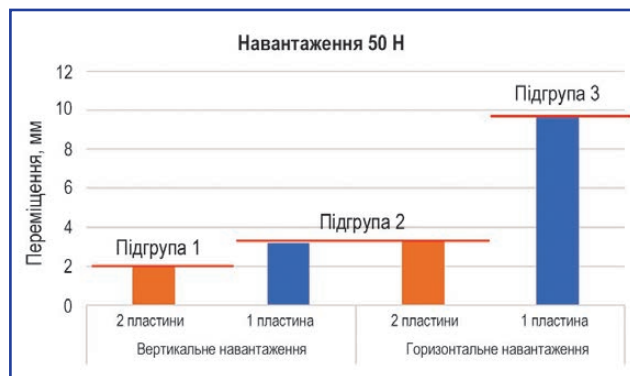
Розглянемо, як вплинуло на величини переміщень надплечового відростка лопатки підвищення величини навантаження до 30 Н. Результати дисперсійного аналізу величин переміщень наведено в табл. 4.

Збільшення навантаження до 30 Н призвело до певних змін у співвідношенні величин переміщень надплечового відростка лопатки за критерієм статистичної значущості. Найкращі результати стабільності ( $p < 0,05$ ) продемонстрували зразки з остеосинтезом двома пластинами при вертикальному навантаженні, середня величина зміщення яких становила 0,64 мм. Найгірші показники ( $p < 0,05$ ) виявлені у зразків з остеосинтезом однією пластиною під дією горизонтального навантаження, за якого середнє зміщення досягло 7,25 мм. Водночас зразки з остеосинтезом однією пластиною при вертикальному навантаженні (1,07 мм) та з остеосинтезом двома пластинами при горизонтальному навантаженні (1,15 мм) продемонстрували близькі результати, різниця між якими не є статистично значущою ( $p = 0,128$ ).

Графічно результати дисперсійного аналізу наведені на діаграмі (рис. 9).

Як поведуться моделі лопатки при підвищенні навантаження до 40 Н залежно від варіанта остеосинтезу та напрямку навантаження, демонструють результати дисперсійного аналізу, які наведені в табл. 5.

Підвищення навантаження до 40 Н знову призвело до чіткого розподілу статистично значущих відмінностей між показниками величини переміщення надплечового відростка лопатки у різних групах зразків. Як і при навантаженні 30 Н, найкращі результати стабільності продемонстрували зразки з остеосинтезом двома пластинами при вертикальному навантаженні, за яко-



**Рисунок 11. Розподіл величин переміщення надплечового відростка та ості лопатки під впливом навантаження 50 Н за критерієм статистично значущої різниці  $\alpha = 0,05$**

го середня величина переміщення становила 0,88 мм ( $p < 0,05$ ). Найгірші показники зафіксовано у групі з остеосинтезом однією пластиною під дією горизонтального навантаження — середнє зміщення сягало 8,19 мм ( $p < 0,05$ ). Крім того, групи з остеосинтезом однією пластиною при вертикальному навантаженні та з остеосинтезом двома пластинами при горизонтальному навантаженні також продемонстрували статистично значущі ( $p < 0,05$ ) відмінності як між собою, так і порівняно з першою та четвертою підгрупами.

Наочно порівняти величини переміщень надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 40 Н можна за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 10.

Результати дисперсійного аналізу величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом максимального навантаження 50 Н наведені в табл. 6.

При максимальному використанню навантаження 50 Н розподіл груп зразків за статистичною різницею середніх показників був таким: найкращий результат (1,97 мм) продемонстрували зразки з остеосинтезом двома пластинами при вертикальному навантаженні ( $p < 0,05$ ), тоді як найгірші показники зафіксовано у зразках з остеосинтезом однією пластиною при навантаженні в горизонтальній площині (9,64 мм) ( $p < 0,05$ ). Групи з остеосинтезом однією пластиною під вертикальним навантаженням з середнім показником 3,19 мм та з остеосинтезом двома пластинами під горизонтальним навантаженням з середнім показником 3,27 мм також статистично значущо відрізнялися між собою та від інших підгруп.

Діаграма, яка наведена на рис. 11, дає наочне уявлення про співвідношення величин переміщення надплечового відростка лопатки під впливом навантаження 50 Н.

## Обговорення

Отримані результати нашого дослідження підтверджують, що застосування двох пластин, розташованих ортогонально, забезпечує вищу стабільність фіксації переломів надплечового відростка та ості лопатки порівняно з остеосинтезом однією пластиною. Це узго-

джується з даними літератури, згідно з якими подвійна фіксація демонструє кращі біомеханічні характеристики у випадках остеопоротичної кістки або при дефектах кісткової тканини. Зокрема, у дослідженні J. Christoph Katthagen та співавт. показано, що при остеопоротичних переломах ості лопатки використання двох пластин забезпечує вірогідно вищу міцність

конструкції порівняно з однопластинною фіксацією (471 Н проти 328 Н;  $p = 0,029$ ). Автори дійшли висновку, що фіксація двома пластинами сприяє більш рівномірному розподілу навантаження та зменшує ризик таких ускладнень, як міграція або злам металофіксаторів, що особливо важливо при остеопоротичних змінах або дефектах кісткової тканини [14]. Результати іншо-

**Таблиця 2. Результати багатофакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan для різних варіантів остеосинтезу надплечового відростка лопатки (переміщення під навантаженням 10 Н)**

Навантаження	Остеосинтез	Підмножина для $\alpha = 0,05$	
		1	2
Вертикальне	2 пластини	0,1630	
	1 пластина	0,2290	
Горизонтальне	2 пластини	0,3050	
	1 пластина		2,5118
Статистична значущість різниці, $p$		0,228	1,000

**Таблиця 3. Результати багатофакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan для різних варіантів остеосинтезу надплечового відростка лопатки (переміщення під навантаженням 20 Н)**

Навантаження	Остеосинтез	Підмножина для $\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
Вертикальне	2 пластини	0,3923			
	1 пластина		0,6354		
Горизонтальне	2 пластини			0,7399	
	1 пластина				5,5808
Статистична значущість різниці, $p$		1,000	1,000	1,000	1,000

**Таблиця 4. Результати багатофакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan для різних варіантів остеосинтезу надплечового відростка та ості лопатки (переміщення під навантаженням 30 Н)**

Навантаження	Остеосинтез	Підмножина для $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
Вертикальне	2 пластини	0,6358		
	1 пластина		1,0702	
Горизонтальне	2 пластини		1,1542	
	1 пластина			7,2524
Статистична значущість різниці, $p$		1,000	0,128	1,000

**Таблиця 5. Результати багатофакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan для різних варіантів остеосинтезу надплечового відростка лопатки (переміщення під навантаженням 40 Н)**

Навантаження	Остеосинтез	Підмножина для $\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
Вертикальне	2 пластини	0,8808			
	1 пластина		1,5080		
Горизонтальне	2 пластини			1,8260	
	1 пластина				8,1884
Статистична значущість різниці, $p$		1,000	1,000	1,000	1,000

**Таблиця 6. Результати багатofакторного дисперсійного аналізу MANOVA за тестом Duncan для різних варіантів остеосинтезу надплечового відростка та ості лопатки (переміщення під навантаженням 50 Н)**

Навантаження	Остеосинтез	Підмножина для $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
Вертикальне	2 пластини	1,9748		
	1 пластина		3,1908	
Горизонтальне	2 пластини		3,2748	
	1 пластина			9,6409
Статистична значущість різниці, $p$		1,000	0,465	1,000

го дослідження, присвяченого біомеханічній оцінці різних методів остеосинтезу переломів надплечового відростка лопатки типу Levy III, також підтверджують перевагу фіксації двома пластинами. При моделюванні сили дельтоподібного м'яза під час відведення плеча на  $40^\circ$  встановлено, що фіксація двома пластинами ( $350 \pm 63$  Н) витримувала максимальне навантаження до руйнування, перевищуючи показники фіксації пластиною на верхній ( $292 \pm 20$  Н) та задній поверхні лопатки ( $217 \pm 49$  Н). Крім того, фіксація двома пластинами супроводжувалася меншими мікрорухами фрагментів, що свідчить про вищу жорсткість системи. Автори дійшли висновку, що розташування пластини на задній поверхні лопатки є недостатньо стабільним і не може бути рекомендованим з біомеханічної точки зору [15].

Проведені нами експериментальні дослідження продемонстрували, що остеосинтез надплечового відростка та ості лопатки однією пластиною забезпечує стабільну фіксацію фрагментів лише у вертикальній площині, коли навантаження діє перпендикулярно до площини пластини. У такому випадку зміщення надплечового відростка лопатки можливе лише за умови деформації самої пластини, яка характеризується високою міцністю. Водночас під впливом горизонтальних навантажень спостерігалися найбільші переміщення фрагментів, оскільки сила діяла паралельно площині пластини, а опір їй забезпечували виключно фіксуючі гвинти, що виявилось недостатнім.

Таким чином, основним недоліком остеосинтезу однією пластиною є його ефективність лише щодо навантажень у вертикальній площині. Застосування двох пластин, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах, дозволяє усунути цей недолік, забезпечуючи стабільність конструкції як при вертикальних, так і при горизонтальних навантаженнях. Отримані результати свідчать, що фіксація пластинами на верхній та задній поверхні надплечового відростка та ості лопатки є біомеханічно оптимальним варіантом фіксації. Невелика різниця у величинах переміщень між варіантами зумовлена геометричними особливостями пластин: бічна пластина мала меншу товщину порівняно з верхньою, що дещо знижувало її опір горизонтальним навантаженням.

Отже, отримані дані підтверджують доцільність фіксації переломів надплечового відростка та ості лопатки двома пластинами, розташованими ортогонально для підвищення стабільності остеосинтезу, особливо у ви-

падках дефектів або зниженої щільності кісткової тканини. З клінічної точки зору такий підхід може поліпшити результати хірургічного лікування при бойових і високоенергетичних травмах, які часто призводять до значних ушкоджень кісткових структур.

## Висновки

1. У ході експериментального дослідження встановлено, що стабільність моделі фіксації перелому надплечового відростка та ості лопатки з дефектом кісткової тканини істотно залежить від конфігурації остеосинтезу та напрямку прикладеного навантаження.

2. Фіксація однією пластиною (3,5 мм) на верхній поверхні ключиці забезпечує відносно ефективну протидію вертикальним навантаженням, однак при горизонтальному навантаженні спостерігається значне збільшення переміщення фрагментів, що вказує на недостатню жорсткість конструкції в цій площині. Проте фіксація двома пластинами (3,5 мм на верхній та 2,4 мм на задній поверхні) забезпечує істотно менші переміщення надплечового відростка при навантаженнях в обох площинах, що свідчить про підвищення жорсткості та стабільності конструкції.

3. Застосування двох пластин у взаємно перпендикулярних площинах нівелює ключовий недолік фіксації однією пластиною та забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження між елементами конструкції, зменшуючи роль гвинтів як єдиного стабілізуючого чинника при горизонтальній силі.

4. Отримані результати обґрунтовують доцільність використання ортогональної фіксації двома пластинами як біомеханічно оптимального варіанта остеосинтезу переломів надплечового відростка та ості лопатки, особливо у випадках дефектів або зниженої щільності кісткової тканини, що має потенційне практичне значення для лікування високоенергетичних та бойових ушкоджень.

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

**Внесок авторів.** Долгополов О.В. — остаточне затвердження статті; Безрученко С.О. — концепція та дизайн роботи; Салюк Р.В. — збір та аналіз даних; Суворов В.Л. — критичний огляд; Карпінська О.Д. — відповідальність за статистичний аналіз; Карпінський М.Ю. — написання статті.

## Список літератури

1. Limb D. Scapula fractures: a review. *EFORT open reviews*. 2021;6(6):518-525. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.210010>.
2. Bi A.S., Kane L.T., Butler B.A., Stover M.D. Outcomes following extra-articular fractures of the scapula: A systematic review. *Injury*. 2020;51(3):602-610. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.01.036>.
3. Nelson C.T., Thorne T.J., Higgins T.F., Rothberg D.L., Haller J.M., Marchand L.S. Posterior Approach for Open Reduction and Internal Fixation for Scapular Fractures. *JBJS essential surgical techniques*. 2023;13(3):e22.00035. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.22.00035>.
4. Ogawa K., Matsumura N., Yoshida A., Inokuchi W. Non-union of the so-called acromion: a systematic review with consideration of the terminology. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2023;143(9):5727-5740. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04912-z>.
5. Sußiek J., Michel P.A., Raschke M.J., Schliemann B., Katthagen J.C. Treatment strategies for scapular spine fractures: a scoping review. *EFORT open reviews*. 2021;6(9):788-796. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200153>.
6. Roberts DC, Power DM, Stapley SA. A review of 10 years of scapula injuries sustained by UK military personnel on operations. *J R Army Med Corps*. 2018;164(1):30-34. <https://doi.org/10.1136/jramc-2017-000773>.
7. Loskutov O., Zherdev I., Domanskyi A., Korol S. Surgical Management of Gunshot Wounds of Extremities in Multiprofiled Hospital. *Trauma*. 2022 Jan. 21;17(3):169-72. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.17.2016.75804>.
8. Vidović D., Benčić I., Čuti T., Bakota B., Bekić M., Dobrić I., et al. Surgical treatment of scapular fractures: Results and complications. *Injury*. 2021;52(5):S38-S43. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.09.031>.
9. Rusimov L. Dual plate fixation of unstable proximal humerus fractures: A Narrative review. *Bulgarian Society of Medical Sciences Journal*. 2025;7:e144938. <https://doi.org/10.3897/bsms.7.144938>.
10. Ayanoğlu T., Ünal H.A., Kalaycıoğlu O. Clinical and radiological comparison of single and double-plate fixation in comminuted clavicular shaft fractures. *Northwestern Medical Journal*. 2025;5(3):151-155. <https://doi.org/10.54307/2025.NWMJ.188>.
11. Jiao F.D., Wang Q., Xue B., Ye P.H., Lu Y., Zhang, J.W. *Zhongguo gu shang*. China journal of orthopaedics and traumatology. 2021;34(6):554-558. <https://doi.org/10.12200/j.issn.1003-0034.2021.06.015>.
12. Долгополов О., Безрученко С., Зінченко В., Суворов В., Карпінська О., Карпінський М. Експериментальне дослідження стабільності металоостеосинтезу ключиці на кістковими пластинами при переломі її акроміального кінця з дефектом кісткової тканини. *Травма*. 2025;26(6):383-392. doi: 10.22141/1608-1706.6.26.2025.1052.
13. Ross A., Willson V.L. Basic and advanced statistical tests. SensePublishers. 2018. <https://doi.org/10.1007/978-94-6351-086-8>.
14. Katthagen J.C., Sußiek J., Frank A., Wermers J., Schliemann B., Raschke M.J. Double plating is associated with higher fixation strength than single plating in osteoporotic fractures of the scapular spine: a biomechanical study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2022;142(8):1859-1864. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03879-z>.
15. Hollensteiner M., Sandriesser S., Rittenschobner F., Hochreiter J., Augat P., Ernstbrunner L., Ortmaier R. Single or Double Plating for Acromial Type III Fractures: Biomechanical Comparison of Load to Failure and Fragment Motion. *Journal of clinical medicine*. 2022;11(11):3130. <https://doi.org/10.3390/jcm11113130>.

Отримано/Received 16.02.2026

Рецензовано/Revised 16.03.2026

Прийнято до друку/Accepted 25.03.2026

## Information about authors

Oleksii V. Dolhopolov, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Severe Skeletal Trauma, Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMSU, Kyiv, Ukraine; e-mail: poloff.a@gmail.com; phone: +380 (50) 358-05-65; <https://orcid.org/0000-0002-5204-6137>

Serhii O. Bezruchenko, PhD in Medicine, Head of the Department of Severe Skeletal Trauma, Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMSU, Kyiv, Ukraine; e-mail: drbezruchenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1575-0344>

Roman V. Saliuk, Orthopedic-Traumatologist, Junior Research Fellow, Scientific, Organizational and Methodological Department, Department of Severe Skeletal Trauma, Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMSU, Kyiv, Ukraine; e-mail: saliukroman9@gmail.com; phone: +380 (96) 808-02-37; <https://orcid.org/0009-0008-7395-854X>

Vasyl L. Suvorov, PhD in Medicine, Head of the Biomechanics Laboratory, Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMSU, Kyiv, Ukraine; e-mail: vasil\_suvorov@ukr.net; phone: +380 (66) 393-72-13; <https://orcid.org/0000-0002-0862-7997>

Olena D. Karpinska, Research Fellow, Biomechanics Laboratory, Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of NAMSU, 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>

Mykhailo Yu. Karpinsky, Senior Research Fellow, Biomechanics Laboratory, Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of NAMSU, 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.

**Authors' contribution.** O.V. Dolhopolov — final approval of the article; S.O. Bezruchenko — work concept and design; R.V. Saliuk — data collection and analysis; V.L. Suvorov — critical review; O.D. Karpinska — responsibility for statistical analysis; M.Yu. Karpinsky — writing the article.

O.V. Dolhopolov<sup>1</sup>, S.O. Bezruchenko<sup>1</sup>, R.V. Saliuk<sup>1</sup>, V.L. Suvorov<sup>1</sup>, O.D. Karpinska<sup>2</sup>, M.Yu. Karpinsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMSU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of NAMSU, Kharkiv, Ukraine

### Experimental study on the stability of osteosynthesis for a fracture of the suprahumeral process and the scapular spine with a bone tissue defect using bone plates

**Abstract. Background.** The frequency of scapular fractures in military personnel who were in the combat zone is approximately 20 times higher than among the civilian population. The probable

cause of fixation failures is insufficient stability of the structure, especially in cases of bone tissue defect. One of the possible ways to increase the strength of osteosynthesis is the use of two plates

located in an orthogonal plane. The purpose was to study in an experiment the stabilizing properties of different variants of osteosynthesis for fragments of a fracture of the suprahumeral process and the scapular spine with a bone tissue defect using bone plates.

**Materials and methods.** The study was performed on anatomical models of the scapula made of high-density polyurethane. To reproduce the fracture, a simulated defect of the suprahumeral process and the scapular spine with a length of 20 mm was created. Two variants of osteosynthesis were studied — with one and two plates (5 samples each). The amount of movement of the scapular fragments under the influence of loading in two planes, vertical and horizontal, was determined. The loading was increased from 0 to 50 N in increments of 10 N. **Results.** Osteosynthesis of the suprahumeral process of the scapula with one plate provides stable fixation of the fragments only in the vertical plane, when the loading acts perpendicular to the plane of the bone plate. In this case, the displacement of the process is possible only if the metal plate is deformed. Under the influence of the load in the horizontal plane, the largest displacements are noted, since the force acts parallel to the plane of the plate, and the resistance to it is provided exclusively by

the fixing screws. Thus, the disadvantage of osteosynthesis with one plate is its effectiveness only in counteracting loads in the vertical plane. The imposition of two plates on the upper and front surfaces of the humeral process ensures stability of the structure both under vertical and horizontal loads. The small difference in the displacement values between these options is due to the geometric features of the plates: the lateral plate had a smaller thickness compared to the upper one, which reduced its resistance to horizontal loads.

**Conclusions.** The stability of the model of fixation for a fracture of the humeral process and the spine of the scapula with a bone tissue defect significantly depends on the configuration of osteosynthesis and the direction of the applied load. Fixation with one plate on the upper surface of the clavicle provides relatively effective resistance to vertical loads, however, with horizontal loading, a significant increase in the movement of fragments is observed, which indicates insufficient rigidity of the structure in this plane. In contrast, fixation with two plates provides significantly smaller movements of the suprahumeral process under loads in both planes, which indicates increased rigidity and stability of the structure.

**Keywords:** scapula; fracture; osteosynthesis; stability; load

DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.27.2026.1072>O.D. Nikitin<sup>1</sup>, I.A. Kordubailo<sup>1,2</sup>, O.I. Nishkumay<sup>1,3,4</sup>, H.D. Reznikov<sup>1</sup>, Mike K.S. Chan<sup>3,4</sup>, D. Ye. Klokoj<sup>3,4</sup><sup>1</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine<sup>2</sup>Kyiv Regional Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine<sup>3</sup>European Wellness Biomedical Group, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia<sup>4</sup>European Wellness Academy, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia

## Specific features of osteopenia management in patients with nephrolithiasis

**Abstract. Background.** Nephrolithiasis (NL) is a common polyetiological urological disease with a multifactorial pathogenesis, characterized by the formation of crystallized structures within the urinary tract. Different types of crystaluria (e.g., oxalate, calcium, phosphate, and uric acid) serve as niduses for stone development, and identifying the specific type of crystaluria through metabolic evaluation is a critical step in personalized management. This profiling not only guides preventive strategies for NL but also has important implications for comorbid conditions such as osteopenia and osteoporosis, where calcium metabolism and urinary excretion patterns are central to therapeutic decision-making. The aim of the study was to evaluate the efficacy and safety of combined calcium citrate salts, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin K<sub>2</sub> in the treatment of osteopenia in patients with NL, with a comprehensive assessment of bone mineral density, bone turnover markers and urinary salt transport. **Materials and methods.** The study was conducted at the Urology Department of Bogomolets National Medical University, Kyiv, at St. Michael's Clinical Hospital of Kyiv, within the framework of the research project "Optimization of the management of patients with urolithiasis and concomitant osteoporosis" (state registration number 0125U000958). A comparative assessment of bone mineral density and trabecular bone score (TBS) in patients with and without NL was performed at the Ukrainian Osteoporosis Center, State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine. Dual-energy X-ray absorptiometry was carried out using the Hologic Discovery system. TBS was evaluated by means of the TBS iNsight software developed by Medimaps (Bordeaux, France). Salt transport parameters, osteopontin, bone markers turnover, and FGF23 were assessed in a certified laboratory by enzyme-linked immunosorbent assay. A total of 104 patients were enrolled in the study, including 21 men (20.19 %) and 83 women (79.81 %). To evaluate the efficacy and safety of combined calcium citrate salts, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin K<sub>2</sub>, participants were divided into groups: group G1 included 14 patients without NL with osteopenia (all women), group G2 consisted of 20 participants with nephrolithiasis and osteopenia (13 women and 7 men). **Results.** The results of the present study underscore the importance of assessing renal salt transport parameters and performing renal ultrasonography prior to initiating osteopenia treatment, in order to identify tubular transport abnormalities and the presence of nephrolithiasis. **Conclusions.** The use of combined calcium citrate salts supplemented with vitamin D<sub>3</sub> and vitamin K<sub>2</sub> appears to be beneficial in osteopenia, especially in predominant oxalaturia. Conversely, in patients with calciuria, particularly in the presence of established nephrolithiasis, calcium supplementation should be avoided and replaced with thiazide diuretics in accordance with urological guidelines.

**Keywords:** nephrolithiasis; osteopenia; oxalaturia; calciuria

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2026

© Видавель Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Нішкумай Ольга Іванівна, доктор медичних наук, професор, кафедра внутрішньої медицини № 2, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна; e-mail: nishkumay@ukr.net; тел.: +380 (50) 917-84-60; старший медичний консультант, European Wellness Biomedical Group, м. Еденкобен, Німеччина — м. Кота-Кінабалу, Малайзія; професор, European Wellness Academy, м. Еденкобен, Німеччина — м. Кота-Кінабалу, Малайзія

For correspondence: Olha Nishkumay, MD, DSc, PhD, Professor of the Department of Internal Medicine 2, Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: nishkumay@ukr.net; phone: +380 (50) 917-84-60; Senior Medical Consultant, European Wellness Biomedical Group, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; Professor, European Wellness Academy, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia-

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

## Introduction

Nephrolithiasis (NL) is a common polyetiologic urological disease with a multifactorial pathogenesis, characterized by the formation of crystallized structures within the urinary tract. The development of urinary stones is influenced by a variety of metabolic and environmental factors, including imbalances in urinary electrolytes, fluid intake, dietary habits, and genetic predisposition. Common risk factors promoting stone formation include hypercalciuria, hyperoxaluria, hypocitraturia, and hyperuricosuria, all of which contribute to supersaturation and precipitation of crystals such as calcium oxalate, calcium phosphate, and uric acid in the urine. These factors can act independently or synergistically to produce a milieu conducive to stone formation [1].

Different types of crystaluria (e.g., oxalate, calcium phosphate, and uric acid) serve as niduses for stone development, and identifying the specific type of crystaluria through metabolic evaluation is a critical step in personalized management. This profiling not only guides preventive strategies for urolithiasis but also has important implications for comorbid conditions such as osteopenia and osteoporosis, where calcium metabolism and urinary excretion patterns are central to therapeutic decision-making [2].

Importantly, the treatment of osteopenia often includes calcium supplementation to improve bone mineral density and reduce fracture risk. However, in patients with a history of urolithiasis — particularly those with calcium-based stones or hypercalciuria — additional calcium intake may paradoxically increase urinary calcium excretion and thus elevate the risk of recurrent stone formation. Recent evidence suggests that individuals with prior kidney stones who are receiving calcium and vitamin D supplements exhibit higher urinary calcium excretion, which can contribute to stone recurrence [3].

Because of this, metabolic evaluation of urinary crystal composition and measures of urinary calcium excretion are of paramount importance before initiating osteoporosis or osteopenia treatment regimens that include calcium supplementation. In patients with documented calcium stone disease or hypercalciuria, urological guidelines often recommend the use of thiazide diuretics to reduce calcium excretion as part of a comprehensive approach to both stone prevention and bone health optimization [4].

Thus, research investigating the efficacy and safety of combined calcium-based therapies in patients with coexisting osteopenia and urolithiasis — with careful monitoring of crystaluria and urinary parameters — is urgently needed to inform clinical practice and optimize outcomes in this challenging patient population [4].

**The aim of the study** was to evaluate the efficacy and safety of combined calcium citrate salts, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin K<sub>2</sub> in the treatment of osteopenia in patients with NL, with a comprehensive assessment of bone mineral density, bone turnover markers and urinary salt transport.

## Materials and methods

The study was conducted on the basis of the Urology Department of the Bogomolets National Medical University, Kyiv (St. Michael's Clinical Hospital of Kyiv), Department

of Urology, Kyiv Regional Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine, according to the scientific work of the Urology department “Optimization of management of patients with urolithiasis with concomitant osteoporosis” (state registration number 0125U000958). All its participants signed the appropriate form of informed consent. All patients underwent questionnaires, physical examination.

## Population

A total of 104 patients were enrolled in the study, including 21 men (20.19 %) and 83 women (79.81 %). The median age of the participants was 57 years [23–83], and the median duration of menopause among women was 8 years [0–20].

All participants were divided into three groups: group I included 41 patients without nephrolithiasis or crystaluria and without exclusion criteria (28 women (68.3 %) and 13 men (31.7 %)). The median age was 58 years [50–65], and the median duration of menopause among women was 8 years [0–18]. Group II consisted of 39 patients with nephrolithiasis, including 22 women (56.4 %) and 17 men (43.6 %). The median age was 55 years [52–61.5], and the median duration of menopause among women was 1 year [0–13.5]. Group III included 24 patients with crystaluria, comprising 20 women (83.3 %) and 4 men (16.7 %). The median age was 57.5 years [52.5–63.75], and the median duration of menopause among women was 11.5 years [2.75–26.5].

To evaluate the efficacy and safety of combined preparations containing calcium citrate salts, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin K<sub>2</sub>, participants were divided to groups: group G1 included 14 patients without NL with osteopenia (all women), group G2 with nephrolithiasis and osteopenia, 20 participants (13 women and 7 men).

## Methods

The diagnosis of NL was established on the basis of the criteria according to the recommendations of the European Association of Urology in 2023 [4] using a questionnaire, about awareness of the presence of urolithiasis in their past medical history, conducting an ultrasound examination of the kidneys, and computed tomography with contrast (if urolithiasis was detected).

The study did not include patients with a chronic disease with a glomerular filtration rate calculated using the CKD-EPI formula approved by the KDIGO 2013 recommendations (GFR < 60 ml/min/1.73 m<sup>2</sup>).

Assessment of the structural and functional state of bone tissue was carried out on the basis of the Ukrainian Osteoporosis Center of the State Institution “D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine. X-ray absorptiometry was performed on the Hologic Discovery device. The following indicators were evaluated: BMD of the lumbar spine (L1–L4, g/cm<sup>2</sup>), right femoral neck (BMD of the right femur, g/cm<sup>2</sup>), left femoral neck (BMD of the left femur, g/cm<sup>2</sup>), ultradistal section of the forearm (BMD of the radius, g/cm<sup>2</sup>). The degree of BMD impairment was assessed by the T-score, which is the deviation from the reference value of the peak bone

mass of a healthy person. According to the recommendations of IOF, in postmenopausal women T-criterion from  $-1$  to  $-2.5$  SD is considered as osteopenia, a decrease in T-criterion  $< -2.5$  SD as osteoporosis. The TBS iNsight method, developed by Medimaps (Bordeaux, France), was used to assess the bone tissue quality (Trabecular Bone Score — TBS, units). This is bone microarchitecture visualization software for densitometers (DXA). Calculates the TBS, which provides extremely useful additional clinical information. The analysis of the indicator is based on the variation of gray shades and the amplitude of the pixel density of the X-ray image (<https://www.medimapsgroup.com/tbs-osteo-reduce-fracture-risk>) [5]. Parameters of osteopontin and fibroblast growth factor-23 (FGF23) were measured in a certified laboratory using ELISA methods. Among the bone markers turnover, serum levels of procollagen type I N-terminal propeptide (P1NP), osteocalcin (OC),  $\beta$ -isomers of the C-terminal telopeptide of type I collagen ( $\beta$ -CTX), 25-hydroxyvitamin D (25(OH)D), and parathyroid hormone (PTH) were assessed using electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) with commercially available test kits from Roche Diagnostics (Germany). Ionized calcium levels were measured using ion-selective electrode technology on the EasyLyte analyzer (Medica, USA).

Among the assessed parameters, the 24-hour urinary excretion of phosphorus, uric acid, calcium, and oxalates was measured using colorimetric methods, while serum levels of calcium, phosphorus, uric acid, and pH were determined using the latex-enhanced method.

## Statistical analysis

Data processing was carried out using MS Excel and Statistica EZR version 1.62-2023 statistical programs. The Shapiro-Wilk W test was used to test the distribution for normality. The frequency of quantitative indices was indicated in absolute (n) and relative (%) frequencies. The quantitative indices are presented in the form of median (Me) for variables with a distribution that was different from the normal one and the interquartile range [IQR] of  $QI \div QIII$  indices. The Mann-Whitney U test was used to assess differences between groups. The difference between the groups was considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

## Results

When bone mineral density was analyzed in relation to the presence of nephrolithiasis and crystalluria, the study groups demonstrated comparable age distribution and duration of menopause ( $p > 0.05$ ). Patients in group II had a significantly higher body mass index compared with those in group I ( $p = 0.01$ ), while no statistically significant difference in BMI was observed between group II and patients with crystalluria.

A significantly lower BMD at the ultradistal radius was identified in group III compared with group II ( $p = 0.02$ ). No significant intergroup differences were detected at other skeletal sites, including estimated fracture risk as assessed by FRAX (total fractures and hip fractures).

Assessment of TBS in group III relative to the control group, indicating impaired trabecular bone quality ( $p < 0.001$ ).

Biochemical evaluation showed no statistically significant differences among the groups in markers of bone remodeling and mineral metabolism, including ionized calcium,  $\beta$ -CTX, P1NP, parathyroid hormone, and serum vitamin D concentrations ( $p > 0.05$ ).

Conversely, serum osteocalcin concentrations were significantly elevated in both group II and group III compared with group I ( $p = 0.003$  and  $p = 0.002$ , respectively). Similarly, osteopontin and fibroblast growth factor 23 levels were markedly higher in groups II and III ( $p < 0.001$  for both markers), with no significant differences observed between patients with nephrolithiasis and those with crystalluria.

Evaluation of renal electrolyte handling demonstrated that patients in group II exhibited significantly higher serum uric acid concentrations compared with group I ( $p = 0.01$ ), while still remaining within established reference ranges. No statistically significant differences were observed among the study groups with respect to serum calcium, phosphorus, and creatinine levels, estimated glomerular filtration rate (eGFR), urinary pH, or urinary excretion of phosphorus; all measured parameters were within normal limits.

In contrast, urinary oxalate excretion was significantly increased in both group II and group III when compared with group I ( $p = 0.001$  and  $p < 0.001$ , respectively), with no significant difference detected between groups II and III.

Additionally, urinary uric acid excretion was significantly elevated in group III relative to group I ( $p = 0.002$ ), although values for all participants remained within laboratory reference intervals.

Calciuria was detected in 3 patients (7.7 %) in group II and in 2 patients (8.3 %) in group III; however, the overall group analysis did not demonstrate any deviation from reference values.

The next stage of our research was to assess the safety and effectiveness of osteopenia treatment in patients with nephrolithiasis.

Further evaluation of the efficacy and safety of therapy in patients with NL was performed in subgroups of patients diagnosed with osteopenia.

All patients received a combined formulation containing the following active ingredients: calcium citrate 2400 mg (equivalent to 500 mg of elemental calcium), magnesium (as magnesium citrate) 25 mg, zinc (as zinc citrate) 3.75 mg, vitamin K<sub>2</sub> (menaquinone-7) 50  $\mu$ g, and vitamin D<sub>3</sub> (cholecalciferol) 10  $\mu$ g (400 IU).

Treatment efficacy was evaluated after 6 months of therapy.

In group G1, after 6 months of treatment in bone mineral density (BMD) increased at the level of the lumbar spine ( $p = 0.03$ ), similar to that observed in group G2 ( $p = 0.04$ ).

Following treatment, patients in the group without nephrolithiasis demonstrated a trend toward a reduction in the bone resorption marker  $\beta$ -CTX ( $\beta$ -terminal telopeptide of type I collagen), osteocalcin, and parathyroid hormone levels, along with an increase in serum vitamin D concentrations ( $p > 0.05$ ). No significant changes were observed in osteopontin or serum phosphorus levels ( $p > 0.05$ ). In contrast, a statistically significant decrease in FGF23 was noted after treatment ( $p = 0.03$ ).

Evaluation of renal salt transport parameters in group G1 revealed trends toward increased serum calcium and serum uric acid levels, accompanied by reductions in urinary phosphorus and urinary uric acid excretion; however, these changes were not statistically significant ( $p > 0.05$ ).

During treatment, a significant reduction in urinary oxalate excretion (Fig. 1) ( $p = 0.001$ ), urinary calcium excretion (Fig. 3) ( $p = 0.04$ ), and urinary pH levels ( $p = 0.04$ ) was observed, which may be attributed to the administration of calcium citrate salts.

At baseline evaluation, hypercalciuria was detected in 3 patients with nephrolithiasis (7.7 %) in group G2. Consequently, these patients underwent monthly monitoring of renal salt transport parameters. After one month of osteopenia treatment with combined calcium citrate preparations, all three patients demonstrated an increase in urinary calcium excretion, which led to discontinuation of calcium supplementation and the initiation of thiazide diuretic therapy (indapamide at a dose of 2.5 mg/day), in accordance with the 2023 European Association of Urology (EAU) guidelines for the management of patients with hypercalciuria [4].

Repeat monitoring performed one month after the initiation of thiazide diuretic therapy demonstrated normalization of renal salt transport parameters, which remained stable throughout the remainder of the 6-month treatment period.

In patients with nephrolithiasis, a reduction in urinary oxalate excretion during calcium citrate therapy was observed, comparable to that seen in the group without nephrolithiasis (Fig. 2) ( $p = 0.0008$ ). Serum and urinary uric acid levels, as well as urinary pH, showed a trend toward reduction ( $p > 0.05$ ), which may be attributed to the effects of calcium citrate supplementation, close clinical monitoring, and dietary modification recommendations provided during the study period.

Serum calcium levels, urinary calcium excretion, and urinary phosphorus excretion demonstrated a trend toward increase; however, these changes did not reach statistical significance ( $p > 0.05$ ).

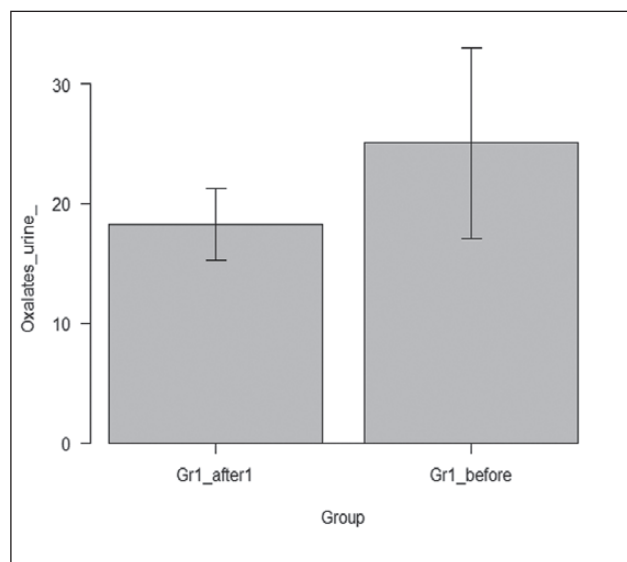
## Discussion

Thus, a 6-month administration of the combined preparation containing calcium citrate with vitamins D<sub>3</sub> and K<sub>2</sub> demonstrated an increase in bone mineral density (BMD) at the lumbar spine in both study groups.

During treatment, a decrease in FGF23 levels was observed in both groups. In contrast to participants in group G1, patients with urolithiasis exhibited a statistically significant reduction in osteocalcin ( $p = 0.001$ ) and osteopontin ( $p = 0.04$ ) levels, without significant changes in bone resorption markers.

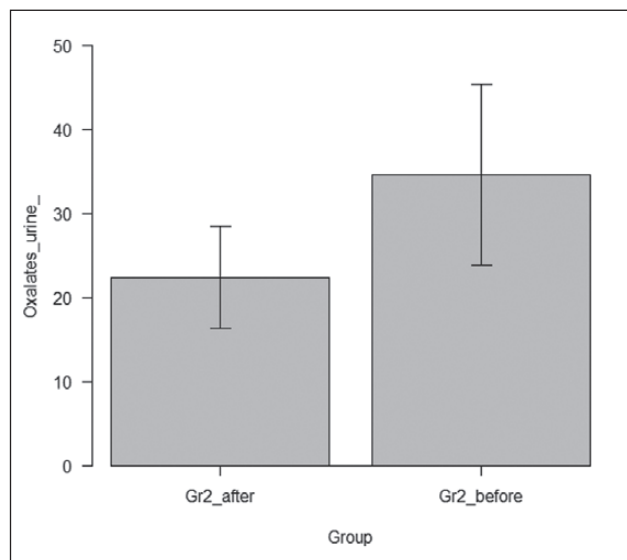
The observed differences in the dynamics of FGF23, osteocalcin, and osteopontin during therapy with combined calcium citrate, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin K<sub>2</sub> preparations may be explained by distinct pathophysiological mechanisms of bone remodeling and mineral homeostasis in patients with and without nephrolithiasis. FGF23 is a key hormone regulating phosphate metabolism and vitamin D activity, and its elevation is commonly associated with

relative phosphate overload, impaired renal excretion, and compensatory responses to disturbances in calcium-phosphate balance [6, 7]. Therefore, more pronounced metabolic alterations in patients with urolithiasis suggest the involvement of tubular dysfunctions contributing to abnormal calcium-phosphate metabolism, activation of calcification factors, enhanced crystal excretion, and stone formation.



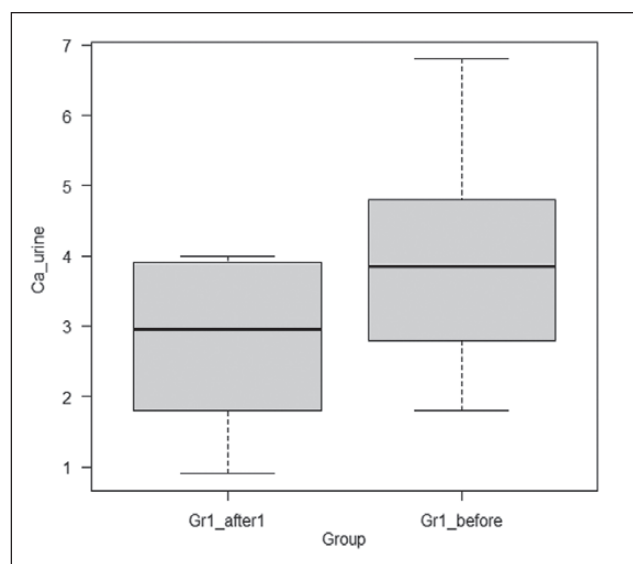
**Figure 1. Comparison of oxalates urine salt transport results in patients without NL before and after treatment**

**Notes (here and in Fig. 2): interval estimation of the average values of oxalates urine (the average value, the error of the average and the 95% probable interval of the average are indicated); significant difference between the indicators,  $p < 0.05$ .**



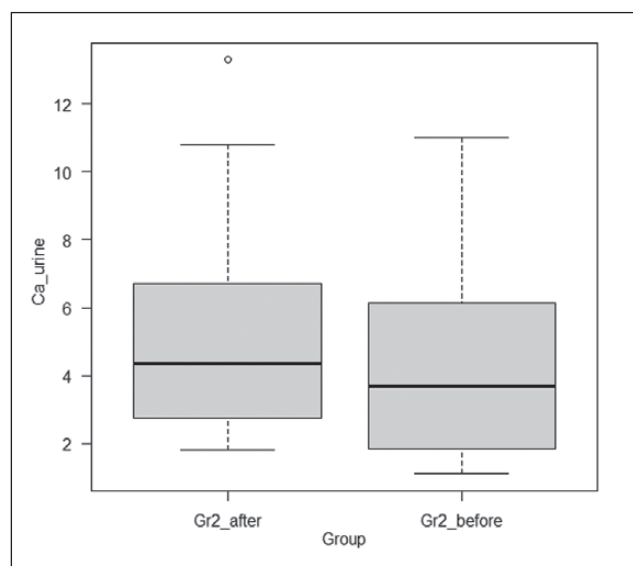
**Figure 2. Comparison of oxalates urine salt transport results in patients with NL before and after treatment**

The reduction of FGF23 levels in both groups indicates normalization of phosphate homeostasis, decreased need for compensatory phosphaturic mechanisms, and stabilization of the bone-kidney axis. Consequently, the decrease in FGF23 represents an expected and universal effect of adequate calcium and vitamin supplementation, regardless of the presence of urolithiasis [8].



**Figure 3. Comparison of Ca urine salt transport results in patients without NL before and after treatment**

**Notes (here and in Fig. 4): interval estimation of the average values of Ca urine (the average value, the error of the average and the 95% probable interval of the average are indicated); significant difference between the indicators,  $p < 0.05$ .**



**Figure 4. Comparison of Ca urine salt transport results in patients with NL before and after treatment**

More pronounced changes in osteocalcin and osteopontin — markers not only of bone remodeling but also of calcification and nephrolithiasis — may be attributed to the fact that, unlike patients without urolithiasis, individuals with nephrolithiasis initially exhibit increased bone turnover, subclinical inflammatory-mineral imbalance, and activation of proteins involved both in bone mineralization and stone formation [9].

Osteopontin is a dual-function protein: in bone tissue, it serves as a marker of active remodeling, whereas in the kidneys it acts as a crystallization matrix and an inhibitor of stone growth. Its reduction in patients with urolithiasis during therapy may reflect decreased crystalluria, stabilization of calcium-phosphate metabolism, and reduced need for compensatory osteopontin expression as a protective protein. In patients without urolithiasis, such compensatory activation is absent, which explains the lack of significant changes in osteopontin levels [10, 11].

Osteocalcin is a marker of active bone formation but also reflects high bone turnover, which is characteristic of hypercalciuria, nephrolithiasis, and increased calcium loss from bone. A decrease in osteocalcin levels in patients with urolithiasis may indicate normalization of bone metabolism, reduction of excessive bone turnover, and more effective retention of calcium within bone tissue under the influence of calcium citrate and vitamin  $K_2$ . In patients without urolithiasis, baseline bone remodeling rates are physiological; therefore, additional correction does not lead to significant changes in osteocalcin levels [12].

Assessment of urinary salt transport demonstrated a positive effect of combined therapy with calcium citrate, vitamin D, and vitamin  $K_2$  not only on improving lumbar spine BMD and reducing FGF23 levels, but also on decreasing oxalaturia in both groups. These findings are consistent with current concepts of metabolic regulation of calcium and oxalate in the kidneys and bone tissue.

First, calcium citrate is a potent inhibitor of calcium oxalate crystal formation, as it reduces urinary supersaturation and increases urinary pH, thereby preventing crystallization of calcium and oxalate salts. This is supported by contemporary nephrological literature regarding the role of citrate in preventing calcium oxalate nephrolithiasis (2025) [13].

Second, optimization of calcium metabolism using bioavailable calcium forms and vitamin D may reduce intestinal oxalate absorption, as calcium binds oxalate in the intestinal lumen, decreasing the amount of free oxalate absorbed and subsequently excreted in the urine. This mechanism has been described in modern studies on dietary factors and stone risk, where adequate calcium intake is associated with reduced oxalaturia and a lower risk of calcium oxalate stone formation [14].

Third, vitamin D enhances calcium absorption and normalizes bone metabolic processes, which may indirectly reduce excessive calcium mobilization from bone and related alterations in salt transport. Studies [15] demonstrate complex relationships between serum 25-hydroxyvitamin D levels and stone risk, highlighting the need for careful monitoring of calcium and phosphate metabolism during osteopenia treatment.

Finally, vitamin K<sub>2</sub> enhances calcium binding within the bone matrix and promotes calcium deposition in bone via activation of vitamin K-dependent proteins such as osteocalcin. This may contribute to reduced free urinary calcium and, indirectly, lower the risk of calcium oxalate crystallization. Although long-term clinical studies directly assessing the effect of vitamin K<sub>2</sub> on oxalaturia are limited, this mechanism aligns with current concepts of calcium homeostasis regulation [16]. Ongoing studies evaluating menaquinone levels and dp-ucMGP in calcium stone formers compared with controls are crucial for understanding the role of vitamin K<sub>2</sub> in this process [17].

The litholytic effect of vitamin K<sub>2</sub> derived from marine algae has been attributed to its influence on the restoration of low-molecular-weight marine polysaccharides on oxalate-damaged epithelial cells of human proximal renal tubules (HK-2). Oxalates are toxic to tubular epithelial cells at concentrations exceeding 5 mmol/L. These polysaccharides include *Laminaria japonica* polysaccharide, degraded polysaccharides of *Porphyra yezoensis*, *Gracilaria lemaneiformis*, *Sargassum fusiforme*, *Eucheuma gelatinae*, and others [18].

Collectively, these mechanisms may explain why combined therapy with calcium, vitamin D, and vitamin K<sub>2</sub> in the studied patients resulted not only in increased BMD and reduced FGF23 levels but also in a significant decrease in oxalaturia in both groups, which is of major importance for nephrolithiasis prevention and improvement of metabolic status in comorbid conditions.

An important aspect of metaphylaxis of urolithiasis and osteopenia treatment in the presence of hypercalciuria should be emphasized. In our study, hypercalciuria in patients with urolithiasis progressed during the first month of treatment with combined calcium citrate preparations. Switching to thiazide diuretics, in accordance with the 2022 European Association of Urology guidelines, resulted in normalization of urinary salt transport parameters, which remained stable until the end of the observation period. These findings highlight the importance of assessing urinary salt transport prior to initiating osteopenia therapy in order to prevent pathological hypercalciuria, a known risk factor for the development and progression of nephrolithiasis.

**Limitations and strengths of the study.** The limitations are related to the characteristics of the sample: a significant preponderance of women in the study (80 %) and a relatively small sample size (104 participants). Strengths of the study: a comprehensive examination of both the state of the bone system and the urinary system.

## Conclusions

The management of patients with comorbid metabolic bone disease and NL remains a complex and, to date, insufficiently resolved clinical challenge. The results of the present study underscore the importance of assessing renal salt transport parameters and performing renal ultrasonography prior to initiating osteopenia treatment, in order to identify tubular transport abnormalities and the presence of nephrolithiasis.

The findings obtained at baseline are critical for determining subsequent therapeutic strategies in patients with this comorbid pathology. In cases of predominant oxalaturia, the use of combined calcium citrate salts supplement-

ted with vitamin D<sub>3</sub> and vitamin K<sub>2</sub> appears to be beneficial. Conversely, in patients with calciuria, particularly in the presence of established nephrolithiasis, calcium supplementation should be avoided and replaced with thiazide diuretics in accordance with urological guidelines.

Further prospective studies are warranted to develop integrated, evidence-based protocols for the management of impaired bone mineral density and NL in patients with overlapping metabolic disorders.

## References

1. Thakore P, Liang TH. Urolithiasis. In: *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; June 5, 2023.*
2. Ng DM, Haleem M, Mamuchashvili A, et al. Medical evaluation and pharmacotherapeutic strategies in management of urolithiasis. *Ther Adv Urol.* 2021;13:1756287221993300. doi: 10.1177/1756287221993300.
3. Shi L, Bao Y, Deng X, Xu X, Hu J. Association between calcium and vitamin D supplementation and increased risk of kidney stone formation in patients with osteoporosis in Southwest China: a cross-sectional study. *BMJ Open.* 2025;15(2):e092901. doi: 10.1136/bmjopen-2024-092901.
4. Geraghty RM, Davis NF, Tzelves L, et al. Best Practice in Interventional Management of Urolithiasis: An Update from the European Association of Urology Guidelines Panel for Urolithiasis 2022. *Eur Urol Focus.* 2023;1:199-208. doi: 10.1016/j.euf.2022.06.014.
5. Hans D, Goertzen AL, Krieg MA, Leslie WD. Bone microarchitecture assessed by TBS predicts osteoporotic fractures independent of bone density: the Manitoba study. *J Bone Miner Res.* 2011;26(11):2762-2769. doi: 10.1002/jbmr.499.
6. Brzęczek M, Hyla-Klekot L, Kokot F, Synder M. Contribution of Bone Tissue to Regulation of Calcium and Phosphate Metabolism. Role of FGF23 and Klotho Protein. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2020;22(2):69-76. doi: 10.5604/01.3001.0014.1153.
7. Sirikul W, Siri-Angkul N, Chattipakorn N, Chattipakorn SC. Fibroblast Growth Factor 23 and Osteoporosis: Evidence from Bench to Bedside. *Int J Mol Sci.* 2022;23(5):2500. doi: 10.3390/ijms23052500.
8. Martínez-Heredia L, Canelo-Moreno JM, García-Fontana B, Muñoz-Torres M. Non-Classical Effects of FGF23: Molecular and Clinical Features. *Int J Mol Sci.* 2024;25(9):4875. doi: 10.3390/ijms25094875.
9. Allam EAH. Urolithiasis unveiled: pathophysiology, stone dynamics, types, and inhibitory mechanisms: a review. *Afr J Urol.* 2024;30:34. doi: 10.1186/s12301-024-00436-z.
10. Yuan Q, Jiang Y, Zhao X, et al. Increased osteopontin contributes to inhibition of bone mineralization in FGF23-deficient mice. *J Bone Miner Res.* 2014;29(3):693-704. doi: 10.1002/jbmr.2079.
11. Duque EJ, Giachelli C, Moyses RMA. The role of osteopontin in chronic kidney disease-mineral bone disorder. *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2025;34(4):291-296. doi: 10.1097/MNH.0000000000001074.
12. Quarles LD. A systems biology preview of the relationships between mineral and metabolic complications in chronic kidney disease. *Semin Nephrol.* 2013;33(2):130-142. doi: 10.1016/j.semnephrol.2012.12.014.
13. Zomorodian A, Moe OW. Citrate and calcium kidney stones. *Clin Kidney J.* 2025;18(9):sfaf244. doi: 10.1093/ckj/sfaf244.

14. Bargagli M, Ferraro PM, Vittori M, Lombardi G, Gambaro G, Somani B. Calcium and Vitamin D Supplementation and Their Association with Kidney Stone Disease: A Narrative Review. *Nutrients*. 2021;13(12):4363. doi: 10.3390/nu13124363.

15. Zhang F, Li W. Uncovering the subtle relationship between vitamin D and kidney stones: a cross-sectional NHANES-based study. *Eur J Med Res*. 2025;30(1):202. doi: 10.1186/s40001-025-02474-x.

16. Chmiel JA, Stuivenberg GA, Al KF, et al. Vitamins as regulators of calcium-containing kidney stones — new perspectives on the role of the gut microbiome. *Nat Rev Urol*. 2023;20(10):615–637. doi: 10.1038/s41585-023-00768-5.

17. Stanford J, Charlton K, Stefoska-Needham A, Ibrahim R, Lambert K. The gut microbiota profile of adults with kidney disease and kidney stones: a systematic review of the literature. *BMC Nephrol*. 2020;21(1):215. doi: 10.1186/s12882-020-01805-w.

18. Bhadja P, Tan CY, Ouyang JM, Yu K. Repair Effect of Seaweed Polysaccharides with Different Contents of Sulfate Group and Molecular Weights on Damaged HK-2 Cells. *Polymers (Basel)*. 2016;8(5):188. doi: 10.3390/polym8050188.

Received 16.02.2026

Revised 14.03.2026

Accepted 23.03.2026

#### Information about authors

Oleh Nikitin, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Urology Department, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: nikitin.uro@gmail.com; phone: +380 (67) 209-42-22; <https://orcid.org/0000-0002-6563-7008>

Iliia Kordubailo, PhD-student, Urology Department, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kordubailo@ukr.net; phone: +380 (95) 721-38-60; Surgeon, Department of Surgery and Transplantation, Kyiv Regional Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-7087-561X>

Olha Nishkumay, MD, DSc, PhD, Professor of the Department of Internal Medicine 2, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: nishkumay@ukr.net; phone: +380 (50) 917-84-60; Senior Medical Consultant, European Wellness Biomedical Group, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; Professor, European Wellness Academy, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; <https://orcid.org/0000-0001-9958-0858>

Hennadii Reznikov, PhD in Medicine, Associate Professor, Urology Department, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: hennadii.reznikov@gmail.com; phone: +380 (50) 904-95-33; <https://orcid.org/0000-0001-8603-9851>

Mike K.S. Chan, Co-Owner & Founder, European Wellness Biomedical Group, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; Senior Technical Consultant, Professor, European Wellness Academy, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; e-mail: info@european-wellness.com; <https://orcid.org/0000-0002-9046-3863>

Dmytro Klokol, MD, PhD, Head of Medical Advisory Board, European Wellness Biomedical Group, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; Professor, European Wellness Academy, Edenkoben, Germany — Kota-Kinabalu, Malaysia; e-mail: dr.dmytro@european-wellness.com; <https://orcid.org/0009-0005-4791-4402>

**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.** Nikitin O.D. — formulation of the purpose and design of the research, examination and consultation of patients in the study, writing the article; Nishkumay O.I. — formulation of the purpose and design of the research, consultation of patients in the study, writing the article; Kordubailo I.A. — recruitment of patients in the study, examination of the patients and statistical processing of information, writing the article; Reznikov H.D. — recruitment of patients in the study and statistical processing of information; Mike K.S. Chan, D.Ye. Klokol — review of literary data using information analysis of the database of literary sources.

Нікітін О.Д.<sup>1</sup>, Кордубайло І.А.<sup>1,2</sup>, Нішкумай О.І.<sup>1,3,4</sup>, Резніков Г.Д.<sup>1</sup>, Міке К.С. Чан<sup>3,4</sup>, Клокол Д.Є.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Київська обласна клінічна лікарня, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>European Wellness Biomedical Group, м. Еденкобен, Німеччина — м. Кота-Кінабалу, Малайзія

<sup>4</sup>European Wellness Academy, м. Еденкобен, Німеччина — м. Кота-Кінабалу, Малайзія

## Особливості лікування остеопенії в пацієнтів із сечокам'яною хворобою

**Резюме. Актуальність.** Сечокам'яна хвороба (СКХ) — поширене поліетіологічне урологічне захворювання із багатофакторним патогенезом, що характеризується утворенням кристалізованих структур у сечовивідних шляхах. Різні типи кристалурії (наприклад, оксалатна, кальційфосфатна та сечо-кисла) слугують основою розвитку каменів, і визначення конкретного типу шляхом метаболічної оцінки є критичним кроком у персоналізованому лікуванні. Це не тільки обумовлює профілактичні стратегії лікування СКХ, але й має важливі наслідки для супутніх захворювань, зокрема остеопенії та остеопорозу, за яких метаболізм кальцію і особливості екскреції з сечею є центральними для прийняття терапевтичних рішень. **Мета:** оцінити ефективність та безпеку комбінованих препаратів кальцію в лікуванні остеопенії в пацієнтів із СКХ, із комплексною оцінкою мінеральної щільності кісткової тканини, маркерів ремоделювання кісток, остеопонтину, FGF23 та транспорту солей. **Матеріали та методи.** Дослідження проводилося на базі урологічного відділення Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (Свято-Михайлівська клінічна лікарня, м. Київ) у межах наукової роботи кафедри «Оптимізація ведення хворих на уролітіаз із супутнім остеопорозом» (номер державної реєстрації 0125U000958). Виконано порівняльну оцінку мінеральної щільності кісткової тканини, показника якості кісткової тканини (TBS) у пацієнтів із та без СКХ на базі Українського центру остеопорозу (ДУ «Інститут геронтології імені Д.Ф. Че-

ботарьова Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна). Рентгеновську абсорбціометрію проведено на приладі Hologic Discovery. Для оцінки TBS було використано програмне забезпечення TBS iNsite, розроблене компанією Medimaps (Бордо, Франція). Параметри транспорту солей, рівні остеопонтину й FGF23 визначали в сертифікованій лабораторії за допомогою імуноферментного аналізу. У дослідженні взяли участь 104 пацієнти: 21 чоловік (20,19 %) та 83 жінки (79,81 %). Для оцінки ефективності й безпеки комбінованих препаратів, що містять солі цитрату кальцію, вітамін D<sub>3</sub> та вітамін K<sub>2</sub>, учасників було розділено на групи: група G1 включала 14 пацієнтів без СКХ з остеопенією (усі жінки), група G2 — 20 осіб із СКХ та остеопенією (13 жінок та 7 чоловіків). **Результати.** Результати цього дослідження підкреслюють важливість оцінки параметрів транспорту солей у нирках і проведення ультразвукового дослідження нирок перед початком лікування остеопенії, щоб виявити порушення каналцевого транспорту та наявність СКХ. **Висновки.** Застосування солей цитрату кальцію з додаванням вітамінів D<sub>3</sub> та K<sub>2</sub> виявляється корисним при остеопенії, особливо при переважній оксалатурії. І навпаки, пацієнтам із кальціурією, зокрема за наявності встановленої СКХ, слід уникати прийому кальцію та замінювати його тіазидними діуретиками відповідно до урологічних рекомендацій.

**Ключові слова:** сечокам'яна хвороба; остеопенія; оксалатурія; кальціурія

V.V. Chorna<sup>1</sup>, N.I. Humeniuk<sup>1</sup>, N.V. Kryvetska<sup>1</sup>, S.Yu. Nesterova<sup>2</sup>, O.V. Ishchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vinnitsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnitsia, Ukraine

<sup>2</sup>Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnitsia, Ukraine

## Retrospective comparative analysis of ophthalmic injury patterns, surgical management, and medical rehabilitation of military personnel across different regions

**Abstract. Background.** In the context of intensive hostilities, early diagnosis of ophthalmic injuries, well-defined patient routing, and a multidisciplinary approach to treatment are of critical importance. Most injuries are caused by blast, shrapnel, and fragment mechanisms, resulting in high-energy penetrating wounds, extensive destruction of ocular anatomical structures, and combined craniofacial trauma. The purpose of this study was to perform a retrospective comparative analysis of international and national scientific evidence and to analyze the structure of ophthalmic injuries and the specific features of surgical management among military personnel in different regions of Ukraine. The study sought to identify regional variations in the patterns and severity of ocular trauma, the extent and tactical approaches of surgical interventions, and to evaluate the influence of injury mechanisms, timeliness of specialized ophthalmic care, and organizational aspects of patient routing on clinical outcomes. **Materials and methods.** The study employed content analysis of national and international scientific sources, as well as systematic literature review, analytical, and statistical research methods. The analysis was based on data from 78 military personnel who received treatment in two regions of Ukraine. **Results.** Prevalence and nature of ocular injuries: in both cohorts, the most frequently recorded injuries were penetrating globe injuries with intraocular foreign bodies (17.1 % in Haisyn and 33.3 % in Cherkasy) and traumatic cataracts (11.4 % and 11.1 %, respectively), indicating the significant role of mechanical, including penetrating, trauma in the development of severe ophthalmic complications. The incidence of burns and open wounds was lower: in Haisyn, both accounted for 8.6 %, whereas in Cherkasy, open wounds were detected in 29.6 % of patients and burns were absent. Ocular contusions were less common, occurring in 2.9 % of cases in Haisyn and 22.2 % in Cherkasy. Regional differences: in the second cohort (Cherkasy), the proportion of ocular injuries with intraocular foreign bodies (33.3 vs. 17.1 % in Haisyn) and open wounds (29.6 vs. 8.6 %) was significantly higher, indicating a more severe injury profile and a greater prevalence of penetrating trauma. The frequency of ocular contusions (22.2 %) and the decreased incidence of purulent endophthalmitis (7.4 vs. 14.3 % in Haisyn) reflect different trauma mechanisms and variations in the course of complications. Prevalence of surgical interventions: in the first sample (Haisyn), the most frequently performed procedures were "other surgical interventions" — 40.0 %, foreign body removal — 20.0 %, evisceration and surgical wound management — 14.3 % each, lens extraction with implantation — 11.4 %. In the second sample (Cherkasy), surgical wound management predominated — 46.9 %, intraocular foreign body removal was performed in 21.9 % of cases, lens extraction — in 9.4 %, evisceration — in 6.25 %, and other interventions — in 15.5 %. **Conclusions.** Timely integration of early surgical intervention, coordination of a multidisciplinary team, and implementation of modern rehabilitation approaches significantly improve anatomical and functional outcomes, reduce the risk of vision and eye loss, and promote more effective social and professional reintegration of affected military personnel.

**Keywords:** ophthalmic combat injury; military personnel; early surgical intervention; standardized clinical protocols; national combat injury registry; medical rehabilitation

## Introduction

In conditions of intense combat and limited time resources, early diagnosis of ophthalmic injuries, clear patient triage, and the application of a multidisciplinary approach to eye trauma management are of particular importance. Timely primary surgical wound management, appropriate ophthalmic surgical interventions, and subsequent specialized treatment can significantly improve anatomical and functional outcomes, reduce the risk of vision or eye loss, and optimize the rehabilitation prognosis for injured military personnel.

The incidence of combat-related ophthalmic injuries ranges from 13.0 to 16.0 % and ranks fourth in the overall structure of injuries sustained in the combat zone. The majority of these injuries are caused by explosive, shrapnel, and fragment mechanisms, resulting in high-energy penetrating wounds, significant destruction of ocular anatomical structures and adnexa, and the formation of complex craniofacial trauma [1, 2].

Prolonged combat operations in Ukraine have led to a significant increase in the number of severe injuries among military personnel, with ocular injuries occupying a particular place due to the high risk of irreversible vision loss and profound disability. Combat-related ophthalmic injuries are characterized by a complex pathogenesis, combining mechanical, explosive, and infectious factors, as well as considerable variability in clinical course, which complicates the selection of optimal treatment strategies.

The relevance of this issue is heightened by the need for rapid clinical decision-making under conditions of limited time, resources, and staged medical evacuation. Early and appropriate surgical intervention determines the possibility of preserving the eyeball and functional vision, whereas delayed evacuation or lack of coordinated treatment significantly increases the risk of severe complications.

At the same time, the effectiveness of treating combat-related ocular injuries largely depends on the level of medical care specialization, the availability of modern diagnostic methods, and clear collaboration among specialists of different profiles. Studying regional features of the structure of ophthalmic injuries and approaches to their surgical management is highly relevant, as it allows the identification of systemic issues in care provision, optimization of clinical algorithms, and improvement of medical support efficiency for military personnel in modern warfare conditions [3].

War in Ukraine has revealed systemic challenges in providing rehabilitation care to military personnel with combat-related injuries. Despite the growing need for comprehensive recovery, the national rehabilitation system remains insufficiently structured, with significant regional disparities, limited workforce capacity, and a shortage of modern resources.

These deficiencies are especially critical in patients with severe polytrauma, including head, facial, and ocular injuries, who require prolonged, phased, and multidisciplinary rehabilitation. The lack of standardized clinical pathways and coordinated collaboration among medical, psychological, and social services substantially diminishes recovery outcomes and hinders the successful reintegration of injured

military personnel into active social and professional life.

Thus, it becomes particularly relevant to develop a comprehensive rehabilitation system, based on standardized approaches for multidisciplinary team management and continuity of care — from the acute phase of injury through stages of functional and social recovery. The implementation of such models is a key factor in reducing disability rates and improving the quality of life of military personnel in the current conditions of armed conflict [4, 5].

In the context of full-scale war, improving the effectiveness of treatment for combat-related ocular injuries is one of the priority objectives of military medicine. Adapting international experience in early surgical intervention and the organization of multidisciplinary care to the actual conditions of medical support in Ukraine is of critical importance.

Timely and coordinated collaboration between ophthalmologists and specialists from related fields allows for a reduction in the incidence of severe complications, improvement of organ-preserving outcomes, and enhancement of functional prognosis in patients with combined combat injuries. Equally important is ensuring continuity of care — from the stage of tactical medical support, evacuation, and surgical intervention to specialized rehabilitation.

A systematic analysis of existing clinical approaches and the implementation of standardized national protocols are essential for reducing disability rates and improving the quality of life of military personnel with combat-related ophthalmic injuries [6, 7].

Our study is highly relevant due to the increasing incidence of severe ocular injuries among Ukrainian Armed Forces personnel amid the active use of modern explosive weapons. Effective preservation of vision determines the success of subsequent medical rehabilitation and social adaptation of injured personnel. The insufficient standardization of treatment protocols and the lack of coordinated multidisciplinary teams underscore the need for the implementation of modern evidence-based strategies in medical care delivery.

**The purpose** was to perform a retrospective comparative analysis of international and domestic scientific data, as well as an analysis of the structure of ophthalmic injuries and surgical treatment approaches among military personnel in different regions of Ukraine, with the aim of identifying regional differences in the nature of ocular trauma, severity of injuries, scope and tactics of surgical interventions, and assessing the impact of injury conditions, timeliness of specialized ophthalmic care, and organizational aspects of patient triage on treatment outcomes.

## Materials and methods

The study employed content analysis of domestic and international scientific sources, as well as bibliosemantic, analytical, and statistical methods. The research was conducted based on data from 78 military personnel who received treatment in two regions of Ukraine (Haisyn and Cherkasy). The literature search was performed using the following keywords: combat ocular injuries, war-related ocular trauma, eye trauma, mine-explosive wounds, military ophthalmology, vision loss, ocular surgery, visual rehabili-

tation, full-scale war in Ukraine. A total of 20 scientific articles were included in the review, with the search covering the period from 2020 to 2025.

## Results

We conducted an analysis of data from military personnel with ophthalmic injuries, assessing the frequency of identified pathological conditions in two regions of Ukraine where treatment was provided (Table 1).

In the first cohort (Haisyn), penetrating ocular injuries with intraocular foreign bodies were the most frequently recorded, accounting for 17.1 %, indicating a high prevalence of mechanical eye trauma. Purulent endophthalmitis ranked second (14.3 %), which may reflect delayed patient presentation or a complicated course of primary traumatic injuries. Traumatic cataract was diagnosed in 11.4 % of cases, confirming the significant role of blunt and penetrating trauma in the development of severe complications. The incidence of ocular burns and open ocular wounds was identical, at 8.6 % each, whereas ocular contusion was the least frequent, observed in only 2.9 % of cases.

In the second cohort (Cherkasy), traumatic injuries with a high risk of vision loss predominated. The largest proportion consisted of ocular injuries with foreign bodies (33.3 %), nearly twice that of the first cohort. A significant share was also attributed to open ocular wounds (29.6 %), indicating more severe eye trauma and a higher number of penetrating injuries. Ocular contusion was diagnosed in 22.2 % of cases, sharply contrasting with the first cohort and possibly reflecting different mechanisms of injury. Traumatic cataract occurred at a similar frequency (11.1 %), whereas purulent endophthalmitis was observed considerably less often (7.4 %). No cases of ocular burns were recorded in this group.

The obtained results indicate that the first cohort is characterized by a higher proportion of infectious complications, particularly purulent endophthalmitis, whereas the second cohort is dominated by acute mechanical ocular injuries (open wounds, contusions, and intraocular and orbital foreign bodies). These differences may be attributed to variations in injury conditions, the availability and timeli-

ness of specialized ophthalmic care, and specific aspects of patient triage.

Overall, the identified characteristics of injury patterns highlight the need for a differentiated approach to the prevention, early diagnosis, and management of ophthalmic trauma across different regions.

The analysis of the structure of surgical interventions in the two regions revealed significant differences in both surgical treatment strategies and the severity of ophthalmic pathology (Table 2).

In the first cohort (Haisyn), other surgical interventions predominated — 40.0 %, reflecting a wide range of operative procedures due to diverse clinical situations and combined injuries. Ocular foreign body removal was performed in 20.0 % of cases, correlating with the high frequency of mechanical trauma in this group. Evisceration of the eyeball and surgical wound management accounted for an equal share — 14.3 % each, which may indicate both the severity of primary injuries and delayed access to specialized care. Lens extraction with subsequent intraocular lens implantation was performed in 11.4 % of cases, consistent with the frequency of traumatic cataract in this cohort.

In the second cohort (Cherkasy), surgical wound management predominated, being performed in nearly half of the patients — 46.9 %, indicating a substantial number of open and penetrating ocular injuries requiring immediate operative intervention, including primary microsurgical wound management. Foreign body removal was carried out in 21.9 % of cases, comparable to the first cohort and confirming the high prevalence of this type of injury in both groups. Lens extraction with intraocular lens implantation was performed somewhat less frequently — in 9.4 % of patients. The proportion of evisceration of the eyeball in this group was considerably lower (6.25 %), which may reflect earlier provision of specialized care and more effective organ-preserving treatment strategies. Other surgical interventions accounted for 15.5 %, substantially lower than in the first cohort.

The obtained data indicate that the first cohort is characterized by a higher proportion of radical surgical interven-

**Table 1. Comparative analysis of the structure of ophthalmic injuries in Haisyn and Cherkasy, %**

Patients	Purulent endophthalmitis	Traumatic cataract	Ocular burns	Open ocular wound	Foreign bodies	Ocular contusion
First cohort (Haisyn)	14.3	11.4	8.6	8.6	17.1	2.9
Second cohort (Cherkasy)	7.4	11.1	–	29.6	33.3	22.2

**Table 2. Comparative analysis of the structure of surgical interventions in Haisyn and Cherkasy and differences in surgical treatment strategies and severity of ophthalmic pathology, %**

Patients	Evisceration of the eyeball	Surgical wound management	Foreign body removal	Lens extraction and lens implantation	Other
First cohort (Haisyn)	14.3	14.3	20.0	11.4	40.0
Second cohort (Cherkasy)	6.25	46.9	21.9	9.4	15.5

tions, including eviscerations, as well as a wider range of non-standardized surgical procedures. In contrast, the second cohort is dominated by primary microsurgical wound management, which aligns with current principles of early surgical treatment of ocular trauma and allows for a reduction in the risk of severe complications and eye loss.

Overall, the identified differences reflect varying approaches to patient triage, the availability of ophthalmic surgical care, and the level of specialization of healthcare facilities in the studied regions, which should be taken into account when planning organizational and clinical measures to optimize care for patients with ocular trauma.

A correlation and associative analysis was conducted to examine the relationships between the region of medical care, the number and severity of ophthalmic injuries, and the type of surgical interventions in patients with ocular trauma. The association between types of ophthalmic interventions and treatment region (Haisyn/Cherkasy) was assessed using Pearson's  $\chi^2$  test and Cramér's V coefficient. A statistically significant relationship was established between these variables ( $p < 0.05$ ), indicating regional differences in the structure of ophthalmic surgical care. Specifically, the Haisyn cohort was dominated by radical and highly specialized procedures, including evisceration of the eyeball, vitreoretinal, and reconstructive surgeries, whereas in Cherkasy, primary surgical wound management, foreign body removal, and other minimally invasive interventions predominated, consistent with a staged-triage model of medical care delivery.

The correlation between the number of injuries and the type of surgical intervention was assessed using Spearman's correlation coefficient. A positive, statistically significant correlation was found ( $p < 0.05$ ), indicating that the invasiveness of surgical treatment increases with the number of combined and multiple injuries. Isolated ocular injuries generally required minimal or minimally invasive surgical intervention, whereas combined and multiple combat-related injuries were associated with complex vitreoretinal and reconstructive surgeries or radical procedures.

The analysis of the relationship between injury severity and the extent of surgical intervention also demonstrated a strong positive Spearman correlation ( $p < 0.01$ ). Mild ocular injuries corresponded to minimal surgical intervention, moderate injuries were managed with organ-preserving and reconstructive procedures, whereas severe injuries complicated by infectious-inflammatory processes, globe destruction, or purulent endophthalmitis required radical surgical interventions, including evisceration. These results confirm the clinical rationale for selecting the extent of surgical treatment based on injury severity and multiplicity and also reflect the influence of regional factors on the structure of ophthalmic surgical care in the context of combat-related trauma.

## Discussion

According to studies on Chinese military personnel (2016–2019) during armed conflicts, a significant proportion of ocular injuries were related to blast trauma — 45.8 % — and open injuries — 50.4 %. The primary cause

of these injuries was the absence or improper use of personal eye protection, highlighting the critical importance of prevention and appropriate protective equipment on the battlefield.

Mechanical injuries caused by explosions accounted for 94.0 % of all ocular trauma. Intraocular foreign bodies were responsible for 55.2 % of open eye injuries, whereas ocular contusions were recorded in 60.2 % of closed injuries. Corneal and retinal pathological changes included the development of proliferative vitreoretinopathy, which occurred more frequently in perforating injuries (47.1 %) and in the presence of intraocular foreign bodies (26.8 %) compared to penetrating injuries (8.8 %). Proliferative changes were also more commonly observed in lacerated ocular wounds (24.3 %) than in classical ruptures (9.2 %). Loss of the eyeball was observed in 9.6 % of patients, indicating the high severity of combat-related ophthalmic trauma [8].

The study by D. Akıncıoğlu (2022) demonstrated that ophthalmic injuries among wounded personnel during armed conflicts in Turkey accounted for 62.5 % of open-type injuries, with 29.5 % of cases involving intraocular foreign bodies, predominantly due to shrapnel wounds (74.1 %). Blast injuries ranked second in frequency (18.3 %), while gunshot wounds accounted for only 7.6 % of cases.

Most patients had concomitant injuries: 77.0 % sustained craniofacial trauma, and 52.0 % suffered multiple facial wounds. Such combined injuries significantly complicated diagnosis, medical evacuation, and the selection of the optimal surgical strategy [9].

A detailed analysis of ophthalmic injuries among US military personnel, considering demographic characteristics, service branch, and occupational groups, showed that the incidence of uncomplicated ocular injuries decreased from 89.5 to 72.8 cases per 10,000 service members (18.7 %) during 2016–2019, indicating the effectiveness of personal protective equipment and improvements in combat training. At the same time, the rate of complicated injuries remained stable, reflecting the limited capacity of existing measures to prevent severe penetrating and combined ocular trauma.

Studies by M.E. Reynolds (2022, 2023) indicate that men had a 62.0 % higher risk of sustaining complicated ocular trauma compared to women. According to the author, the highest rates of severe injuries were observed among US Army personnel (32.4 %) and Marine Corps members (29.7 %), whereas in the Navy and Air Force, they remained significantly lower — 14.1 and 11.8 %, respectively. Although most injuries were blunt in nature (34.8 %) or limited to superficial damage (27.2 %), penetrating injuries (8.5 %) and intraocular foreign bodies (5.9 %) posed the greatest threat to vision and resulted in prolonged hospitalization.

Surgical intervention was required in 22.0 % of complicated cases, and 14.6 % of injuries resulted in partial or complete loss of visual function. Over the three-year study period (2016–2019), the incidence of combined ocular and facial skeletal injuries increased from 6.1 to 9.3 %, reflecting a change in the nature of combat-related trauma amid the use of modern explosive and kinetic weapons.

The study results emphasize the urgent need to improve systems for early detection of ophthalmic injuries,

implement effective medical evacuation measures, and develop modern eye protection devices in response to weapon modernization. Special attention should be given to high-risk groups, including sappers, artillery personnel, and technical specialists, to reduce the incidence of severe injuries and preserve the operational capacity of military personnel [10, 11].

The study by K. Jonak (2025) included an analysis of combat-related and civilian ocular injuries in Ukraine during the full-scale war. Among the affected individuals, 79.0 % were men and 21.0 % were women. The primary mechanisms of injury were blast and fragment-related trauma. Common pathological findings included macular disorders (49.0 %), retinal vascular lesions (30.2 %), optic nerve damage (22.4 %), and fundus deformities (17.9 %). More than 60.0 % of patients had multi-organ or combined injuries, with frequent co-occurrence of ocular trauma and head or facial skeletal injuries, complicating treatment. The authors emphasize the importance of early surgical intervention within 12–24 hours post-injury, which is critical for vision preservation and reducing the risk of complications, as well as the creation of a national electronic registry of combat-related ophthalmic injuries for standardized documentation, assessment of treatment and rehabilitation effectiveness, development of preventive strategies, and improvement of medical personnel qualifications. Such an approach is particularly relevant due to the high risk of severe penetrating and combined injuries, necessitating multidisciplinary patient management [12].

Table 3 presents the main mechanisms of ocular trauma and their prevalence in different countries worldwide. Most cases are caused by blast and fragment-related injuries, ranging from 45.8 to 79.0 %, with a significant contribution

from multi-organ injuries, the presence of intraocular foreign bodies, and the absence of personal protective equipment. Data from various authors demonstrate that even in countries with highly developed safety systems, such as the USA, a substantial proportion of injuries (21.0 % due to shrapnel and 7.0 % blunt trauma) remains critically vision-threatening.

The pathophysiological mechanisms of corneal injury during combat, according to meta-analysis results, include: micromechanical stretching and traumatic disruption of corneal structures, including the epithelium and stroma; damage to the endothelial layer, manifested by decreased cell density and impaired barrier function; vascularization and localized Descemet membrane ruptures; induction of corneal cell apoptosis and local inflammatory responses accompanied by secondary oxidative stress; and acute intraocular pressure elevation induced by blast waves.

The most common ocular injuries and the frequency of complications, as reported in various studies, are presented in Table 4. In the study by M.E. Reynolds (2022), orbital floor fractures, iridocyclitis, and recurrent corneal erosions were associated with partial or complete vision loss in 14.6 % of cases. In the study by V. Rana (2023), penetrating, blunt, and combined injuries led to enucleation or evisceration in 9.0 % of patients. Research by D. Kempuraj (2024) focused on corneal changes — edema, opacification, and epithelial tears, which induced secondary oxidative stress, while B.B. Zhupan (2023) reported irreversible vision loss in cases of delayed treatment for combined polytrauma. Analysis of these data indicates that injury severity and timeliness of treatment directly affect the risk of serious complications and vision loss [2, 10, 13, 14].

**Table 3. Mechanisms of ocular trauma and their prevalence worldwide, %**

Author, year, country	Primary mechanism of trauma	%	Additional factors
Y. Zhang, 2023 (China, 2016–2019)	Blast and open trauma	45.8–50.4	Lack of protective eyewear
D. Akıncıoğlu, 2022 (Turkey)	Shrapnel injuries	74.1	Explosions, intraocular foreign bodies
M.E. Reynolds, 2022–2023 (USA)	Blast injuries	72.0	Shrapnel (21.0 %), blunt (7.0 %)
K. Jonak, 2025 (Ukraine)	Blast and shrapnel injuries	79.0	Polytrauma

**Table 4. Typical injuries and complication rates, %**

Author, year	Most common injuries	Complications	Complication rate, %
M.E. Reynolds, 2022	Orbital floor fracture, iridocyclitis, recurrent corneal erosion	Partial/complete vision loss	14.6
V. Rana, 2023	Penetrating injuries, blunt trauma, combined injuries	Enucleation/evisceration	9.0
D. Kempuraj, 2024	Cornea: edema, opacification, epithelial tear	Secondary oxidative stress	–
B.B. Zhupan, 2023	Combined polytrauma	Irreversible vision loss due to delayed treatment	–

The study by V. Rana (2023) focused on the analysis of ocular trauma mechanisms caused by blast waves and the timing of primary surgical debridement. According to the author, blast waves increase intraocular pressure, contributing to severe mechanical injuries, particularly in the thin regions of the sclera near the insertion sites of the extraocular muscles, making it susceptible to ruptures and proliferative complications.

The most common injuries were penetrating ones (54.1 %), blunt trauma (26.5 %), and combined injuries (19.4 %). Orbital fractures, thermal burns, and concomitant traumatic brain injuries were frequently observed, complicating diagnosis and the selection of surgical strategies. Binocular injuries accounted for 13.0 % of cases, reflecting the high energy of modern weaponry and the severity and risk of significant vision impairment.

The mean time to primary surgical debridement was 6–8 hours. Vitrectomy with silicone or gas tamponade was performed in 22.0 % of cases, anterior segment reconstruction in 18.0 %, while enucleation or evisceration was required in 9.0 % of patients due to irreversible ocular damage. Following treatment, anatomical integrity of the eye was preserved in 73.4 % of cases, whereas functional visual recovery was achieved in only 41.7 % of patients.

The author emphasizes that early primary microsurgical wound management is critically important for preserving ocular anatomy and minimizing complications. The high incidence of penetrating and combined injuries underscores the need for a multidisciplinary approach. Systematic postoperative care, including intraocular pressure monitoring and prevention of inflammatory responses, is essential, while anatomically and functionally oriented reconstructive interventions significantly improve the final visual outcome [13].

The study by D. Kempuraj et al. (2024) focused on the pathophysiology and clinical consequences of corneal injuries resulting from blast trauma. According to the authors, approximately 25.0 % of veterans exposed to blast effects exhibited corneal damage, indicating a high prevalence of such injuries in combat zones. Clinical manifestations included corneal edema, opacification, increased corneal thickness, and impaired transparency, which, if left untreated, may lead to persistent vision loss and secondary complications. Delayed eye examination significantly increases the risk of long-term visual impairment. The authors recommend urgent comprehensive assessment of affected individuals, in-

cluding evaluation of corneal anatomy, transparency, and the integrity of epithelial and endothelial layers, intraocular pressure monitoring, as well as early initiation of anti-inflammatory, antioxidant, and regenerative therapy. These findings underscore that early ophthalmic intervention and systematic corneal monitoring are critical for vision preservation and improvement of functional outcomes in military personnel [2].

B.B. Zhupan (2023) conducted a retrospective analysis of combat-related ocular injuries to identify factors influencing long-term functional outcomes and globe preservation. The results demonstrated that timely presentation and primary surgical debridement within the first 6–12 hours after injury significantly reduce the risk of endophthalmitis, secondary infection, and sympathetic ophthalmia, thereby increasing the likelihood of vision preservation.

In contrast, a delay in specialized care of 12–24 hours was associated with a marked increase in the incidence of irreversible ocular structural damage, loss of visual function, and the need for enucleation. Key prognostic factors remained the severity and mechanism of trauma (penetrating, blunt, or blast), as well as the presence of concomitant craniofacial injuries.

Researchers have substantiated the rationale for implementing prognostic models that integrate clinical and anatomical characteristics of the injury with the timing of care delivery. This integrated approach allows for optimization of therapeutic strategies, prioritization of high-risk patients, and reduction of long-term functional deficits and disability rates [14].

In Table 5, we present the effectiveness of a multidisciplinary approach in the management of ocular trauma. The study by I. Lee (2023) demonstrated that involving ophthalmologists, neurosurgeons, rehabilitation specialists, and anesthesiologists reduces the risk of vision loss by 30.0–35.0 % and shortens hospital stay by 25.0 %. K. Antonyshyn (2025) emphasized the importance of integrating maxillofacial surgeons, ophthalmologists, neurosurgeons, anesthesiologists, and coordinated medical evacuation to preserve visual function and facial symmetry. O. Prysiashniuk (2025) highlighted the effectiveness of staged reconstructive surgery in early patient stabilization and infection prevention, underscoring the significance of a comprehensive approach to improve treatment outcomes [7, 15, 17].

I. Lee (2023) conducted a systematic review of global studies and found that 38.0–42.0 % of patients with severe

**Table 5. Multidisciplinary approach and treatment outcomes**

Author, year	Team composition	Key outcomes	Outcome/vision preservation
I. Lee, 2023	Ophthalmologists, neurosurgeons, rehabilitation specialists, anesthesiologists	Reduction of the risk of vision loss	30.0–35.0 %/reduction of hospital stay by 25.0 %
K. Antonyshyn, 2025	Maxillofacial surgeons, ophthalmologists, neurosurgeons, anesthesiologists, medical evacuation	Preservation of visual function and facial symmetry	–
O. Prysiashniuk, 2025	Staged interdisciplinary reconstructive surgery	Early stabilization, infection prevention	–

ocular trauma had concomitant traumatic brain injury, among whom 18.0–22.0 % developed persistent neurovisual deficits. Explosive injuries accounted for 72.0 %, shrapnel injuries for 21.0 %, and blunt trauma for 7.0 %. Bilateral eye injuries were observed in 34.0–36.0 % of patients, while combined injuries of the orbit, cornea, and retina occurred in 28.0 %. In the group with combined ocular and neurotrauma, the incidence of visual disability exceeded 45.0 %, twice as high as in isolated ocular injuries. The researcher emphasizes the importance of early multidisciplinary intervention (ophthalmologists, neurosurgeons, and rehabilitation specialists), which can reduce the risk of vision loss by 30.0–35.0 %, shorten hospitalization by 25.0 %, and improve long-term functional and cognitive outcomes. Key components of effective patient management include timely diagnosis, early surgical and conservative treatment, coordination among teams, and long-term monitoring of visual and cognitive functions [7].

K. Antonyshyn (2025) described the role of a mobile craniofacial surgical unit in providing specialized care to injured personnel during combat operations in Ukraine. The highly mobile team of reconstructive surgeons is rapidly deployed directly to the combat zone, delivering urgent interventions for complex injuries of the face, orbit, and skull.

A multidisciplinary approach plays a critical role: the integrated work of maxillofacial surgeons, ophthalmologists, neurosurgeons, anesthesiologists, and medical evacuation specialists allows for a reduction in the time from injury to reconstruction, preservation of visual function and facial anatomical integrity, and minimization of postoperative complications. Experience demonstrates that early intervention by mobile teams increases the likelihood of recovery, reduces the severity of complications, and facilitates effective rehabilitation of injured personnel [15].

In a multicenter retrospective study, O. Prysiazniuk (2025) identified the characteristics of combat-related maxillofacial injuries among Ukrainian servicemen from 2022 to 2024. The study established that explosive injuries caused by artillery and mortar fire, unmanned aerial vehicle strikes, and missile attacks remain the predominant mechanism. These injuries most frequently result in complex, multiple fragmentary fractures of the midface, often combined with ocular trauma and injuries to the cranial base [17].

Summary data on the types of surgical interventions, timing of their performance, and clinical outcomes in patients with combat-related ophthalmic injuries are presented in Table 6. Analysis of the studies highlights the critical

importance of time to surgery for preserving both the anatomical integrity of the eye and visual function.

According to D. Akıncioğlu (2022) and V. Rana (2023), early ophthalmic surgical interventions performed within 6–8 hours after injury, including vitrectomy and anterior segment reconstruction, were associated with improved outcomes: functional visual recovery ranged from 32.1 to 41.7 %, while anatomical preservation of the eye reached up to 73.4 % [9, 13].

In contrast, in the study by I.A. Lurin (2025), where surgical intervention was performed on the 7th day after injury under field conditions, reconstructive and diagnostic techniques (rotational flaps, thermography, Doppler monitoring) were applied. This approach allowed for successful anatomical restoration; however, the potential for functional recovery was limited due to the delayed nature of the treatment [16].

Overall, Table 6 illustrates that early surgical intervention is a key factor in vision preservation, whereas delayed operations are more often reconstructive and organ-preserving but do not achieve full functional recovery.

In cases of combat-related ocular injuries among military personnel, pars plana vitrectomy was performed most frequently, accounting for 79.6 % of cases, aimed at restoring the anatomical integrity of the eyeball and removing intraocular foreign bodies. In the postoperative period, all patients received systemic antibacterial therapy (ceftriaxone or moxifloxacin), as well as prophylactic intravitreal administration of vancomycin and ceftazidime to prevent endophthalmitis. Systemic corticosteroids were administered in 47.0 % of cases to reduce post-traumatic edema and prevent sympathetic ophthalmia. Despite the treatment, complete functional visual recovery was achieved in only 32.1 % of patients, while partial or total vision loss persisted in 27.7 %. Delayed surgical intervention beyond 12 hours was associated with a 42.0 % increased risk of enucleation, underscoring the critical importance of early ophthalmic surgical management within the first 6–8 hours after injury. These findings indicate that optimal management of combat ocular trauma (COT) requires a combination of early surgical intervention, appropriate antibacterial and anti-inflammatory therapy, and a multidisciplinary approach, particularly in cases with concomitant craniofacial injuries [9].

Patient management was carried out following the principles of staged reconstructive surgery, which included early stabilization of bony structures, radical debridement of soft tissues, and active prevention of infectious complications. A

**Table 6. Surgical intervention and time to operation (hours/%)**

Author, year	Type of intervention	Time to surgery	Outcome/vision preservation
D. Akıncioğlu, 2022	Vitrectomy, anterior segment reconstruction	6–8 hours	Functional recovery in 32.1 %
V. Rana, 2023	Vitrectomy with silicone/gas, reconstruction	6–8 hours	Anatomical preservation 73.4 %, functional preservation 41.7 %
I.A. Lurin, 2025	Rotational flap, thermography, Doppler control	7 days (post-injury in field conditions)	Successful recovery

key element was the coordinated multidisciplinary interaction of maxillofacial surgeons, ophthalmologists, neurosurgeons, anesthesiologists, and medical evacuation specialists, which reduced the time to primary surgical intervention and contributed to improved functional outcomes.

The study by O. Prysiazhniuk (2025) emphasizes the importance of implementing a national combat injury registry as a tool for standardized recording, analysis, and planning of medical care, which would optimize resource utilization and reduce the incidence of severe injuries. The author further highlights the need to develop integrated rehabilitation programs that consider the physical, neurovisual, and psychoemotional consequences of combat injuries, as well as the establishment of unified clinical protocols for managing wounded personnel in wartime conditions. Collectively, these approaches demonstrate that the combination of early surgical stabilization, coordinated multidisciplinary care, and systematic rehabilitation is a decisive factor in reducing disability risk and improving the quality of life of affected individuals [17].

During the full-scale war in Ukraine, the system for treatment and medical evacuation of patients with COT was rapidly adapted, allowing for the optimization of specialized ophthalmic clinics in Kyiv and improving the efficiency of care delivery. The aim of this study was to perform a comparative analysis of organizational approaches and treatment outcomes at the National Military Medical Clinical Center “Main Military Clinical Hospital” during different periods of hostilities (2014–2021 and February–April 2022).

The results demonstrated that the modifications in the four-tiered medical evacuation system were timely and ensured effective coordination among facilities of different levels. The proportion of patients with COT increased to 9.4 %, which was associated with the use of high-kinetic-energy weapons. The injury profile was characterized by a high frequency of penetrating traumas (> 50.0 %), intraocular foreign bodies (43.3 %), binocular injuries (29.8 %), and multiple lesions (81.4 %).

The highest rates of anatomical preservation of the eyeball and visual function were achieved under conditions of early evacuation and timely specialized intervention, particularly in patients with severe bilateral injuries. The study confirms the critical importance of rapid medical evacuation, early surgical management, and a multidisciplinary approach. These findings underscore the need for further

optimization of the medical evacuation system, implementation of standardized clinical protocols, establishment of a national COT registry, and integration of rehabilitation programs to reduce disability and improve both functional and social outcomes of treatment [18].

According to epidemiological monitoring by A. Mishra (2023), the establishment of a unified COT registry is justified, providing centralized data collection, standardized injury classification, and rational allocation of medical resources. Such a system allows for not only the analysis of the frequency and patterns of injuries but also the prediction of risk based on combat tasks, type of weaponry, and operational conditions.

The establishment of a registry provides a foundation for implementing effective preventive measures, including: the improvement and standardization of personal eye protection equipment; the introduction of safety and tactical training programs for combat operations; the development of protocols for early screening and medical evacuation to ensure timely detection of injuries; and the organization of systematic preventive ophthalmic monitoring at the level of military units (Table 7).

Table 7 summarizes current preventive and rehabilitative strategies aimed at reducing the incidence and severity of combat-related ocular injuries and improving long-term functional outcomes. The analysis incorporates data from A. Mishra et al. (2023), which emphasizes the importance of establishing injury registries and standardizing classifications to optimize the allocation of medical resources, enable systematic epidemiological monitoring, and implement targeted preventive measures [19].

The experience of the USA and NATO countries demonstrates that systematic use of protective eyewear, combined with adaptation of training and combat protocols, significantly reduces the incidence of ocular injuries, highlighting the critical role of primary prevention.

In the Ukrainian context, telemedicine consultations, continuous comprehensive monitoring, and staged medical rehabilitation are of key importance, particularly for patients with polytrauma. The implementation of these approaches contributes to improved functional treatment outcomes, optimized patient triage, and enhanced quality of recovery following combat-related injuries.

Rehabilitation of military personnel with ocular injuries is considered a comprehensive recovery system that inte-

**Table 7. Preventive and rehabilitation measures**

Author, year	Measures	Expected outcome	Additional comments
A. Mishra et al., 2023	Establishment of a trauma registry, standardization of classifications	Optimization of medical resources, prevention of severe injuries	Facilitates monitoring and planning
USA and NATO	Use of protective eyewear, modification of training and combat protocols	Reduction in the incidence of ocular injuries	Systemic preventive measures
Ukraine	Telemedicine consultations, comprehensive monitoring, staged rehabilitation	Improvement of functional outcomes	Important for polytrauma

grates medical, physical, psychological, social, and professional components aimed at restoring function, quality of life, and social activity. The foundation is medical rehabilitation, which encompasses pharmacological treatment, physical and physiotherapeutic interventions, surgical and restorative procedures, psychotherapy, and other evidence-based methods. Rehabilitation is guided by principles of patient-centeredness, timeliness, continuity, consistency, functional orientation, as well as multidisciplinary collaboration and outcome monitoring.

Contemporary challenges necessitate the establishment of specialized rehabilitation units for individuals with visual impairments and the development of a continuous care system involving medical institutions, communities, and social organizations. Vision rehabilitation is required not only for patients with irreversible visual loss but also for those with potential for functional recovery to prevent disability. The ophthalmologist should play a leading role within the multidisciplinary team, and the further advancement of ophthalmic rehabilitation requires evidence-based, scientifically grounded approaches [20].

The analysis indicates that combat-related ocular injuries are strongly dependent on the type of modern weaponry used and the mechanism of trauma. The deployment of contemporary explosive devices, artillery shells, and high-kinetic-energy munitions results in a high incidence of severe, combined, and polytraumatic ocular injuries, frequently associated with traumatic brain injury, facial skeletal fractures, and other systemic lesions, thereby significantly increasing the risk of vision loss and disability. Key factors for improving anatomical and functional outcomes include early medical evacuation, timely ophthalmic surgical management, and a well-coordinated multidisciplinary approach involving ophthalmologists, neurosurgeons, maxillofacial surgeons, and rehabilitation specialists.

The research findings support the need to enhance the medical evacuation system, standardize clinical protocols, and implement a national registry of combat-related ocular injuries as a tool for monitoring, resource planning, and the development of preventive measures. Equally important is the advancement of comprehensive, continuous vision rehabilitation focused on restoring patients' functional, neurovisual, and psychosocial capabilities.

Therefore, the coordinated implementation of early surgical management, multidisciplinary clinical collaboration, and advanced rehabilitation strategies constitutes a pivotal approach to mitigating visual disability and enhancing the overall quality of life in military personnel affected by combat-related ocular injuries.

## Conclusions

1. In both cohorts, penetrating ocular injuries with intraocular foreign bodies were the most frequently observed (17.1 % in Haisyn and 33.3 % in Cherkasy), as well as traumatic cataracts (11.4 and 11.1 %, respectively). The incidence of burns and open wounds was lower, with regional differences reflected in a higher proportion of foreign bodies and open wounds in Cherkasy (33.3 and 29.6 vs. 17.1

and 8.6 % in Haisyn), an increased frequency of contusions (22.2 vs. 2.9 %), and a decreased rate of purulent endophthalmitis (7.4 vs. 14.3 %), indicating more severe injuries and differing trauma mechanisms.

2. The most common surgical procedures in Haisyn were classified as other interventions (40.0 %) and foreign body removal (20.0 %). Evisceration and wound debridement each accounted for 14.3 %, while lens extraction in 11.4 % of cases. In Cherkasy, wound debridement predominated (46.9 %), followed by foreign body removal (21.9 %) and lens extraction (9.4 %). Evisceration and other interventions were less frequent in Cherkasy (6.25 and 15.5 %, respectively), indicating timely medical care and the effectiveness of organ-preserving surgical strategies.

3. The timely combination of early surgical intervention, coordinated multidisciplinary team management, and implementation of modern rehabilitation approaches significantly improves anatomical and functional treatment outcomes, reduces the risk of vision loss, and facilitates more effective social and professional reintegration of affected military personnel.

4. The establishment of a unified registry of combat-related ocular injuries, ensuring centralized data collection, standardized injury classification, and rational allocation of medical resources, represents a crucial step toward improving treatment efficiency, rehabilitation, planning of preventive measures, and enhancing functional recovery outcomes in affected military personnel.

**Future research directions.** Future studies should focus on continued investigation of ocular injuries in military personnel, with an emphasis on monitoring, which should become a priority in subsequent efforts to enhance recovery and improve quality of life.

## References

1. Krasnovid TA, Aslanova VS, Bondar NI. Main aspects of traumatic eye injuries in the context of wars and military conflicts. *Archives of Ophthalmology of Ukraine*. 2020;1(8):78-85. doi: 10.22141/2309-8147.8.1.2020.200741.
2. Kempuraj D, Mohan RR. Blast injury: Impact to the cornea. *Exp Eye Res*. 2024;244:109915. doi: 10.1016/j.exer.2024.109915.
3. Mulligan K, Staudt AM, Martinez Camarillo JC, Seabury SA, Humayun MS. Value of Reduced Time to Repair for Combat Ocular Trauma. *Ophthalmology*. 2025;S0161-6420(25)00515-9. doi: 10.1016/j.ophtha.2025.07.041.
4. Lawry LL, Korona-Bailey J, Hamm TE, et al. A qualitative assessment of war-related rehabilitation needs and gaps in Ukraine. *J Health Popul Nutr*. 2025;44(1):175. doi: 10.1186/s41043-025-00912-4.
5. Epstein A, Lim R, Johannigman J, et al. Putting Medical Boots on the Ground: Lessons from the War in Ukraine and Applications for Future Conflict with Near-Peer Adversaries. *J Am Coll Surg*. 2023;237(2):364-373. doi: 10.1097/XCS.0000000000000707.
6. Sia RK, Ryan DS, Brooks DI, et al. The Impact of Combat Ocular Trauma and Traumatic Brain Injury on Vision- and Health-Related Quality of Life Among U.S. Military Casual-

ties. *Mil Med.* 2022;187(1–2):209–215. doi: 10.1093/milmed/usab233.

7. Lee I, Davis B, Purt B, DesRosiers T. Ocular Trauma and Traumatic Brain Injury on the Battlefield: A Systematic Review After 20 Years of Fighting the Global War on Terror. *Mil Med.* 2023;188(9–10):2916–2923. doi: 10.1093/milmed/usac226.

8. Zhang Y, Kang X, Wu Q, Zheng Z, Ying J, Zhang MN. Explosive eye injuries: characteristics, traumatic mechanisms, and prognostic factors for poor visual outcomes. *Mil Med Res.* 2023;10(1):3. doi: 10.1186/s40779-022-00438-4.

9. Akıncıoğlu D, Küçükevcilioğlu M, Durukan AH. Combat-related ocular trauma and visual outcomes during counter-terrorist urban warfare operations in Turkey. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2022;28(5):648–653. doi: 10.14744/tjtes.2021.25822.

10. Reynolds ME, Gu W. A new approach to categorization of ocular injury among U.S. Armed Forces. *MSMR.* 2022;29(2):8–14.

11. Reynolds ME, Gu W. Trend of Incidence of Ocular Injury in Service Members of the U.S. Armed Forces in 2016–2019. *Ophthalmic Epidemiol.* 2023;30(4):434–440. doi: 10.1080/09286586.2022.2129697.

12. Jonak K, Matysiak M, Choragiewicz T, et al. War-related eye trauma: a study of civilian and military cases from Ukraine's ongoing conflict. *Front Public Health.* 2025;13:1489445. doi: 10.3389/fpubh.2025.1489445.

13. Rana V, Patra VK, Bandopadhyay S, et al. Combat ocular trauma in counterinsurgency operations. *Indian J Ophthalmol.* 2023;71(12):3615–3619. doi: 10.4103/IJO.IJO\_609\_23.

14. Zhupan BB, Lurin IA, Medvedovska N, Khramov II. Prospects for predicting long-term treatment outcomes in patients

with combat ocular trauma. *Ukrainian Journal of Ophthalmology.* 2023;33(3):34–37. doi: 10.31288/ofthalmolzh202333437.

15. Antonyshyn K, Teshima TL, Al-Shaqsi S, et al. A Mobile Craniofacial Surgery Unit: Reconstructing Casualties of War in Ukraine. *J Craniofac Surg.* 2025;36(1):156–161. doi: 10.1097/SCS.000000000010802.

16. Lurin IA, Khomenko IP, Kashtalyan M, et al. A novel approach used for reconstruction of facial blast wound injury — a case report from the Russo-Ukrainian war. *J Surg Case Rep.* 2025;2025(3):rjae709. doi: 10.1093/jscr/rjae709.

17. Prysiazniuk O, Palyvoda R, Chepurnyi Y, et al. War-related maxillofacial injuries in Ukraine: a retrospective multicenter study. *Arch Craniofac Surg.* 2025;26(2):51–58. doi: 10.7181/acfs.2024.0074.

18. Kurylenko OV, et al. Experience of providing eye care to the wounded at the Main Military Clinical Hospital during the defense of Kyiv (Feb–Apr 2022). *Ukrainian Journal of Ophthalmology.* 2023;1(16):67–73. doi: 10.31288/ofthalmolzh202316873.

19. Mishra A, Agrawal M, Bhirud A, Kapoor G, Baranwal VK, Rao BV. Prevent, curtail and mitigate ocular injuries: Proposal for designing an eye injury registry model for the Indian Armed Forces. *Med J Armed Forces India.* 2023;79(5):487–493. doi: 10.1016/j.mjafi.2023.06.001.

20. Katsan S, et al. Modern perspectives on the rehabilitation of patients with ocular pathology. *Ukrainian Journal of Ophthalmology.* 2025;1:60–68. doi: 10.31288/ofthalmolzh202516068.

Received 16.02.2026

Revised 11.03.2026

Accepted 20.03.2026

#### Information about authors

Valentyna Chorna, MD, DSc, PhD, Captain of the Medical Service of Reserve, Associate Professor, Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: valentina.chorna65@gmail.com; phone: +380 (67) 919-40-38; https://orcid.org/0000-0002-9525-0613

Natalia Humeniuk, Senior Lecturer, Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: med1@vnm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0002-7071-6464

Nelia Kryvetska, Assistant, Department of Ophthalmology, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: med1@vnm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0001-8998-4840  
Svitlana Nesterova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Department of Medical and Biological Fundamentals of Physical Education and Physical Rehabilitation, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynsky State Pedagogical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: svetanest01@gmail.com; phone: +380 (50) 937-45-71; https://orcid.org/0000-0002-9621-0218

Olena Ishchenko, Student, Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: lenchik4717@gmail.com, s010110@vnm.edu.ua; https://orcid.org/0009-0000-6908-6306

**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.** This study did not receive any external funding.

**Data availability.** The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**Authors' contribution.** Chorna V.V. — conceptualization and study design, data collection and analysis, responsible for statistical analysis, manuscript writing, critical review, final approval of the article; Humeniuk N.I. — conceptualization and study design, critical review, final approval of the article; Kryvetska N.V. — conceptualization and study design, data collection and analysis, critical review, responsibility; Nesterova S.Yu. — conceptualization and study design, critical review, responsibility; Ishchenko O.V. — data collection and analysis, responsibility.

Чорна В.В.<sup>1</sup>, Гуменюк Н.І.<sup>1</sup>, Кривецька Н.В.<sup>1</sup>, Нестерова С.Ю.<sup>2</sup>, Іщенко О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова, м. Вінниця, Україна

<sup>2</sup>Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця, Україна

### Ретроспективний порівняльний аналіз особливостей офтальмологічних ушкоджень, хірургічного лікування та медичної реабілітації військовослужбовців у різних регіонах

**Резюме. Актуальність.** В умовах інтенсивних бойових дій критичне значення мають рання діагностика офтальмологічних ушкоджень, чітка маршрутизація постраждалих і мультидисциплінарний підхід до лікування. Переважна більшість ушкоджень спричинена вибуховими, осколковими й уламковими механізмами, що призводять до високоенергетичних проникинь поранень, значних руйнувань анатомічних струк-

тур ока та комбінованих краніофасціальних травм. **Мета:** провести ретроспективний порівняльний аналіз зарубіжних, вітчизняних наукових даних та аналіз структури офтальмологічних ушкоджень, особливостей хірургічного лікування військовослужбовців у різних областях України для виявлення регіональних відмінностей у характері очної травми, тяжкості уражень, обсязі і тактиці оперативних втручань, а також оцін-

ки впливу умов травматизації, своєчасності надання спеціалізованої офтальмологічної допомоги й організаційних аспектів маршрутизації пацієнтів із травмою органа зору на результати лікування. **Матеріали та методи.** У роботі застосовували контент-аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових джерел, бібліосемантичний, аналітичний і статистичний методи. Дослідження базувалося на даних 78 військовослужбовців, які проходили лікування у двох регіонах України. **Результати.** Поширеність та характер ушкоджень: в обох вибірках найчастіше реєстрували проникні поранення з наявністю внутрішньоочного стороннього тіла (17,1 % у Гайсині та 33,3 % у Черкасах) і травматичну катаракту (11,4 і 11,1 % відповідно), що свідчить про значну роль механічних, у тому числі проникних, травм у формуванні тяжких офтальмологічних ускладнень. Частота опіків та відкритих ран була нижчою: у Гайсині по 8,6 %, у Черкасах відкриті рани — 29,6 %, опіки — відсутні; контузія ока зустрічалася рідше (2,9 % у Гайсині та 22,2 % у Черкасах). Регіональні відмінності: у другій вибірці (Черкаси) значно зросла частка поранень із наявністю сторонніх тіл ока (33,3 проти 17,1 % у Гайсині) та відкритих ран (29,6 проти 8,6 %), що свідчить про тяжчий характер травм і більшу кількість проникних ушкоджень. Частота контузій

ока (22,2 %) і зниження випадків гнійного ендодальміту (7,4 проти 14,3 % у Гайсині) відображає різні механізми травматизації та відмінності в перебігу ускладнень. Поширеність хірургічних втручань: у першій вибірці (Гайсин) найчастіше виконували «інші оперативні втручання» — 40,0 %, видалення стороннього тіла проводили у 20,0 % випадків, евісцерацію та хірургічну обробку ран — у 14,3 % кожному, видалення кришталика з імплантацією лінзи — у 11,4 %. У другій вибірці (Черкаси) домінувала хірургічна обробка ран — 46,9 %, а видалення внутрішньоочного стороннього тіла виконували у 21,9 % випадків, видалення кришталика — у 9,4 %, евісцерацію — у 6,25 %, інші втручання — у 15,5 %. **Висновки.** Своєчасне поєднання ранньої хірургічної допомоги, координації мультидисциплінарної команди та впровадження сучасних реабілітаційних підходів дозволяє значно поліпшити анатомічні та функціональні результати лікування, знизити ризик втрати зору й ока і сприяти більш ефективній соціальній та професійній реінтеграції постраждалих військовослужбовців. **Ключові слова:** офтальмологічна бойова травма; військовослужбовці; ранне хірургічне втручання; уніфіковані клінічні протоколи; національний реєстр бойових травм; медична реабілітація

U.V. Kuz<sup>1</sup>, Yu.O. Divnych<sup>2</sup>, I.M. Gudzi<sup>1</sup>, S.M. Vasyliuk<sup>1</sup>, Ye.V. Nychvyd<sup>1</sup>, V.I. Dubas<sup>1</sup>,  
V.P. Omelchuk<sup>1</sup>, V.S. Sulyma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

<sup>2</sup>University of Bern, Bern, Switzerland

## Minimally invasive hybrid fixation and rehabilitation in diabetic patients with Danis-Weber B/C ankle fractures: comparative outcomes

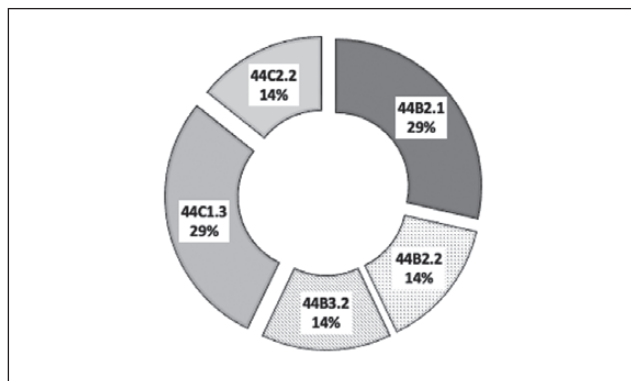
**Abstract. Background.** Surgical treatment of ankle fractures in diabetic patients is challenging due to the high risk of complications such as Charcot foot. The purpose was to enhance the effectiveness of surgical treatment and rehabilitation for ankle fractures in patients with diabetes. **Materials and methods.** Research was conducted on 31 patients with Danis-Weber type B and C ankle fractures: group I (study) — 7 diabetic patients treated with minimally invasive osteosynthesis using an original technique (patent No. 134463); group II (comparative) — 9 non-diabetic patients with post-traumatic signs of soft tissue damage undergone similar osteosynthesis; group III (control) — 15 patients without chronic disease, treated with fibular plate osteosynthesis and syndesmosis fixation using a positional screw. In group I, complication risk was assessed using the Adelaide Fracture in the Diabetic Ankle (AFDA) scale. Surgical treatment quality was evaluated with X-ray morphometric parameters restoration. Rehabilitation effectiveness was measured by the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scale and Olerud-Molander Ankle Score (OMAS) at 4 and 8 weeks and 6 months after surgery. **Results.** Post-operative X-ray data confirm restoration of ankle anatomy in all groups ( $p < 0.05$ ). No significant differences in dime/ball sign presence were observed between groups ( $\chi^2 = 0.2609$ ;  $p = 0.26$ ). Functional assessment using the AOFAS scale showed no statistically significant difference among the groups ( $p = 0.1158$ ). In terms of functional outcomes in the post-acute period (4–8 weeks) according to the AOFAS, patients of groups I and II (hybrid osteosynthesis) had positive dynamics of the joint recovery process ( $p < 0.05$ ), and in the long-term rehabilitation period (6 months), the indicators did not differ between the groups ( $p = 0.1158$ ). In contrast, according to the OMAS, after hybrid osteosynthesis, functional outcomes were better in the post-acute period (4 weeks). At 8 weeks, patients of all groups achieved the same level of recovery, and at 6 months, significantly better results were observed in groups II and III than in controls ( $p = 0.02354$ ). **Conclusions.** Patients with diabetes and Danis-Weber type B or C ankle fractures who have a high AFDA-assessed risk of postoperative complications should undergo intramedullary hybrid osteosynthesis, which minimizes secondary soft-tissue damage during surgery, and follow an individualized rehabilitation protocol to further prevent the development of Charcot foot.

**Keywords:** ankle fracture; diabetes mellitus; minimally invasive surgical procedures; rehabilitation

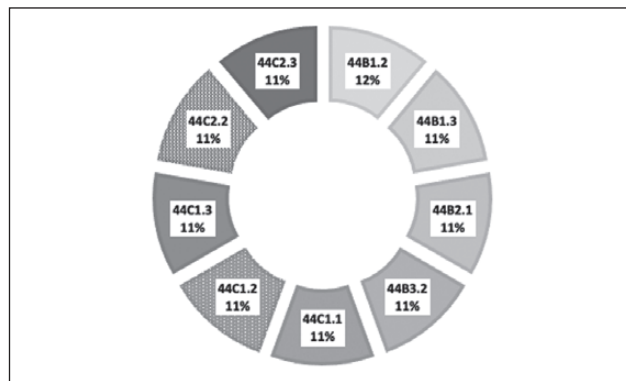
### Introduction

Ankle fractures are among the most common lower-extremity injuries, accounting for nearly 9 % of all adult fractures and representing a substantial clinical and economic burden. In patients with diabetes mellitus, these injuries are associated with an increased risk of complications due to systemic metabolic disturbances that affect bone quality and soft tissue healing [1, 2], such as Charcot foot [3]. Diabetes

mellitus impairs bone metabolism by reducing osteoblastic activity, increasing the accumulation of advanced glycation end-products, and altering collagen structure, which collectively weaken bone strength [4]. Additionally, diabetic microangiopathy and peripheral neuropathy reduce tissue perfusion and proprioception, predisposing patients to both traumatic and neuropathic fractures, as well as delayed wound healing [5, 6]. Among patients with ankle fractures,



**Figure 1. The distribution of patients in the study group according to the AO classification**



**Figure 2. The distribution of patients in the comparative group according to the AO classification**

30 % of individuals with diabetes mellitus fail to achieve restored function following surgical intervention, in contrast to those without diabetes [7]. Among patients with diabetes, the incidence of amputation following ankle fracture surgery increases fivefold. This risk is substantially heightened in cases of open ankle fractures, where the amputation rate escalates to 42 % [8].

Effective treatment therefore requires a multidisciplinary approach, integrating endocrinologic optimization, vascular evaluation, and careful orthopaedic planning. Contemporary surgical strategies prioritise achieving stable fixation while minimising soft tissue disruption. The utilisation of hybrid and augmented fixation techniques — which involve combinations of external fixation, locking plates, and intramedullary devices — has been shown to enhance biomechanical stability in patients presenting with compromised bone integrity [9, 10].

The **aim** was to advance the effectiveness of surgical approaches and rehabilitation modalities for managing ankle fractures in patients with diabetes.

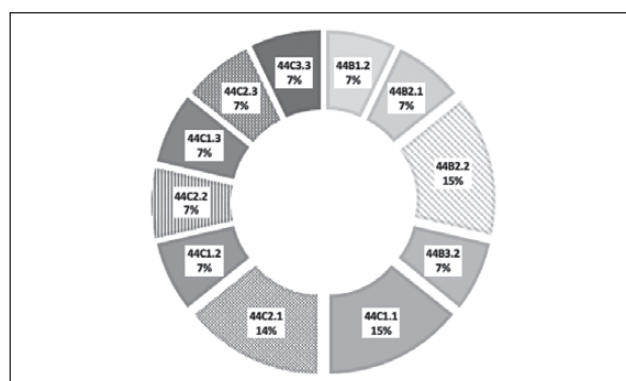
## Materials and methods

### Population and design

The study included 31 patients with ankle fractures Danis-Weber type B and C who received treatment at the Ivano-Frankivsk City Clinical Hospital 1 from 2022 to 2025. They were subsequently categorised into the following groups:

— I — study group, consisted of 7 patients with diagnosed type I and type II diabetes based on anamnesis who underwent intramedullary osteosynthesis of the fibula combined with elastic syndesmotic fixation using a suture-button device on endobuttons [11]. For this cohort of patients, the risk was additionally determined according to the Adelaide Fracture in the Diabetic Ankle (AFDA) algorithm [12];

— II — comparative group, included 9 people without diabetes but with soft tissue compromise who could not undergo traditional osteosynthesis due to poor soft tissue condition (e.g., massive oedema, hematomas, post-traumatic blisters at the future incision site). Therefore, a minimally invasive technique, as used in the study group, was offered to them;



**Figure 3. The distribution of patients in the control group according to the AO classification**

— III — control group consisted of 15 patients with no chronic pathologies who underwent standard osteosynthesis for fibular fractures using a plate, complemented by distal syndesmosis fixation with a positioning screw.

All 44B3 and 44C3 fractures (Volkman fragment and medial malleolus) were fixed with screws, regardless of study group.

The distribution of patients according to the AO classification is presented in Fig. 1–3.

Informed consent was obtained from all patients prior to their participation in the proposed treatment. The study protocol was reviewed and approved by the University's Ethics Committee (protocol No. 124/21 dated November 29, 2021).

#### Inclusion criteria:

— middle-aged patients (according to the World Health Organization) with Danis-Weber type B and C ankle fractures who required surgical treatment by one of the proposed methods;

— patients of groups II and III who agreed to check the level of glycated haemoglobin (HbA1C), creatinine clearance by estimated glomerular filtration rate (eGFR), toe-brachial index (TBI), transcutaneous oxygen pressure (TcPO<sub>2</sub>) and monofilament testing to exclude undiagnosed diabetes, vascular disorders, concomitant pathology of internal organs, peripheral neuropathy.

For patients with previously diagnosed diabetes, such examinations are mandatory, as they allow predicting the risks of postoperative complications using the AFDA.

*Exclusion criteria:*

- refusal of the proposed surgical treatment;
- poorly controlled diabetes ( $HbA1c \geq 8\%$ ) and/or severe comorbidities such as nephropathy ( $eGFR \leq 40$  ml/min/1.73 m<sup>2</sup>), decompensated cardiovascular failure and/or uncontrolled hypertension (systolic blood pressure  $\geq 180$  mmHg);
- deep vein thrombosis of the lower extremities or severe obliterating arterial diseases — all patients underwent preoperative ultrasound screening of the lower limb vessels;
- severe foot deformity due to Charcot arthropathy (Eichholtz stage 3) [13];
- other reasons that do not allow surgical treatment.

## Methods

The quality of restoration of the anatomical integrity of the ankle joint was studied using radiological parameters: tibiofibular overlap (TFO), tibiofibular clear space (TFCS), medial clear space (MCS), talar tilt angle (TTA), talocrural angle (TCA), and the dime/ball sign [14].

Rehabilitation of patients in groups I and II was carried out using our own methodology [15] and included early ambulation with the help of assistive devices without loading the operated lower limb from days 3 to 5 after surgery. In group III, rehabilitation was carried out according to the standard approach and walking on crutches was allowed after extraction of position screw from the 6 to the 8 weeks [16]. The effectiveness of functional recovery was studied using the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scale [17] and Olerud-Molander Ankle Score (OMAS) [18] at weeks 4 and 8, and late outcomes were evaluated after 6 months.

Statistical processing and analysis of the results were performed using MS Excel software and the XLSTAT add-in.

The type of distribution was determined with the Shapiro-Wilk test and the Kolmogorov-Smirnov graphical method. Since the comparison groups did not correspond to a normal distribution, nonparametric methods were used to assess data reliability: the Kruskal-Wallis ANOVA and chi-square tests for independent samples, and the Friedman ANOVA test for dependent samples.

## Results

### General characteristics of the patient population

Analysis of the comprehensive preoperative examination of patients showed that none of the above indicators had statistically significant differences between the groups (all  $p > 0.05$ ) and the groups were well balanced in terms of basic demographic and clinical parameters. The structure of the preoperative examination of patients is presented in Table 1.

In the study group, the median values recorded on the AFDA ranged from 5 to 7 points ( $Me = 5$ ; 95% CI). Risk stratification revealed that 5 patients (71.4 %) had moderate risk (score 5–6), while 2 (28.6 %) had high risk (score  $\geq 7$ ). No patients were identified as those with low risk. Therefore, most patients were at moderate risk, with nearly a third at high risk for postoperative complications.

### Evaluation of ankle joint fracture alignment

X-ray assessments of ankle joint alignment across the study, comparative, and control groups revealed no statistically significant differences; all measured parameters remained within normal ranges. Median TFCS values were 3.8 [3.2–5.1] mm in group I, 4.0 [3.4–5.8] mm in group II, and 3.8 [3.6–5.0] mm in group III ( $p = 0.29$ ), indicating no pathological widening of the mortise. Likewise, there were no significant differences in TTA between the groups. Median values for the study and comparative groups were 1.9° [1.6–2.0] and 1.5° [1.5–2.0], respectively, while the control

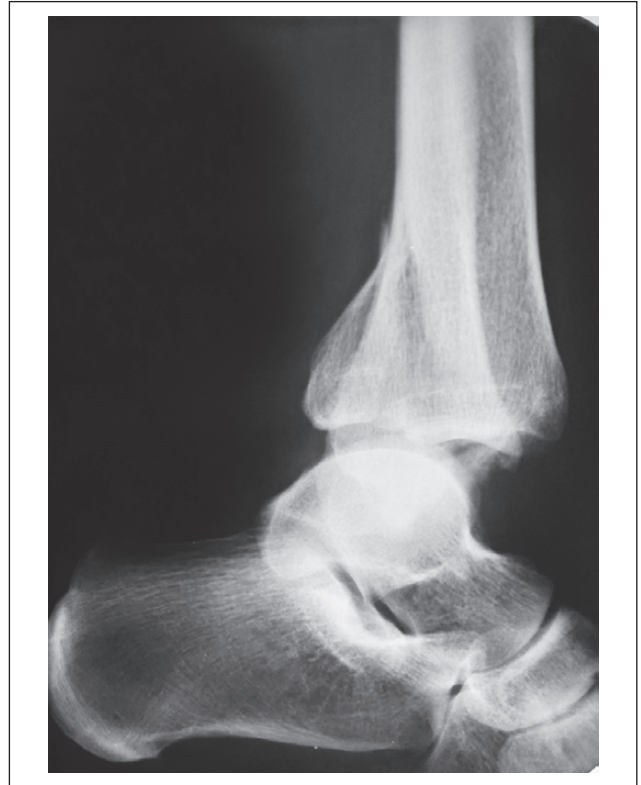
**Table 1. Results of comprehensive preoperative examination of patients in the study, comparative and control groups, Me [LQ-UQ], 95% CI**

Parameters	Group I	Group II	Group III	p
Age, years	54 [47–58]	53 [46–55]	53 [45–58]	0.95
Male/female ratio, number of patients	2/5	1/8	6/9	–
Body mass index, kg/m <sup>2</sup> (N 18.5–25)	26.7 [21.9–33.3]	26.6 [20.8–33.6]	25.3 [21.4–28.5]	0.18
Ratio of normal weight/overweight/ obesity, number of patients	1/3/3	2/6/1	5/10/0	–
HbA1C, % (N < 5.7)	6.8 [6.5–7.8]	5.3 [4.6–5.6]	5.3 [4.6–5.6]	0.27
eGFR, ml/min/1.73 m <sup>2</sup> (N < 60)	90.8 [42.9–110.9]	68.2 [61.3–79.9]	73.6 [60.1–103.8]	0.08
TBI (N > 0.7)	0.8 [0.7–0.9]	0.8 [0.7–1.0]	1.0 [0.8–1.0]	0.9
TcPO <sub>2</sub> , mmHg (N < 60 mmHg, > 40 mmHg — poor wound healing)	78 [75–89]	86 [78–98]	89 [78–100]	0.72
Danis-Weber B/C fracture ratio	4/3	4/5	5/10	–

**Notes:** Me [LQ-UQ] — median [lower quartile — upper quartile]; CI — confidence interval; N — physiological norm.



**Figure 4. Initial X-ray examination, anteroposterior plane**



**Figure 5. Initial X-ray examination, lateral plane**

group had a slightly lower median of 1.2° [0.5–1.9]. The difference was not statistically significant ( $p = 0.98$ ), confirming that ankle congruence was preserved. All groups had TFO values within the expected reference range: 7.9 [6.2–9.7] mm for the study group, 8.3 [6.2–10.3] mm for the comparative group, and 8.1 [6.2–10.0] mm for the control group. No statistically significant differences were indicated ( $p = 0.71$ ). MCS assessment revealed median values of 3.2 [2.3–3.7] mm in group I, 2.8 [2.4–4.2] mm in group II, and 3.2 [2.2–4.3] mm in group III. The parameters corresponded to normal anatomical relationships, with no group-dependent deviations ( $p = 0.84$ ). Finally, TCA was maintained in all cohorts. Median values were 85.1 [78.4–88.2]

in the study group, 82.5 [78.7–87.2] in the comparative group, and 85.3 [83.1–88.8] in the control group ( $p = 0.41$ ). Overall, radiographic data confirm the restoration and preservation of the anatomical parameters of the ankle joint in all groups without statistically significant differences between them (Table 2).

Evaluation of the dime/ball sign, an important indicator of restored fibular length that also affects both ankle joint alignment and gait quality, showed no statistically significant differences among the groups ( $\chi^2 = 0.2609$ ;  $p = 0.26$ ). The negative sign was present in 2 patients (28.6 %) in the study group, 2 patients (22.2 %) in the comparative group, and 4 patients (26.7 %) in the control group.

**Table 2. Results of X-ray morphometric evaluation of the ankle joint congruence in the study, comparative and control groups, Me [LQ-UQ], 95% CI**

Parameters	Group I	Group II	Group III	p
TFCS, mm ( $N \leq 5$ )	3.8 [3.2–5.1]	4.0 [3.4–5.8]	3.8 [3.6–5.0]	0.29
TTA, ° ( $N \leq 2$ )	1.9 [1.6–2.0]	1.9 [1.5–2.0]	1.2 [0.5–1.9]	0.98
TFO, mm ( $N \geq 6$ )	7.9 [6.2–9.7]	8.3 [6.2–10.3]	8.1 [6.2–10.0]	0.71
MCS, mm ( $N \leq 5$ )	3.2 [2.3–3.7]	2.8 [2.4–4.2]	3.2 [2.2–4.3]	0.84
TCA ( $N = 83 \pm 4$ )	85.1 [78.4–88.2]	82.5 [78.7–87.2]	85.3 [83.1–88.8]	0.41



**Figure 6. Post-operative X-ray examination, anteroposterior plane**



**Figure 7. Post-operative X-ray examination, lateral plane**

### Late outcomes of surgical treatment

All fractures healed within the expected median time frames, and none of the groups experienced infectious complications.

### Clinical case

Patient, male aged 54 years, 44B3.2 fracture, concomitant disease — diabetes mellitus type II, obesity, AFDA score 7 points (body mass index — 33.28; HbA1C — 7.3 %; TcPO<sub>2</sub> — 75 %) (Fig. 4–7).

### Functional outcomes of the rehabilitation program

**AOFAAS.** In group I, the median AOFAS score increased from 45 [30–50] at 4 weeks to 54 [47–68] at 8 weeks and reached 65 [56–73] at 6 months ( $p = 0.00091$ ). In group II, a similar trend was evident, with scores rising from 53 [40–60] at 4 weeks to 60 [54–65] at 8 weeks and ultimately reaching 71 [63–73] at 6 months ( $p = 0.00012$ ).

Thus, hybrid fixation enables earlier rehabilitation and yields better outcomes in the post-acute period, whereas in group III, significant functional impairment of the ankle joint was observed from week 4 onward (38 [30–54] points). Removal of the positioning screw at 6–8 weeks was associated with an increased range of motion in the joint and a satisfactory functional outcome (up to 53 [46–60]) in the post-acute period. At the 6-month follow-up, the long-term outcome in group III patients was 68 [58–87] points ( $p = 0.00001$ ). When comparing rehabilitation outcomes

between groups, we found statistically significant differences after 4 ( $p = 0.0019$ ) and 8 weeks ( $p = 0.021$ ), indicating heterogeneity in early functional recovery. Since early initiation of active ankle joint mobilization was implemented after hybrid osteosynthesis, even patients with diabetes (group I) and those with severe soft tissue damage (group II) showed significantly better results than controls. At the 6-month follow-up, the differences were no longer statistically significant ( $p = 0.116$ ), indicating convergence of long-term functional outcomes across groups despite differing initial recovery trajectories (Fig. 8).

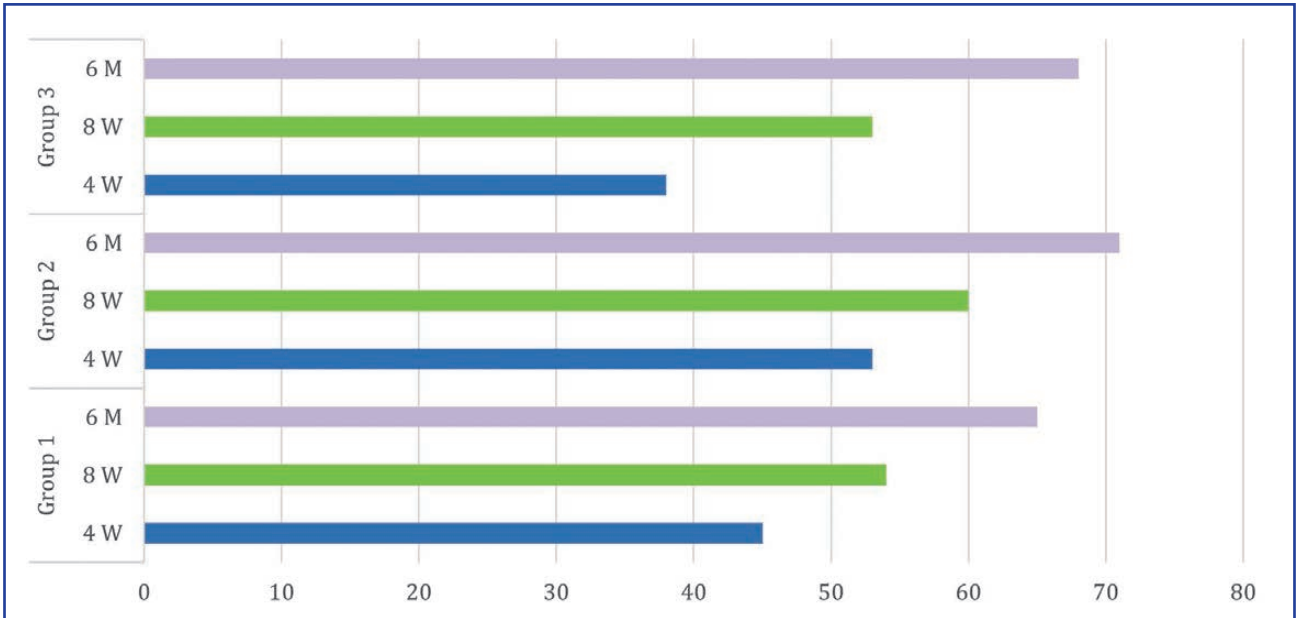
**OMAS.** In group I, the median OMAS score increased from 30 [15–45] at week 4 to 40 [30–50] at week 8, reaching 50 [40–55] at 6 months ( $p = 0.00091$ ). Group II demonstrated a slightly more pronounced improvement in functional recovery over the observation period, with scores increasing from 35 [15–30] at 4 weeks to 50 [40–55] at 8 weeks and 55 [45–65] at 6 months ( $p = 0.00012$ ). In group III, the initial functional limitations were more substantial due to complete immobilization of the distal tibiofibular syndesmosis with a positioning screw and the strict prohibition of any weight bearing, including partial loading. At 4 weeks postoperatively, patients demonstrated a markedly reduced level of functional activity, with a median score of 25 [15–45] points. Following removal of the positioning screw at 6–8 weeks and initiation of partial weight bearing of the ankle joint, activities of daily living improved significantly, with scores increasing to 40 [30–55] points within 8 weeks and to 60 [45–70] points at 6 months ( $p = 0.00001$ ).

At 4 weeks, OMAS scores in groups I and II demonstrated a statistically significant improvement compared to controls ( $p = 0.0216$ ). By 8 weeks, patients in group III had attained comparable functional outcomes ( $p = 0.126$ ). At 6 months postoperatively, long-term outcomes were, as anticipated, superior in patients in groups II–III who did not have chronic comorbidities ( $p = 0.0235$ ). Overall, patients with diabetes demon-

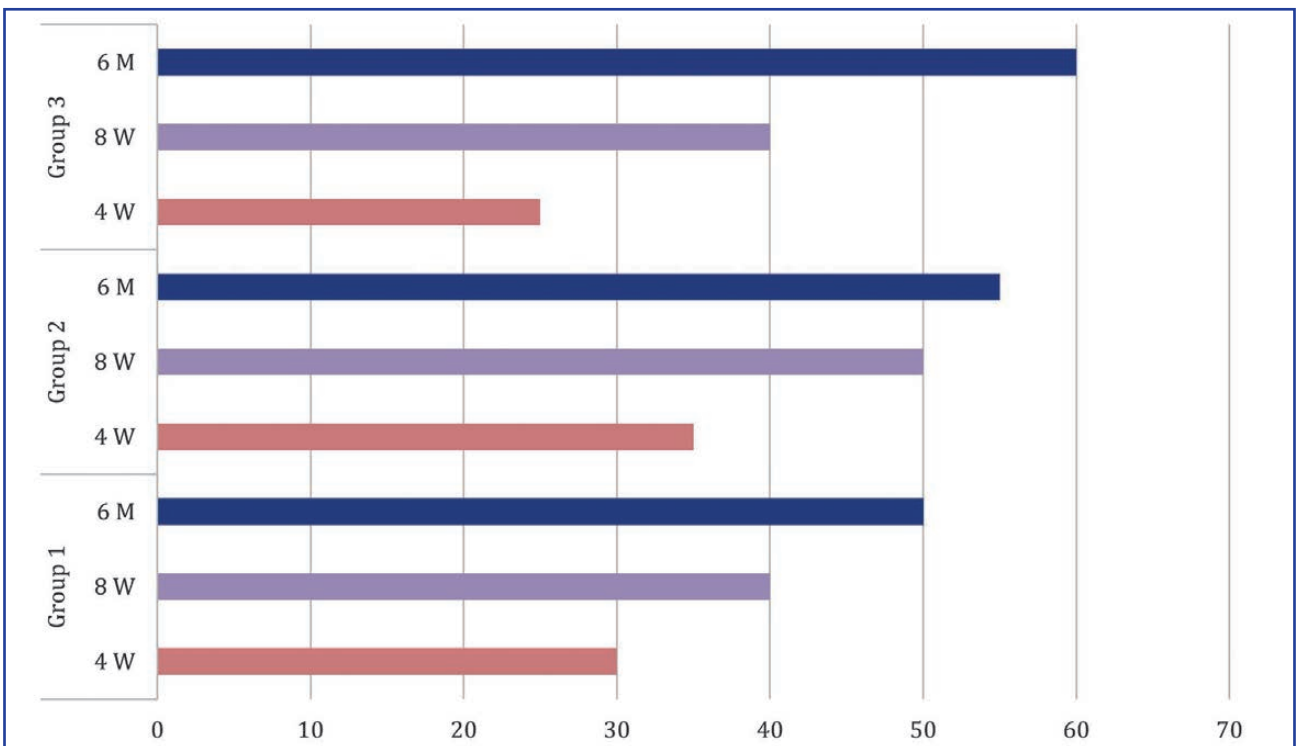
strated satisfactory mobility, which may slow the progression of metabolic disturbances in the tissues of the lower extremities and delay the onset of clinical signs typical of Charcot foot.

The functional outcomes of the rehabilitation program are presented in Fig. 9.

Thus, despite the presence of diabetes mellitus manifestations (5–7 points on the AFDA scale), all patients



**Figure 8.** The functional outcomes of the rehabilitation program in the study, comparative and control groups assessed by AOFAS



**Figure 9.** The functional outcomes of the rehabilitation program in the study, comparative and control groups assessed by OMAS

achieved restoration of ankle joint function to at least on a moderate level (50 scores) according to AOFAS and OMAS (maximum 100 scores each).

## Discussion

Ankle fractures in diabetic patients are particularly challenging to treat, primarily because they face a higher risk of complications and poorer functional recovery than non-diabetic individuals. Outcomes are influenced by three main factors: the systemic effects of diabetes on tissue quality, the need for specialized fixation when bone quality is compromised, and the critical role of a multidisciplinary team throughout every phase of management, from preoperative planning through long-term rehabilitation [19, 20].

Current research suggests that patients with diabetes are more likely to experience wound infections, delayed healing, and even amputations after ankle fracture fixation compared to the general population [21]. Peripheral neuropathy, peripheral angiopathy, and poor glycaemic control are major predictors of adverse outcomes. Therefore, preoperative screening for neuropathy and vascular insufficiency is important for risk stratification and surgical planning [22]. Predictors of post-surgical fracture complications in diabetic patients are well established. High HbA1c levels have been linked to a greater risk of delayed postoperative wound healing, suppuration, inadequate fracture alignment following open reduction internal fixation (ORIF), and poorer functional recovery outcomes [23]. Direct complications of diabetes (neuropathy, vascular lesions, Charcot arthropathy, etc.) also correlate with postoperative complications [24, 25]. To exclude angio-neuropathy and latent diabetes, as well as to assess lesion extent in patients with diagnosed diabetes, we routinely evaluated TBI, TcPO, and performed monofilament testing in all patients in the study group. Many models and indicators lack adequate external validation, particularly in diverse populations or in countries where access to healthcare is limited. This shortcoming hinders the swift adoption of complex diagnostic tests.

The AFDA algorithm is the most effective and widely validated tool for predicting treatment success in diabetic patients. For this reason, we chose the AFDA to guide our selection of optimal surgical treatment. As a practical clinical scale, the AFDA considers diabetes-related complications and offers orthopaedists evidence-based recommendations regarding conservative treatment, ORIF, or primary arthrodesis [12]. On the AFDA scale, a threshold of 5–7 points is considered a criterion for considering primary arthrodesis, below 5 points for ORIF, and above 7 points to recommend conservative treatment [26].

Primary arthrodesis of the ankle joint provides satisfactory results in complex fractures with severe concomitant diabetic angioneuropathy, allowing stable fixation and, in some cases, earlier mobilization [9, 27].

Although retrograde intramedullary arthrodesis completely immobilizes the ankle and offers only the benefit of early axial loading, it results in a complete disruption of gait biomechanics and causes severe limping due to limb shortening [28].

This method should be used only for patients at high risk of failure or with severe soft tissue involvement, since it does not provide full functional recovery. For middle-aged individuals, this can mean a notable reduction in quality of life.

Median AFDA scores ranging from 5 to 7 in the study group made ORIF too risky for postoperative complications.

Despite this, all patients prioritized achieving full functional recovery and found arthrodesis unsatisfactory. As a result, our efforts shifted toward identifying alternative osteosynthesis methods.

Bone tissue affected by diabetes is commonly characterized by osteopenia, and the surrounding soft tissues are usually poorly vascularized. As a result, modern surgical approaches prioritize augmented fixation techniques, often employing super-constructs that provide support beyond the immediate fracture zone. These include fixation plates or intramedullary systems that provide precious mechanical stability but still neglect patient recovery demands [29].

Hybrid intramedullary osteosynthesis with a suture-button device on endobuttons for distal tibiofibular syndesmosis repair has not been evaluated in diabetics but has shown positive results for Danis-Weber type B and C fracture fixation. Several studies indicate that a suture-button device has key advantages: it does not require reoperation for screw removal and delivers functional outcomes that are similar to or better than those of plates. This makes it particularly beneficial for patients who are at higher risk of soft tissue complications [30–32]. Our study sought to provide better functional outcomes compared to arthrodesis, given that both procedures involve similar surgical intervention volumes, yet ours yields significantly higher functional benefit. Using a minimally invasive technique — intramedullary osteosynthesis of the fibula with elastic fixation of the syndesmosis by a suture-button device on endobuttons [31], we were able to achieve the same alignment of bone fragments in patients with diabetes as in those without it, with better bone quality, but with poor soft tissue quality, as shown by radiological examinations. Conversely, we demonstrated that an alternative fixation method effectively achieves congruency of the ankle joint and restores the distal syndesmosis, even in complex Danis-Weber B and C fractures, with results comparable to ORIF using a plate and positioning screw. Across all groups, X-ray returned to normal values, and no significant differences were found between the examined parameters.

Our study is consistent with findings from meta-analyses, which indicate that minimally invasive endobutton devices dynamically stabilize the distal tibiofibular syndesmosis by allowing physiologic micromotion while still maintaining reduction [33]. Multiple comparative studies and meta-analyses have shown that in patients with ankle fractures, these devices offer radiological alignment and functional outcomes that are at least equivalent to [34] and often superior to [35, 36]? those seen with rigid transsyndesmotic screws. Moreover, endobuttons are linked to fewer hardware-related reoperations and maintain joint mobility, enabling earlier mobilization. Our study demonstrated that all patients regained ankle motion, as measured by AOFAS, re-

ardless of the fixation method used. However, we observed that diabetic patients experienced a less favourable recovery in activities of daily living according to OMAS.

Successful functional recovery in patients with complex ankle joint fractures and severe comorbidities depends on both appropriate surgical intervention and a personalized rehabilitation program. Contemporary algorithms and rehabilitation protocols for ankle fractures recommend early patient mobilization following stable fixation. This approach encourages faster functional recovery and does not elevate the risk of complications [37].

Physical therapy focuses on progressive loading, range of motion exercises, and balance training. Before, gradual loading under the supervision of a physical therapist has been shown to improve outcomes compared to delayed loading protocols, only if the fracture fixation is biomechanically stable [38]. Proprioceptive and neuromuscular training are key to restoring postural control and preventing recurrent instability or falls [39].

Some studies have found that in patients with diabetes, gradually mobilization of the joint after stable internal or hybrid fixation enhances range of motion, prevents muscle atrophy, minimizes excessive stress on healing tissues [40], and significantly improves quality of life [41]. Nevertheless, such studies are limited and mostly offer weak evidence.

Minimally invasive stabilization of the ankle joint structures facilitates early functional loading, which can substantially decrease the risk of developing Charcot arthropathy. Nevertheless, anatomical restoration alone does not guarantee the restoration of mobility and the ability to perform activities of daily living, as evidenced by the functional outcomes observed in our study using AOFAS and OMAS. We suggest that superior results can be achieved through the involvement of occupational therapists who can devise individualized strategies for patient adaptation within workplace and societal contexts.

The current physical therapy protocol for patients with ankle fractures necessitates modification for individuals with diabetes. This modification involves extending the duration of the rehabilitation and incorporating an additional cycle during the long-term phase. This approach allows for a heightened focus on addressing balance and gait disorders, ultimately aiming to enhance overall patient outcomes.

The surgical treatment and rehabilitation of diabetic patients with ankle fractures should integrate mechanical stability, utilize minimally invasive hybrid fixation techniques, and provide individualized rehabilitation programs.

This indicates that additional rehabilitation cycles may be necessary, potentially involving occupational therapists and utilizing telehealth by physical therapists to increase session numbers without requiring in-person visits.

## Conclusions

1. Hybrid intramedullary osteosynthesis of the fibula with stabilisation of the distal syndesmosis using a suture-button device on endobuttons expands indications for surgery in patients with Danis-Weber type B and C ankle fractures and diabetic angioneuropathy (AFDA score 5–7).

2. Minimally invasive osteosynthesis appears to restore ankle anatomy as effectively as ORIF, based on radiological parameters.

3. The combination of hybrid intramedullary osteosynthesis using our own technique and an original rehabilitation program enables us to achieve satisfactory ankle restoration outcomes according to AOFAS, particularly in patients with diabetes.

4. In the post-acute period, recovery of function according to OMAS was more dynamic in patients treated with hybrid osteosynthesis, allowing mobilization 2 weeks earlier and earlier restoration of activity to a satisfactory level. Over the long term, however, patients with diabetes showed slightly less pronounced recovery than those without diabetes, underscoring the need for careful, individualized adjustment of rehabilitation stages.

**Limitations of study.** Few patients were included in groups I and II due to the rarity of ankle fractures combined with diabetes or soft tissue compromise. These groups couldn't be merged because patients with diabetes have poorer bone quality and higher infection risk, while group II patients primarily have wound healing risks. In contrast, all group III patients had no chronic illnesses and underwent standard ORIF. Including healthy patients treated with hybrid osteosynthesis would strengthen the study, but our cohort in this category is only aged 18–35, making comparisons with older groups unfeasible. This study aimed to show that hybrid osteosynthesis (elastic fibula nail and endobutton) provides X-ray alignment and functional outcomes comparable to ORIF in select complex ankle fractures.

## References

1. Nash WJ, Hester T, Ha J. Current concepts and challenges in managing ankle fractures in the presence of diabetes: A systematic review of the literature. *J Clin Orthop Trauma*. 2021 Feb 3;17:44–53. doi: 10.1016/j.jcot.2021.01.016.
2. Amini B, Kadhm S, Trompeter A. The impact of diabetes mellitus on the management and outcome of ankle fractures. *Injury*. 2025 Apr;56(4):112226. doi: 10.1016/j.injury.2025.112226.
3. Goldberg EM, Polachek WS, Hynes K. Ankle Fractures in Diabetic Patients: A Critical Analysis. *JBJS Rev*. 2023 Mar 16;11(3). doi: 10.2106/JBJS.RVW.22.00147.
4. Van Hulten V. Bone strength, microarchitecture, and fracture risk in type 2 diabetes. *Maastricht: Maastricht University*, 2025. 297 p. doi: 10.26481/dis.20250213vh.
5. Hicks CW, Selvin E. Epidemiology of Peripheral Neuropathy and Lower Extremity Disease in Diabetes. *Curr Diab Rep*. 2019 Aug 27;19(10):86. doi: 10.1007/s11892-019-1212-8.
6. Tanius M, Brickman B, Cage E, Abbas K, Smith C, et al. Diabetes and Impaired Fracture Healing: A Narrative Review of Recent Literature. *Curr Osteoporos Rep*. 2022 Oct;20(5):229–239. doi: 10.1007/s11914-022-00740-z.
7. Marin C, Luyten FP, van der Schueren B, Kerckhofs G, Vandamme K. The Impact of Type 2 Diabetes on Bone Fracture Healing. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018 Jan 24;9:6. doi: 10.3389/fendo.2018.00006.

8. Lavery LA, Lavery DC, Green T, Hunt N, La Fontaine J, et al. Increased Risk of Nonunion and Charcot Arthropathy After Ankle Fracture in People with Diabetes. *J Foot Ankle Surg.* 2020 Jul-Aug;59(4):653-656. doi: 10.1053/j.jfas.2019.05.006.
9. Elgoyoushi SM, Morrah AN, Kholeif AM, Elbadry AA. Outcomes of Tibiotalocalcaneal (TTC) Nailing in Ankle Fractures in Diabetic Patients with Charcot Neuroarthropathy. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* 2025 Apr 15;16:21514593251328896. doi: 10.1177/21514593251328896.
10. Dawar A, Chundi G, Fuller Z, Ahn DB, Chopra AA, et al. Tibiotalocalcaneal Arthrodesis vs Open Reduction Internal Fixation for Trimalleolar Ankle Fractures in High-Risk Patients: A National Database Analysis. *Foot Ankle Orthop.* 2025 Sep 30;10(3):24730114251375027. doi: 10.1177/24730114251375027.
11. Sulyma VS, Chuzhak AV, inventors. Method of combined stable-elastic fixation of unstable injuries of the ankle joint in case of transsyndesmotic fractures of the fibula. Patent of Ukraine No. 134463, 2019 May 27.
12. Yee J, Pillai A, Ferris L. Diabetic ankle fractures: a review of the literature and an introduction to the Adelaide fracture in the diabetic ankle algorithm and score. *Biomed Res Int.* 2014;2014:153146. doi: 10.1155/2014/153146.
13. Rosenbaum AJ, DiPreta JA. Classifications in brief: Eichenholtz classification of Charcot arthropathy. *Clin Orthop Relat Res.* 2015 Mar;473(3):1168-71. doi: 10.1007/s11999-014-4059-y.
14. Lau BC, Allahabadi S, Palanca A, Oji DE. Understanding Radiographic Measurements Used in Foot and Ankle Surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2022 Jan 15;30(2):e139-e154. doi: 10.5435/JAAOS-D-20-00189.
15. Sulyma VS, Filyak YO, Fedynyak MP, Chuzhak A, inventors. Rehabilitation protocol after a hybrid system of stable-elastic fixation of unstable fractures of the ankles and distal tibiofibular syndesmosis. Ukraine certificate of registration of copyright for the work No. 117011. 2023 Mar 10.
16. Bretherton CP, Claireaux HA, Achten J, Athwal A, Dutton SJ, et al. Protocol for the Weight-bearing in Ankle Fractures (WAX) trial: a multicentre prospective non-inferiority trial of early versus delayed weight-bearing after operatively managed ankle fracture. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Aug 9;22(1):672. doi: 10.1186/s12891-021-04560-7.
17. Tapaninaho K, Saarinen AJ, Ilves O, Uimonen MM, Häkkinen AH, et al. Structural validity of the foot and ankle outcome score for orthopaedic pathologies with Rasch Measurement Theory. *Foot Ankle Surg.* 2022 Feb;28(2):193-199. doi: 10.1016/j.jfas.2021.03.005.
18. McKeown R, Parsons H, Ellard DR, Kearney RS. An evaluation of the measurement properties of the Olerud Molander Ankle Score in adults with an ankle fracture. *Physiotherapy.* 2021 Sep;112:1-8. doi: 10.1016/j.physio.2021.03.015.
19. Ahluwalia R, Wek C, Lewis TL, Stringfellow TD, Coffey D, et al.; HARnT Collaborative King's College Hospital, London. Surgical Management of Complex Ankle Fractures in Patients with Diabetes: A National Retrospective Multicentre Study. *J Clin Med.* 2024 Jul 5;13(13):3949. doi: 10.3390/jcm13133949.
20. Gougoulias N, Oshba H, Dimitroulias A, Sakellariou A, Wee A. Ankle fractures in diabetic patients. *EFORT Open Rev.* 2020 Sep 10;5(8):457-463. doi: 10.1302/2058-5241.5.200025.
21. Alsheikh KA, Alrehaili HH, Alsabr AA, Alem AA, Albala-wi MM, Aljaafri ZA. Outcomes of surgical management of ankle fractures in patients with diabetes. *J Taibah Univ Med Sci.* 2024 Jul 23;19(4):800-805. doi: 10.1016/j.jtumed.2024.07.003.
22. Cellier N. Management of hindfoot and ankle in Charcot arthropathy. *EFORT Open Rev.* 2025 Jun 2;10(6):327-335. doi: 10.1530/EOR-2025-0057.
23. Chen D, Liu S, Liu P, Song W. Effect of Elevated Blood Glucose on Postoperative Complications Among Diabetic Patients After Surgical Treatment of Torsional Ankle Fracture. *Foot Ankle Int.* 2024 Aug;45(8):839-844. doi: 10.1177/10711007241250005.
24. Lopez-Capdevila L, Rios-Ruh JM, Fortuño J, Costa AE, Santamaria-Fumas A, et al. Diabetic ankle fracture complications: a meta-analysis. *Foot Ankle Surg.* 2021 Oct;27(7):832-837. doi: 10.1016/j.jfas.2020.10.015.
25. Manchanda K, Nakonezny P, Sathy AK, Sanders DT, Starr AJ, Wukich DK. A systematic review of ankle fracture treatment modalities in diabetic patients. *J Clin Orthop Trauma.* 2020 Dec 13;16:7-15. doi: 10.1016/j.jcot.2020.12.013.
26. Grote CW, Tucker W, Stumpff K, Birt MC, Horton GA. Primary Arthrodesis for Diabetic Ankle Fractures. *Foot Ankle Orthop.* 2020 Mar 24;5(1):2473011420908841. doi: 10.1177/2473011420908841.
27. Fadle AA, El-Adly W, Fekry MA, Osman AE, Khalifa AA. Primary arthrodesis for diabetic ankle fractures using a modified retrograde femoral intramedullary locking nail combined with lateral plating, surgical technique, and early results of a pilot study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024 Jul;34(5):2549-2556. doi: 10.1007/s00590-024-03947-1.
28. Roepke WB, Haleem AM. Complications of Foot and Ankle Fractures in Diabetics. *Foot Ankle Clin.* 2025 Mar;30(1):173-190. doi: 10.1016/j.fcl.2024.04.004.
29. Stringfellow TD, Coffey D, Wek C, Bretherton C, Tan SP, et al.; HARnT Collaborative. Epidemiology & management of complex ankle fractures in the United Kingdom: A multicentre cohort study. *Injury.* 2024 Feb;55(2):111037. doi: 10.1016/j.injury.2023.111037.
30. Yawar B, Hanratty B, Asim A, Niazi AK, Khan AM. Suture-Button Versus Syndesmotic Screw Fixation of Ankle Fractures: A Comparative Retrospective Review Over One Year. *Cureus.* 2021 Sep 8;13(9):e17826. doi: 10.7759/cureus.17826.
31. Shimozone Y, Hurley ET, Myerson CL, Murawski CD, Kennedy JG. Suture Button Versus Syndesmotic Screw for Syndesmosis Injuries: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med.* 2019 Sep;47(11):2764-2771. doi: 10.1177/0363546518804804.
32. Xu B, Wang S, Tan J, Chen W, Tang KL. Comparison of Suture Button and Syndesmotic Screw for Ankle Syndesmotic Injuries: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Orthop J Sports Med.* 2023 Jan 5;11(1):23259671221127665. doi: 10.1177/23259671221127665.
33. Kim GB, Park CH. Hybrid Fixation for Danis-Weber Type C Fractures With Syndesmosis Injury. *Foot Ankle Int.* 2021 Feb;42(2):137-144. doi: 10.1177/1071100720964799.
34. Shevate I, Salunkhe R, Pervez F, Pawar P. A Prospective Study on Fixation of Syndesmotic Ankle Injury: Tight Rope

*Versus Screw Fixation. Cureus. 2024 Aug 19;16(8):e67172. doi: 10.7759/cureus.67172.*

35. Ræder BW, Stake IK, Madsen JE, Frihagen F, Jacobsen SB, et al. Randomized trial comparing suture button with single 3.5 mm syndesmotic screw for ankle syndesmosis injury: similar results at 2 years. *Acta Orthop. 2020 Dec;91(6):770-775. doi: 10.1080/17453674.2020.1818175.*

36. Kong R, Viswanathan S, Razii N, Hazarika S. Surgical Outcomes of Syndesmotic Fixation of Ankle Fractures Using Syndesmotic Screws Versus Suture Button Devices. *Cureus. 2024 Jul 21;16(7):e65051. doi: 10.7759/cureus.65051.*

37. Tong J, Ajrawat P, Chahal J, Daud A, Whelan DB, et al. Early Versus Delayed Weight Bearing and Mobilization After Ankle Fracture Fixation Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Orthopedics. 2024 Mar-Apr;47(2):71-78. doi: 10.3928/01477447-20230804-08.*

38. Lewis SR, Pritchard MW, Parker R, Searle HKC, Beckenkamp PR, et al. Rehabilitation for ankle fractures in adults.

*Cochrane Database Syst Rev. 2024 Sep 23;9(9):CD005595. doi: 10.1002/14651858.CD005595.pub4.*

39. Khojaly R, Rowan FE, Hassan M, Hanna S, Mac Nio-cail R. Weight-bearing Allowed Following Internal Fixation of Ankle Fractures, a Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Foot Ankle Int. 2022 Sep;43(9):1143-1156. doi: 10.1177/10711007221102142.*

40. Bazarov I, Peace RA, Lagaay PM, Patel SB, Lyon LL, Schuberth JM. Early Protected Weightbearing After Ankle Fractures in Patients With Diabetes Mellitus. *J Foot Ankle Surg. 2017 Jan-Feb;56(1):30-33. doi: 10.1053/j.jfas.2016.09.010.*

41. Lorente A, Gandía A, Mariscal G, Palacios P, Lorente R. Quality of life and complications in elderly patients after pronation rotation type III ankle fractures treated with a cast and early weight-bearing. *BMC Musculoskelet Disord. 2021 Oct 14;22(1):878. doi: 10.1186/s12891-021-04745-0.*

Received 16.02.2026

Revised 13.03.2026

Accepted 22.03.2026

#### Information about authors

Uliana Kuz, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: ulynakuz@gmail.com; phone: +380 (50) 823-23-75; <https://orcid.org/0000-0001-5987-400X>

Yuliia Divnych, Doctoral Candidate (Dr. med.), Faculty of Medicine, University of Bern, Bern, Switzerland; e-mail: yuliadivnych@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0497-5318>

Ivan Gudz, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of General and Vascular Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: igudz@ifnmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1048-7580>

Serhii Vasyliuk, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Abdominal and Emergency Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: svasyliuk@ifnmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6738-6951>

Yevhen Nychvyd, Student, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: nychvyd\_ye@ifnmu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0001-3284-8124>

Volodymyr Dubas, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: dubasvi@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7189-6295>

Volodymyr Omelchuk, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: vomelchuk@ifnmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1909-0849>

Vadym Sulyma, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; e-mail: vadymsulyma1961@gmail.com; phone: +380 (50) 503-52-79; <https://orcid.org/0000-0001-6618-2546>

**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.** This article is a fragment of the academic research work No. 0121U113435 "Reasoning approaches of diagnostic and treatment surgical vascular diseases" with funding from the Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

**Authors' contribution.** U. Kuz — formal statistical analysis, writing original draft; Yu. Divnych, V. Dubas, V. Omelchuk — data collection and curation, literature review, writing original draft; I. Gudz — data interpretation, review and editing; S. Vasyliuk — case identification and records retrieval, literature review, writing original draft; Ye. Nychvyd — data collection and curation, visualization/figure preparation; V. Sulyma — data interpretation, review and editing, study conceptualization and design, supervision.

Кузь У.В.<sup>1</sup>, Дівнич Ю.О.<sup>2</sup>, Гудз І.М.<sup>1</sup>, Василюк С.М.<sup>1</sup>, Ничвид Є.В.<sup>1</sup>, Дубас В.І.<sup>1</sup>, Омельчук В.П.<sup>1</sup>, Сулима В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ, Україна

<sup>2</sup>Бернський університет, м. Берн, Швейцарія

### Малоінвазивна гібридна фіксація та реабілітація при переломах над'яtkово-гомiлкового суглоба типу В/С за Danis-Weber у пацієнтів із цукровим діабетом: порівняльні результати

**Резюме. Актуальність.** Хірургічне лікування пацієнтів із діабетом та переломом над'яtkово-гомiлкового суглоба (НГС) є складним через високий ризик ускладнень, як-от стопа Шарко. **Мета:** покращити ефективність хірургічного лікування та реабілітації хворих на діабет із переломами НГС. **Матеріали та методи.** Дослідження провели у 31 пацієнта з переломами НГС типу В і С за класифікацією Danis-Weber. У 7 осіб із діабетом І (дослідної) групи виконано малоінвазивний (гібридний) остеосинтез за оригінальною методикою (патент № 134463); у 9 пацієнтів ІІ (порівняльної) групи без діабету, але з вираженими післятравматичними ознаками

ушкодження м'яких тканин провели аналогічний остеосинтез; у 15 осіб ІІІ (контрольної) групи без хронічних патологій — остеосинтез пластиною з фіксацією дистального міжгомiлкового синдесмозу позиційним шурупом. Ризик післяопераційних ускладнень у І групі прогнозували за шкалою Adelaide Fracture in the Diabetic Ankle (AFDA). Якість хірургічного лікування оцінювали за відновленням рентгеноморфометричних параметрів. Ефективність реабілітації визначали за опитувальниками American Orthopaedic Foot and Ankle Score (AOFAS) та Olerud-Molander Ankle Score (OMAS) на 4-й і 8-й тиждень після операції та через 6 місяців. **Результати.**

Згідно з післяопераційними рентгенологічними даними, в усіх групах досягнуто відновлення анатомічних структур НГС ( $p < 0,05$ ). Суттєвих відмінностей у наявності ознаки *dime/ball* між групами не виявлено ( $\chi^2 = 0,2609$ ;  $p = 0,26$ ). Щодо функціональних результатів за шкалою AOFAS у післягострому періоді (4–8 тижнів), у пацієнтів I та II груп (гібридний остеосинтез) спостерігали позитивну динаміку відновлення функції суглоба ( $p < 0,05$ ), а у віддаленому періоді реабілітації (6 місяців) показники між групами статистично не відрізнялися ( $p = 0,1158$ ). Натомість, за опитувальником OMAS, після гібридного остеосинтезу пацієнти мали кращі функціональні результати в післягострому періоді (4-й тиждень). На 8-му

тижні в усіх групах досягнуто однаковий рівень відновлення, а на 6-му місяці у II та III групах виявили вірогідно кращі результати, ніж у контрольній ( $p = 0,02354$ ). **Висновки.** В осіб із діабетом та переломами НГС Danis-Weber типу B і C, які мають високий ризик післяопераційних ускладнень за шкалою AFDA, слід виконувати інтрамедулярний гібридний остеосинтез, що мінімізує ушкодження м'яких тканини при операції, та застосовувати індивідуальний протокол реабілітації, що надалі може запобігти виникненню стопи Шарко.

**Ключові слова:** перелом надп'ятково-гомількового суглоба; цукровий діабет; малоінвазивні хірургічні втручання; реабілітація

DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.27.2026.1075>Євсеєнко В.Г.<sup>1</sup>, Зазірний І.М.<sup>1,2</sup>, Левицький Є.А.<sup>1,3</sup>, Бородюк Д.В.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Клінічна лікарня «Феофанія» ДУС, м. Київ, Україна<sup>2</sup>Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна<sup>3</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

## Порівняльний аналіз результатів зворотного ендопротезування плечового суглоба з дефектами суглобової поверхні лопатки: огляд літератури

**Резюме. Актуальність.** Ендопротезування плечового суглоба є одним із найбільш ефективних методів лікування патологій, що супроводжуються вираженим больовим синдромом та значним обмеженням функції верхньої кінцівки. Дефекти гленоїда часто супроводжують патології плечового суглоба та можуть виявлятися у значної частки пацієнтів, яким виконується зворотне ендопротезування. Вони ускладнюють стабільну фіксацію опорної пластини та підвищують ризик нестабільності гленоїдального компонента, тому оптимальне передопераційне планування і вибір методу реконструкції гленоїда є важливими для забезпечення задовільних довготривалих результатів. **Мета:** узагальнити та проаналізувати сучасні наукові дані щодо результатів зворотного ендопротезування плечового суглоба у пацієнтів із дефектами суглобової поверхні лопатки, з акцентом на біомеханічні передумови стабільності гленоїдального компонента та вибір оптимальної реконструктивної тактики. **Матеріали та методи.** Проведено огляд 212 публікацій в базі PubMed за період 2016–2026 рр. Остаточно відібрано та проаналізовано 16 публікацій. Застосовано методи аналітичної та описової статистики. **Результати.** Аналіз літератури свідчить, що дефекти гленоїда істотно впливають на первинну стабільність опорної пластини та довготривале виживання імплантата. Кісткова реконструкція (автотрансплантати, алотрансплантати, BIO RSA) забезпечує відновлення кісткового запасу та може супроводжуватися високими показниками інкорпорації, однак асоціюється з підвищеним ризиком ускладнень, особливо у ревізійних випадках. Металеві аугментовані опорні пластини демонструють порівнювані функціональні результати з потенційно нижчою частотою імпіджменту та втрати кісткової тканини. Пацієнт-специфічні 3D-друковані імплантати забезпечують надійну фіксацію при критичній втраті кістки гленоїда, проте потребують подальшого вивчення щодо довгострокової ефективності та економічної доцільності. **Висновки.** Вибір хірургічної стратегії при зворотному ендопротезуванні плечового суглоба з гленоїдальними дефектами має ґрунтуватися на детальній оцінці морфології дефекту, попередньому 3D-плануванні та індивідуалізованому підході з урахуванням анатомічних і біомеханічних особливостей пацієнта.

**Ключові слова:** огляд; ендопротезування плечового суглоба; 3D-моделювання; адитивні технології; дефект гленоїда

### Вступ

Ендопротезування плечового суглоба нині розглядається як один із найбільш ефективних методів хірургічного лікування патологій, що супроводжуються стійким больовим синдромом та суттєвим обмеженням функції верхньої кінцівки. Разом із тим у процесі пе-

редопераційного планування хірург нерідко стикається з проблемою кісткових дефектів гленоїда, частота яких, за даними літератури, може сягати 39 % випадків [1]. Дефіцит кісткової тканини гленоїда має різноманітні морфологічні прояви і спостерігається у 40 % пацієнтів, яким виконувалося зворотне ендопротезування

© «Травма» / «Trauma» («Травма»), 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Левицький Євгеній Анатолійович, аспірант, кафедра травматології та ортопедії, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна; e-mail: lev.evgen21@gmail.com; тел.: +380 (67) 423-23-58; лікар ортопед-травматолог, Центр ортопедії, травматології та спортивної медицини, Клінічна лікарня «Феофанія» ДУС, вул. Академіка Заболотного, 21, м. Київ, 03143, Україна

For correspondence: Yevhenii A. Levytskyi, PhD-student, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: lev.evgen21@gmail.com; phone: +380 (67) 423-23-58; Orthopaedist-Traumatologist, Center of Orthopedics, Traumatology and Sport Medicine, Feofaniya Clinical Hospital, Akademika Zabolotnoho st., 21, Kyiv, 03143, Ukraine

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

плечового суглоба [2]. Верхні дефекти найчастіше асоціюються з артропатією розриву ротаторної манжети; задні — переважно спостерігаються при первинному остеоартриті або диспластичних змінах; передні — характерні для хронічної передньої нестабільності плечового суглоба. Виражена медіальна ерозія гленоїда може формуватися при первинному остеоартриті або запальних артритих, тоді як найбільш значні та складні дефекти, як правило, виявляються під час ревізійних оперативних втручань [3].

Опорна пластина (базисна пластина, baseplate) є ключовим елементом фіксаційної системи при зворотному ендопротезуванні плечового суглоба (reverse total shoulder arthroplasty, rTSA), оскільки саме вона забезпечує механічну стабільність гленосферичного компонента, рівномірний розподіл навантаження та формує умови для довготривалої остеоінтеграції імпланта. Після імплантації rTSA відбувається принципова зміна біомеханіки плечового суглоба: центр ротатії зміщується медіально та дистально, що призводить до значного збільшення навантажень на гленоїдальний компонент. У цих умовах опорна пластина виконує роль основного навантажувального вузла, який сприймає осьові, зсувні та ротатійні сили, передає їх на кістку лопатки та запобігає мікрорухам гленосфери. Бездоганна первинна стабільність пластини є обов'язковою умовою для остеоінтеграції: навіть мінімальний люфт запускає механізм асептичного розхитування, відомий як «ефект гойдалки», що зрештою призводить до ослаблення кісткової тканини та дестабілізації всього імпланта [4].

Точне просторове позиціонування опорної пластини визначає як початкову стабільність, так і віддалені клінічні результати і є критичним не лише для механічного виживання імпланта, але й для кінематики всього плечового пояса. Ключовими параметрами імплантації визначаються такі показники:

— **кут інклінації:** надання пластині легкого нахилу донизу (inferior tilt) дозволяє перерозподілити зсувні сили на сили стиснення, що сприяє остеоінтеграції та мінімізує ризик виникнення імпіджементу (notching) — ерозії шийки лопатки через контакт із плечовим компонентом;

— **торсія:** корекція надмірної ретроверсії (особливо при дефектах типу B2/B3 за Walch) є вирішальною для запобігання передній нестабільності та забезпечення адекватного обсягу ротатійних рухів;

— **медіалізація та латералізація:** надмірна медіалізація при обробці дефекту може послабити кісткову опору для імпланта. Сучасні погляди схилиються до «біологічної» або «металевої» латералізації, що поліпшує натяг дельтоподібного м'яза та стабілізує суглоб;

— **щільна фіксація:** забезпечення первинної стабільності; перехід від механічної фіксації до біологічної остеоінтеграції є ключем до довговічності протеза.

Первинна стабільність опорної пластини створює умови для вторинної біологічної фіксації, тобто остеоінтеграції. У сучасних конструкціях опорних пластин

використовується пористий титан, трабекулярні металеві структури, 3D-друковані поверхні, що імітують архітектоніку губчастої кістки. Ці поверхні сприяють проростанню кісткової тканини в пори імпланта, зменшенню фіброзної інтерпозиції, формуванню біологічно стабільного кістково-імплантатного комплексу. Недостатня остеоінтеграція є однією з головних причин віддалених ускладнень та ревізійних втручань при rTSA. Правильна імплантація та ефективна остеоінтеграція опорної пластини забезпечують довготривалу стабільність гленоїдального компонента, зниження частоти ревізійних операцій, кращі функціональні результати, прогнозовану тривалість служби ендопротеза [5]. Помилки позиціонування призводять до раннього розхитування, переломів гвинтів, прогресивної резорбції гленоїдальної кістки, зниження функціональних результатів [6].

Біомеханічний аналіз підтвердив пряму залежність між площею контакту опорної пластини з кісткою та стабільністю фіксації: що менша ця площа, то вищий ризик виникнення мікрорухів. За даними досліджень, критичний рівень нестабільності спостерігався при охопленні від 25 до 60 %. Натомість покриття понад 75 % гарантувало надійну первинну стабільність; у певних моделях достатнім виявився і показник у 67 % [7].

Дефекти суглобової поверхні лопатки (гленоїдальні дефекти) у пацієнтів, яким показане rTSA, обмежують можливість стабільної фіксації опорної пластини, ускладнюють відновлення анатомічної лінії суглоба та призводять до підвищеного ризику ранньої нестабільності, підвищеної резорбції кісткової тканини, ослаблення компонентів та необхідності ревізії. У сучасній практиці застосовують три головні стратегії: 1) кісткова реконструкція (переважно структурні автотрансплантати або алотрансплантати); 2) стандартні металеві імпланти серійного виробництва, які змінюють форму та площу прилягання опорної пластини; 3) пацієнт-специфічні імпланти та індивідуальні шаблони [2].

Отже, досягнення оптимального клінічного результату при ендопротезуванні плечового суглоба значною мірою визначається здатністю хірурга своєчасно розпізнати характер і ступінь кісткової втрати гленоїда та обрати адекватну реконструктивну тактику з урахуванням анатомічних особливостей, біомеханічних закономірностей і індивідуальних потреб пацієнта [3].

**Мета:** узагальнити та проаналізувати сучасні наукові дані щодо результатів зворотного ендопротезування плечового суглоба у пацієнтів із дефектами суглобової поверхні лопатки, з акцентом на біомеханічні передумови стабільності гленоїдального компонента та вибір оптимальної реконструктивної тактики.

## Матеріал та методи

У базі даних PubMed за період 2016–2026 рр. було проведено літературний пошук з використанням таких ключових слів: зворотне ендопротезування пле-

чового суглоба, BIO-RSA, дефект гленоїда, кістковий дефект лопатки, остеointegraція, опорна пластина гленоїда, 3D-друк гленоїда. Загальна кількість виявлених публікацій становила 212. У процесі аналізу виключено публікації, які стосувались прицільного огляду методу хірургічного лікування, не містили дефектів кісткової тканини гленоїда та не включали біомеханічні зміни ( $n = 196$ ). Зрештою залишилися тільки релевантні повнотекстові статті у спеціалізованих журналах ( $n = 16$ ). Нами проаналізовано публікації, які охоплюють: а) огляди та концептуальні статті щодо менеджменту втрати кістки суглобового відростка лопатки [2, 8–11]; б) клінічні порівняльні дослідження кісткової реконструкції (зокрема, BIO-RSA (хірургічна техніка при реверсивному ендопротезуванні плеча, яка використовує кістковий трансплантат для латералізації суглобової поверхні) та структурні трансплантати) [12–14]; в) огляди та клінічні дані щодо аугментованих опорних пластин [2, 9, 15]; г) результати застосування пацієнт-специфічних (3D-друкованих) гленоїдальних компонентів та індивідуальних шаблонів [16–22]. Там, де джерела містили цифрові дані, вони наведені у вигляді ключових показників (балів, обсягу рухів суглоба, ускладнень, ревізій, остеointegraції та стабільності трансплантата). Застосовано методи аналітичної та описової статистики.

## Результати дослідження та їх обговорення

### Оцінка і класифікація дефектів

Ключовою передумовою вибору тактики є точна оцінка локалізації дефекту, зміна торсії або інклінації, якість кістки.

Найбільш вживаною та широко цитованою системою оцінки морфології суглобового відростка лопатки є класифікація G. Walch, яка була розроблена для оцінки кісткових змін при первинному остеоартрозі плечового суглоба, але активно застосовується також у контексті гTSA та ґрунтується на оцінці морфології гленоїда в аксіальній площині [23]. Первинно система передбачала поділ патології на три основні типи, однак у подальшому M.J. Bergic та співавт. модифікували її, розширивши до чотирьох категорій із відокремленням підтипів. Відповідно до цієї класифікації розрізняють: тип А — запальний остеоартрит (підтипи А1 і А2); тип В — первинний остеоартрит (підтипи В1 і В2); тип С — дисплазія; тип D — хронічна передня нестабільність (табл. 1) [24]. Найбільш виражена втрата кісткової тканини гленоїда характерна для типів В2 та С. Гленоїд типу В2 відзначається біконкавністю (це морфологічна деформація суглобової поверхні лопатки, при якій гленоїд набуває двовігнутої (подвійної) форми замість нормальної однієї рівномірної увігнутості), що включає «палеогленоїд» (власну, нативну суглобову поверхню) та «неогленоїд» (новоутворену суглобову поверхню), і часто поєднується з різним ступенем заднього підвивиху головки плечової кістки. Гленоїд типу С характеризується ретроверсією понад  $25^\circ$ .

**Таблиця 1. Класифікація морфології гленоїда за G. Walch (з модифікаціями)**

Тип	Морфологічна характеристика	Основні особливості кісткової втрати
A1	Центральний знос	Мінімальна ерозія, майже нормальна версія гленоїда
A2	Центральний знос	Помірна центральна ерозія з поглибленням суглобової поверхні
B1	Задня ерозія	Помірна задня кісткова втрата без значної ретроверсії
B2	Біконкавний гленоїд	Виражена задня ерозія, формування «палео-» та «неогленоїда», ретроверсія
B3	Виражений задній дефект	Значна ретроверсія та зменшення кісткової підтримки гленоїдного компонента
C	Диспластичний гленоїд	Ретроверсія $> 25^\circ$
D	Передній дефект	Передня ерозія з антеверсією

Ці модифікації надають змогу ортопедам більш точно класифікувати асиметричні та складні форми кісткової втрати, зокрема при вторинних артритах і артропатіях, які складно оцінити за класичною схемою [10].

D.M. Rispoli та співавт. запропонували систему градації, яка базується на ступені медіалізації плечолопаткового зчленування у фронтальній площині, що безпосередньо корелює зі ступенем ерозії субхондральної пластинки. За умови повної візуалізації субхондральної пластинки ерозія відсутня. При частковому або повному її руйнуванні на глибину до 5 мм ерозію вважають легкою. Якщо руйнування сягає латерального краю основи дзьобоподібного відростка (приблизно 5–10 мм), його кваліфікують як помірне. Ерозія, що поширюється медіальніше від цієї анатомічної межі та перевищує 10 мм у глибину, розцінюється як тяжка [25].

Класифікація LeVigne-Franceschi спрямована на систематизацію центральної втрати кісткової тканини гленоїда, що найчастіше спостерігається у пацієнтів із ревматоїдним артритом. Вона базується на ступені медіалізації гленоїда та поширенні центральної ерозії відносно анатомічного орієнтира — рівня дзьобоподібного відростка лопатки. Система включає три стадії: стадія I — незначна центральна ерозія гленоїда без суттєвої медіалізації; стадія II — центральна ерозія, що досягає рівня дзьобоподібного відростка; стадія III — центральна ерозія, яка поширюється медіальніше від рівня дзьобоподібного відростка, що свідчить про виражену втрату кісткової тканини та глибoku медіалізацію суглобової поверхні [7, 11, 16].

Класифікація Sirveaux-Favard використовується для оцінки локалізації та ступеня вертикального зношення гленоїда у фронтальній площині при артропатії розриву ротаторної манжети. Вона описує типові варіанти верхньої кісткової втрати: E0 — міграція головки

плечової кістки вгору без ерозії гленоїда; E1 — концентрична центральна ерозія; E2 — ізольована верхня ерозія; E3 — верхня ерозія з поширенням донизу; E4 — ізольована нижня ерозія [26, 27].

Класифікація P. Nabergmeier базується на співвідношенні лінії, проведеної між верхнім і нижнім краями гленоїда, з вертикальною лінією на рівні дзьобоподібного відростка. Вона дає змогу оцінити ступінь нижнього нахилу та ерозії гленоїда й доповнює дані, отримані за системою G. Walch [28].

Класифікація кісткових дефектів при ревізійних втручаннях є складнішою. S.A. Antuna та співавт. запропонували систему, що враховує локалізацію та ступінь кісткової втрати (центральні, периферичні або комбіновані дефекти з поділом на легкі, помірні й тяжкі) [29]. Згодом A.J. Seidl і G.R. Williams адаптували цю систему для застосування як у первинних, так і в ревізійних випадках [11]. R.S. Page та співавт. розробили модифікацію для планування імпаційної кісткової пластики: тип 1 — відмежовані дефекти, придатні до імпаційної пластики; тип 2 — невідмежовані дефекти, які можуть бути конвертовані у тип 1 за допомогою сітки або кортикального трансплантата; тип 3 — невідмежовані дефекти, не придатні до імпаційної пластики [30].

Подальша модифікація S.A. Antuna використовується для опису дефіциту кісткової маси гленоїда при ревізійних операціях і передбачає поділ дефектів на центричні (C1–C4 — залежно від руйнування кісткового ложа) та ексцентричні (E1–E4 — залежно від локалізації та відсотка втрати кістки). У межах ексцентричних дефектів виділяють мінімальні (< 30 %), помірні (30–60 %) та тяжкі (> 60 %) ураження [27].

M.A. Frankle та співавт. запропонували класифікацію, засновану на тривимірній комп'ютерній томографії (3D-KT), що дозволяє визначати локалізацію дефекту за квадрантами (задній, верхній, глобальний або передній). Доведено, що 3D-моделювання значно підвищує точність оцінки деформацій порівняно з двовимірною томографією або стандартною рентгенографією. Це має важливе значення для визначення достатності кісткової опори під базову пластину та фіксаційні гвинти. Такі об'єктивні оцінки важливі для визначення, чи є дефект значним і потребує заміщення (аугментації, графтування або використання кістково-аналогових чи металевих вставок) [10, 31].

У свою чергу, G. Kocsis та співавт. запропонували класифікацію гленоїдальної втрати кістки для планування перед ревізійною артропластиком, показавши високу відтворюваність у різних дослідженнях і кореляцію із больовою шкалою Constant, що підкреслює практичну цінність стандартизованого опису дефекту. Класифікація базується на ступені та характері руйнування суглобової поверхні лопатки. Тип 0: дефектів немає; тип 1 (центральний): кавітаційний дефект (кісткове кільце інтактне); тип 2 (периферичний): дефект краю (переднього, заднього, верхнього або нижнього); тип 3 (комбінований): поєднання центральної кавітації та дефекту краю; тип 4 (масивний): глобальна деструкція гленоїда [18].

## Кісткова реконструкція: автотрансплантати, алотрансплантати, BIO-RSA

У поодиноких випадках нестабільності гленосфери за наявності невеликих дефектів суглобового відростка проблему вдавалося усунути шляхом ревізійного втручання. У дослідженні O. Strafun та співавт. (2025) було виявлено асептичне розхитування гленосфери, що потребувало абразивної пластики та заміни базової пластинки з гленосферою без застосування кісткової пластики [32].

Концепція та технічні принципи кісткової реконструкції мають на меті відновити платформу для опорної пластини та, за потреби, скоригувати зміну нахилу без надмірної медіалізації та без критичної втрати субхондральної кістки. Огляд N. Mehta і G.P. Nicholson підкреслює типові негативні наслідки кісткової пластики: нестабільність, резорбція, незрощення із вторинним зривом фіксації опорної пластини; при цьому як «робочий стандарт» для тяжких первинних дефектів найчастіше розглядають структурний автотрансплантат із голівки плечової кістки, що кріпиться за рахунок спеціальної установки опорної пластини [10].

P. Voileau та співавт. описали модифікований BIO-RSA — angled BIO-RSA як варіант біологічного відновлення кісткового об'єму при ерозіях та дефектах зі значними відхиленнями зміни торсії або інклинації, коли трансплантату спеціально надають клиноподібної форми, щоб одночасно відсунути центр обертання та скоригувати нахил гленоїда (табл. 2). У серії з 54 пацієнтів середнє спостереження становило 36 місяців (від 24 до 81 місяця). Отримано 94 % повного рентгенологічного зрощення трансплантата (51/54). Функціональна оцінка за шкалою Constant-Murley зросла з 31 до 68, SSV — з 30 до 83 %. Були заявлені такі ускладнення: 1 інфекція, 2 випадки асептичного розхитування опорної пластини; незначний імпіджемент лопатки без істотних клінічних наслідків — 25 % (13/51). Автори застосовували 3D-планування та пацієнт-специфічні кондуктори/трансплантати для тяжких (> 25°) мультиплощинних дефектів, що підкреслює «гібридний» характер підходу [12].

C. Sholtis та співавт. проаналізували 26 rTSA зі структурними авто-/алотрансплантатами для гленоїдальних дефектів (2008–2019), середній час спостереження становив  $4,4 \pm 3,9$  року. Успішна реконструкція суглобової поверхні лопатки (відсутність ліній просвітлення/міграції) досягнута у 88 % (23/26). Результати: ASES покращився з  $27,0 \pm 12,6$  до  $59,8 \pm 24,1$ ; VAS — з  $8,1 \pm 3,6$  до  $3,0 \pm 3,2$ ; активне підняття — з  $63 \pm 36^\circ$  до  $104 \pm 36^\circ$ ; ER — з  $21 \pm 20^\circ$  до  $32 \pm 23^\circ$ . Повторні операції — 19 % (5/26), загальна частота ускладнень (включно з повторними операціями) — 27 % (7/26), з яких 86 % не були пов'язані з «провалом» самої гленоїдальної реконструкції. Навіть за прийнятної стабільності опорної пластини ці випадки залишаються високоризиковими через супутні фактори (ревізійність, стан м'яких тканин, проблеми з пацієнт-специфічними ризиками тощо) [14].

Н. Ingoe та співавт. описали планування та попередні результати лікування після гTSA у 29 пацієнтів із використанням структурної алокістки (голівки стегнової кістки) як адаптований кістковий алографт. Автори підкреслюють доцільність алотрансплантата у ситуаціях, коли автокістка плечової голівки недоступна або недостатньо якісна (ревiзiя, переломи, аваскулярний некроз, остеопороз). Повiдомлена частота ускладнень у складних випадках становила 8 % [13].

У роботі А.В. Harris та співавт. на основі огляду сучасної літератури запропоновано алгоритмічний підхід до прийняття клінічного рішення, в якому визначальним фактором вибору типу артропластики є передусім морфологія гленоїда та оцінка можливості досягнення стабільної довготривалої фіксації гленоїдального компонента [8].

Кісткова реконструкція дозволяє відновити кістковий запас і коригувати деформацію, однак демонструє ширший «коридор» ризиків. У Р. Voileau (angled BIO-RSA) на фоні високої інкорпорації (94 %) і низької частоти тяжких ускладнень показані дуже добрі функціональні результати, що частково пояснюється стандартизованою технікою та ретельним 3D-плануванням. У С. Sholtis та співавт. (більш гетерогенна серія, переважно складні/ревiзiйні випадки) стабільність реконструкції теж висока (88 %), але загальна частота ускладнень (27 %) і повторних операцій (19 %) суттєва. Це підтримує тезу, що результат залежить не лише від матеріалу трансплантата, а й від контексту (первинна або ревiзiйна операція, стан кістки та м'язких тканин, пацієнт-специфічні ревiзiї) [12–14].

### Використання готових стандартних виробів (металевих аугментів)

N.S. Lanham та співавт. у систематичному огляді описали 19 досліджень, 652 пацієнти, та показали загалом подібні результати між кістковою пластиною та аугментованими базисними пластинами у первинному зворотному ендопротезуванні плечового суглоба. Ускладнення становили 11,7 %, а ревiзiї — 4,5 % для групи кісткової пластики та 11,8 і 3,7 % для аугментів. Водночас відмінності в окремих ускладненнях суттєві: імпіджемент — 24,6 % при кістковій пластині проти 4,7 % при аугментах; втрата кістки — 3,6 проти 1,6 %; інфекції — 1,9 проти 0,7 %. У висновках: аугменти можуть зменшувати ризик імпіджементу та потенційно спрощувати відтворюваність позиціонування, однак автори наголошують на критичній важливості відбору пацієнтів і типу дефектів [9].

E.N. Lau та співавт. у систематичному огляді порівняли дослідження, що включили 5 робіт із 2331 пацієнтом, середній вік 71,3 року, спостереження — 38,8 місяця. Поліпшення об'єму рухів та показників функціональних шкал (ASES, SST, Constant) у групі металевих аугментації було порівняним із стандартними рішеннями з кістковою аугментацією. Загальна кількість ускладнень у прямих порівняннях — 167 (7,5 %): 7,8 % у standard та 6,7 % у augmented когортах; різниці у ревiзiях автори не виявили [15].

Металеві аугменти, які уже виготовлені і можуть бути використані без індивідуального підлаштування, демонструють принаймні не гірші коротко/середньострокові функціональні результати порівняно з кістковою пластиною, а в низці узагальнень — нижчі частоти окремих ускладнень (особливо щодо імпіджементу та втрати кістки). Ключова перевага — відтворюваність та менша залежність від якості трансплантата. Потенційні обмеження — межі корекції при екстремальних дефектах, а також потреба у збереженні достатнього запасу кісткової маси для гвинтової фіксації [9, 15].

### Пацієнт-специфічні імпланти та 3D-друк

Пацієнт-специфічні імпланти (PSI/Patient-Specific Implants/Custom glenoid components) — це індивідуально спроектовані гленоїдальні базисні пластини (реконструктивні системи), що базуються на КТ-моделях лопатки і виготовляються (часто) методом адитивного виробництва (пористий титан тощо). Мета — забезпечити фіксацію у ситуаціях критичної втрати кістки, коли стандартні компоненти або додаткові аугменти не дозволяють отримати достатню площу контакту та довжину гвинтів.

М. Harrell та співавт. узагальнили спостереження 9 досліджень (168 плечей: 63 первинних і 105 ревiзiйних гTSA), середній час спостережень 31,6 місяця. Загальна частота негативних результатів становила 3,3 %; розхитування гленоїдального компонента як причина невдачі — 0,6 %. Найчастіший механізм невдачі — проблеми з кісткою лопатки, її розм'якшенням. Загальна частота ускладнень — 30,9 %, вища при ревiзiях (27,8 %), ніж при первинних утручаннях (12,9 %). Відзначені клінічно значущі поліпшення оцінки результату лікування з точки зору самого пацієнта та об'єктивного вимірювання рухів у плечовому суглобі (активна флексія +48,3°...+61,4°, абдукція +33,6°...+34,5°, ER +11,0°...+24,1°). Навіть при найтяжчих дефектах індивідуальний гленоїд має низький відсоток порушення функції саме за рахунок гленоїдального компонента [17].

M.S. Rashid та співавт. досліджували клінічні та рентгенологічні результати застосування індивідуальних 3D-друкованих гленоїдальних компонентів Lima ProMade при первинних та ревiзiйних реверсивних тотальних ендопротезуваннях плечового суглоба (гTSA) у пацієнтів із тяжкою втратою кісткової тканини гленоїда та повідомили про значущі клінічні поліпшення в групах первинних і ревiзiйних зворотних ендопротезувань плечового суглоба при тяжкій втраті кістки суглобового відростка лопатки. Мінімальний період спостереження — 24 місяці після операції. Остеоінтеграція підтверджена у більшості пацієнтів. КТ та рентген показали добру стабільність компонентів у кістці: лише в одному випадку не було чітких ознак остеоінтеграції [20].

M.L. Golovakha та співавт. (2022) описали перший український клінічний випадок застосування 3D-друкованого індивідуального гленоїдального аугмента при посттравматичній деформації гленоїда з IV стадією артрозу. За допомогою 3D-моделювання та друку виготовлено індивідуальний компонент зі змі-

шенням центру обертання (5 мм латералізація та  $-5^\circ$  нахил) та 3D-направниками для контролю фіксації, що забезпечило оптимальне положення імплантата й добрий ранній клінічний результат без болю під час рухів. Цей клінічний випадок демонструє важливість тривимірного моделювання та 3D-друку при тяжких гленоїдальних дефектах, коли стандартні імплантати не можуть забезпечити належної фіксації, технічну реалізацію індивідуального аугмента для поліпшення стабільності компонента, можливість персоналізованого підходу навіть у дуже складних анатомічних ситуаціях [33].

V. Makarov та M. Korzh (Україна, 2025) описали короткострокові клінічні та рентгенологічні результати застосування індивідуальних 3D-друкованих пористих титанових опорних пластин у 10 пацієнтів (12 втручань) при зворотному тотальному ендопротезуванні плечового суглоба; середній строк спостереження становив  $2,6 \pm 1,6$  року. Отримано середній обсяг рухів у суглобі: зовнішня ротація —  $60,0 \pm 5,5^\circ$ , флексія/елевація —  $135,0 \pm 8,4^\circ$ , внутрішня ротація —  $85,0 \pm 3,4^\circ$ , приведення —  $145,0 \pm 10,2^\circ$ ; середній бал за шкалою Constant-Murley — 85 балів, з істотним зменшенням або відсутністю болю [34].

Робота G. Roccellini та співавт. є оглядом літератури з додаванням власних 6 попередніх клінічних результатів щодо застосування індивідуальних (custom-made) компонентів у зворотному тотальному ендопротезуванні плечового суглоба у пацієнтів із тяжкими дефектами кістки гленоїда. Метою огляду стала оцінка доступних хірургічних стратегій, обмежень існуючих класифікацій дефектів, доказової бази у літературі, а також демонстрація попередніх клінічних результатів власної групи пацієнтів. Автори підкреслюють, що найбільш доказовий ефект індивідуальних рішень — зниження болю, а приріст функції варіабельний. У джерелі вказано, що у серії 37 пацієнтів із індивідуально спроектованими і персоналізованими під анатомію конкретного пацієнта імплантатами частина хворих потребувала додаткових втручань протягом 5 років; середній бал за шкалою Constant у середньому через 30,5 місяця становив  $41,3 \pm 17,5$ , за VAS —  $3,3 \pm 2,5$  [19].

В огляді E.R. Naikal та співавт. розглядають концепцію та клінічне значення пацієнт-специфічних імплантів при зворотному тотальному ендопротезуванні плеча, особливо у випадках зі значною втратою кісткової тканини гленоїда, коли стандартні імплантати можуть бути технічно складними або неефективними. PSI-імплантати створюються на основі 3D-моделювання КТ-знімків пацієнта, що дозволяє врахувати індивідуальну анатомію та компенсувати дефекти кісткової тканини, підвищуючи точність фіксації компонентів при гTSA. Автори називають кілька можливих переваг використання пацієнт-специфічних імплантів: оптимальна відповідність дефекту анатомії пацієнта, збільшення площі контакту імплантата з кістковим ложем, поліпшена первинна стабільність, можливість уникнути надлишкового видалення кістки, поліпшене позиціонування гвинтів й накладних конструкцій. Автори наголошують на обмеженості довгострокових даних,

відсутності чітких меж тяжкості дефекту, а також варіативних обмежень і логістичних ризиках (якість КТ-моделювання при артефактах у ревізійних випадках, час виготовлення) [16].

### Пацієнт-специфічні шаблони та 3D-направники

M.G.I. Yam та співавт. показали практичний приклад фабричного 3D-друку направника для позиціонування центрального провідника/гвинта при RSA. За КТ-оцінкою, відхилення кінчика гвинта від «центру» кістки з найбільшою товщиною у фронтальній площині становило в середньому 3,3 мм; ускладнень не було. Навіть без повного PSI-імплантата індивідуальний шаблон може зменшити ризик технічної помилки, поліпшити якість гвинтового кріплення і потенційно знизити частоту розхитування опорної пластини у складній анатомії [22].

### Основні описані шляхи вирішення проблеми

1. За помірної деформації без критичного дефекту суглобового відростка лопатки, який ще дозволяє надійно зафіксувати імплант стандартними методами (умовно до  $\sim 15^\circ$  деформації), частіше достатньо застосувати оптимізовану техніку римінгу та коректне позиціонування опорної пластини.

2. Виражені периферичні або мультиплощинні дефекти, але з можливістю створення стабільної біологічної опори потребують кісткової реконструкції (автографт чи алогографт), зокрема BIO-RSA, за яких можливі високі показники остеоінтеграції (94 %) і значний приріст функції.

3. При дефектах, які потребують корекції форми без ризику резорбції трансплантата або коли бажана висока відтворюваність, застосовують металеві аугменти. Систематичні огляди Lanham та Lau демонструють порівнювані ROM/PROMS і подібні/нижчі частоти ускладнень, зокрема менший імпіджемент аугментів.

4. За умови критичного дефіциту кістки, коли стандартні рішення не забезпечують первинної фіксації (часто ревізії, втрачено значну частину кісткової маси гленоїда, деформації після інфекції або множинних операцій), застосовують пацієнт-специфічні імплантати (PSI).

### Обмеження та перспективи

1. Недостатньо виявлено рандомізованих або добре зіставлених порівняльних досліджень між аугментами, кістковими трансплантатами та індивідуальними імплантатами.

2. Відсутні в літературі загальноприйняті порогові критерії, коли саме потрібен індивідуальний імплант (часто рішення ґрунтується на досвіді та можливостях центру).

3. Вартість та логістика (терміни виробництва, ризик невідповідності, вплив артефактів КТ у ревізіях) потребують подальших системних досліджень.

4. Роль навігації, робот-асистенції та PSI-направників як «підсилювачів точності» для стандартних компо-

нентів потенційно зменшує потребу виготовлення PSI у частини пацієнтів, але потребує доказів щодо ускладнень/виживаності.

### Оцінка співвідношення «ціна — якість» пацієнт-специфічних імплантів у зворотному ендопротезуванні плечового суглоба

Хоча пацієнт-специфічні імпланти дорожчі за стандартні рішення, їх використання у зворотному ендопротезуванні плеча є економічно виправданим у складних клінічних випадках. При значних дефектах гленоїда або під час ревізій PSI забезпечують надійнішу первинну фіксацію та точне розташування гвинтів, що знижує ризик асептичного розхитування. На відміну від традиційної кісткової пластики технологія PSI мінімізує ймовірність резорбції трансплантата та необхідність повторних операцій. Крім того, завдяки 3D-плануванню скорочується тривалість втручання, що частково нівелює високу вартість самого виробу.

Отже, при значній втраті кісткової тканини PSI є обґрунтованою опцією, проте при помірних дефектах доцільність їх застосування потребує індивідуального підходу [35].

Разом із тим клінічні роботи підкреслюють, що PSI дозволяють точніше відновлювати анатомічну версію гленоїда та оптимізувати траєкторії фіксаційних гвинтів, що особливо важливо при значній втраті кісткової тканини або складних деформаціях гленоїда [36].

З позицій економічної оцінки важливим є те, що поліпшення точності позиціонування імплантата і більш надійна первинна фіксація можуть зменшувати ризик ранніх механічних ускладнень, як-от асептичне розхитування або нестабільність гленоїдного компонента. Зниження частоти ревізійних втручань має значний вплив на загальні витрати системи охорони здоров'я, оскільки повторні операції суттєво підвищують сумарну вартість лікування. Подібний підхід до оцінки економічної ефективності застосовується і для інших

**Таблиця 2. Порівняння стратегій та практичний алгоритм вибору**

Публікація	Дизайн	Втручання	Ефективність (ROM/шкали)	Ускладнення, ревізії	Стабільність, інкорпорація
Boileau, 2017 (angled BIO-RSA) [12]	54; FU 36 міс.	Автографт + 3D-планування при тяжких дефектах	Constant 31 → 68; SSV 30 → 83 %	1 інф.; 2 асепт. loosening; notching 25 %	Інкорпорація 94 %
Sholtis, 2025 [14]	26; клін. FU 4,4 р.	Структурні авто/алюграфти (частото ревізії)	ASES 27,0 → 59,8; VAS 8,1 → 3,0; FE 63 → 104°; ER 21 → 32°	Реопер. 19 %; заг. ускл. 27 %	Успішна реконстр. 88 %
Ingloe, 2024 [13]	29 плечей (попередні дані)	Феморальна голівка allograft (composite graft)	Опис excellent outcomes	Graft complication 8 %	—
Lanham, 2023 (SR) [9]	19 досл.; 652 пац.	Кісткова пластика vs аугменти	Схожі ROM/PROMS	Comp 11,7 vs 11,8 %; Rev 4,5 vs 3,7 %; notching 24,6 vs 4,7 %	—
Lau, 2025 (SR) [15]	5 досл.; 2331 пац.; FU 38,8 міс.	Augmented vs standard	Схожі ROM/ASES/SST/Constant	Comp 7,8 % (standard) vs 6,7 % (augmented); Rev — без різниці	—
Harrell, 2025 (SR custom) [17]	9 досл.; 168 пац.; FU 31,6 міс.	Custom glenoid implants	ROM: FF +48...+61°; Abd +33...+34°; ER +11...+24°; PROMs покращ.	Failure 3,3 %; glenoid loosening 0,6 %; ускл. 30,9 % (rev>prim)	Низька частка гленоїдного «провалу»
Makarov & Korzh, 2025 [34]	10 пац.; 12 втруч.; FU 2,6 ± 1,6 р.	Пористі титанові базисні пластини (3D-друк)	ER 60°; Elev 135°; Abd 145°; Constant 85	Не наведено частоти ускладнень в анотації	—
Yam, 2021 [22]	Серія (направник)	3D-друк PSI-jig для центрального дроту/гвинта	Технічна точність: середнє відхилення 3,3 мм	Немає ускладнень	Поліпшення purchase (техн.)

**Примітка:** наведені числові показники — ті, що прямо доступні у відповідних джерелах зі списку; частина робіт є оглядовими або не публікує повні числові результати в анотації.

видів артропластики, для яких доведено, що навіть до- рожчі імпланти можуть бути економічно доцільними завдяки зменшенню частоти ускладнень та ревізій у довгостроковій перспективі [17, 37].

## Висновки

1. Сучасна концепція зворотного ендопротезування плеча трансформувалася зі стандартної заміни суглоба у високоточну інженерну реконструкцію. Вибір між використанням біологічних трансплантатів чи техно- логічних рішень (аугментів та PSI) має ґрунтуватися на попередньому 3D-моделюванні. Це дозволяє спрогно-зувати стабільність майбутньої конструкції ще на етапі планування операції.

2. BIO-RSA/структурні трансплантати забезпечують відновлення кісткового запасу і можуть давати дуже високі показники інкорпорації та функції, але в склад-них/ревізійних випадках зростає кількість негативних наслідків.

3. Застосування металевих аугментів демонструє по-рівнювані функціональні результати (потенційно ниж-чий імпіджемент та ерозія нижнього краю гленоїда) з подібними ревізіями.

4. Пацієнт-специфічні імпланти є ефективним ря-твним підходом при критичній втраті кістки: частота втрати щільності гленоїдального відростка низька, але потрібні довгострокові дані й економічні оцінки. Ви-сока ціна індивідуальних імплантів (PSI) компенсуєть-ся їх перевагами при лікуванні пацієнтів із тяжкими деформаціями плечового суглоба. Завдяки ідеальній відповідності формі кістки та точному кріпленню PSI дозволяють уникнути раннього розхитування кон-струкції та складних повторних операцій. Викорис-тання 3D-планування також робить саму операцію ко-ротшою та безпечнішою. Хоча для простих випадків ці витрати можуть бути надмірними, при значних втратах кісткової тканини індивідуальні рішення є фінансово та клінічно виправданими.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсут-ність конфлікту інтересів та власної фінансової заці-кавленості при підготовці даної статті.

**Інформація про фінансування.** Джерело фінансу-вання як наукової роботи, так і процесу публікації статті — кошти авторів.

**Внесок авторів.** Євсєнко В.Г. — концепція і дизайн дослідження; Зазірний І.М. — збирання й обробка ма-теріалів; Левицький Є.А. — аналіз отриманих даних; Бородюк Д.В. — написання тексту.

## Список літератури

1. Colasanti CA, Lin CC, Ross KA, Luthringer T, Elwell JA, Roche CP, et al. Augmented baseplates yield optimum outcomes when compared with bone graft augmentation for managing glenoid deformity during reverse total shoulder arthroplasty: a retrospective comparative study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2023 May;32(5):958-971. <https://doi:10.1016/j.jse.2022.10.015>.
2. Wilcox B, Campbell RJ, Low AK, Yeoh T. Management of glenoid bone loss in primary reverse shoulder arthroplasty: a

systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J.* 2022;104-B(12):1334-1342. <https://doi:10.1302/0301-620X.104B12.BJJ-2022-0819.R1>.

3. Al-Omairi S, Albadran A, Dagher D, Leroux T, Khan M. Glenoid bone loss in shoulder arthroplasty: a narrative review. *Ann Joint.* 2024;9:8. <https://doi:10.21037/aoj-23-24>.

4. Maheshwer B, Haase LR, Chen RE. Glenoid baseplate po- sition in reverse shoulder arthroplasty. *JSES Rev Rep Tech.* 2025 Aug 5;5(4):886-890. <https://doi:10.1016/j.xrtr.2025.06.019>.

5. Rojas J, Choi K, Joseph J, Srikumaran U, McFar- land EG. Aseptic Glenoid Baseplate Loosening After Reverse Total Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review and Meta- Analysis. *JBJS Rev.* 2019 May;7(5):e7. <https://doi:10.2106/JBJS.RVW.18.00132>. PMID: 31145263.

6. Formaini NT, Everding NG, Levy JC, et al. The effect of glenoid bone loss on reverse shoulder arthroplasty baseplate fi- xation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(11):e312-319. <https://doi:10.1016/j.jse.2015.05.045>.

7. Puckett, Caleb & Gwilt, Matthew & Collon, Kevin & Wa- terman, Brian. Baseplate Coverage in Reverse Total Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review. *JSES Reviews, Reports, and Techniques.* 2025;5. <https://doi:10.1016/j.xrtr.2025.02.010>.

8. Harris AB, Familiari F, Russo R, Lukasiewicz P, McFar- land EG. Shoulder arthroplasty in patients with glenohumeral osteoarthritis, glenoid bone loss and an intact rotator cuff: an algorithmic approach and review of the literature. *Ann Joint.* 2023;8:18. <https://dx.doi.org/10.21037/aoj-22-53>.

9. Lanham NS, Peterson JR, Ahmed R, Jobin CM, Levine WN. Comparison of glenoid bone grafting versus aug- mented glenoid baseplates in reverse shoulder arthroplasty: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2023;32(4):885-891. <https://doi:10.1016/j.jse.2022.11.017>.

10. Mehta N, Nicholson GP. Management of glenoid bone loss in primary reverse total shoulder arthroplasty. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2023;16(8):358-370. <https://doi:10.1007/s12178-023-09845-z>.

11. Seidl AJ, Williams GR, Boileau P. Challenges in re- verse shoulder arthroplasty: addressing glenoid bone loss. *Or- thopedics.* 2016;39(1):14-23. <https://doi:10.3928/01477447-20160111-01>.

12. Boileau P, Morin-Salvo N, Gauci MO, Seeto BL, Chalmers PN, Holzer N, Walch G. Angled BIO-RSA (bony-in- creased offset-reverse shoulder arthroplasty): a solution for the management of glenoid bone loss and erosion. *J Shoulder El- bow Surg.* 2017 Dec;26(12):2133-2142. <https://doi:10.1016/j.jse.2017.05.024>.

13. Ingoe H, Italia K, Gilliland L, Kang HW, Karel M, Ma- haraj J, et al. The use of glenoid structural allografts for gle- noid bone defects in reverse shoulder arthroplasty. *J Clin Med.* 2024;13(7):2008. <https://doi:10.3390/jcm13072008>.

14. Sholtis C, Kha ST, Ramakrishnan A, Abrams GD, Free- hill MT, Cheung EV. Glenoid structural bone grafting in re- verse total shoulder arthroplasty: clinical and radiographic out- comes. *J Shoulder Elbow Surg.* 2025;34(2):e103-e111. <https://doi:10.1016/j.jse.2024.05.008>.

15. Lau EN, Lin R, Glover A, Lin A. Augmented versus stan- dard glenoid baseplate use in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review. *JSES Int.* 2025;9(5):1723-1730. <https://doi:10.1016/j.jseint.2025.05.032>.

16. Haikal ER, Fares MY, Abboud JA. Patient-specific implants in reverse shoulder arthroplasty. *Clin Shoulder Elb*. 2024;27(1):108-116. <https://doi:10.5397/cise.2023.00038>.
17. Harrell M, Dayal D, Rahaman C, Elliott P, Berta C, Van Zyl J, et al. Survivorship, complications, and outcomes of custom glenoid implants in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review. *JSES Rev Rep Tech*. 2025;5(4):891-898. <https://doi:10.1016/j.xrrt.2025.07.003>.
18. Kocsis G, Thyagarajan DS, Fairbairn KJ, Wallace WA. A new classification of glenoid bone loss to help plan the implantation of a glenoid component before revision arthroplasty of the shoulder. *Bone Joint J*. 2016;98-B(3):374-380. <https://doi:10.1302/0301-620X.98B3.36664>.
19. Porcellini G, Micheloni GM, Tarallo L, Paladini P, Merolla G, Catani F. Custom-made reverse shoulder arthroplasty for severe glenoid bone loss: review of the literature and preliminary results. *J Orthop Traumatol*. 2021;22(1):2. <https://doi:10.1186/s10195-020-00564-6>.
20. Rashid MS, Cunningham L, Shields DW, Walton MJ, Monga P, Bale RS, Trail IA. Clinical and radiologic outcomes of Lima ProMade custom 3D-printed glenoid components in primary and revision reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2023;32(10):2017-2026. <https://doi:10.1016/j.jse.2023.04.020>.
21. Wesorick BR, Lo EY, Gupta A, Garofalo R, Gall K, Krishnan SG. Current concepts in patient-specific implants for reverse shoulder arthroplasty. *JSES Int*. 2025;9(3):771-778. <https://doi:10.1016/j.jseint.2024.12.007>.
22. Yam MGJ, Chao JYY, Leong C, Tan CH. 3D printed patient-specific customised surgical jig for reverse shoulder arthroplasty, a cost-effective and accurate solution. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;21:101503. <https://doi:10.1016/j.jcot.2021.10150>.
23. Barnsley L, Knipe H, Rasuli B, et al. Walch classification of glenoid morphology. Reference article, *Radiopaedia.org* (Accessed on 11 Jan 2026). <https://doi.org/10.53347/rID-74419>.
24. Bercik MJ, Kruse K 2nd, Yalizis M, Gauci MO, Chaoui J, Walch G. A modification to the Walch classification of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis using three-dimensional imaging. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016 Oct;25(10):1601-6. <https://doi:10.1016/j.jse.2016.03.010>.
25. Rispoli DM, Sperling JW, Athwal GS, Schleck CD, Cofield RH. Humeral head replacement for the treatment of osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2006 Dec;88(12):2637-44. <https://doi:10.2106/JBJS.E.01383>.
26. Favard L, Levigne C, Nerot C, Gerber C, De Wilde L, Mole D. Reverse prostheses in arthropathies with cuff tear: are survivorship and function maintained over time? *Clin Orthop Relat Res*. 2011 Sep;469(9):2469-75. <https://doi:10.1007/s11999-011-1833-y>.
27. Malhas A, Rashid A, Copas D, Bale S, Trail I. Glenoid bone loss in primary and revision shoulder arthroplasty. *Shoulder Elbow*. 2016 Oct;8(4):229-40. <https://doi:10.1177/1758573216648601>.
28. Habermeyer P, Magosch P, Luz V, Lichtenberg S. Three-dimensional glenoid deformity in patients with osteoarthritis: a radiographic analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2006 Jun;88(6):1301-7. <https://doi:10.2106/JBJS.E.00622>.
29. Antuna SA, Sperling JW, Cofield RH, Rowland CM. Glenoid revision surgery after total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2001 May-Jun; 10(3):217-24. <https://doi:10.1067/mse.2001.113961>.
30. Page RS, Haines JF, Trail I. Impaction Bone Grafting of the Glenoid in Revision Shoulder Arthroplasty: Classification, Technical Description and Early Results. *Shoulder & Elbow*. 2017;1(2):81-88. doi: 10.1111/j.1758-5740.2009.00017.x.
31. Frankle MA, Teramoto A, Luo ZP, Levy JC, Pupello D. Glenoid morphology in reverse shoulder arthroplasty: classification and surgical implications. *J Shoulder Elbow Surg*. 2009 Nov-Dec;18(6):874-85. <https://doi:10.1016/j.jse.2009.02.013>.
32. Strafun O, Kravchenko D. Mistakes and Complications in Reverse Shoulder Arthroplasty. *Terra Orthopaedica*, 2025;1(124):36-39. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2025-124-1-36-39>.
33. Golovakha ML, Bondarenko SA, Grytsenko OO, Pogarsky AY. The first experience of individual reverse shoulder arthroplasty in case of post-traumatic glenoid deformation (case from practice). *Orthop Traumatol Prosthet*. 2022;(1-2):93-98. <https://doi:10.15674/0030-598720221-293-98>.
34. Makarov V., Korzh M. Short-term outcomes of using custom 3d printed base plates in reverse shoulder arthroplasty for patients with glenoid cavity defects. *Orthopaedics Traumatology and Prosthetics*. 2025;(2):29-37. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025229-37>.
35. Song HS, Lee SU, Kim H. Advancing Precision in Shoulder Arthroplasty: Patient-Specific Instrumentation, Navigation, and Emerging Technologies. *Clin Orthop Surg*. 2025 Oct;17(5):727-739. <https://doi:10.4055/cios25021>.
36. Cabarcas BC, Cvetanovich GL, Gowd AK, Liu JN, Manderle BJ, Verma NN. Accuracy of patient-specific instrumentation in shoulder arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *JSES Open Access*. 2019 Sep 18;3(3):117-129. <https://doi:10.1016/j.jses.2019.07.002>.
37. Davies A, Zamora-Talaya B, Sabharwal S, et al. Cost-effectiveness of total shoulder arthroplasty compared with hemiarthroplasty: a study using data from the National Joint Registry. *BMJ Open*. 2025;15:e086150. <https://doi:10.1136/bmjopen-2024-086150>.

Отримано/Received 19.02.2026  
Рецензовано/Revised 16.03.2026  
Прийнято/Accepted 26.03.2026

#### Information about authors

Viacheslav H. Yevsieienko, PhD in Medicine, Orthopaedist-Traumatologist, Center of Orthopedics, Traumatology and Sport Medicine, Feofaniya Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine; e-mail: ye.yava@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9065-7636>

Ihor M. Zazirnyi, MD, DSc, PhD, Head of the Center of Orthopedics, Traumatology and Sport Medicine, Feofaniya Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine; e-mail: zazirny@ukr.net; phone: +380 (67) 756-32-47; Professor, Department of Orthopedics and Traumatology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-7890-1499>

Yevhenii A. Levytskyi, PhD-student, Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: lev.evgen21@gmail.com; phone: +380 (67) 423-23-58; Orthopaedist-Traumatologist, Center of Orthopedics, Traumatology and Sport Medicine, Feofaniya Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-9076-9985>

Davyd V. Borodiuk, Orthopaedist-Traumatologist, Center of Orthopedics, Traumatology and Sport Medicine, Feofaniya Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine; e-mail: davidborodiuk@gmail.com; phone: +380 (93) 965-27-69; PhD-student, Department of Orthopedics and Traumatology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0009-0000-2108-9970>

**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 source of funding for both the research and the publication process of this article was the authors' personal funds.

**Authors' contribution.** V.H. Yevsieienko — research concept and design; I.M. Zazirnyi — collection and processing of materials; Ye.A. Levytskyi — analysis of data obtained; D.V. Borodiuk — writing of text.

V.H. Yevsieienko<sup>1</sup>, I.M. Zazirnyi<sup>1,2</sup>, Ye.A. Levytskyi<sup>1,3</sup>, D.V. Borodiuk<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Feofaniya Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

### Comparative analysis of outcomes of reverse shoulder arthroplasty in the presence of glenoid articular surface defects: a literature review

**Abstract. Background.** Shoulder replacement is considered one of the most effective surgical methods for treating pathologies associated with persistent pain and significant functional limitation of the upper limb. Glenoid defects frequently accompany shoulder joint disorders and may be present in a substantial proportion of patients undergoing reverse total shoulder arthroplasty. They complicate stable fixation of the baseplate and increase the risk of glenoid component instability; therefore, optimal preoperative planning and appropriate selection of the glenoid reconstruction method are essential to achieve satisfactory long-term outcomes. The aim of this study was to summarize and analyze current evidence regarding the outcomes of reverse total shoulder arthroplasty in patients with glenoid articular surface defects, with particular emphasis on the biomechanical determinants of glenoid component stability and the selection of appropriate reconstructive strategies. **Materials and methods.** A review of 212 publications indexed in the PubMed database from 2016 to 2026 was conducted. Sixteen publications were selected and analyzed. Methods of analytical and

descriptive statistics were applied. **Results.** The reviewed studies indicate that glenoid bone defects significantly affect primary baseplate fixation and long-term implant survival. Bone reconstruction techniques (autografts, allografts, and BIO-RSA) can restore bone stock and achieve high incorporation rates but are associated with increased risk of complication, particularly in revision procedures. Metallic augmented baseplates demonstrate comparable functional outcomes with a potentially lower incidence of impingement and bone loss. Patient-specific 3D-printed implants provide reliable fixation in cases of critical glenoid bone loss; however, long-term clinical data and cost-effectiveness analyses remain limited. **Conclusions.** The management of glenoid bone defects in reverse total shoulder arthroplasty should be based on accurate assessment of defect morphology, meticulous 3D preoperative planning, and an individualized approach that accounts for patient-specific anatomical and biomechanical factors.

**Keywords:** review; shoulder arthroplasty; 3D modeling; additive technologies; glenoid defect

S.O. Guryev<sup>1</sup>, M.L. Ankin<sup>2</sup>, M.M. Barylovych<sup>2</sup>, H.P. Kushnir<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ukrainian Scientific and Practical Center of Emergency Medical Care and Disaster Medicine of MHU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Central Polyclinic of the MIA of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## Clinical and epidemiological characteristics of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip socket injuries

**Abstract. Background.** According to the scientific sources, hip socket damage in victims occurs as a result of high-energy trauma. Up to 33 % of such cases may be accompanied by the development of post-traumatic sciatic nerve neuropathy. The purpose was to study and form the clinical and epidemiological characteristics of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture. **Materials and methods.** A retrospective analysis of 331 cases of hip socket injury was conducted. The total array was divided into two groups: 284 patients with hip socket injury without post-traumatic neuropathy, and 47 cases with post-traumatic sciatic nerve neuropathy. The study was conducted using parametric and non-parametric statistical methods, as well as elements of fractal analysis. **Results.** It was found that all clinical and epidemiological signs are a risk factor for the occurrence of post-traumatic neuropathy in hip fractures. Among victims with neuropathy, men predominate (74.47 %), but the risk of polyneuropathy is higher in women. Post-traumatic neuropathy in hip fractures mainly occurs in people of the most active, able-bodied age of 21–40 years (74.47 %). Most often, post-traumatic neuropathy is a result of a direct impact — 91.50 %. The main circumstance of injury are road accidents (91.48 %), in which post-traumatic neuropathy most often develops in victims with hip fracture, and most rarely — with household trauma (2.13 %). **Conclusions.** 1. It has been found that the clinical and epidemiological characteristics of patients with hip fractures have a probable influence on the occurrence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy. 2. Most often, post-traumatic sciatic nerve neuropathy occurs as a result of hip fracture in women (19.35 % of this gender group), people aged 21–30 years (28.07 % of this age group), as a result of direct impact (28.10 % of this group by mechanism of injury) and in traffic accidents — 20.38 % (group of circumstances of injury). 3. All clinical and epidemiological signs are risk factors for the occurrence of sciatic nerve neuropathy in hip fractures. 4. Further risk-based studies of the clinical and epidemiological aspects of the occurrence of post-traumatic sciatic neuropathy as a complication of hip fractures are needed.

**Keywords:** neuropathy; sciatic nerve; hip socket; fracture; injured

### Introduction

According to scientific sources, hip fractures occur as a result of high-energy trauma, such as road traffic accidents, mine-explosive trauma, and falls from a height [1–3]. Given the complex anatomical structure of this area and the nearby passage of the sciatic nerve, victims with hip fractures often have sciatic nerve damage or develop neuropathy, which, in turn, impairs the recovery process and ability to work [4]. Ac-

ording to scientific sources, the incidence of sciatic nerve injury ranges from 3.3 to 33 % [5, 6]. In addition, it has a negative impact on lower limb function and can also lead to disability [7]. Clinical and epidemiological characteristics are one of the fundamental bases for the formation of clinical protocols and clinical routes for a patient with any injury [8, 9]. Early recognition of sciatic nerve injury (neuropathy) and timely implementation of therapeutic and preventive mea-

**Table 1. Distribution of the array of victims into groups by gender**

Gender	Post-traumatic neuropathy			Without neuropathy			General array	
	%*	%**	rank	%*	%**	rank	%	rank
Women	19.35	25.53	2	80.65	17.61	2	18.73	2
Men	13.01	74.47	1	86.99	82.39	1	81.27	1
Total	–	100	–	–	100	–	100	–

**Notes:** \* – proportion of patients in gender groups by the presence or absence of neuropathy; \*\* – proportion of victims in groups by the presence or absence of neuropathy.

asures are the key to reducing neuropathic pain and improving the treatment of victims [10, 11]. Unfortunately, not enough attention has been paid to this issue in scientific sources, which became the basis for conducting this study.

**Purpose of the research.** To study and form the clinical and epidemiological characteristics of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in patients with hip fracture.

## Materials and methods

This study includes a retrospective analysis of 331 cases of hip socket injury. According to the law of large numbers, the total study sample was sufficient in volume, which, in turn, allowed obtaining reliable results and conducting a full analysis. The study array was divided into two groups: 284 victims with hip socket injury without post-traumatic neuropathy, and 47 cases of hip socket injury with the presence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy. The study array was formed using the method of irreversible randomization. To establish the reliability of our study data and conduct the analysis, parametric and nonparametric statistical methods, as well as elements of fractal analysis were used. The study was conducted in accordance with the requirements and criteria of evidence-based medicine with the level of evidence according to Oxford IIb. Calculations were performed using computer technologies in the Microsoft Excel program.

This study complied with all the requirements stipulated in the Declaration of Helsinki, adopted in 1964 and revised by the 59<sup>th</sup> WMA General Assembly, as we as fully complied with modern ethical standards and principles of conducting scientific research (Minutes of the meeting of the Ethics Commission No. 3 dated July 30, 2025, State Institution “Ukrainian Scientific and Practical Center of Emergency Medical Care and Disaster Medicine of the Ministry of Health of Ukraine”). Personal consent was obtained from all victims included in the study.

## Results

It was found that in the general study array, post-traumatic neuropathy in patients with hip fracture occurs in 14.20 % by specific gravity.

In accordance with the aim of the study, we divided the array of victims with hip fracture into groups with post-traumatic neuropathy and without neuropathy by gender. The results of this analysis are presented in Table 1.

As a result of the data analysis in Table 1, it was found that there is a coincidence of ranks both in the general study array and in the groups according to the presence and absence

of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture. In the group of women in whom post-traumatic sciatic nerve neuropathy was recorded, the proportion of patients is 19.35 %, and in men, this figure is 13.01 %, i.e. in men the risk of developing post-traumatic neuropathy is lower than in women.

On the other hand, in the group of patients with hip fracture, in whom sciatic nerve damage with the development of post-traumatic neuropathy was detected, males predominate — 74.47 % (first place), which is 6.8 % in absolute value of the intensive indicator, or 8.37 % of the baseline indicator less than the total array. The proportion of women with post-traumatic neuropathy is 25.53 %, which is 6.8 % in absolute value of the intensive indicator, or 36.31 % of the baseline indicator less than the total array.

Although the proportion of women in the array of victims with post-traumatic neuropathy is three times lower than the proportion of men, the risk of developing polyneuropathy in women with hip fractures is 1.6 times higher than in men.

In accordance with the purpose of our work, the array of patients with hip fractures was also divided by age into groups with and without post-traumatic neuropathy. The results of this analysis are presented in Table 2.

When analyzing the data in Table 2, it was found that in all groups, as well as in the general study, the largest share (first place) falls on the age group of 31–40 years. There is also a coincidence of the third place in all groups. In addition, there is no linear trend of increasing the share of victims with increasing age.

In the array of patients with hip fracture and post-traumatic neuropathy, the largest proportion (first place) is made up of those aged 31–40 years (40.43 %), in the second place, there are victims aged 21–30 years (34.04 %). That is, people of most working age make up 74.47 % of the array with post-traumatic neuropathy, which is a significant social problem. In the last (fifth) place, there are victims of the age group under 20 years with a proportion of 4.25 %. Patients with post-traumatic neuropathy over the age of 61 were not found in a statistically significant amount. The ratio of the maximum to the minimum indicator is 9.51, which indicates a high dissipation of the array distribution and indirectly demonstrates the reliability of the results.

On the other hand, in the group of victims with hip fracture under the age of 20, post-traumatic neuropathy developed in 11.11 % of cases. At the age of 21–30, the specific weight is the highest — 28.07 %. In the age category of 31–

40, the specific weight of patients with post-traumatic neuropathy is 18.10 %. The lowest specific weight was recorded in the age group of 41–50 (5.56 %).

The above data indicate that the greatest risk of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture is at the age of 21–40, and the specific weight in general is 46.17 %.

Polychoric analysis of the data in Table 2 allowed us to establish that there is a positive ( $\phi^2 = 0.0537$ ), moderate ( $C = 0.2257$ ) and probable relationship ( $\chi^2 = 17.77$ ) between the age characteristic and the presence or absence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in patients with a hip fracture. The above-mentioned positions are within the probability field.

An equally important clinical and epidemiological characteristic is the mechanism of injury. The array was divided according to the following parameters: the mechanism of injury and the presence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy. The results of the analysis are given in Table 3.

When analyzing the data in Table 3, it was found that there is no coincidence of rank places neither in the general array, nor in the groups with and without post-traumatic neuropathy.

The highest specific weight indicator of 91.50 % (first rank) in victims with a fracture of the hip socket and post-traumatic neuropathy is made up of individuals who, according to the mechanism of injury, received damage as a result of a direct blow, and in patients without polyneuropathy, this indicator is only 38.73 %. The fall and the compression-distraction mechanism by specific weight have 4.25 % each, and

in the group without neuropathy, compression-destruction is 47.89 % (first place), fall — 13.38 %. The ratio of the maximum to minimum parameters in the group with neuropathy is 21.53, which indicates a fairly high dissipation of the distribution and indirectly — the reliability of the data, while in victims without neuropathy, the ratio is only 3.82, demonstrating a moderate dissipation of the distribution.

On the other hand, post-traumatic sciatic nerve neuropathy developed in only 5.00 % of patients with hip fractures resulting from falls; with a direct impact, the proportion of victims is 28.10 %, and with compression-distraction — 1.45 %.

Considering the above, it can be stated that the etiology of post-traumatic neuropathy in hip fractures is characterized by such mechanism of injury as direct blow. That is, direct blow poses the greatest risk of post-traumatic neuropathy, which should be taken into account when forming clinical protocols and clinical routes for patients with hip fractures.

As a result of the polychoric analysis of the data in Table 3, it can be concluded that there is a positive ( $\phi^2 = 0.1374$ ), strong ( $C = 0.3475$ ) and reliable relationship ( $\chi^2 = 45.47$ ) between the mechanism of injury and the presence or absence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture, and the above provisions are within the probability field and confirm the data presented.

The circumstances of the injury (its type) is also an important clinical and epidemiological characteristic. In order to establish their influence on the occurrence of post-traumatic neuropathy in hip fractures, we divided the study data by the circumstances of the injury in patients with hip fracture with and without neuropathy. The results of the analysis are given in Table 4.

**Table 2. Distribution of victims with hip fracture in groups by age**

Age, years	Post-traumatic neuropathy			Without neuropathy			General array	
	%*	%**	rank	%*	%**	rank	%*	%**
< 20	11.11	4.25	5	88.89	5.64	5	5.44	5
21–30	28.07	34.04	2	71.93	14.79	4	17.22	4
31–40	18.10	40.43	1	81.90	30.28	1	31.72	1
41–50	5.56	8.51	4	94.44	23.94	2	21.75	2
51–60	8.82	12.77	3	91.18	21.83	3	20.55	3
> 61	0	0	6	100.00	3.52	6	3.32	6
Total	–	100.00	–	–	100.00	–	100.00	–

**Notes:** \* — proportion of patients in age groups with and without neuropathy; \*\* — proportion of victims in groups by the presence or absence of neuropathy.

**Table 3. Distribution of patients with hip fracture into groups by the mechanism of injury**

Mechanism of injury	Post-traumatic neuropathy			Without neuropathy			General array	
	%*	%**	rank	%*	%**	rank	%	rank
Fall	5.00	4.25	2	95	13.38	3	12.09	3
Direct blow	28.10	91.50	1	71.90	38.73	2	46.22	1
Compression-destruction	1.45	4.25	2	98.55	47.89	1	41.69	2
Total	–	100.00	–	–	100.00	–	100.00	–

**Notes:** \* — proportion of patients in groups by mechanism of injury; \*\* — proportion of victims in groups by the presence or absence of post-traumatic neuropathy.

The results of the data in Table 4 indicate that there is no coincidence of rank places in the groups with and without post-traumatic neuropathy and in the general array, except for the first rank place, but the specific weight indicators have different values. The number of victims with hip fracture and post-traumatic neuropathy in the group by the type of the injury “street” wasn’t statistically significant in our study. Among patients with hip fracture, in whom post-traumatic neuropathy developed, the first place with a specific weight of 91.48 % is occupied by people who were injured as a result of road accidents. In the second place, there are those who were injured due to military actions (4.26 %), in the last place, there are victims who had domestic and industrial injuries, with a specific weight of 2.13 % each. The ratio of the maximum to minimum indicators is 42.95, showing a very high dissipation of the distribution.

In the group of victims who received damage to the acetabulum as a result of industrial and domestic injuries, post-traumatic neuropathy of the sciatic nerve developed in 4.35 and 3.85 % of cases, respectively. Among patients with road traffic injuries, post-traumatic neuropathy developed in 20.38 %. In the group of victims who received damage to the acetabulum as a result of military actions, post-traumatic neuropathy developed in 5.88 %.

Considering the above data, it can be stated that the development of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in patients with hip fracture is inherent in road traffic injuries. That is, the greatest risk of neuropathy in this category is with road traffic injuries, and the smallest — with household injuries.

The results of polychoric analysis of the data in Table 4 indicate that between the circumstances of the injury and the sign of the presence or absence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture, there is a positive ( $\varphi^2 = 0.0567$ ), moderate ( $C = 0.2317$ ) and probable relationship ( $\chi^2 = 18.78$ ), and the above provisions are within the probability field.

## Discussion

As a result of the study as a whole, it was possible to establish the following: firstly, there is a probable influence of gender on the occurrence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture, in favor of women. Thus, female gender is a risk factor for the occurrence of

sciatic nerve neuropathy in hip fractures. This issue requires further study and risk-based analysis. We did not find such data in the world sources of scientific information that are available for review and analysis, although the above logically correlates with the data of the clinical and anatomical features of hip fractures in women [12–15].

The following should be noted: we have proven a probable influence of age on the occurrence of post-traumatic neuropathy in hip fractures. Thus, post-traumatic neuropathy most often occurs at the age of 21–30 and 31–40 years, and least often at the age over 50 years. It was also found that in the general array of victims with hip fractures, as in both outcome groups, there is a tendency to increase the specific weight in those up to 40 years with a subsequent decrease in older age groups. However, this process is much more pronounced in patients with post-traumatic neuropathy. We have not found such data in open and accessible review and analysis of world scientific sources in age groups, although a number of scientists raise the issue of studying the influence of age on the development of post-traumatic neuropathy [16–19].

Given the above, it is worth noting that there are good reasons to consider the age of the victim with hip fracture as a risk factor for the occurrence of post-traumatic sciatic neuropathy. This issue requires further risk-oriented study as well.

Also, the study revealed a probable influence of the mechanism of injury on the occurrence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in hip fractures. Thus, the development of post-traumatic neuropathy is most probable in injuries resulting from a direct blow, least probable — with the compression-distraction mechanism of injury. It was also found that in the group with post-traumatic neuropathy, the absolute majority of this pathology arose as a result of a direct blow. In victims without post-traumatic neuropathy, the compression-distraction mechanism of injury prevailed, to a lesser extent — the direct blow mechanism. From our point of view, this indirectly correlates and is a confirmation of scientific data regarding the occurrence of hip fractures with significant displacement of fragments as a result of a direct blow [20, 21]. However, this requires additional clinical and anatomical analysis. The above allows us to consider the mechanism of injury in victims with hip fracture as a risk factor for the occurrence of post-traumatic neuropathy

**Table 4. Distribution of victims with hip fracture into groups by the circumstances of the injury**

Circumstances of the injury	Post-traumatic neuropathy			Without neuropathy			General array	
	%*	%**	rank	%*	%**	rank	%*	%**
Industrial	4.35	2.13	3	95.65	7.75	5	6.95	5
Household	3.85	2.13	3	96.15	9.15	4	8.15	4
Road accident	20.38	91.48	1	79.62	59.15	1	63.75	1
Military	5.88	4.26	2	94.12	11.27	3	10.27	3
Street	0	0	4	100	12.68	2	10.88	2
Total	–	100.00	–		100.00	–	100.00	–

**Notes:** \* — proportion of patients in the groups “circumstances of the injury”; \*\* — proportion of victims in the groups by the presence or absence of neuropathy.

and requires a more thorough and large-scale risk-oriented analysis.

In addition, the study established a probable influence of such clinical and epidemiological feature as the circumstances of injury on the occurrence of post-traumatic neuropathy in hip fractures. Thus, most post-traumatic neuropathy cases occur as a result of road traffic accidents. Other circumstances have a specific weight, which is several times less than that of road traffic injuries. This is confirmed by the fact that the absolute majority of victims with post-traumatic sciatic nerve neuropathy caused by hip fracture sustained injuries precisely as a result of road traffic accidents. We have not found direct data on the influence of the clinical and epidemiological features of the circumstances of injury on the occurrence of post-traumatic neuropathy in hip fractures in world information sources as such. However, our data correlate with the opinion of scientists regarding the increased risk of post-traumatic neuropathy in pelvic fractures due to road traffic accidents [22–24].

Given the above, the circumstances of the injury, determined by the type of trauma, can be considered a probable risk-creating factor for the development of post-traumatic sciatic nerve neuropathy in victims with hip fracture, which certainly requires a risk-based analysis.

It is also worth noting that there is definitely a relationship between the clinical and epidemiological features of patients with post-traumatic neuropathy due to hip fracture, both in terms of genesis and the impact on the occurrence and development of post-traumatic neuropathy as a complication of the injury. This requires further research using clinical and anatomical and risk-based analysis.

## Conclusions

1. It was found that the clinical and epidemiological signs of victims with hip fractures have a significant impact on the occurrence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy.

2. Most often, post-traumatic sciatic nerve neuropathy occurs as a result of hip fracture in women (19.35 % of this gender group), people aged 21–30 years (28.07 % of this age group) as a result of a direct blow (28.10 % of this group by mechanism of injury) and in road accidents (20.38 % of the group of circumstances of injury).

3. All clinical and epidemiological signs are risk factors for the occurrence of sciatic nerve neuropathy in victims with hip fractures.

4. Further risk-based studies of the clinical and epidemiological aspects of the occurrence of post-traumatic sciatic nerve neuropathy as a complication of hip fractures are needed.

## References

1. Stavrakakis IM, Kritsotakis EI, Giannoudis PV. Sciatic nerve injury after acetabular fractures: a meta-analysis of incidence and outcomes. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48:2639-2654. doi: 10.1007/s00068-022-01896-0.
2. Guryev S, Kushnir V, Soloviov O, Kushnir G. Traffic injury as a medical and sanitary consequence of a man-made emergency in Ukraine. Report two: comparative characteristics of clinical and epidemiological signs (gender and age). *Emergency Medicine.* 2023;19(7):465-74. Available from: <https://emergency-journal.com/index.php/journal/article/view/1629>.
3. Lehmann W, Hoffmann M, Fensky F, Nüchtern J, Großterlinden L, et al. What is the frequency of nerve injuries associated with acetabular fractures? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(11):3395-3403. doi: 10.1007/s11999-014-3838-9.
4. Issack PS, Helfet DL. Sciatic nerve injury associated with acetabular fractures. *HSS J.* 2008;5(1):12-18. doi: 10.1007/s11420-008-9099-y.
5. Hakeem NN, Al-Maslmani S, Al-Asiri J, Shaalan FN. Systematic review and meta-analysis of sciatic nerve injury in acetabular fractures. *J Orthop Bone Disord.* 2023;7(1):000229. doi: 10.23880/jobd-16000229.
6. Arbash M, Alzobi, OZ, Salameh M, et al. Incidence, risk factors, and prognosis of sciatic nerve injury in acetabular fractures: a retrospective cross-sectional study. *International Orthopaedics (SICOT).* 2024;48:849-856. doi: 10.1007/s00264-024-06087-7.
7. Guryev OS, Yaroviy DM, Kushnir VA. The structure of disability among the victims of road accidents in Ukraine. *Травма.* 2021;19(4):47-50. doi: 10.22141/1608-1706.4.19.2018.142105 (in Ukrainian).
8. Simske N, Krebs J, Heimke I, Scarcella N, Vallier H. Nerve injury with acetabulum fractures: incidence and factors affecting recovery. *J Orthop Trauma.* 2019;33(12):628-634. doi: 10.1097/BOT.0000000000001604.
9. Guryev SO, Kushnir VA, Soloviov OS. Clinical and epidemiological characteristics of road traffic injuries in the conditions of a metropolis. *Травма.* 2023;24(1):14-9. doi: 10.22141/1608-1706.1.24.2023.926 (in Ukrainian).
10. Yildiz FG, Uzuncakmak-Uyanik H, Aghamirzayeva Kh, Temucin CM. Electrodiagnostic Features of Sciatic Neuropathy: Six-year Referral Center Experience. *Neurological Sciences and Neurophysiology.* 2023 Jul-Sep;40(3):145-151. doi: 10.4103/nsn.nsn\_46\_23.
11. Franceschina K. Sonographic Evaluation of Peripheral Sciatic Nerve Injury: A Case Study. *Journal of Diagnostic Medical Sonography.* 2021;37(3):276-281. doi: 10.1177/8756479320988296.
12. Feinberg J, Sethi S. Sciatic neuropathy: case report and discussion of the literature on postoperative sciatic neuropathy and sciatic nerve tumors. *HSS J.* 2006 Sep;2(2):181-7. doi: 10.1007/s11420-006-9018-z.
13. Dietmann A, von Martial R, Scheidegger O. Spontaneous ischemic neuropathy of the sciatic nerve due to arterial occlusion — a rare cause of acute neuropathy not to be missed, a report of two cases. *BMC Neurol.* 2022;22:410. doi: 10.1186/s12883-022-02944-3.
14. Saroyan JM, Winfree CJ, Schechter WS, Roye D, Gold AP. Sciatic neuropathy after lower-extremity trauma: successful treatment of an uncommon pain and disability syndrome in an adolescent. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007 Jul;86(7):597-600. doi: 10.1097/PHM.0b013e31806dbdd2.
15. Zhou P, Zhang R, Xian L, et al. Selection of sciatic nerve injury models: implications for pathogenesis and treatment. *Front Neurol.* 2025;16:1521941. doi: 10.3389/fneur.2025.1521941.
16. Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, et al. Combat Injury of the Sciatic Nerve — An Institutional Experience. *Mil*

Med. 2018 Sep 1;183(9–10):e434–e441. doi: 10.1093/milmed/usy030.

17. Ozturk V, Dastan AE, Adali Rusen Y, Baris E. Complications and Therapeutic Approaches in a Sciatic Nerve Injury Rat Model. *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques*. 2025;10(1):42–47. doi: 10.31797/vetbio.1564478.

18. Liu Z, Tao F, Xu W, et al. Incidence of traumatic sciatic nerve injury in patients with acetabular fractures and factors affecting recovery: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2023;18:35. doi: 10.1186/s13018-023-03515-z.

19. Gupta S, Mittal N, Virk JS. Use of tricortical iliac crest strut autograft in comminuted posterior wall acetabular fractures: A case series. *Chin J Traumatol*. 2018 Feb;21(1):58–62. doi: 10.1016/j.cjtee.2017.08.005.

20. Zhao X, Fede C, Petrelli L, et al. The Impact of Sciatic Nerve Injury on Extracellular Matrix of Lower Limb Muscle and Thoracolumbar Fascia: An Observational Study. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(16):8945. doi: 10.3390/ijms25168945.

21. Kline DG, Kim D, Midha R, Harsh C, Tiel R. Management and results of sciatic nerve injuries: a 24-year experience. *J Neurosurg*. 1998 Jul;89(1):13–23. doi: 10.3171/jns.1998.89.1.0013.

22. Ahmed M, Abuodeh Y, Alhammoud A, Salameh M, Hasan K, Ahmed G. Epidemiology of acetabular fractures in Qatar. *Int Orthop*. 2018;42(9):2211–2217. doi: 10.1007/s00264-018-3824-z.

23. Liu Z, Fu B, Xu W, et al. Incidence of Traumatic Sciatic Nerve Injury in Association with Acetabular Fracture: A Retrospective Observational Single-Center Study. *Int J Gen Med*. 2022;15:7417–7425. doi: 10.2147/IJGM.S385995.

24. Guryev SO, Kushnir VA. Clinic-anatomical characteristic of the traffic-transport trauma in the megapolis environment. First communication: the damage volume. *The Ukrainian Journal of Clinical Surgery*. 2022;89(9–10):29–33. doi: 10.26779/2522-1396.2022.9-10.29.

Received 20.02.2026

Revised 12.03.2026

Accepted 21.03.2026

#### Information about authors

Serhii O. Guryev, MD, DSc, PhD, Professor, Deputy Director for Science, Ukrainian Scientific and Practical Center of Emergency Medical Care and Disaster Medicine of MHU, Kyiv, Ukraine; e-mail: gurevsergej1959@gmail.com; phone: +380 (67) 735-15-09; <https://orcid.org/0000-0003-0191-945X>

Mykola L. Ankin, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Orthopedics and Traumatology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: m.ankin@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9795-0931>

Mykola M. Barylovykh, PhD in Medicine, Assistant, Department of Orthopedics and Traumatology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: baryllovichk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9116-1023>

Hanna P. Kushnir, Neurologist, Central Polyclinic of the MIA of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: ka85@i.ua; <https://orcid.org/0009-0008-1842-9354>

**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.** Self-funding.

**Authors' contribution.** Guryev S.O. — concept and design of the study; Ankin M.L. — processing of materials, writing conclusions; Barylovykh M.M. — collecting materials; Kushnir H.P. — analysis of the obtained data, writing the text.

Гур'єв С.О.<sup>1</sup>, Анкін М.Л.<sup>2</sup>, Бариллович М.М.<sup>2</sup>, Кушнір Г.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Центральна поліклініка МВС України, м. Київ, Україна

### Клініко-епідеміологічна характеристика посттравматичної нейропатії сідничного нерва в постраждалих із пошкодженням кульшової западини

**Резюме. Актуальність.** Пошкодження кульшової западини, за даними джерел наукової інформації, виникає внаслідок високоенергетичної травми. До 33 % таких випадків може супроводжуватися розвитком посттравматичної нейропатії сідничного нерва. **Мета:** вивчити клініко-епідеміологічні характеристики посттравматичної нейропатії сідничного нерва в постраждалих із переломом кульшової западини. **Матеріали та методи.** Проведено ретроспективний аналіз 331 випадку пошкодження кульшової западини. Загальний масив розподілено на дві групи: 284 пацієнти з пошкодженням кульшової западини без посттравматичної нейропатії та 47 — із посттравматичною нейропатією сідничного нерва. Дослідження проведено із застосуванням параметричних і непараметричних методів статистики, а також елементів фрактального аналізу. **Результати.** Встановлено, що всі клініко-епідеміологічні ознаки є факторами ризику посттравматичної нейропатії в постраждалих із переломом кульшової западини. Серед осіб із нейропатією переважають чоловіки (74,47 %), але ризик полінейропатії є вищим у жінок. Посттравматична нейропатія при переломі кульшової западини в основному зустрічається в постраждалих найбільш активного, працездатного віку 21–40 років (74,47 %).

Найчастіше посттравматична нейропатія виникає при отриманні пошкодження під час прямого удару — 91,50 %. Основними обставинами травми є дорожньо-транспортні пригоди (91,48 %), за яких найчастіше розвивається посттравматична нейропатія в постраждалих із переломом кульшової западини, а найрідше — при побутовій травмі (2,13 %). **Висновки.** 1. Встановлено, що клініко-епідеміологічні ознаки пацієнтів із переломами кульшової западини мають вірогідний вплив на виникнення посттравматичної нейропатії сідничного нерва. 2. Найчастіше вона трапляється внаслідок перелому кульшової западини у жінок (19,35 % цієї статеві групи), осіб віком 21–30 років (28,07 % цієї вікової групи), внаслідок прямого удару (28,10 % групи «механізм пошкодження») та при дорожньо-транспортних пригодах (20,38 % групи «обставини травми»). 3. Усі клініко-епідеміологічні ознаки є факторами ризику нейропатії сідничного нерва в постраждалих із переломами кульшової западини. 4. Потрібні подальші ризик-орієнтовані дослідження клініко-епідеміологічних аспектів виникнення посттравматичної нейропатії сідничного нерва як ускладнення переломів кульшової западини. **Ключові слова:** нейропатія; сідничний нерв; кульшова западина; перелом; постраждали

M.V. Sokrut<sup>1</sup>, F.V. Klymovytskyi<sup>1</sup>, B.B. Ivniev<sup>1</sup>, O.P. Sokrut<sup>1</sup>, O.V. Lytvynova<sup>1</sup>, V.M. Sokrut<sup>1</sup>, V.M. Popov<sup>1</sup>, A.G. Mullakhmetov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine

<sup>2</sup>Medical Center "Drive-Medical", Kropyvnytskyi, Ukraine

## The forms of somatogenies associated with seropositive and seronegative rheumatoid arthritis from homeokinesis perspective

**Abstract.** The study involved 52 patients who were divided into two groups according to the vegetative passport, comorbidity, and form of somatogeny: group 1 (n = 38) — vagotonics with seropositive rheumatoid arthritis (RA) and calcium-deficient comorbidity, combined with acetylcholine anxiety-depressive somatogeny; group 2 (n = 24) — sympathotonics with seronegative RA, and calcium-excessive comorbidity and panic-phobic reactions. The patients were divided into groups of vagotonics and sympathotonics according to the findings of the heart rate spectral analysis as well as using automated tests for determining the vegetative passport and form of somatogeny. The seropositive variant of arthritis was determined by rheumatoid factor and antibodies to cyclic citrulline peptide. The form of comorbidity (calcium-deficient or calcium-excessive) was determined by the level of intracellular calcium in the hair. In the pathogenesis of somatogeny, an important role is played by the vegetative passport, violations of homeokinesis parameters, and comorbidity. Vagotonic calcium- and serotonin-deficient, homeokinesis comorbidity form the pathogenesis of seropositive RA, combined with acetylcholine serotonin-deficient anxious-depressive somatogeny. Sympathotonic magnesium- and potassium-deficient and serotonin-excessive, homeokinesis, calcium-excessive comorbidity underlie seronegative RA, combined with panic-phobic reactions. The drawn clinical and pathogenetic parallel of somatogenies in articular syndrome allowed distinguishing dysneurotic, dyshormonal, dysimmune, dysmetabolic, dyscirculatory, dyselemental somatogenies; establishing their informative criteria; developing a homeokinetic classification of somatogenies and proposing an individual program/plan of evidence-based treatment and rehabilitation of patients. In acetylcholine anxiety-depressive somatogenies, antidepressants, replacement Ca, I psychostimulating diet, homeokinetic breathing, light therapy are indicated for vagotonics. Adrenergic panic-phobic reactions in sympathotonics with RA are eliminated by sedatives, Mg drugs, replacement K, Na, Mg, Mo sedative diet, homeokinetic breathing, and magnetotherapy.

**Keywords:** somatogenies; classification; vegetative passport; comorbidity; homeokinesis; forms of rheumatoid arthritis

### Introduction

Among the comorbid conditions in rheumatoid arthritis (RA), the most common are psychosomatogenies, the form of which is determined by the content of serotonin and noradrenaline, the sympathovagal balance index (SVBI), clinical tests findings, and the vector of homeokinesis parameters disorders [1, 2]. Somatogenies are often combined with typical clinical syndromes of organ failure (TCSOF),

including arthropathy. Autonomic dysfunction is assessed by the manifestations of dominance of either parasympathetic or sympathetic system. The vegetative passport is determined by the density of adreno- and serotonergic receptors H5TR2alpha, the sensitivity of platelet receptors to acetylcholine and noradrenaline. High vagal activity, calcium and iodine deficiency contribute to the development of anxiety-depressive states in seropositive RA due

to the launch of autoimmune aggression mechanisms [1]. The dominant sympathotonia, oxidative stress, magnesium and copper deficiency form serotonin-excessive manic-panic-phobic reactions in seronegative RA with activation of LPO, calcium and ferroptosis [3]. The form of comorbidity is assessed by the level of intracellular calcium in the hair (calcium-deficient against the background of osteoporosis and calcium-excessive in atherosclerosis), which is characterized by a similar to the underlying disease (RA) pathogenesis [4]. Decreased HRV in RA reflects persistent internal tension and increases concentration on bodily sensations [5], which is indicative of psychosomatic disorders [6], manifesting as panic attacks, or anxiety and depression [7, 8]. Somatic symptoms (mood-SR, domain “rhythmicity and autonomic functions”) are significantly more common in patients with RA than without it [9, 10]. High correlation between acetylcholinesterase (AChE) activity, HRV indicators and signs of cardiovegetative dysfunction in patients with RA and mild cognitive disorders confirm the association of acetylcholine dysregulation with somatogeny [11–13]. The imbalance between the branches of the autonomic nervous system creates a vegetative portrait (sympathotonia or vagotonia), an informative indicator of which is sympathovagal balance index (SVBI) according to ECG spectral analysis [14], which allows integrating the vegetative profile into the differential diagnosis of psychosomatic conditions [15–17]. The vegetative passport and the clinical form of somatogeny are determined by the tests of V.M. Sokrut [18]. Standard HRV analysis, Compass 31 questionnaire, Ewing test and SSR (sympathetic skin response) are informative when monitoring the state of autonomic dysfunction in patients with RA [19, 20], combined with somatogeny and dyselementosis [21–23]. The form of somatogeny, as a typical clinical syndrome, largely depends on the vegetative passport, comorbidity, and homeokinesis parameters, which requires evidence and was the purpose of the study.

## Materials and methods

The study involved 52 patients with RA combined with various forms of somatogeny aged 40–60. The patients were divided into two groups according to clinical and laboratory data (seropositive/seronegative); heart rate spectral analysis (HRSA) and automated determination of homeokinesis parameters and the vegetative passport [18]. Group 1 consisted of 38 vagotonics with seropositive RA combined with anxiety-depressive somatogenies; group 2 included 24 sympathotonics with a seronegative form of RA and panic-phobic reactions. The normal values were studied in a group of 40 age-matched healthy individuals, including 11 men and 29 women. The duration of the disease manifestation was  $10.00 \pm 0.56$  years. The group of vagotonic patients included a seropositive variant of RA according to rheumatoid factor (RF) and antibodies to cyclic citrullinated peptide (ACCP), against the background of immune system hypersensitivity, calcium-deficient comorbidity (osteoporosis) with anxiety-depressive states and vagotonia dominance [1]. Osteoporosis was confirmed by the results of dual-energy X-ray osteodensitometry of the proximal femur (QDR-4500-Delphi-Hologic, USA). The sympathotonic group included the

patients with seronegative RA, high LPO activity, sympathotonia, hypercatecholemia, and panic-phobic reactions. The assessment of vegetative tone was carried out by spectral analysis using a computer electrocardiograph ANS-Pro (Ukraine). Spectral analysis of five-minute sequences of RR intervals of electrocardiograms was performed using fast Fourier transformation method [1, 3]. Rhythmocardiograms were used to investigate the power of LF, HF, as well as sympathovagal balance index (SVBI — LF/HF). The vegetative passport based on the structural changes in homeokinesis parameters turned out to be more stable and reliable. To determine the form of comorbidity, the level of Ca in the hair was studied. The atomic absorption spectrometer SolAAr-Mk2-MOZe with an electrographite atomizer (Great Britain) was used. The level of intracellular calcium, determined by the method of hair spectral analysis (MAB diagnosis — hair multielement analysis) and correlated with normal values, serves as a reference point in the diagnosis of the type of comorbidity [3]. Statistical processing of the obtained findings was carried out using variation, nonparametric, correlation, regression, one-way (ANOVA) and multifactorial (ANOVA/MANOVA) analysis of variance (programs Microsoft Excel and Statistica StatSoft, USA).

## Results and discussion

The study showed that vagotonics (main mediator acetylcholine) are prone to calcium-deficient comorbidity (osteoporosis), acetylcholine, serotonin-deficient anxiety-depressive somatogenies at formation of seropositive RA, through autoimmune aggression mechanisms [1]. Sympathotonics (main mediator noradrenaline) are prone to calcium-excessive comorbidity, adrenergic, serotonin-excessive panic-phobic somatogenies at seronegative RA development, the cause of which is oxidative stress, while the forms of cell death include pyroptosis/calciptosis, ferroptosis [24]. Different forms of RA are combined with the respective type of somatogeny and require individual treatment. The results of variation pulsometry, the power of the heart rate spectra in the LF and HF ranges, as well as their LF/HF ratio are presented in Table 1. In the controls (norm), the power of LF =  $786.2 \pm 20.5$ , HF =  $489.1 \pm 12.4$ , the LF/HF ratio =  $1.59 \pm 0.05$ .

Sympathovagal balance index in the control group was  $1.60 \pm 0.05$ . Its value  $> 1.65$  indicated the dominance of sympathotonia, while  $< 1.55$  reflected vagotonia. The obtained findings of LF/HF index proved the feasibility of its use as a diagnostic criterion for determining the vegetative passport, the form of RA and somatogeny and confirmed the author’s “vegetative-homeokinetic theory of pathology” [1]. The forms of comorbidity specified the patient’s vegetative passport (Table 2).

In vagotonic patients with RA combined with anxiety-depressive somatogeny, calcium-deficient comorbidity was detected, in sympathotonic patients with RA with panic-phobic reactions — calcium-excessive comorbidity, which is associated with the properties of noradrenaline and adrenaline to increase the level of intracellular calcium. More informative were the indicators of hair calcium, which can be used to determine the vegetative passport

and pathogenetic form of joint syndrome and somatogeny. Thirty-eight RA patients (73 %) with Ca-deficient comorbidity and 24 (47 %) with Ca-dependent were identified. The form of comorbidity determined the vector of homeokinesis parameter disorders and indicated the mechanisms of damage via autoimmune aggression in seropositive RA and oxidative stress in seronegative RA [1]. Joint syndrome often occurs against the background of somatogenies, which are associated with a disorder in the balance of acetylcholine/noradrenaline mediators (vegetative passport), biologically active substances (serotonin/histamine), and dyselementosis (intracellular calcium content) [1, 3]. Homeokinesis parameters disorders allowed distinguishing dysneurotic/dyshormonal/dysimmune/dysmetabolic somatogenies at the systemic level; dyscirculatory somatogenies at the organ level and at the cellular level of dyselementous somatogenies. According to the form of comorbidity (calcium-deficient or calcium-excessive), the following were determined: acetylcholine serotonin-deficient anxious-depressive or adrenergic serotonin-excessive panic-phobic somatogenies.

The connection between brain damage and somatogeny was more often determined in various forms of prolonged uncontrolled hyperglycemia (insulin-resistant and insulin-deficient CHS), which lead to the risk of chronic neurocognitive sequelae, the formation of dysneurotic somatogenesis [23]. The launch of autoimmune aggression (production of autoantibodies to  $\alpha 7nAChR$ ) plays an important role in dysimmune somatogenies in the pathogenesis of neuroinflammatory conditions with acetylcholinergic dysfunction [25]. The established mechanisms of microbiota interaction with the autonomic and central nervous systems are a key factor in the pathogenesis of neuroinflammation in RA, cognitive disorders, and mental

symptoms in the pathogenesis of dysmetabolic somatogeny [26]. The leading role in the formation of somatogeny belongs to  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Cl^{-}$  and water channels that maintain and restore ion gradients in tissues, which is important for the functioning of the brain and autonomic centers [27]. The relationship between hypercalcemia and persistent mental disorders in calcium-associated somatogenies has been traced [28]. On the other hand, the consumption of calcium and dairy products below the recommended level ( $< 1000$  mg/day) causes moderate and severe insomnia, anxiety, depression, and muscle pain ( $p < 0.05$ ). Regression analysis showed that insomnia was predicted by low calcium intake, anxiety, depression, muscle pain, and smoking. Depression was associated/correlated with low calcium intake ( $p < 0.01$ ) [29]. The patients with major depressive disorder were found to have decreased serum iodine and copper levels compared with the healthy participants, as well as increased urinary zinc levels. These results highlight the importance of a balanced micronutrient composition (iodine, copper, zinc, etc.) for mental health and, potentially, in the pathogenesis of somatoform symptoms such as fatigue or pain, often accompanying depression [30]. The mechanisms of somatogeny can be induced by glutamate, dopamine, and serotonin dysfunction, and the effect of calcium overload on neuronal death. The rehabilitation regimen should include a diet that affects the activation of immune and autonomic regulation, which allows considering eating habits a key factor in the treatment of dysvegetative and psychosomatic conditions [31]. Mycoses are more often observed in vagotonics prone to environmental alkalosis due to the high content of intracellular  $K^{+}$ , the level of which is increased by inactive insulin in CHS. The pathogenetic aspects of the participation of microbiota in the development of neurological

**Table 1. Indicators of HRSA in patients with various forms of arthritis combined with somatogenic diseases ( $M \pm m$ )**

Groups	Indices		
	LF	HF	LF/HF
Controls (n = 40)	786.2 $\pm$ 20.5	489.1 $\pm$ 12.4	1.59 $\pm$ 0.05
Group 1 (n = 38)	370.8 $\pm$ 9.0*	384.7 $\pm$ 13.0*	0.91 $\pm$ 0.04*
Group 2 (n = 24)	594.5 $\pm$ 12.5*	318.5 $\pm$ 13.9*	2.01 $\pm$ 0.09*

**Note (here and in Table 2):** \* –  $p < 0.05$  – significant difference in indicators compared to the control group.

**Table 2. Distribution of RA patients by Barnett-Nordin index, bone mineral density and calcium content in the blood and hair ( $M \pm SE$ )**

Parameters	Controls (n = 40)	Patients with RA	
		Group 1 (n = 38) I, Ca norm < 1.0	Group 2 (n = 24) I, Ca norm > 1.0
Barnett-Nordin index, r.u.	0.42 $\pm$ 0.51	0.400 $\pm$ 0.013	0.430 $\pm$ 0.083
Bone mineral density, –SD	2.00 $\pm$ 0.60	0.920 $\pm$ 0.091	1.90 $\pm$ 0.14
Blood Ca, mg/l	99.40 $\pm$ 3.71	65.7 $\pm$ 2.1	57.50 $\pm$ 1.69
Hair Ca, $\mu$ g/g	302.30 $\pm$ 19.21	247.90 $\pm$ 27.41*	363.6 $\pm$ 22.6*

disorders (including depression, neurodegeneration, autism spectrum disorders) and potential directions of therapy through the influence on the intestinal environment have been discussed [32, 33]. The important role of amino acid balance (inhibitory and excitatory), ligands that contact receptors, causing a biological reaction or blocking it (hormones, neurotransmitters or serotonin-endogenous ligand for 5-HT receptors). In depression, the absence of serotonin or reduced receptor sensitivity is often observed. Modern approaches to the diagnosis and treatment of somatoform disorders are presented with an emphasis on the integrative psychosomatic model [34]. Serotonergic reactions form feelings of panic and phobia, and serotonin deficiency underlies anxiety-depressive states [10, 11], which should be taken into account in the rehabilitation of patients with various forms of somatoform disorders [34]. Short-term dietary corrections significantly reduce severity of nonspecific psychosomatic complaints [32]. Ca, I replacement, psychostimulating diet for acetylcholine anxiety-depressive states, and K, Na, Mg, Mo, sedative diet for adrenergic panic-phobic somatogenies, have proven themselves well [1]. A 5-week respiratory training program for patients with somatogenies has proven effective. The training included breathing through the nose and resonant (coherent) breathing [35]. Optimization of acid-base balance and elimination of somatogenies is achieved using homeokinetic breathing [36]. The form of somatogeny requires selection of drugs, taking into account the specific features of somatic manifestations of anxiety, depression, panic, phobias [37]. To eliminate somatogeny associated with RA, magnetotherapy is widely used; this is aimed at reducing inflammation, pain and swelling in the joints and psychological correction [38], but the need for precise regulation of the parameters of magnetic influence in the rehabilitation of the form of somatic conditions is emphasized to ensure the effectiveness and safety of therapy. The magnetic field increases the level of Mg in the tissues, which justifies its use in panic-phobic reactions. In seropositive RA combined with anxiety-depressive somatogeny, the use of high-intensity laser therapy (HILT) is indicated for pain in the lower back and joints. HILT significantly reduces pain, improves functional indicators and quality of life of patients due to the photothermal and psychostimulating effect, which enhances blood circulation, metabolism and tissue regeneration, increasing the content of intracellular calcium. The technique has shown high efficiency in the rehabilitation of somatic conditions, including neuralgia and musculoskeletal pain [39].

## Conclusions

1. In the pathogenesis of somatogenies, an important role is played by the vegetative passport, violations of homeokinesis parameters, and comorbidity (in terms of intracellular calcium levels). Vagotonic homeokinesis, calcium-deficient comorbidity form the pathogenesis of seropositive RA, combined with acetylcholine serotonin-deficient anxiety-depressive somatogeny. Sympathotonic homeokinesis, calcium-excessive comorbidity underlie seronegative RA, combined with panic-phobic reactions.

2. The conducted clinical and pathogenetic comparison of somatogenies in articular syndrome allowed us to distinguish dysneurotic, dyshormonal, dysimmune, dysmetabolic, dyscirculatory, dyselementous somatogenies; to establish their informative criteria and to propose an individual program/plan of evidence-based treatment and rehabilitation of patients.

3. In acetylcholine anxiety-depressive somatogeny, vagotonics are recommended antidepressants, Ca, I replacement psychostimulating diet, homeokinetic breathing, and light therapy. Adrenergic panic-phobic reactions in sympathotonics with RA are eliminated by sedatives, Mg drugs, K, Na, Mg, Mo replacement, sedative diet, homeokinetic breathing, magnetotherapy.

## References

1. Sokrut MV, Gozhenko AI, Klymovyckyj FV, et al. *Violations of homeokinesis parameters in joint pathology and their endoprosthesis: a scientific monograph*. Lviv: Magnolija-2006; 2024. 340 p. (in Ukrainian).
2. Sarament EE, Pomirleanu C, Maştaleru A, et al. *Autonomic dysfunction and cardiovascular risk in patients with rheumatoid arthritis: can heart rate variability analysis contribute to a better evaluation of the cardiovascular profile of a patient?* *J Clin Med*. 2023;12(24):7736. doi: 10.3390/jcm12247736.
3. Sokrut MV. *Elementosis in joint pathology and endoprosthesis: a monograph*. Slovyansk: Drukarskyj dvir; 2021. 217 p. (in Ukrainian).
4. Tunnell NC, Corner SE, Roque AD, et al. *Biobehavioral approach to distinguishing panic symptoms from medical illness*. *Front Psychiatry*. 2024;15:1296569. doi: 10.3389/fpsy.2024.1296569.
5. Löwe B, Levenson J, Depping M, et al. *Somatic symptom disorder: a scoping review on the empirical evidence of a new diagnosis*. *Psychol Med*. 2022;52(4):632-648. doi: 10.1017/S00332917211004177.
6. Kocsel N, Köteles F, Galambos A, Kökönyei G. *The interplay of self-critical rumination and resting heart rate variability on subjective well-being and somatic symptom distress: a prospective study*. *J Psychosom Res*. 2022;152:110676. doi: 10.1016/j.jpsychores.2021.110676.
7. Park HY, Jang Y, Hong A, Yoon E, Yoon IY. *Comparative analysis of emotional factors in patients with somatic symptom disorder and panic disorder*. *Dialogues Clin Neurosci*. 2025;27(1):56-67. doi: 10.1080/19585969.2025.2482123.
8. Gebreegziabher ZA, Eristu R, Molla A. *Determinants of adolescents' depression, anxiety, and somatic symptoms in Northwest Ethiopia: A non-recursive structural equation modeling*. *PLoS One*. 2024;19(4):e0281571. doi: 10.1371/journal.pone.0281571.
9. Carmassi C, Dell'Oste V, Barberi FM, et al. *Do somatic symptoms relate to PTSD and gender after earthquake exposure? A cross-sectional study on young adult survivors in Italy*. *CNS Spectr*. 2021;26(3):268-274. doi: 10.1017/S1092852920000097.
10. Dezfouli RA, Hosseinpour A, Ketabforush S, Daneshzad E. *Efficacy, safety, and tolerability of serotonin-norepinephrine reuptake inhibitors in controlling ADHD symptoms: a systematic review and meta-analysis*. *Middle East Curr Psychiatry*. 2024;31:8. doi: 10.1186/s43045-024-00400-1.

11. Van Den Houte M, Ramakers I, Van Oudenhove L, Van den Bergh O, Bogaerts K. Comparing autonomic nervous system function in patients with functional somatic syndromes, stress-related syndromes and healthy controls. *J Psychosom Res.* 2025;189:112025. doi: 10.1016/j.jpsychores.2024.112025.
12. Stogios N, Gdanski A, Gerretsen P, et al. Autonomic nervous system dysfunction in schizophrenia: impact on cognitive and metabolic health. *NPJ Schizophr.* 2021;7:22. doi: 10.1038/s41537-021-00151-6.
13. Jørgensen T, Danquort TM, Petersen MW, et al. Is reduced heart rate variability associated with functional somatic disorders? A cross-sectional population-based study; Dan-FunD. *BMJ Open.* 2024;14(2):e073909. doi: 10.1136/bmjopen-2023-073909.
14. Wang Z, Zou Y, Liu J, et al. Heart rate variability in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses. *Transl Psychiatry.* 2025;15(1):104. doi: 10.1038/s41398-025-03339-x.
15. Martinelli PM, Sorpreso ICE, Raimundo RD, et al. Heart rate variability helps to distinguish the intensity of menopausal symptoms: a prospective, observational and transversal study. *PLoS One.* 2020;15(1):e0225866. doi: 10.1371/journal.pone.0225866.
16. Nik Hazlina NH, Norhayati MN, Shaiful Bahari I, Nik Muhammad Arif NA. Prevalence of psychosomatic and genitourinary syndrome among menopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Front Med (Lausanne).* 2022;9:848202. doi: 10.3389/fmed.2022.848202.
17. Sokrut VM. Clinical test for determining the form of somatogenesis (CTFS) according to the vegetative passport. Available from: <https://sokrut.com/somatogenytest2> (in Ukrainian).
18. Ghiassi S, Greco A, Barbieri R, Scilingo EP, Valenza G. Assessing Autonomic Function from Electrodermal Activity and Heart Rate Variability During Cold-Pressor Test and Emotional Challenge. *Sci Rep.* 2020;10(1):5406. doi: 10.1038/s41598-020-62225-2.
19. Peng Y, Liu YS, Wu MY, et al. Evaluation of the Degree of Agreement of Four Methods for Diagnosing Diabetic Autonomic Neuropathy. *Front Neurol.* 2021;12:637099. doi: 10.3389/fneur.2021.637099.
20. Sharmin A, Jannat M, Sultana S, Ferdousi S. Relationship of heart rate variability with serum zinc and magnesium in female rheumatoid arthritis patients. *J Bangladesh Soc Physiol.* 2022;16(2):111-117. doi: 10.3329/jbsp.v16i2.57572.
21. Mewes R. Recent developments on psychological factors in medically unexplained symptoms and somatoform disorders. *Front Public Health.* 2022;10:1033203. doi: 10.3389/fpubh.2022.1033203.
22. Correia AS, Cardoso A, Vale N. Oxidative Stress in Depression: The Link with the Stress Response, Neuroinflammation, Serotonin, Neurogenesis and Synaptic Plasticity. *Antioxidants (Basel).* 2023;12(2):470. doi: 10.3390/antiox12020470.
23. Obermanns J, Flasbeck V, Steinmann S, Juckel G, Emons B. Investigation of the serotonergic activity and the serotonin content in serum and platelet, and the possible role of the serotonin transporter in patients with depression. *Behav Sci (Basel).* 2022;12(6):178. doi: 10.3390/bs12060178.
24. Willems AEM, Sura-de Jong M, van Beek AP, van Dijk G. Self-initiated dietary changes reduce general somatic and mental symptoms in a relatively healthy Dutch population. *Prev Med Rep.* 2022;30:102004. doi: 10.1016/j.pmedr.2022.102004.
25. Darrau E, Jacquemet E, Pons S, et al. Serum autoantibodies against  $\alpha 7$ -nicotinic receptors in subgroups of patients with bipolar disorder or schizophrenia: clinical features and link with peripheral inflammation. *Transl Psychiatry.* 2024;14(1):146. doi: 10.1038/s41398-024-02853-8.
26. Xu J, Lu Y. The microbiota-gut-brain axis and central nervous system diseases: from mechanisms of pathogenesis to therapeutic strategies. *Front Microbiol.* 2025;16:1583562. doi: 10.3389/fmicb.2025.1583562.
27. Mai K, Mavarakis E, Li J, Zhao M. Maintaining and Restoring Gradients of Ions in the Epidermis: The Role of Ion and Water Channels in Acute Cutaneous Wound Healing. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2023;12(12):696-709. doi: 10.1089/wound.2022.0128.
28. Nagy L, Mangini P, Schroen C, Aziz R, Tobia A. Prolonged Hypercalcemia-Induced Psychosis. *Case Rep Psychiatry.* 2020;2020:6954036. doi: 10.1155/2020/6954036.
29. Du Y, Qi X, Zhang L, Yang Y, Chen T. Calcium influx-induced lytic cell death disrupts skin immune homeostasis. *Cell Discov.* 2023 Dec 19;9(1):124. doi: 10.1038/s41421-023-00623-2.
30. Alkhatatbeh MJ, Khwaileh HN, Abdul-Razzak KK. High prevalence of low dairy calcium intake and association with insomnia, anxiety, depression and musculoskeletal pain in university students from Jordan. *Public Health Nutr.* 2021;24(7):1778-1786. doi: 10.1017/S1368980020002888.
31. Fu J, Wang Q, Wang N, et al. Serum and urinary essential trace elements in association with major depressive disorders: a case-control study. *Front Psychiatry.* 2023;14:1297411. doi: 10.3389/fpsy.2023.1297411.
32. Bolte LA, Vich Vila A, Imhann F, et al. Long-term dietary patterns are associated with pro-inflammatory and anti-inflammatory features of the gut microbiome. *Gut.* 2021;70(7):1287-1298. doi: 10.1136/gutjnl-2020-322670.
33. Ortiz-Guzmán JE, Mollà-Casanova S, Serra-Añó P, et al. Short-Term Heart Rate Variability in Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2023;12(18):6051. doi: 10.3390/jcm12186051.
34. Röhrlich F, Green C, Filippidou M, et al. Integrated care model for patients with functional somatic symptom disorder — a co-produced stakeholder exploration with recommendations for best practice. *BMC Health Serv Res.* 2024;24:698. doi: 10.1186/s12913-024-11130-9.
35. Svenningsen H, Stub T, Courtney R, Karlsen TI. Breathing therapy for patients with medically unexplained physical symptoms and dysfunctional breathing: A pilot and feasibility trial. *PLoS One.* 2025;20:e0325951. doi: 10.1371/journal.pone.0325951.
36. Sokrut VM, Lytvynova OV, Sokrut OP, Mullakhmetov AG, Sokrut MV. Homeokinetic classification of asthmatic syndrome taking into account the patient's vegetative passport and comorbidity form. *Medical Science of Ukraine.*

2025;21(3):69–75. doi: 10.32345/2664-4738.3.2025.07 (in Ukrainian).

37. Beyer C, Currin CB, Williams T, Stein DJ. Meta-analysis of the comparative efficacy of benzodiazepines and antidepressants for psychic versus somatic symptoms of generalized anxiety disorder. *Compr Psychiatry*. 2024;132:152479. doi: 10.1016/j.comppsy.2024.152479.

38. Zwolińska J, Kasprzak M, Kielar A, Prokop M. Positive and Negative Effects of Administering a Magnetic Field

to Patients with Rheumatoid Arthritis (RA). *J Clin Med*. 2024;13(6):1619. doi: 10.3390/jcm13061619.

39. Ismail Hassan M, Shafiek Mustafa Saleh M, Hesham Sallam M, et al. Extracorporeal Shock Wave Therapy versus laser therapy in treating musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*. 2025;40:194. doi: 10.1007/s10103-025-04392-0.

Received 16.02.2026

Revised 17.03.2026

Accepted 26.03.2026

#### Information about authors

Mykola V. Sokrut, Assistant, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: nikolaisokrut@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5702-1406>

Fedir V. Klymovytskyi, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: klimovitskiyfedor@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0566-5808>

Borys B. Ivniev, Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: b.ivnyev@kmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4370-1689>

Olha P. Sokrut, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: sokrutolga@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7089-1967>

Olena V. Lytvynova, PhD in Medicine, Associate Professor, Department of Obstetrics and Gynecology, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: lencha77@me.com; <https://orcid.org/0009-0000-3601-5624>

Valerii M. Sokrut, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: v.m.sokrut@dnmu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1430-1758>

Vadym M. Popov, Assistant, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Donetsk National Medical University, Lyman — Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: n\_i\_m\_2@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8934-2573>

Alik G. Mullakhmetov, Physical Therapist, Head of Buteyko Breathing School, Medical Center "Drive-Medical", Kropyvnytskyi, Ukraine; e-mail: noastma@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-4101-6023>

**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 study was funded by the authors.

**Authors' contribution.** Sokrut M.V. — management, writing, initial draft; Klymovytskyi F.V. — initial draft; Ivniev B.B. — project administration, review, and editing; Sokrut O.P. — conceptualization, methodology; Lytvynova O.V. — writing, editing; Sokrut V.M. — research, formal analysis, visualization; Popov V.M. — software, formal analysis; Mullakhmetov A.G. — data curation, statistical processing.

Сокрут М.В.<sup>1</sup>, Климовицький Ф.В.<sup>1</sup>, Івнєв Б.Б.<sup>1</sup>, Сокрут О.П.<sup>1</sup>, Литвинова О.В.<sup>1</sup>, Сокрут В.М.<sup>1</sup>, Попов В.М.<sup>1</sup>, Муллахметов А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донецький національний медичний університет, м. Лиман — м. Кропивницький, Україна

<sup>2</sup>Медичний центр «Драйв-Медікал», м. Кропивницький, Україна

### Форми соматогенії, поєднаних із серопозитивним та серонегативним ревматоїдним артритом, з позицій гомеокінезу

**Резюме.** У дослідженні взяли участь 52 пацієнти, яких було розділено на дві групи відповідно до вегетативного паспорта, коморбідності та форми соматогенії: група 1 (n = 38) — ваготоніки із серопозитивним ревматоїдним артритом (РА) та кальційдефіцитною коморбідністю, поєднаною з ацетилхоліновою тривожно-депресивною соматогенією; група 2 (n = 24) — симпатотоніки із серонегативним РА, кальційнадлишковою коморбідністю та паніко-фобічними реакціями. Учасники були розділені на групи ваготоніків та симпатотоніків відповідно до результатів спектрального аналізу серцевого ритму, а також за допомогою автоматизованих тестів для визначення вегетативного паспорта та форми соматогенії. Серопозитивний варіант артриту визначався за допомогою ревматоїдного фактора та антитіл до циклічного цитрулінового пептиду, форма коморбідності (кальційдефіцитна або кальційнадлишкова) — за рівнем внутрішньоклітинного кальцію у волоссі. У патогенезі соматогенії важливу роль відіграють вегетативний паспорт, порушення параметрів гомеокінезу та коморбідність. Ваготонічна кальцій- та серотоніндефіцитна, гомеокінетична коморбідність формує патогенез серопозитивного РА, що поєднується

з ацетилхолін-серотоніндефіцитною тривожно-депресивною соматогенією. Симпатотонічна магній- та калійдефіцитна, серотонін-надлишкова, гомеокінетична, кальційнадлишкова коморбідність лежить в основі серонегативного РА, що поєднується з паніко-фобічними реакціями. Проведена клініко-патогенетична паралель соматогеній при суглобовому синдромі дозволила виділити дисневротичні, дисгормональні, дисімунні, дисметаболичні, дисциркуляторні, диселементозні соматогенії; встановити їх інформативні критерії; розробити гомеокінетичну класифікацію соматогеній та запропонувати індивідуальну програму/план лікування й реабілітації пацієнтів на основі доказів. При тривожно-депресивних соматогеніях, спричинених ацетилхоліном, для ваготоніків показані антидепресанти, замісна психостимулююча дієта Ca, I, гомеокінетичне дихання, світлотерапія. Адренергічні паніко-фобічні реакції в симпатотоніків із РА усуваються седативними засобами, препаратами Mg, замісною седативною дієтою K, Na, Mg, Mo, гомеокінетичним диханням та магнітотерапією.

**Ключові слова:** соматогенії; класифікація; вегетативний паспорт; коморбідність; гомеокінез; форми ревматоїдного артриту

Головіна Я.О.<sup>1</sup>, Малик Р.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Черкаська медична академія, м. Черкаси, Україна<sup>2</sup>Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна

## Порівняльний аналіз результатів застосування сегментарної кісткової алопластики та індивідуального модульного ендопротезування

**Резюме. Актуальність.** Питання вибору оптимального матеріалу для заміщення сегментарних післярезекційних дефектів довгих кісток залишається дискусійним упродовж багатьох десятиліть. За останні роки проведено численні порівняльні дослідження, у результаті яких виокремлено дві основні стратегії — біореєкструкцію та індивідуальне модульне ендопротезування. **Мета:** провести порівняльний статистичний аналіз результатів біореєкструкції з сегментарними алоімплантатами та індивідуального модульного ендопротезування для заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток. **Матеріали та методи.** Для проведення дослідження було обрано та проаналізовано дані 40 пацієнтів з пухлинними ураженнями довгих кісток. У пацієнтів було діагностовано злоякісні пухлини довгих кісток з локалізацією у стегнових та великогемілкових кістках. Усіх пацієнтів було розподілено на 2 групи залежно від виду виконаних оперативних втручань: основна група (16 пацієнтів) — застосовано сегментарну кісткову алопластику, порівняльна група (24 пацієнти) — проведено індивідуальне ендопротезування. Функціональні результати органозберігального хірургічного лікування пацієнтів обох груп оцінювали з використанням шкали MSTS. Ускладнення після оперативних втручань оцінювалися за класифікацією E. Henderson зі співавт. Матеріали дослідження були статистично оброблені з використанням методів параметричного і непараметричного аналізу. Статистичний аналіз проводився з використанням програми Statistica 10 (StatSoft Inc.). **Результати.** У результаті аналізу кількості ускладнень, що відзначалися в обох групах пацієнтів, можна відмітити, що інфекційні ускладнення в основній групі (використання кісткової алопластики) були більш рідкими (6,3 %), ніж у порівняльній групі (застосування ендопротезування) (12,5 %), хоча без статистично вірогідної різниці (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 0,95,  $p = 0,33$ ,  $p > 0,05$ ). Така ж ситуація спостерігається із V типом ускладнень у вигляді локальних (місцевих) рецидивів пухлини: незважаючи на більший відсоток такого типу ускладнень в основній групі (37,5 %,  $n = 16$ ), порівняно з контрольною групою із показником 12,5 % ( $n = 24$ ) відсутня статистично вірогідна різниця (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 3,44,  $p = 0,06$ ,  $p > 0,05$ ). **Висновки.** Аналіз випадків ускладнень в обох групах дозволив дійти висновку, що інфекційні ускладнення у разі застосування кісткової алопластики зустрічалися рідше, ніж у разі використання ендопротезування для заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток. Обидві методики заміщення післярезекційних сегментарних дефектів довгих кісток мають призначатися за чіткими показаннями з урахуванням багатьох факторів (від локальних характеристик, морфологічного виду пухлини, довжини резекції до прогнозу виживаності у разі злоякісних пухлин та методів комбінованого лікування).

**Ключові слова:** кісткова алопластика; індивідуальне модульне ендопротезування; кісткова онкологія

### Вступ

Одним із ключових завдань під час хірургічного лікування пацієнтів зі злоякісними ураженнями кісток є відновлення кісткової тканини та прилеглих м'яких структур після резекції пухлини. До імплантатів висуваються такі основні вимоги: біоінертність, здатність

заміщувати дефекти різного розміру й конфігурації, біосумісність із тканинами реципієнта та достатня механічна міцність [1, 2].

Нині застосовується широкий спектр методів реконструкції значних дефектів кісток і суглобів. Серед провідних підходів — кісткова пластика з використан-

ням авто-, ало- та ксенотрансплантатів, distraкційний остеосинтез, заповнення дефектів біоматеріалами, а також індивідуальне модульне ендопротезування [3, 4]. Найбільш поширеними залишаються індивідуальне модульне ендопротезування, а також біореко­структивні операції [5–7]. До біореко­структивних втручань належать авто- й алопластика після­резекційних дефектів кісток та різні їх комбінації [5, 8].

Питання вибору оптимального матеріалу для заміщення сегментарних після­резекційних дефектів довгих кісток залишається дискусійним упродовж багатьох десятиліть. За останні роки проведено численні порівняльні дослідження, у результаті яких виокремлено дві основні стратегії — біореко­струкцію та індивідуальне модульне ендопротезування. Кожен із цих підходів має свої переваги та обмеження. Тому, на нашу думку, яка підтверджена нашими дослідженнями, обидві методи­ки мають велике значення та повинні застосовувати строго за показаннями та залежно від конкретних факторів, що можуть впливати на результат лікування (наприклад, комбіноване лікування, що передбачає за­стосування поліхіміотерапії).

З метою виявлення статистичних фактів проведено власне порівняльне дослідження результатів біореко­струкції з сегментарними алоімплантатами та індивідуального модульного ендопротезування для заміщення після­резекційних дефектів довгих кісток.

## Матеріали та методи

Для проведення дослідження було обрано та про­аналізовано дані 40 пацієнтів з пухлинними ураженнями довгих кісток, що проходили лікування у ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». Серед них було 18 чоловіків, 22 жінки. Середній вік пацієнтів на момент первинного звернення у клініку становив  $39,63 \pm 21,33$  року, від 7 до 77 років. Основним критерієм відбору пацієнтів було проведення хірургічного лікування — видалення пухлин та заміщення сегментарних після­резекційних дефектів довгих кісток ало­імплантатами з різними методиками їх фіксації та інди­видуальними модульними ендопротезами. У пацієнтів було діагностовано злоякісні пухлини довгих кісток з локалізацією у стегнових та великогомілкових кістках.

Усім пацієнтам виконували комплексне обстеження — ультразвукове та комп'ютерно-томографічне дослідження органів черевної порожнини й заочеревинного простору, за необхідності КТ головного мозку. Для оцінювання кісткової дисемінації онкозахворювання проводили остеосцинтиграфію.

Для дослідження локального статусу виконували рентгенографічне дослідження, КТ, УЗД, КТ-ангіографію. З метою гістологічної верифікації діагнозу проводили біопсію патологічного вогнища кінцівки. Гістологічні дослідження здійснювали в лабораторії морфології сполучної тканини ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». Для гістологічного аналізу отриманий матеріал фіксували в 10% нейтральному формаліні, декальцинували в розчині мурашиної кислоти, зневоднювали в спиртах збільшуваної кон-

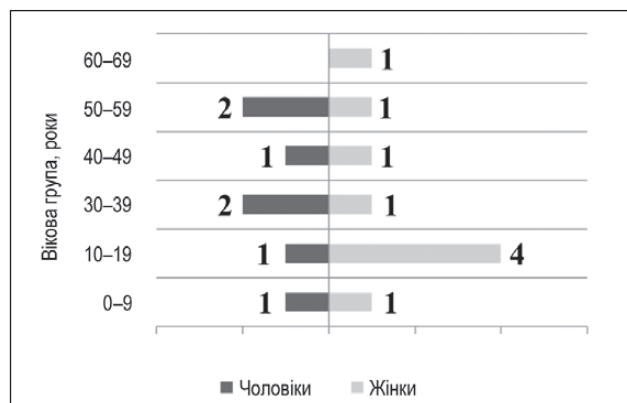


Рисунок 1. Розподіл хворих (n = 16) за віковими групами та статтю

центрації та заливали в парафін. Виготовлені гістологічні зрізи забарвлювали гематоксиліном і еозином, пі­крофуксином за Ван-Гізоном, аналізували у світловому мікроскопі Olympus BX63. Для фотографування вико­ристано цифрову камеру DP73 (Olympus) і програмне забезпечення Cell Sens Dimension 1.8.1 (Olympus, 2013).

Пацієнти отримували лікування залежно від нозологічної форми діагнозу.

Усіх пацієнтів було розподілено на 2 групи залежно від виду виконаних оперативних втручань (методик заміщення після­резекційних дефектів довгих кісток): основна група (16 пацієнтів) — застосовано сегментарну кісткову алопластику, порівняльна група (24 пацієнти) — проведено індивідуальне ендопротезування.

## Характеристика пацієнтів основної групи

Проаналізовано дані 16 пацієнтів, у яких діагностовано злоякісні пухлини та вторинні ураження довгих кісток. Серед них було 7 чоловіків і 9 жінок. Середній вік пацієнтів на момент первинного звернення в інститут становив  $31,4 \pm 19,2$  року, від 7 до 67 років (рис. 1).

У 93,75 % (15 хворих) згідно з хірургічною класифікацією первинних злоякісних пухлин (Enneking, 1980) встановлено стадію 2В. Вторинне метастатичне ураження кісток діагностовано у 6,25 % хворих (1).

Серед діагностованих нозологічних одиниць здебільшого траплялися остеосаркома — 43,75 % (7 хворих), недиференційована плеоморфна саркома кісток — 18,75 % (3), саркома Юінга — 12,50 % (2) (табл. 1).

У пацієнтів локалізації пухлинного процесу розподілялись таким чином: ділянка діафізарного та дистального мета­діафізарного відділів стегнової кістки — 37,5 % (6 пацієнтів), ділянка проксимального відділу стегнової кістки — 12,5 % (2), ділянка дистального відділу великогомілкової кістки — 50 % (8).

Визначили пацієнтів, яким, згідно з протоколами лікування, проводили поліхіміотерапію — 12 (75,0 %), та пацієнтів, яким виконували тільки оперативне втручання — 4 (25,0 %). Операції полягали у видаленні пухлин *en block* та заміщенні після­резекційних дефектів довгих кісток сегментарними кістковими алоімплантатами.

За методом стерилізації алоімплантатів виділили дві групи: алоімплантати, що оброблено антибіотиком (75,0 %), та алоімплантати, що стерилізовано за допомогою  $\gamma$ -випромінювання (25,0 %). Стерилізацію алоімплантатів проводили радіаційним  $\gamma$ -випромінюванням у дозі 17,8 кГр (обробку алоімплантатів виконували у Харківському фізико-технічному інституті, на науково-дослідному комплексі «Прискорювач» за допомогою прискорювача ЛУ-10, методом дозиметрії з використанням детекторів Harwell Perrex 4034 (ISO/ASTM 51276)) або шляхом занурювання на 24 год за температури +4 °С в розчин антибіотика цефтріаксон (ПАО «Київмедпрепарат» корпорації «Артеріум Лтд», Україна), розчинник — 0,9% натрію хлорид (ТОВ «Новофарм-Біосинтез», Україна), концентрація розчину 1 г/10 мл, у відділі експериментального моделювання та трансплантології з експериментально-біологічною клінікою ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України».

#### Характеристика пацієнтів порівняльної групи

Для порівняльного дослідження було обрано групу пацієнтів з пухлинними ураженнями довгих кісток, яким було застосовано методику індивідуального модульного ендопротезування для заміщення післярезекційних дефектів кісток. У порівняльну групу увійшли 24 пацієнти, у яких діагностовано злоякісні пухли-

ни. Серед них чоловіків було 11 (45,8 %), жінок — 13 (54,2 %). Середній вік пацієнтів становив  $45,0 \pm 21,8$  року, від 14 до 77 років. Розподіл за нозологіями та локалізаціями пухлинних вогнищ наведено у табл. 2. Частіше спостерігалися мієломна хвороба — 29,2 % (7 пацієнтів), метастатичне ураження довгих кісток — 25,0 % (6) та остеосаркома — 16,7 % (4). Обрано локалізації пухлинних утворень таким чином, щоб вони корелювали з такими в основній групі. А саме, локалізації пухлинного процесу розподілялись таким чином: ділянка діафізарного та дистального метадіафізарного відділів стегнової кістки — 45,8 % (11 пацієнтів), ділянка проксимального відділу стегнової кістки — 29,2 % (7), ділянка дистального відділу великогомілкової кістки — 25,0 % (6).

За обраними методиками заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток розподіл хворих був такий: індивідуальне модульне ендопротезування — 29,2 % (7 випадків), заміщення діафізарними металевими та металокомпозитними конструкціями — 45,8 % (11), застосування індивідуальної артрорезуючої металевої конструкції — 25,0 % (6).

Усі індивідуальні металеві конструкції та ендопротези, що встановлювалися пацієнтам, сертифіковані в Україні (свідоцтво про державну реєстрацію № 14204/2014 від 19.08.2014 р., наказ № 1087, «СІМЕКС»).

**Таблиця 1. Розподіл пацієнтів основної групи (n = 16) за нозологіями**

Нозологія	Кількість пацієнтів	
	Абс.	%
Остеогенна саркома	7	43,75
Недиференційована плеоморфна саркома	3	18,75
Саркома Юїнга	2	12,50
Метастатичне ураження кісток	1	6,25
Хондросаркома	1	6,25
Мієломна хвороба	1	6,25
Адамантинома	1	6,25
Усього	16	100,0

**Таблиця 2. Розподіл пацієнтів порівняльної групи (n = 24) за нозологіями**

Нозологія	Кількість пацієнтів	
	Абс.	%
Остеогенна саркома	4	16,6
Злоякісна гігантоклітинна пухлина	3	12,5
Саркома Юїнга	1	4,2
Метастатичне ураження кісток	6	25,0
Хондросаркома	2	8,3
Мієломна хвороба	7	29,2
Злоякісна лімфома кістки	1	4,2
Усього	24	100,0

Функціональні результати органозберігального хірургічного лікування пацієнтів обох груп оцінювали з використанням шкали асоціації скелетно-м'язових пухлин MSTS (Musculoskeletal Tumor Society Score, 1993).

Ускладнення після оперативних втручань оцінювали за класифікацією E. Henderson зі співавт. [9].

Матеріали дослідження були статистично оброблені з використанням методів параметричного і непараметричного аналізу. Накопичення, коригування, систематизація вихідної інформації і візуалізація отриманих результатів здійснювалися в електронних таблицях Microsoft Office Excel 2016. Статистичний аналіз проводився з використанням програми Statistica 10 (StatSoft Inc.).

## Результати

Проведена оцінка функціональних результатів лікування у 16 пацієнтів. Медіана термінів спостереження за пацієнтами після закінчення лікування становила 45,7 [30,4; 108,1] міс.

Середній показник за шкалою MSTS для усіх пацієнтів ( $n = 16$ ) становив  $22,4 \pm 2,9$  бала (від 19 до 27).

Статевий розподіл незначно впливав на функціональний результат лікування: у чоловіків ( $n = 7$ ) MSTS —  $23,3 \pm 2,2$  бала (від 20 до 27), у жінок ( $n = 9$ ) —  $21,8 \pm 3,2$  бала (від 19 до 27).

У пацієнтів із остеосаркомою ( $n = 7$ ) функціональні результати становили  $21,7 \pm 2,7$  бала (від 19 до 27).

Ускладнення після біорекоконструктивних оперативних втручань оцінювалися за класифікацією E. Henderson зі співавт. [9]. Ця класифікація представлена 6 типами ускладнень:

— тип 1 — м'якотканинні ускладнення (А — функціональні, інсуфіцієнтність м'язів і сухожилків, що призводить до порушення функції кінцівки; В — асептичне розходження країв рани);

— тип 2 — відсутність зрощення алоімплантата та кістки реципієнта (А — гіпертрофічне, В — атрофічне);

— тип 3 — механічні порушення цілісності (А — перелом металофіксаторів, В — перелом кісткових алоімплантатів);

— тип 4 — інфекційні ускладнення (А — ранні, В — пізні);

— тип 5 — прогресування пухлинного процесу (А — м'якотканинні рецидиви, В — кісткові рецидиви);

— тип 6 — педіатричні ускладнення (А — порушення зон росту та деформації кісток, що були уражені, В — порушення суглобів).

Таким чином, ускладнення органозберігаючого лікування з використанням біологічних типів реконструкції за E. Henderson зі співавт. [89] спостерігались у 62,5 % (10) пацієнтів та розподілилися таким чином.

Місцеві ускладнення ранового процесу, які становлять тип 1, спостерігались у 6,3 % випадків (1 пацієнт). Визначена проблема із загоєнням рани після проведення реконструкції типу I у пацієнтки із недиференційованою плеоморфною саркомою, що потребувало проведення неодноразових оперативних втручань для закриття ранового дефекту м'яких тканин.

До типу 2 відносять ускладнення механічної природи, які пов'язані з порушенням консолідації зони контакту кістки реципієнта та алоімплантата. У досліджуваній групі такий тип ускладнень проявлявся у вигляді атрофічного незрощення у 4 випадках (25,0 %) після проведення реконструкції типу III.

Тип 3 становлять структурні порушення цілісності металофіксаторів та алоімплантатів. Таке ускладнення виявлено у 2 хворих (12,5 %), і воно полягало у нестабільності та порушенні цілісності металевих пластин після виявлення ознак незрощення алоімплантата та кістки реципієнта. Усунення цього ускладнення полягало у проведенні ревізійних оперативних втручань.

Випадок інфекційних ускладнень (тип 4) становив 6,3 % (1 пацієнт). У цьому випадку нами було проведено неодноразові лікувальні заходи та хірургічні втручання, спрямовані на успішну ліквідацію запального процесу.

Місцевий рецидив пухлини становить тип 5 ускладнень біологічної реконструкції. Цей тип ускладнень у нашій групі було зафіксовано найбільш часто — 37,5 % (6 пацієнтів) від усіх пацієнтів групи.

Загалом за період онкологічного моніторингу 50 % пацієнтів (8) були під спостереженням без проявів захворювання. 18,75 % пацієнтів (3) перебували під спостереженням із проявами продовження захворювання (наявність локального рецидиву та/або віддалених метастазів). 31,25 % пацієнтів (5) померли від онкологічних проявів захворювання або його ускладнень.

Проведена оцінка функціональних результатів лікування у 24 пацієнтів (порівняльна група), яким застосовувалися індивідуальні модульні ендопротези та конструкції. Медіана термінів спостереження за пацієнтами після закінчення лікування становила 100,4 [36,5; 174,5] міс.

Середній показник за шкалою MSTS для усіх пацієнтів ( $n = 24$ ) —  $22,2 \pm 3,8$  бала (від 13 до 27).

Статевий розподіл не впливав на функціональний результат лікування: у чоловіків ( $n = 11$ ) MSTS —  $22,5 \pm 4,0$  бала (від 13 до 27), у жінок ( $n = 13$ ) —  $21,9 \pm 3,7$  бала (від 15 до 27).

Порівняно з основною групою, у якій застосовувались біорекоконструктивні методики ( $n = 16$ ), сумарно відзначалася відсутність статистично значимих відмінностей у функціональних результатах, порівняних із використанням U-критерію Манна — Уїтні ( $U = 185,00$ ,  $Z = -0,18$ ,  $p = 0,86$ ).

Проведено порівняння функціональних результатів між основою та порівняльною групою залежно від локалізації пухлинного ураження та виду реконструкції.

При аналізі локалізації пухлини у *діафізарному та дистальному метадіафізарному відділах стегнової кістки* показники функціональних результатів становили: в основній групі ( $n = 6$ ) MSTS —  $23,3 \pm 3,1$  бала (від 20 до 27), а в порівняльній групі ( $n = 11$ ) —  $23,2 \pm 2,4$  бала (від 20 до 27). Спостерігалася відсутність статистично значимих відмінностей у функціональних результатах, порівняних із використанням U-критерію Манна — Уїтні ( $U = 32,00$ ,  $Z = 0,05$ ,  $p = 0,96$ ).

Таблиця 3. Кількість ускладнень в основній та порівняльній групах, % (абс. к-сть)

Ускладнення (типи за E. Henderson)	Основна група (кісткова алопластика), n = 16	Порівняльна група (індивідуальне ендопротезування), n = 24
Місцеві ускладнення ранового процесу (тип 1)	6,3 (1)	Не було
Механічні порушення металофіксаторів (тип 3) та асептична нестабільність (тип 2)	12,5 (2)	12,5 (3)
Інфекційні ускладнення (тип 4)	6,3 (1)	16,7 (4)
Місцеві рецидиви (тип 5)	37,5 (6)	12,5 (3)

При аналізі локалізації пухлини у *проксимальному відділі стегнової кістки* показники функціональних результатів становили: в основній групі (n = 2) MSTS —  $25,0 \pm 2,8$  бала (від 23 до 27), а в порівняльній групі (n = 7) —  $24,9 \pm 1,8$  бала (від 23 до 27). Також було виявлено відсутність статистично значимих відмінностей у функціональних результатах ( $U = 7,00$ ,  $Z = 0,00$ ,  $p = 1,00$ ).

Проте аналіз локалізації у *дистальному відділі великогомілкової кістки* показав такі функціональні результати. В основній групі (n = 8) показник за MSTS становив  $21,1 \pm 2,2$  бала (від 19 до 25). У порівняльній групі (n = 6) —  $17,3 \pm 3,1$  бала (від 13 до 22). Саме у разі цієї локалізації відмічаються статистично значимо вищі функціональні результати в основній групі із використанням U-критерію Манна — Уїтні ( $U = 7,00$ ,  $Z = 2,13$ ,  $p = 0,03$ ,  $p < 0,05$ ).

Ускладнення після оперативних втручань оцінювалися за класифікацією E. Henderson зі співавт., 2014 [9]. Серед усіх категорій цієї класифікації обрані ті, що зустрічалися у дослідженні. Загальна частка пацієнтів в порівняльній групі, у яких за період спостереження виявлено ускладнення, становила 37,5 % (9 пацієнтів). За типами ускладнень розподіл був наступний.

Місцеві ускладнення ранового процесу (тип 1) — у цій групі не спостерігались.

Механічні порушення цілісності металофіксаторів (тип 3) та асептична нестабільність (тип 2) спостерігалось у 12,5 % пацієнтів (3) порівняльної групи: 2 випадки при локалізації пухлини у діафізарному та дистальному метадіфарному відділі стегнової кістки та 1 випадок у разі локалізації в дистальному відділі великогомілкової кістки.

Випадки інфекційних ускладнень (тип 4) спостерігались у 16,7 % пацієнтів (4). У цьому випадку було проведено неодноразово лікувальні заходи та хірургічні втручання, спрямовані на ліквідацію запального процесу, проте у 3 випадках остаточним втручанням була ампутація.

Місцевий рецидив пухлини (тип 5) в порівняльній групі було зафіксовано у 12,5 % (3) від усіх пацієнтів групи. У одному випадку розвиток пухлинного процесу призвів до необхідності виконання ампутації нижньої кінцівки.

Загалом за період онкологічного моніторингу 41,7 % пацієнтів (10) порівняльної групи були під спостере-

женням без проявів захворювання. 37,5 % пацієнтів (9) знаходились під спостереженням із проявами продовження захворювання (наявність локального рецидиву та/або віддалених метастазів). 20,8 % пацієнтів (5) померли від онкологічних проявів захворювання або його ускладнень. Порівняно з основною групою відзначаються ідентичні результати, що дає можливість дійти висновку, що вибір методу заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток не впливає на ці онкологічні показники (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 0,60,  $p = 0,27$ ,  $p > 0,05$ ) (табл. 3).

У результаті аналізу кількості ускладнень, що відзначалися в обох групах пацієнтів, можна відмітити, що інфекційні ускладнення в основній групі (використання кісткової алопластики) були більш рідкими (6,3 %), ніж у порівняльній групі (застосування ендопротезування) (12,5 %), хоча без статистично вірогідної різниці (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 0,95,  $p = 0,33$ ,  $p > 0,05$ ). Така ж ситуація спостерігається із 5-м типом ускладнень у вигляді локальних (місцевих) рецидивів пухлини: незважаючи на більший відсоток такого типу ускладнень в основній групі (37,5 %, n = 16), порівняно з контрольною групою із показником 12,5 % (n = 24) відсутня статистично вірогідна різниця (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 3,44,  $p = 0,06$ ,  $p > 0,05$ ).

## Клінічні приклади

### Клінічний приклад 1 (основна група)

Хворий Ж., 45 років (історія хвороби № 98266), надійшов у клініку зі скаргами на біль у верхній третині лівого стегна. У результаті комплексного обстеження (клінічне, рентгенологічне (рис. 2а), КТ (рис. 2б), патоморфологічне дослідження біопсійного матеріалу, дослідження стерального пунктату) встановлено діагноз: міелома проксимального відділу лівої стегнової кістки T2N0M0, II стадія, II клінічна група.

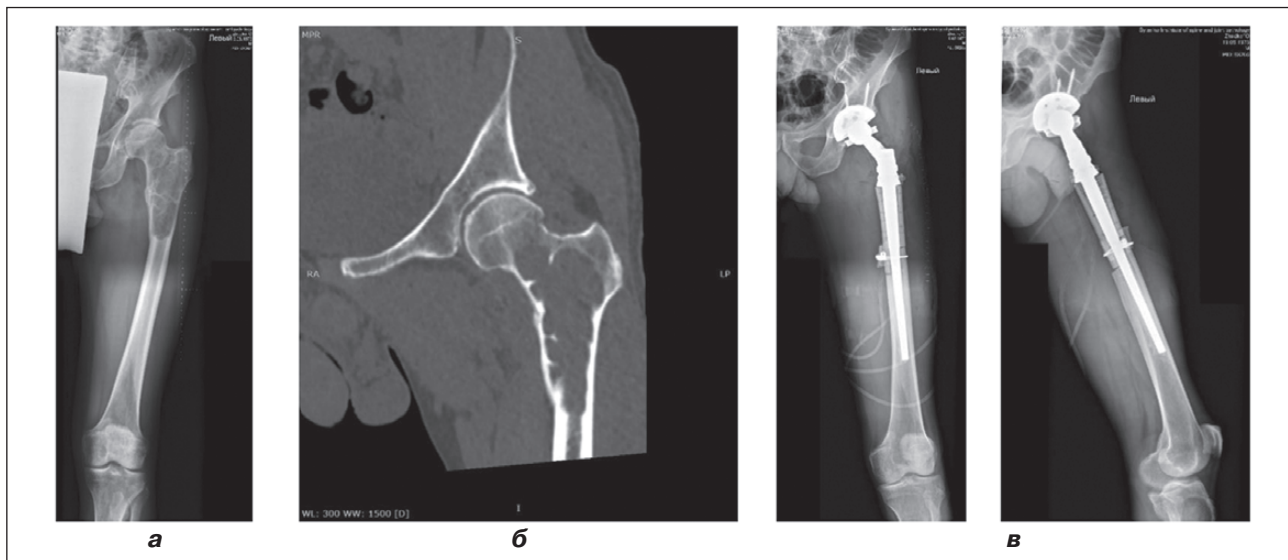
З огляду на цей діагноз, високий ризик розвитку патологічного перелому стегнової кістки першим етапом було виконано оперативне втручання: видалення пухлини *en block*, заміщення післярезекційного дефекту верхньої третини лівої стегнової кістки алокомпонентним ендопротезом. Використовувався розроблений в ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» індивідуальний ендопротез, а також сегментар-

ний кістковий алоімплантат, що стерилізувався через імпрегнацію антибіотиками (рис. 2в).

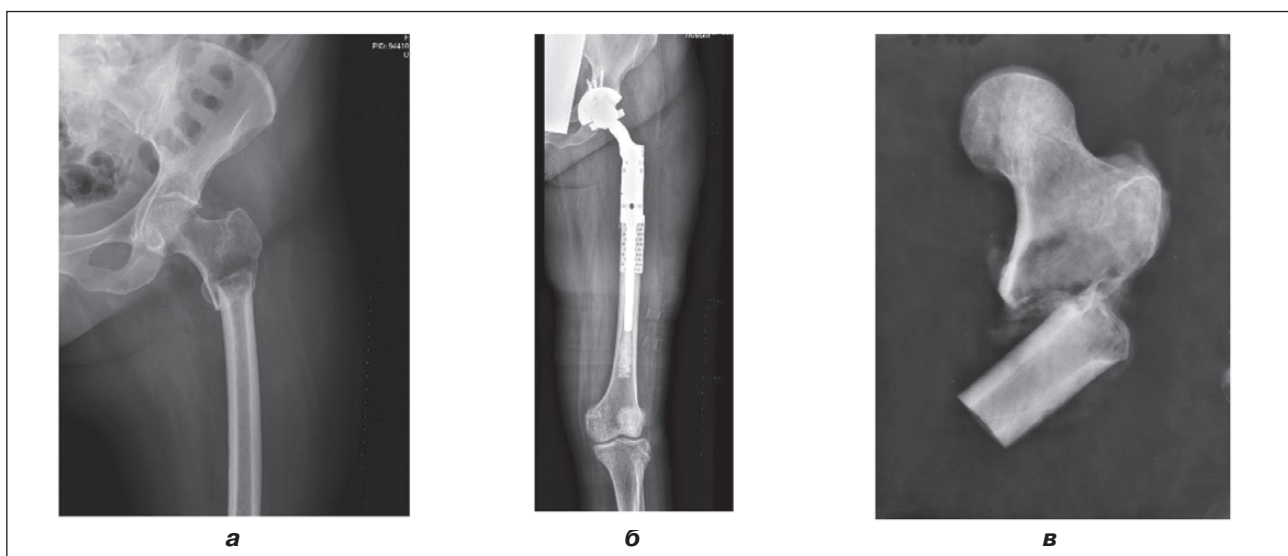
Післяопераційний період без ускладнень. Хворий перебував під спостереженням у клініці ДУ «ІПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» та отримував курс специфічного лікування в онкогематологів. Пацієнт через 1 місяць після оперативного втручання ходив без додаткової опори з повним навантаженням на ліву нижню кінцівку (згідно зі шкалою APC-ISOLS — добрий результат). Функціональний результат за шкалою MSTS становив 86,7 % (26 балів).

### Клінічний приклад 2 (порівняльна група)

Пацієнтка 3., 51 рік, надійшла у клініку зі скаргами на біль у в/3 лівого стегна, відсутність опороздатності лівої нижньої кінцівки. У результаті комплексного обстеження (клінічного, рентгенологічного, КТ, гістологічного дослідження біопсійного матеріалу) встановлено діагноз: міелома проксимального відділу лівої стегнової кістки T2N0M0, II ст., II клінічна група, патологічний перелом проксимального відділу лівої стегнової кістки (рис. 3а). З огляду на солітарний ха-



**Рисунок 2.** Фотовідбитки рентгенограм (а, в) лівого стегна хворого Ж., 45 років, та комп'ютерної томограми (б) до та після оперативного втручання: а, б) міелома проксимального відділу лівої стегнової кістки T2N0M0, II стадія, II клінічна група; в) після видалення пухлини en bloc заміщення післярезекційного дефекту верхньої третини лівої стегнової кістки алокомпозитним ендопротезом



**Рисунок 3.** Фотовідбитки рентгенограм лівого кульшового суглоба та в/3 стегна у прямій проекції пацієнтки 3., 51 р. (історія хвороби № 94410), до та після хірургічного втручання. Міелома в/3 лівої стегнової кістки T2N0M0, II стадія, II клінічна група, патологічний перелом в/3 лівої стегнової кістки: а) до хірургічного втручання; б) після хірургічного втручання; в) видалений препарат пухлини

рактир пухлинного ураження, наявність патологічного перелому було визначено показання та проведено оперативне втручання — видалення пухлини *en block*, заміщення післярезекційного дефекту проксимального відділу лівої стегнової кістки індивідуальним ендопротезом (рис. 3б, в)

На другий день після оперативного втручання пацієнтка ходила за допомогою ходунків. Повне відновлення функції ходьби спостерігали через 1,5 місяця після лікування. Пацієнтка спостерігається в онкологічному центрі і проходить специфічне лікування. Функціональний результат за шкалою MSTS становив 80,0 % (24 бали).

## Обговорення

Методики заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток (алокомполитне ендопротезування та індивідуальне модульне ендопротезування) мають найкращий функціональний результат за даними багатьох авторів [10]. Кожна з цих методик має свої переваги та недоліки. Так, наприклад, одним із найпоширеніших ускладнень після ендопротезування проксимального відділу стегнової кістки є вивих головки ендопротеза. Це зумовлено тим, що пухлини в цій анатомічній зоні зазвичай бувають значних розмірів, а під час хірургічного втручання разом із пухлиною видаляється значний обсяг прилеглих м'язових тканин. Інфекційні ускладнення — друга важлива проблема мегаендопротезування. Завдяки використанню срібного покриття ендопротезів кількість цих ускладнень була зменшена. J. Harges зі співавт. [11] повідомили, що ними було встановлено 51 хворому ендопротези з покриттям із срібла та 74 пацієнтам — ендопротези з титану. У результаті інфекційні ускладнення спостерігали менше у групі з ендопротезами зі срібним покриттям — 5,9 %, а 17,9 % — у групі з титановими ендопротезами без покриття [11]. Перипротезні переломи також зустрічаються при застосуванні індивідуального ендопротезування, особливо у разі великих розмірів (по довжині) сегментарних дефектів кісток [12].

Методика алокомполитного ендопротезування також має свої особливості та такі ускладнення, як незрощення або резорбція алоімплантата, також зустрічаються й інфекційні ускладнення. Але порівняно з використанням масивних металевих ендопротезів ризик інфекційних ускладнень значно менше при цій методиці, і навіть при їх розвитку є більше шансів на збереження алокомполитного ендопротезу завдяки саме біологічному покриттю металеві частини (кісткою). Застосування біологічного покриття металевих ендопротезів дозволяє більш анатомічно та природно фіксувати м'язи, що було відведено та резектовано під час видалення пухлини. Водночас використання металевих компонентів (ендопротезу) у сегментарній кістковій алопластиці дозволяє у найближчому післяопераційному періоді навантажувати прооперовану кінцівку, особливо це важливо при локалізації пухлин у кістках нижніх кінцівок. Таким чином, застосування алокомполитного ендопротезування дозволяє максимально знизити ризики виникнення ускладнень, що притаманні окремо ендопротезуванню та алопластиці.

У наведеному статистичному дослідженні показані результати, що підтверджують світову практику. А завдяки використанню різних алоімплантатів (стерилізованих різними способами) та застосуванню диференційованого підходу до визначення показань до алокомполитного ендопротезування було отримано добрі результати лікування.

## Висновки

1. У результаті проведеного дослідження виявлено статистично значимо вищі функціональні результати в основній групі пацієнтів (використання кісткової алопластики) з локалізацією пухлинного процесу у дистальному відділі великогомілкової кістки із використанням U-критерію Манна — Уїтні ( $U = 7,00$ ,  $Z = 2,13$ ,  $p = 0,03$ ,  $p < 0,05$ ), що дає змогу рекомендувати кісткову алопластику для заміщення післярезекційних дефектів цієї локалізації.

2. Аналіз випадків ускладнень в обох групах дозволив дійти висновку, що інфекційні ускладнення у разі застосування кісткової алопластики зустрічалися рідше, ніж у разі використання ендопротезування для заміщення післярезекційних дефектів довгих кісток, але без статистично вірогідної різниці (критерій  $\chi^2$  Пірсона = 0,95,  $p = 0,33$ ,  $p > 0,05$ ). На онкологічні результати вибір методу заміщення післярезекційних дефектів кісток не впливав.

3. Обидві методики заміщення післярезекційних сегментарних дефектів довгих кісток мають призначатися за чіткими показаннями з урахуванням багатьох факторів (від локальних характеристик, морфологічного виду пухлини, довжини резекції до прогнозу виживаності у разі злоякісних пухлин та методів комбінованого лікування).

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

## Список літератури

1. Anract, P., Coste, J., Vastel, L., Jeanrot, C., Mascard, E., & Tomeno, B. (2000). [Proximal femoral reconstruction with megaprosthesis versus allograft prosthesis composite. A comparative study of functional results, complications and longevity in 41 cases]. *Revue De Chirurgie Orthopedique Et Reparatrice De L'appareil Moteur*, 86(3), 278-288.
2. Schmolders, J., Koob, S., Schepers, P., Kehrer, M., Frey, S.P., ... & Strauss, A.C. (2017). Silver-coated endoprosthetic replacement of the proximal humerus in case of tumour — is there an increased risk of periprosthetic infection by using a trevira tube? *International Orthopaedics*, 41(2), 423-428. <https://doi.org/10.1007/s00264-016-3329-6>.
3. Foo, L.S.S., Harges, J., Henrichs, M., Ahrens, H., Gosheger, G., & Streitbürger, A. (2011). Surgical difficulties encountered with use of modular endoprosthesis for limb preserving salvage of failed allograft reconstruction after malignant tumor

resection. *The Journal of Arthroplasty*, 26(5), 744-750. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.06.011>.

4. Miller, B.J., & Virkus, W.W. (2010). *Intercalary Allograft Reconstructions Using a Compressible Intramedullary Nail: A Preliminary Report*. *Clinical Orthopaedics and Related Research*<sup>®</sup>, 468(9), 2507-2513. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1260-5>.

5. Schuh, R., Panotopoulos, J., Puchner, S.E., Willegger, M., Hobusch, G.M., Windhager, R., & Funovics, P.T. (2014). *Vascularised or non-vascularised autologous fibular grafting for the reconstruction of a diaphyseal bone defect after resection of a musculoskeletal tumour*. *The Bone & Joint Journal*, 96-B(9), 1258-1263. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B9.33230>.

6. Sohn, H.-S., & Oh, J.-K. (2019). *Review of bone graft and bone substitutes with an emphasis on fracture surgeries*. *Biomaterials Research*, 23(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0157-y>.

7. Yang, H., Fang, X., Xiong, Y., Duan, H., & Zhang, W. (2022). *3D Customized Biological Tibial Intramedullary Nail Fixation for the Treatment of Fracture after Massive Allograft Bone Transplantation of Tibial Osteosarcoma: A Case Report*. *Orthopaedic Surgery*, 14(6), 1241-1250. <https://doi.org/10.1111/os.13294>.

8. Errani, C., Aiba, H., Atherley, A., Palmas, M., Kimura, H., Donati, D.M., & Manfrini, M. (2024). *What is the revision-free survival of resurfaced allograft-prosthesis composites for proximal humerus reconstruction in children with bone tumors?* *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 482(6), 979-990. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002969>.

9. Henderson, E.R., O'Connor, M.I., Ruggieri, P., Windhager, R., Funovics, P.T., ... & Letson, G.D. (2014). *Classification of failure of limb salvage after reconstructive surgery for bone tumours: A modified system Including biological and expandable reconstructions*. *The Bone & Joint Journal*, 96-B(11), 1436-1440. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B11.34747>.

10. Gautam, D., Arora, N., Gupta, S., George, J., & Malhotra, R. (2021). *Megaprosthesis Versus Allograft Prosthesis Composite for the Management of Massive Skeletal Defects: A Meta-Analysis of Comparative Studies*. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 14(3), 255-270. <https://doi.org/10.1007/s12178-021-09707-6>.

11. Harges, J., von Eiff, C., Streitberger, A., Balke, M., Budny, T., Henrichs, M.P., Hauschild, G., & Ahrens, H. (2010). *Reduction of periprosthetic infection with silver-coated megaprotheses in patients with bone sarcoma*. *Journal of Surgical Oncology*, 101(5), 389-395. <https://doi.org/10.1002/jso.21498>.

12. 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>.

Отримано/Received 15.01.2026

Рецензовано/Revised 27.02.2026

Прийнято до друку/Accepted 27.03.2026

#### Information about authors

Yanina O. Golovina, PhD in Medicine, Lecturer at the Department of Surgery and Tactical Medicine, Cherkasy Medical Academy, Cherkasy, Ukraine; e-mail: dr.yanina.golovina@gmail.com; <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; <https://orcid.org/0000-0001-9070-4834>

**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.

Ya.O. Golovina<sup>1</sup>, R.V. Malyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cherkasy Medical Academy, Cherkasy, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

## Comparative analysis of the results of segmental bone alloplasty and modular, custom-made endoprosthesis replacement

**Abstract. Background.** The issue of choosing the optimal material for replacing segmental post-resection defects of long bones has remained controversial for many decades. In recent years, numerous comparative studies have been conducted, resulting in the identification of two main strategies: bioreconstruction and modular, or custom-made, replacement. The purpose is to conduct a comparative statistical analysis of the results of bioreconstruction with segmental allografts and modular, custom-made endoprosthesis replacement for post-resection defects of long bones. **Materials and methods.** For the study, data from 40 patients with tumour lesions of long bones were selected and analysed. The participants were diagnosed with malignant tumours of long bones located in the femur and tibia. All patients were divided into two groups depending on the type of surgical intervention performed: in the main one (n = 16), segmental bone allograft was used, and the comparative group (n = 24) underwent custom-made replacement. The functional results of limb-salvage surgery of patients in both groups were assessed using the MSTs score. Complications after surgical interventions were assessed according to the classification of E. Henderson et al. The research materials were statistically processed using parametric and non-parametric analysis methods. Statistical analysis was performed using

Statistica 10 (StatSoft Inc). **Results.** As a result of analysing the number of complications observed in both groups of patients, it can be noted that infectious complications in the main group (use of bone allograft) were less frequent (6.3 %) than in the comparative one (endoprosthesis replacement) (12.5 %), although without a statistically significant difference (Pearson's  $\chi^2$  criterion = 0.95, p = 0.33, p > 0.05). The same situation is observed with type V complications in the form of local (regional) tumour recurrence: despite a higher percentage of these complications in the main group (37.5 %) compared to the control one (12.5 %), there is no statistically significant difference (Pearson's  $\chi^2$  criterion = 3.44, p = 0.06, p > 0.05). **Conclusions.** Analysis of complications in both groups led to the conclusion that infectious complications were less common with bone allograft than with endoprosthesis replacement for post-resection defects of long bones. Both techniques for replacing post-resection segmental defects of long bones should be used according to clear indications, taking into account many factors (from local characteristics, morphological type of tumour, length of resection to survival prognosis in case of malignant tumours and methods of combined treatment).

**Keywords:** bone allograft; modular, custom-made endoprosthesis replacement; bone tumour

Герасименко А.С., Юрик О.Є., Герасименко С.І., Бабко А.М., Полулях Д.М.,  
Громадський В.В., Поліщук О.С.

Державна установа «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

## Біомеханічні передумови тендинопатії власної зв'язки надколінка після артроскопії колінного суглоба

**Резюме. Актуальність.** Тендинопатія власної зв'язки надколінка — поширена проблема у пацієнтів після артроскопічних втручань, що супроводжується хронічним болем і обмеженнями у функціональності колінного суглоба. **Мета:** провести комплексний біомеханічний аналіз впливу гіпотрофії квадрицепса стегна на біомеханіку колінного суглоба та механізми розвитку тендинопатії надколінка за допомогою математичного моделювання. **Матеріали та методи.** Моделювання кісток, зв'язок, хрящів виконувалося в програмі SolidWorks 2023 (Dassault systemes, Франція), 3Ds Max 2025 (Autodesk Inc, США). Дослідження методом скінчених елементів (FEM) — Simsolid 2023 (Altair Engineering, США). **Результати та висновки.** Було розроблено та успішно застосовано чисельну математичну модель колінного суглоба, яка дозволила оцінити розподіл напружень і контактних тисків у колінному суглобі за умов контрольованого навантаження. Ця модель враховує морфометричні параметри та фізико-механічні властивості тканин, а також дозволяє моделювати сценарії з гіпотрофією квадрицепса стегна. Моделювання біомеханіки здорового колінного суглоба при кутах згинання 30°, 60° та 90° показало закономірне зростання локальних піків напружень і контактних сил зі збільшенням кута згинання. Максимальні напруження зосереджувалися в зонах контакту патели зі стегною кісткою та біля переходів геометрії. При 90° згинання пателофemorальна контактна сила становила 2058 Н, а напруження зв'язки досягало 3,28 МПа. Виявлено, що гіпотрофія квадрицепса стегна призводить до значного перерозподілу навантажень у пателофemorальному суглобі та сухожилку надколінка. Спостерігається виражена латералізація контактної зони та підвищення локальних піків напружень у пателофemorальному сегменті. При 30° згинання з гіпотрофією латеральна сила (621,4 Н) переважала над медіальною (221 Н), а напруження у зв'язці становило 2,4 МПа. При гіпотрофії квадрицепса спостерігається зростання напружень у зонах прикріплення сухожилка та зв'язкового апарату. Зокрема, при 60° згинання з гіпотрофією напруження у зв'язці становило 6,8 МПа, а локальні піки в пателофemorальному відділі досягали 13,116 МПа. Це свідчить про підвищений ризик перевантаження латеральних структур та сухожилка. Гіпотрофія квадрицепса стегна створює умови для збільшення моментів, що формують ексцентричне навантаження (наприклад, 9,4 Н·м при 30° згинання). Ці моменти вказують на формування ротаційного та згинального ефекту, здатного посилювати локальні напруження та сприяти мікротравматизації зв'язки.

**Ключові слова:** тендинопатія надколінка; артроскопія колінного суглоба; реабілітація; роботизовані ортези; синдром «переднього болю» колінного суглоба

### Вступ

Тендинопатія власної зв'язки надколінка є поширеним станом, що вражає як загальну популяцію, так і спортсменів, суттєво обмежуючи фізичну активність та якість життя [1, 2]. Загальна поширеність захворювання у дорослих становить приблизно 1–2 %, тоді як

серед спортсменів, особливо тих, хто займається видами спорту з високими ударними навантаженнями, як от баскетбол або волейбол, цей показник може сягати 3–40 % [1, 2]. До 50 % спортсменів, яким діагностовано тендинопатію надколінка, змушені завершувати свою кар'єру через довготривалі та рецидивні проблеми [3].

© «Травма» / «Trauma» («Trauma»), 2026

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Громадський В.В., аспірант відділу захворювань суглобів у дорослих, ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», 01601, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, м. Київ, Україна; gromadsky94@gmail.com; тел. + 380 (63) 281-03-77

For correspondence: Vadym Hromadskyi, graduate student of the Department of Joint Diseases in Adults, State Institution "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine, e-mail: gromadsky94@gmail.com; tel. + 380 (63) 281-03-77

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

Біомеханіка колінного суглоба, зокрема функціонування розгинального механізму, відіграє ключову роль у патогенезі тендінопатії. Надмірні сили у власній зв'язці надколінка та висока швидкість їх прикладання вважаються основними причинами розвитку тендінопатії, особливо при повторюваних стрибках та приземленнях [4].

Ексцентричне скорочення чотириголового м'яза стегна (квадрицепса) під час фази приземлення може перевантажувати сухожилок надколінка, перевищуючи його адаптивні можливості та викликаючи мікротравми волокон [4]. Дослідження показують, що зменшення амплітуди згинання коліна під час приземлення може призводити до збільшення моменту розгинання коліна, що, у свою чергу, підвищує навантаження на зв'язку надколінка та її деформацію [5].

У контексті цих даних розуміння впливу гіпотрофії квадрицепса на біомеханіку колінного суглоба є критично важливим для профілактики та лікування тендінопатії.

Проблема тендінопатії надколінка залишається однією з найбільш актуальних у спортивній медицині та ортопедії через її значну поширеність серед спортсменів, які проходять через інтенсивні тренування, що включають стрибки та приземлення [3]. Цей патологічний стан часто призводить до тривалої втрати працездатності спортсменів та може зумовити передчасне завершення спортивної кар'єри через дегенеративні зміни в сухожилку [4, 6]. Гіпотрофія квадрицепса стегна, що характеризується зниженням м'язової маси та сили, є значущим фактором, що може змінювати біомеханічні навантаження на колінний суглоб. Слабкість квадрицепса пов'язана з адаптаціями ходи, як-от зменшення згинання коліна під час опори та збільшення внутрішнього моменту розгинання коліна, що знижує здатність колінного суглоба до поглинання енергії при навантаженні [7]. Це також може збільшувати швидкість навантаження на колінний суглоб та підвищувати сили реакції у суглобі [7]. Крім того, нерівномірний розвиток або дисбаланс між медіальним та латеральним м'язами квадрицепса може впливати на траєкторію руху надколінка, що є важливим фактором у розвитку патологій пателофеморального суглоба [8]. Дослідження підкреслюють, що дегенерація м'язів може потребувати більшої м'язової активації для виконання тих самих рухів, що потенційно збільшує контактну силу у суглобі [9, 21].

**Мета та завдання дослідження:** провести комплексний біомеханічний аналіз впливу гіпотрофії квадрицепса стегна на біомеханіку колінного суглоба та механізми розвитку тендінопатії надколінка за допомогою математичного моделювання.

**Об'єкт та предмет дослідження.** Об'єктом дослідження є біомеханічна система колінного суглоба та розгинального апарату за умов зниження м'язової маси квадрицепса стегна, а предметом виступають закономірності трансформації внутрішньосуглобових навантажень та їх вплив на етіопатогенез тендінопатії власної зв'язки надколінка.

**Наукова новизна.** Наукова новизна дослідження полягає у розробці та застосуванні унікальної математичної моделі, яка дозволила детально дослідити біомеханічні наслідки впливу гіпотрофії квадрицепса стегна на колінний суглоб. Зокрема, у ході дослідження виявлено та кількісно оцінено механізми перерозподілу навантаження, латералізації контактної зони, підвищення локальних піків напружень у пателофеморальному сегменті та збільшення ексцентричного навантаження, що призводить до зростання напружень у зонах прикріплення сухожилка та зв'язкового апарату. Ці результати уточнюють патомеханіку розвитку тендінопатії власної зв'язки надколінка в умовах м'язового дисбалансу.

**Практичне значення.** Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих даних для розробки більш ефективних стратегій профілактики та лікування тендінопатії власної зв'язки надколінка у пацієнтів з гіпотрофією квадрицепса стегна. Результати дослідження можуть бути імплементовані в клінічну практику для оптимізації реабілітаційних програм, що включають спеціалізовані вправи для відновлення м'язового балансу та зниження ризику перевантаження структур колінного суглоба. Математична модель, розроблена в рамках дослідження, може слугувати інструментом для подальшого вивчення біомеханіки колінного суглоба та тестування нових терапевтичних підходів без необхідності інвазивних втручань.

## Матеріали та методи

Моделювання кісток, зв'язок, хрящів виконувалося в програмі SolidWorks 2023 (Dassault systemes, Франція), 3Ds Max 2025 (Autodesk Inc, США). Дослідження методом скінченних елементів (FEM) — Simsolid 2023 (Altair Engineering, США).

## Дизайн дослідження

Це дослідження було виконано з використанням комп'ютерного моделювання, що включало розробку та застосування чисельної математичної моделі колінного суглоба.

Для чисельного аналізу було прийнято квазістатичну постановку задачі. Дистальний відділ великогомілкової кістки моделювали як повністю зафіксований, з обмеженням поступальних та обертальних ступенів свободи, що імітує жорстке блокування сегмента. До проксимального відділу стегнової кістки приклали осьове навантаження, орієнтоване уздовж механічної осі кінцівки. Величину навантаження обчислювали як еквівалент ваги тіла масою 90 кг, тобто 882 Н, з урахуванням того, що в одноопорній фазі ходьби та при помірному згинанні коліна результуюча сила може зростати до 2–3 мас тіла, тому в моделі було розглянуто діапазон навантажень 0,8–2,5 кН для аналізу чутливості. Контакт між суглобовими поверхнями надавали як фрикційний з обмеженим проникненням, а вплив м'яких тканин, зв'язково-капсульного апарату відтворювали ефективними пружними обмеженнями, що стабілізують відхилення від осьової компресії.

Така постановка дозволяє оцінити розподіл напружень і контактних тисків у колінному суглобі за умов контрольованого навантаження, репрезентативного для фізіологічних сценаріїв навантаження у стоячому положенні та при помірному згинанні.

### Морфометрія та фізико-механічні властивості тканин колінного суглоба

У цьому узагальненні (табл. 1–4) представлено орієнтовні діапазони морфометричних параметрів колінного суглоба дорослої людини та фізико-механічних властивостей основних тканин (кісткової, хрящової, зв'язкового та м'язово-сухожильного комплексів), придатних для біомеханічного аналізу та комп'ютерного моделювання.

Комп'ютерне моделювання суглоба виконувалось із залученням програмного продукту 3Matic (Materialise NV, Leuven, Бельгія). За його допомогою було переведено 2D-зображення комп'ютерної томографії в 3D-модель. Для моделювання надколінної зв'язки були використані такі параметри: довжина  $550 \pm 20$  мм, товщина  $5,0 \pm 0,5$  мм, а при тендинопатії ці показники становили: довжина  $50 \pm 20$  мм, товщина  $7,0 \pm 0,5$  мм. Для відтворення гіпотрофії квадрицепса значення ме-

діальної сили (Н) було знижено на 50 % від взятої за норму (441, 588, 721 Н) для кутів 30, 60 та 90 градусів та становило 221, 294, 361 Н відповідно.

### Методи оцінки біомеханіки колінного суглоба

У біомеханічному моделюванні колінного суглоба критично враховувати анізотропію та нелінійність тканин. Анізотропією вважають залежність механічних властивостей від напрямку навантаження; для кісткової тканини це проявляється у більшій жорсткості вздовж поздовжньої осі порівняно з поперечними напрямками. Кістка належить до ортотропних матеріалів, тобто характеризується трьома взаємно перпендикулярними головними осями із різними значеннями модуля Юнга та коефіцієнтів Пуассона, що відображає її морфологічну організацію. Натомість зв'язки та сухожилки демонструють виражену нелінійну поведінку: при малих деформаціях вони є відносно «м'якими» (розпрямлення колагенових хвиль), тоді як зі зростанням навантаження їх жорсткість істотно підвищується. Оскільки SimSolid не підтримує повноцінні ортотропні та гіпер-/в'язкопружні моделі м'яких тканин, у роботі застосовано еквівалентний підхід: кістку моделювали як ізотропний матеріал із

**Таблиця 1. Морфометрія колінного суглоба: фізико-механічні властивості кісткової тканини**

Тканина	Модуль Юнга, Е, ГПа	Коеф. Пуассона, $\nu$	Міцність, МПа
Кортикальна кістка	14–20	0,28–0,33	120–200
Трабекулярна кістка	0,05–0,8	0,20–0,30	2–12 (стиск)

**Таблиця 2. Морфометрія колінного суглоба: фізико-механічні властивості суглобового хряща**

Параметр	Значення	Примітка
Е (моментальний), МПа	5–25	Висока в'язкопружність
Е (довготривалий), МПа	0,5–5	Повзучість, двофазність
$\nu$	0,40–0,49	Майже нестисливий
Стискаюча міцність, МПа	5–20	

**Таблиця 3. Морфометрія колінного суглоба: фізико-механічні властивості зв'язок**

Структура	Е, МПа	$\nu$	Міцність (розтяг), МПа
ACL	150–350	0,35–0,45	25–40
PCL	200–400	0,35–0,45	30–45
MCL	100–300	0,35–0,45	20–35
LCL	150–300	0,35–0,45	20–30

**Таблиця 4. Морфометрія колінного суглоба: фізико-механічні властивості сухожилків та м'яза**

Тканина	Е	$\nu$	Примітка
Сухожилки (квадрицепс/пателлярна)	500–1200 МПа	0,30–0,45	Виражена нелінійність
М'яз (пасивний)	10–80 кПа	$\approx 0,45$ –0,50	М'яка тканина
М'яз (активний)	0,1–0,6 МПа	$\approx 0,48$ –0,50	Ефективний Е (ізометрія)

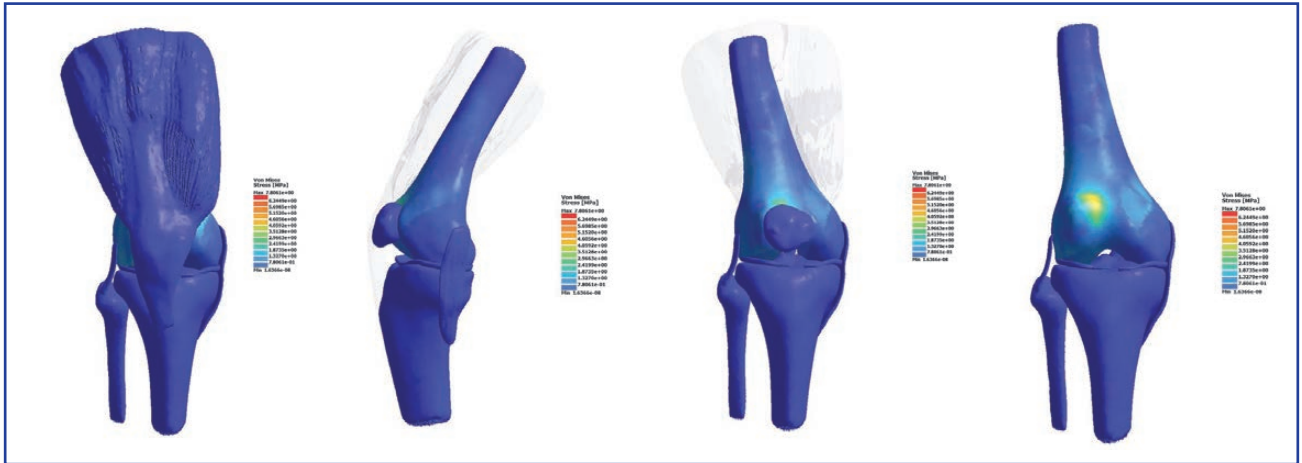


Рисунок 1. Напруження зв'язки та суглобового хряща при згинанні 30°

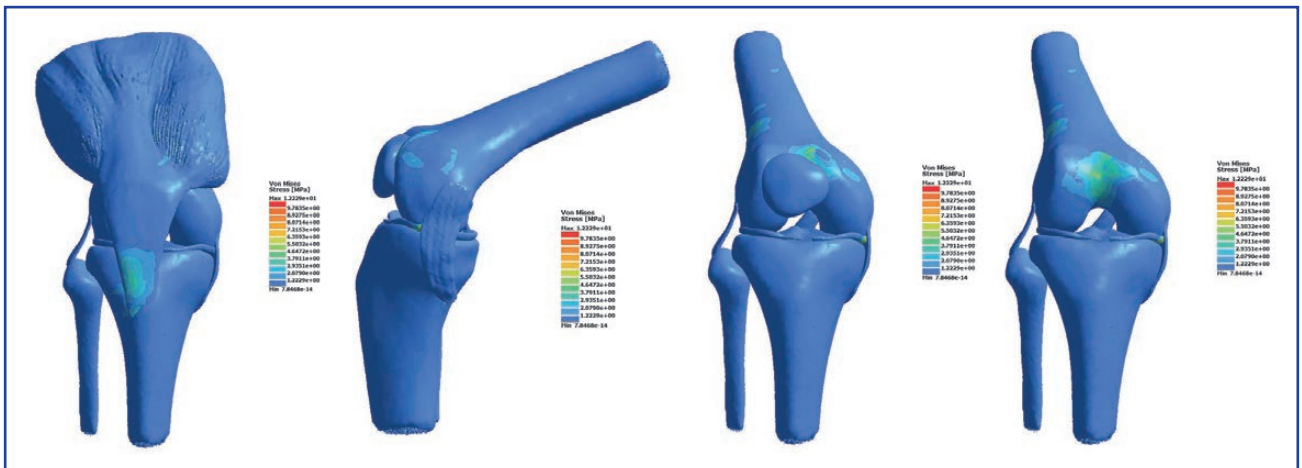


Рисунок 2. Напруження зв'язки та суглобового хряща при згинанні 60°

диференціацією жорсткості між кортикальним шаром і трабекулярним ядром, тоді як зв'язки та сухожилки апроксимували лінійно-пружними властивостями в межах їх функціонального діапазону. Додатково локальну «напряму» жорсткість у зонах прикріплення відтворювали за допомогою віртуальних пружних з'єднань, що дозволяє частково відобразити анізотропну відповідь конструкції. Такий підхід забезпечує обґрунтований компроміс між фізичною вірогідністю та обчислювальною ефективністю моделі.

## Результати

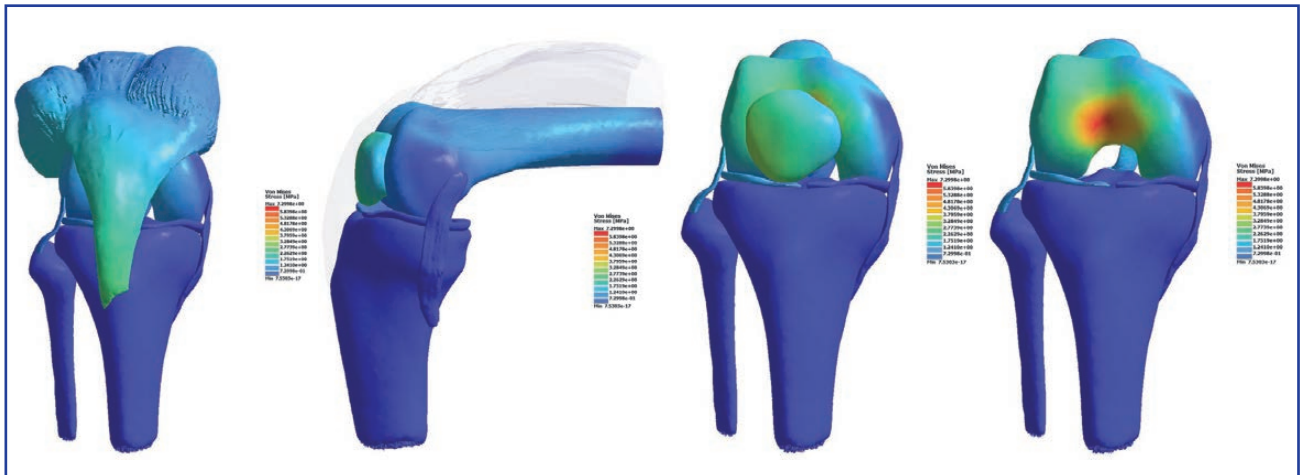
### Кут згинання 30 градусів (рис. 1)

Модель показує чисельну біомеханічну оцінку колінного суглоба з розподілом еквівалентних напружень за фон Мізесом: максимальні значення концентруються в зонах контакту надколінка зі стегновою кісткою та біля переходів геометрії, що відображає локальні піки навантаження через зміну жорсткості тканин і контактні сили. Низькі напруження в діяфізі кісток свідчать про ефективне розсіювання навантаження вздовж осі, тоді як локальні червоні/жовті ділянки потенційно пов'язані з підвищеним ризиком перевтоми матеріалу,

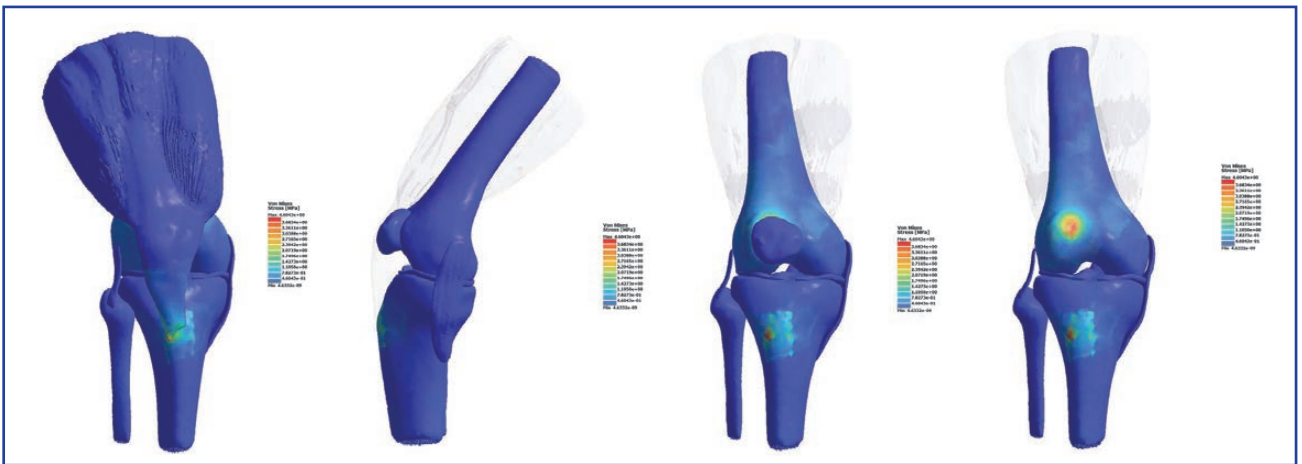
зношуванням хряща або перевантаженням при зміні кута згину та сили квадрицепса.

Більшість структур перебуває в діапазоні низьких напружень 0–1,5 МПа; це означає, що навантаження добре розсіюється вздовж кісток. Відповідно до інфографіки напруження у зв'язці становить 1,3 МПа. Зони 2–4 МПа локалізуються переважно в ділянці пателофemorального контакту та на переходах геометрії, там очікувані піки через контактні тиски та різку зміну жорсткості. Невеликі ділянки 5–6 МПа і поодинокі максимальні піки 7,8 МПа свідчать про потенційно критичні точки, де при збільшенні навантаження, зміні кута згину або слабкості стабілізуючих структур може зростати ризик локального перевантаження й зношування хряща.

Більшість структур у низькому діапазоні напружень 0–1,5 МПа. Локальний пік розташований на передньо-латеральній поверхні дистального стегна. У контакті надколінок — стегно середні значення 2–4 МПа. Піки локальні, мають контактну природу і не свідчать про загальне перевантаження. Критична зона для подальшої перевірки — саме осередок на медіальному блоці при зміні кута згину або навантаження.



**Рисунок 3. Напруження зв'язки та суглобового хряща при згинанні 90°**



**Рисунок 4. Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії квадрицепса при згинанні 30°**

### Кут згинання 60 градусів (рис. 2)

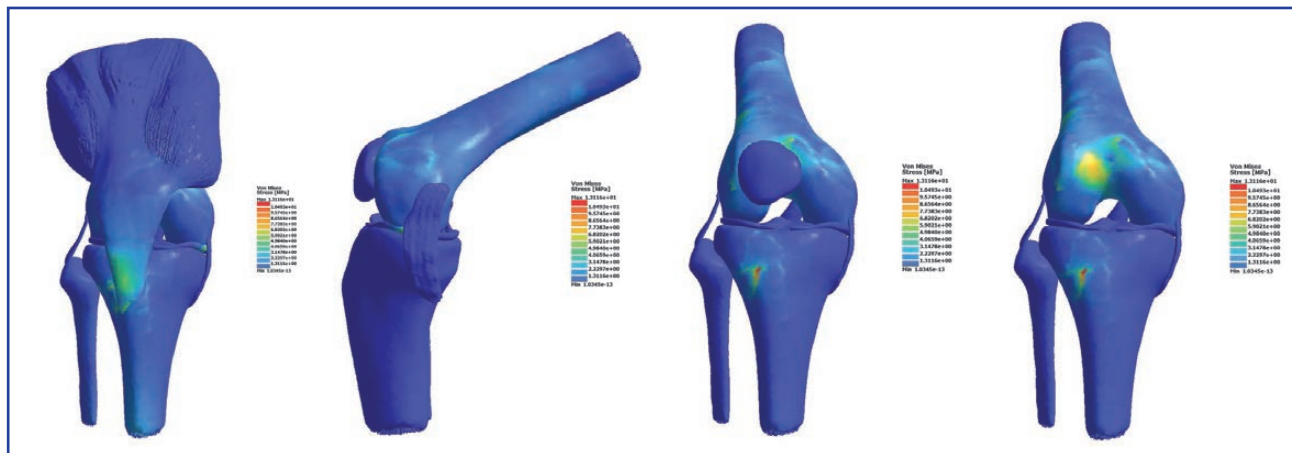
Більшість структур у низькому діапазоні 1–3 МПа, що свідчить про рівномірне розсіювання навантаження. Напруження, яке виникає у зв'язці, становить 4,6 МПа. Максимум напруження, до 12 МПа, перебуває в хрящовій тканині, але він чітко локальний і не поширюється вглиб, що є характерним для концентрованого контакту/краю. Напрямок сил узгоджується з моделлю, зростання піків порівняно з попередніми кадрами є наслідком більшого згину та більшої проекції сили квадрицепса на суглоб. У цілому картина відповідає фізіологічному сценарію з очікуваними контактними піками.

Основний масив перебуває в діапазоні 1–3 МПа, рівномірне осьове навантаження без ризикованих піків у діяфізі. У зоні пателофemorального контакту формується пляма 5,5 МПа. Це очікуваний пік при збільшенні згину, сила квадрицепса більше «притискає» пателу до femури. По краях контакту трапляються значення до 12 МПа. Вони обмежені зоною контакту і швидко затухають углиб, характерні «крайові» піки, а не системне перевантаження.

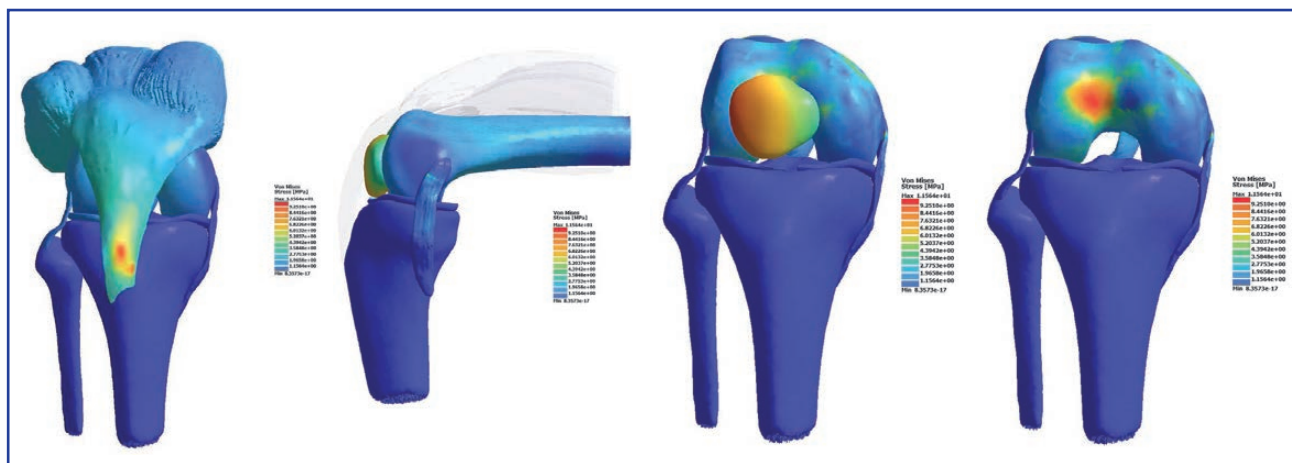
### Кут згинання 90 градусів (рис. 3)

У представленій моделі розподілу напружень за критерієм фон Мізеса напруження знаходяться в діапазоні від мінімуму  $7,53 \times 10^{-17}$  МПа до максимуму 7,30 МПа. Основні значення групуються в інтервалі 0,7–5,5 МПа, із локальними піками до 7,3 МПа у зоні передньої поверхні дистального відділу стегнової кістки та ділянці взаємодії з пателою. Такий характер розподілу відповідає очікуваній біомеханіці. Навантаження передається через пателофemorальний контакт і сухожилок квадрицепса, створюючи концентрації напружень у передньолатеральних ділянках виростків, тоді як діяфіз стегнової та великогомілкової кісток залишається переважно в зоні низьких значень. Напруження зв'язки дорівнює 3,28 МПа.

Плавний перехід кольорових ізоліній свідчить про відсутність неадекватних чисельних «піків», що може говорити про коректно задані контактні умови та стабільну сітку. Значення до 7–8 МПа для кісткової тканини в умовах помірних навантажень (порядку частки ваги тіла) залишаються в безпечному діапазоні відносно межі текучості та не вказують на ризик локальної



**Рисунок 5. Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії квадрицепса при згинанні 60°**



**Рисунок 6. Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії квадрицепса при згинанні 90°**

перевтоми. Загалом модель демонструє біомеханічно узгоджений і чисельно стабільний розподіл напружень та може використовуватися для подальшого порівняльного аналізу.

Напруження знаходяться у межах від мінімуму  $7,53 \times 10^{-17}$  МПа до максимуму 7,30 МПа. Основний робочий діапазон напружень зосереджений між 0,73–5,84 МПа, із поступовими переходами. Найвищі значення локалізуються у зоні пателофеморального контакту — 7,3 МПа, де сила квадрицепса трансформується у контактне навантаження на жолоб стегнової кістки. На хрящовій тканині напруження дорівнює 1,75–2,77 МПа. Решта структур, а саме діафізи стегнової та великогомілкової кісток, переважно знаходяться нижче за 1 МПа, що вказує на їхню другорядну участь у передачі навантаження в цьому положенні.

Плавні градієнти між ізолініями та відсутність різких «пиків» на краях контакту свідчать про чисельно стабільну постановку задачі, контактні пари працюють коректно, а граничні умови не створюють штучної концентрації напружень. Максимальні значення

близько 7 МПа залишаються в межах фізіологічно допустимих для кісткової тканини при помірних навантаженнях і не вказують на ризик локальної перевтоми.

#### **Кут згинання 30 градусів при гіпотрофії (рис. 4)**

Усі значення знаходяться в діапазоні  $4,63 \times 10^{-9}$  МПа — max 4,60 МПа, що підтверджує стабільність результатів. У зоні виростка стегнової кістки формується компактний осередок із рівнями близько 3,0–3,7 МПа і локальним піком до 4,6 МПа. Це відповідає ділянці передачі навантаження від пателофеморального контакту при згині, тобто там, де сила реакції суглоба концентрується у хрящовій та субхондральній ділянці. Порівнюючи з дослідженням при куті згину 30 градусів, що є у нормі, бачимо, що концентрація напруження дещо зміщена в латеральний бік. Підтвердження цього дає дослідження контактних сил. Поруч відразу спостерігається плавний перехід у діапазон 1,5–2,4 МПа, що свідчить про адекватне розсіювання напружень у кортикальній оболонці без різких ступенів.

На великогомілкової кістці зберігається виражений осередок у передньолатеральному секторі, де знаходиться зона дії тягнучого компонента сухожилка, пателофеморальної реакції. Значення тут коливаються в межах 1,7–3,0 МПа з локальним підвищенням до 3,6–4,0 МПа. Сама ж зв'язка має напруження 2,4 МПа. Концентрація напруження в місці кріплення зв'язки може бути пояснена перенаправленням, зміщенням патели. Водночас більша частина тіла tibia і стегнового діафіза залишається у діапазоні 1,1 МПа, що демонструє рівномірну передачу навантаження вздовж осі кісток та відсутність критичних концентрацій поза суглобовими зонами.

### Кут згинання 60 градусів при гіпотрофії (рис. 5)

У представлених видах моделі колінного суглоба карта напружень фон Мізеса показує, що більшість кісткових структур перебуває у низькому діапазоні напружень (переважно 1,3116–3,1478 МПа), що відображено переважанням синіх відтінків. Мінімальне значення становить  $1,0345 \times 10^{-13}$  МПа, тобто практично дорівнює нулю. Це свідчить про те, що значна частина діафізів працює в умовно розвантаженому режимі, без ризику локального перевищення міцності.

Зони підвищених напружень зосереджені переважно в ділянці пателофеморального контакту та на передніх поверхнях дистального відділу стегнової кістки. Тут спостерігаються значення у діапазонах 6,8202–9,5745 МПа та локально — до 13,116 МПа. На великогомілкової кістці видно окремі осередки концентрації, ймовірно, у зонах передавання реакційних сил через контакт і фіксацію. Напруження у зв'язці становить 6,8 МПа. Таке розташування піків є біомеханічно обґрунтованим, саме ці ділянки сприймають основні компресійні та зсувні навантаження.

Перехід між рівнями напружень плавний, від 1,3116 до 10,493 МПа, без різких стрибків, що свідчить про коректну дискретизацію сітки та стабільні контактні умови. Відсутність штучних піків на краях моделі вказує, що граничні умови не створюють чисельних артефактів. Загалом отриманий розподіл добре відповідає очікуваній роботі колінного суглоба під навантаженням: найбільші напруження формуються у ділянці взаємодії надколінка зі стегном, тоді як віддалені сегменти залишаються у безпечному механічному діапазоні.

Напруження в пателофеморальному відділі становить 6,8202–9,5745 МПа та локально — до 13,116 МПа.

### Кут згинання 90 градусів при гіпотрофії (рис. 6)

На фронтальній проекції видно, що максимальні напруження сконцентровані в ділянці прикріплення сухожилка патели до великогомілкової кістки. Саме тут формується компактна ділянка підвищених значень до 11,6 МПа, що свідчить про механічно найбільш навантажену зону в умовах змодельованого сценарію. Уздовж тіла великогомілкової кістки напруження залишаються рівномірними й низькими (блакитні відтінки), що вказує на відсутність небезпечних концентрацій за межами зони кріплення.

Бічна проекція підтверджує цю тенденцію: червоножовта ділянка локалізована переважно на передній поверхні в місці контакту сухожилка, тоді як решта кісткових структур, як дистальна частина стегнової кістки, так і діафіз великогомілкової, перебувають у діапазоні 1–3 МПа. Це характерно для ситуацій, коли головне навантаження передається через сухожилок і зосереджується на відносно невеликій площі.

На першому ракурсі видно виражену зону на суглобовій поверхні стегнової кістки, ближче до латерального виростка. Саме тут напруження наближається до максимального значення 11,6 МПа, що свідчить про інтенсивну передачу навантаження через пателофеморальний контакт.

На другому зображенні, коли патела візуалізована окремо, добре простежується відповідна ділянка контакту на її задній поверхні, вона також демонструє підвищені значення в діапазоні 9–11,6 МПа, з локальним центром, який узгоджується з піком на поверхні стегнової кістки. Решта структур, включно з великогомілковою кісткою, залишаються переважно в низькому діапазоні, тобто 1–3 МПа, що вказує на відсутність критичних концентрацій за межами зони контакту.

### Порівняльний аналіз показників у досліджуваних групах

Проведене чисельне моделювання колінного суглоба з урахуванням реалістичних морфометричних параметрів та еквівалентних механічних властивостей тканин показало біомеханічно узгоджений розподіл напружень і контактних сил у діапазоні кутів згинання 30°, 60° та 90°. За умов фіксації дистального відділу великогомілкової кістки та осьового навантаження, еквівалентного масі тіла 90 кг, встановлено, що основні напруження концентруються у пателофеморальному контакті та зонах геометричних переходів, тоді як діафізи кісток залишаються в діапазоні низьких значень, що свідчить про ефективну передачу навантаження вздовж осі кінцівки. Зі зростанням кута згинання відзначено закономірне підвищення локальних піків напружень і збільшення контактних сил, що відповідає зростанню плеча дії квадрицепса та сили притискання надколінка до жолоба стегнової кістки. Отримані значення контактних навантажень та пікових напружень у межах 7–12 МПа узгоджуються з літературними даними й залишаються нижчими від критичних для кісткової та хрящової тканин.

Моделювання сценаріїв із гіпотрофією продемонструвало перерозподіл навантаження з вираженішою латералізацією контактної зони, підвищенням локальних піків у пателофеморальному сегменті та збільшенням моментів, що формують ексцентричне навантаження. Це супроводжується зростанням напружень у зонах прикріплення сухожилка та зв'язкового апарату, що потенційно підвищує ризик перевантаження латеральних структур. Разом це підтверджує чутливість пателофеморального комплексу до змін м'язового балансу та геометрії.

Таким чином, запропонована постановка задачі та прийняті наближення (ізотропна апроксимація кістки з диференціацією кортикального й трабекулярного шарів, лінійно-пружні властивості для зв'язок і сухожилків) забезпечують надійний компроміс між обчислювальною ефективністю та біомеханічною вірогідністю (табл. 5, 6).

## Обговорення

Результати цього дослідження, отримані за допомогою чисельного моделювання колінного суглоба, надають цінну інформацію про біомеханічні зміни, що відбуваються як у здоровому колінному суглобі при різних кутах згинання, так і при гіпотрофії квадрицепса стегна. Ці дані узгоджуються з існуючими літературними джерелами та розширюють наше розуміння патомеханізмів тендінопатії надколінка.

Моделювання здорового колінного суглоба при кутах згинання 30°, 60° та 90° показало закономірне зростання локальних піків напружень та контактних сил зі збільшенням кута згинання. Максимальні напруження зосереджувалися в зонах контакту надколінка зі стегною кісткою та біля переходів геометрії. Ці спостереження відповідають фізіологічним процесам, за яких зі зростанням кута згинання збільшується плече дії квадрицепса та сила притискання надколінка до стегнової кістки, що призводить до зростання пателофemorального контактного навантаження [10, 11]. Наприклад, при 60° згинання в здоровому суглобі напруження у зв'язці становило 4,6 МПа, а максимальні напруження в хрящовій тканині досягали 12 МПа. При 90° згинання пателофemorальна контактна сила становила 2058 Н. Інші дослідження також підтверджують, що контактні сили та тиск у пателофemorальному суглобі збільшу-

ються з кутом згинання [11–13]. Зокрема, дослідження виявили зростання контактного тиску в хрящі надколінка та стегнової кістки при збільшенні кутів згинання під час підйому по сходах [11]. Наше дослідження додатково показує, що момент, який виникає у зоні контакту, має тенденцію до збільшення зі зростанням кута згинання (від 0 Н·м при 30° до 4,94 Н·м при 90°), що вказує на зміщення центру тиску.

Моделювання сценаріїв з гіпотрофією квадрицепса стегна виявило ключові зміни, що можуть сприяти розвитку тендінопатії надколінка. Виявлено перерозподіл навантаження з вираженою латералізацією контактної зони, підвищення локальних піків у пателофemorальному сегменті та збільшення моментів, що формують ексцентричне навантаження. При 30° згинання з гіпотрофією латеральна сила (621,4 Н) переважала над медіальною (221 Н). Це супроводжується зростанням напружень у зонах прикріплення сухожилка та зв'язкового апарату, що потенційно підвищує ризик перевантаження латеральних структур. Зокрема, при 60° згинання з гіпотрофією напруження у зв'язці становило 6,8 МПа, а локальні піки в пателофemorальному відділі досягали 13,116 МПа. Це підтверджує чутливість пателофemorального комплексу до змін м'язового балансу та геометрії.

Ці результати узгоджуються з даними інших досліджень. Наприклад, дослідження показали, що латеральний мальтрекінг надколінка може бути спричинений дисбалансом активації м'язів квадрицепса, що призводить до підвищеного пателофemorального стресу [14]. Stephen et al. у кадавричній моделі виявили, що ослаблення медіального квадрицепса призводить до латералізації контактного тиску в пателофemorальному суглобі та зниження стабільності [15]. Збільшення

**Таблиця 5. Узагальнення показників напруження на власну зв'язку надколінка та пателофemorальний суглоб у функціональних положеннях колінного суглоба, МПа**

	Фізіологічна модель		Гіпотрофія	
	Власна зв'язка надколінка	Зона пателофemorального контакту	Власна зв'язка надколінка	Зона пателофemorального контакту
Згинання 30°	1,3	2–4	2,4	3–3,7
Згинання 60°	4,6	5,5	6,8	6,8–9,56
Згинання 90°	7,3	7,3	11,6	11,6

**Таблиця 6. Контактні сили, Н**

	Фізіологічна модель				Гіпотрофія			
	Медіальна складова квадрицепса	Латеральна складова квадрицепса	Протидіюча сила власної зв'язки надколінка	Пателофemorальна зона	Медіальна складова квадрицепса	Латеральна складова квадрицепса	Протидіюча сила власної зв'язки надколінка	Пателофemorальна зона
Згинання 30°	441	520	1110	440	221	621	1341	1200
Згинання 60°	588	693	1785	1470	294	827	2078	1764
Згинання 90°	721	749	2317	2058	360	849	2315	2058

моментів, що формують ексцентричне навантаження, особливо помітне при гіпотрофії (наприклад, 9,4 Н·м при 30° згинання), може бути критичним фактором у розвитку тендинопатії, оскільки ексцентричні навантаження є відомим фактором ризику для сухожилків [4]. Owusu-Akuaw et al. також пов'язують слабкість квадрицепса зі збільшенням контактних сил у пателофеморальному суглобі та підвищенням навантаженням на хрящ [16]. Таким чином, наше моделювання кількісно підтверджує, що гіпотрофія квадрицепса порушує нормальний розподіл навантажень, створюючи умови для підвищеного стресу в зонах, схильних до тендинопатії.

Отримані дані свідчать про те, що слабкість квадрицепса, особливо його медіальної групи, змінює вектор дії м'язових сил, що призводить до латералізації надколінка та виникнення патологічного тиску на суглобові поверхні [15, 17]. Зокрема, порушення м'язового балансу спричиняє дисфункцію механізму блока, який виконує надколінок, що призводить до погіршення контролю моментів та сил, які діють на гомілку, як зазначено в сучасних оглядах пателофеморальної біомеханіки [18]. Дисбаланс між м'язами-згиначами, і особливо недостатня функція *vastus medialis*, призводить до того, що надколінок зміщується латерально, що зменшує площу контакту з блоком стегнової кістки та підвищує локальний тиск на латеральну фасетку та власне сухожилок [14, 15, 19]. Це явище підтверджується даними про те, що навіть невеликі зміни сили м'яза *vastus medialis* мають найбільш значний вплив на напруження в пателофеморальному суглобі, особливо у пацієнтів з порушенням трекінгом надколінка [14]. Така латералізація та підвищений тиск не лише впливають на хрящову тканину, а й створюють умови для мікротравматизації власне зв'язки надколінка через порушення її фізіологічного натягу та зміну кута дії сухожилкових сил [14, 15]. Таке перерозподілення навантаження сприяє формуванню зон гіперперфузії та дегенеративних змін у паратеноні, що зрештою призводить до хронічного запалення та структурної нестабільності тканини сухожилка [20].

**Обмеження дослідження.** Необхідно зазначити, що дослідження ґрунтувалося на використанні скінченно-елементного моделювання, яке, попри свою точність у відтворенні розподілу напружень, є спрощеною репрезентацією складної біомеханіки *in vivo* та не враховує всі індивідуальні анатомічні варіації.

## Висновки

1. Гіпотрофія квадрицепса стегна призводить до значного перерозподілу навантажень у пателофеморальному суглобі та сухожилку надколінка. Спостерігається виражена латералізація контактної зони та підвищення локальних піків напружень у пателофеморальному сегменті. При 30° згинання з гіпотрофією латеральна сила (621,4 Н) переважала над медіальною (221 Н), а напруження у зв'язці становило 2,4 МПа.

2. При гіпотрофії квадрицепса спостерігається зростання напружень у зонах прикріплення сухожилка та

зв'язкового апарату. Зокрема, при 60° згинання з гіпотрофією напруження у зв'язці становило 6,8 МПа, а локальні піки в пателофеморальному відділі досягали 13,116 МПа. Це свідчить про підвищений ризик перевантаження латеральних структур та сухожилка.

3. Гіпотрофія квадрицепса стегна створює умови для збільшення моментів, що формують ексцентричне навантаження (наприклад, 9,4 Н·м при 30° згинання). Ці моменти вказують на формування перекручувального та згинального ефекту, здатного посилювати локальні напруження та сприяти мікротравматизації сухожилка.

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

**Інформація про фінансування.** Дослідження виконувалось у межах дисертаційної роботи «Діагностика та ортопедичне лікування ушкоджень менісків та хряща колінного суглоба внаслідок травм у військовослужбовців» за кошти державного фінансування.

**Внесок авторів.** Герасименко С.І., Полулях Д.М., Герасименко А.С. — концепція та дизайн дослідження, аналіз отриманих даних, корекція тексту; Бабко А.М. — літературний пошук; Громадський В.В. — біомеханічне моделювання; Юрик О.Є. — інтерпретація результатів.

## Список літератури

1. Milczarek, J., Szymczuk, B., Iwan, M., Trojanowski, D., Adamiec, K., ... & Nitka, K. (2024). Review of the Literature on Patellar Tendinopathy: Current State of Knowledge. *Quality in Sport, 20*, 51433. <https://doi.org/10.12775/qs.2024.20.51433>.
2. Nutarelli, S., Lodi, C.M.T. da, Cook, J., Deabate, L., & Filardo, G. (2023). Epidemiology of Patellar Tendinopathy in Athletes and the General Population: A Systematic Review and Meta-analysis [Review of Epidemiology of Patellar Tendinopathy in Athletes and the General Population: A Systematic Review and Meta-analysis]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 11*(6). SAGE Publishing. <https://doi.org/10.1177/23259671231173659>.
3. Tayfur, A., Haque, A., Salles-Neto, J.I., Malliaras, P., Screen, H.R.C., & Morrissey, D. (2021). Are Landing Patterns in Jumping Athletes Associated with Patellar Tendinopathy? A Systematic Review with Evidence Gap Map and Meta-analysis [Review of Are Landing Patterns in Jumping Athletes Associated with Patellar Tendinopathy? A Systematic Review with Evidence Gap Map and Meta-analysis]. *Sports Medicine, 52*(1), 123. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01550-6>.
4. Garcia, S., Delattre, N., Berton, É., & Rao, G. (2022). Patellar Tendon Force Differs Depending on Jump-Landing Tasks and Estimation Methods. *Applied Sciences, 12*(1), 488. <https://doi.org/10.3390/app12010488>.
5. Feng, R., Best, T.M., Wang, L., Gao, W., Liu, H., & Yu, B. (2022). Knee Movement Characteristics of Basketball Players in Landing Tasks Before Onset of Patellar Tendinopathy: A Prospective Study. *Frontiers in Sports and Active Living, 4*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.847945>.
6. Mohamed, S.H., Mohamed, G.E., Mosaad, D.M., Abdelazeim, A.S., Genedy, A., & Elhafez, H.M. (2021). Effect of

ischaemic compression versus kinesiotape on patellar tendinitis. *Physiotherapy Quarterly*, 29(1), 47. <https://doi.org/10.5114/pq.2020.96425>.

7. Thomas, A.C. (2010). *Muscle Dysfunction Associated With ACL Injury and Reconstruction*. Deep Blue (University of Michigan). <https://hdl.handle.net/2027.42/78807>.

8. Chavan, S., & Wabale, R.N. (2016). Reviewing morphology of Quadriceps femoris muscle. *Journal of Morphological Sciences*, 33(2), 112. <https://doi.org/10.4322/jms.053513>.

9. Winkler, T., Bell, L.G., Bender, A., Trepczynski, A., Duda, G.N., Baur, A.J.D., & Damm, P. (2023). Periarticular muscle status affects in vivo tibio-femoral joint loads after total knee arthroplasty. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1075357>.

10. Mebarki, S., Jourdan, F., Canovas, F., Malachanne, E., & Dagneaux, L. (2022). Validation of a novel finite-element model for evaluating patellofemoral forces and stress during squatting after posterior-stabilized total knee arthroplasty. *Orthopaedics & Traumatology Surgery & Research*, 109(5), 103519. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103519>

11. Wang, X., Duan, L., Liu, H., Ge, H., Dong, Z., ... & Wang, F. (2023). The influence of varus and valgus deviation on the contact area of patellofemoral joint in healthy knees. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06976-9>.

12. Wang, X., Liu, H., Dong, Z., Chen, X., Xu, C., ... & Wang, F. (2023). Contact area and pressure changes of patellofemoral joint during stair ascent and stair descent. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06882-0>.

13. Rood, A., Hannink, G., Lenting, A., Groenen, K.H.J., Koëter, S., Verdonschot, N., & Kampen, A. van (2015). Patellofemoral Pressure Changes After Static and Dynamic Medial Patellofemoral Ligament Reconstructions. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(10), 2538. <https://doi.org/10.1177/0363546515594447>.

14. Pal, S., Besier, T.F., Gold, G.E., Fredericson, M., Delp, S.L., & Beaupré, G.S. (2018). Patellofemoral cartilage stresses are most sensitive to variations in vastus medialis muscle forces. *Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering*, 22(2), 206. <https://doi.org/10.1080/10255842.2018.1544629>.

15. Stephen, J.M., Alva, A., Lumpaopong, P., Williams, A., & Amis, A.A. (2018). A cadaveric model to evaluate the effect of unloading the medial quadriceps on patellar tracking and patellofemoral joint pressure and stability. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40634-018-0150-8>.

16. Owusu-Akyaw, K., Heckelman, L.N., Cutcliffe, H.C., Sutter, E.G., Englander, Z.A., ... & DeFrate, L.E. (2017). A comparison of patellofemoral cartilage morphology and deformation in anterior cruciate ligament deficient versus uninjured knees. *Journal of Biomechanics*, 67, 78. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.11.019>.

17. Claudon, B. (2010). Kinetic gait adaptation in patients with symptomatic patellofemoral syndrome: reversibility under rehabilitation program. HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe). <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733971>.

18. Wheatley, M.G.A., Rainbow, M.J., & Clouthier, A.L. (2020). *Patellofemoral Mechanics: a Review of Pathomechanics and Research Approaches [Review of Patellofemoral Mechanics: a Review of Pathomechanics and Research Approaches]*. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(3), 326. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09626-y>.

19. Sandercock, T.G., Wei, Q., Dhaher, Y.Y., Pai, D.K., & Tresch, M.C. (2018). Vastus lateralis and vastus medialis produce distinct mediolateral forces on the patella but similar forces on the tibia in the rat. *Journal of Biomechanics*, 81, 45. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.09.007>.

20. Stefanik, J.J., Guermazi, A., Zhu, Y., Zumwalt, A., Gross, K.D., ... & Felson, D.T. (2011). Quadriceps weakness, patella alta, and structural features of patellofemoral osteoarthritis. *Arthritis Care & Research*, 63(10), 1391. <https://doi.org/10.1002/acr.20528>.

21. Lin, F., Wilson, N.A., Makhsous, M., Press, J.M., Koh, J.L., Nuber, G.W., & Zhang, L. (2009). In vivo patellar tracking induced by individual quadriceps components in individuals with patellofemoral pain. *Journal of Biomechanics*, 43(2), 235. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.08.043>.

Отримано/Received 11.02.2026

Рецензовано/Revised 26.03.2026

Прийнято до друку/Accepted 13.04.2026

#### Information about authors

Andrii Gerasymenko, MD, PhD, DSc, Senior Researcher of the Department of Joint Diseases in Adults, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: corado734@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>

Olha Yurik, MD, Head of the Laboratory of Neuroorthopedics and Pain Problems, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: olhayuryk01@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2245-9333>

Sergii Gerasymenko, MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Joint Diseases in Adults, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: kievorto3@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>

Andrii Babko, MD, PhD, DSc, Professor Senior Researcher of the Department of Joint Diseases in Adults, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: orthokiev@i.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5919-5429>

Dmytro Poluliah, PhD, Researcher of the Department of Joint Diseases in Adults, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: dmpoluliah@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8895-6917>

Vadym Hromadskyi, graduate student of the Department of Joint Diseases in Adults, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: gromadsky94@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>

Oleksandr Polischuk, PhD in Biomedical Engineering, Biomedical Engineering Laboratory Engineer, SI "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; e-mail: alexanderpolischuk92@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4997-4247>

**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 study was carried out within the framework of the dissertation work "Diagnosis and orthopedic treatment of injuries of the meniscus and knee cartilage due to trauma in military personnel" with state funding.

**Authors' contribution.** S.I. Gerasymenko, D.M. Poluliah, Gerasymenko A.S. — concept and design of the study, analysis of the obtained data, proofreading; A.M. Babko — literature search; V.V. Hromadskyi — biomechanical modeling; O.Ye. Yurik — interpretation of the results.

A.S. Gerasymenko, O.Ye. Yurik, S.I. Gerasymenko, A.M. Babko, D.M. Poluliah, V.V. Hromadskyi, O.S. Polishchuk  
National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### Biomechanical prerequisites for patellar tendinopathy after knee arthroscopy

**Abstract. Background.** Patellar tendinopathy is a common problem in patients after arthroscopic surgery, accompanied by chronic pain and limitations in knee joint function. The purpose of the study was to conduct a comprehensive biomechanical analysis of the effect of quadriceps hypotrophy on the biomechanics of the knee joint and the mechanisms of patellar tendinopathy development using mathematical modelling. **Materials and methods.** Modelling of bones, ligaments, and cartilages was performed using SolidWorks 2023 (Dassault Systèmes, France) and 3ds Max 2025 (Autodesk Inc, USA). Finite element method research was performed using SimSolid 2023 (Altair Engineering, USA). **Results and conclusions.** A numerical mathematical model of the knee joint was developed and successfully applied, which made it possible to evaluate the distribution of stresses and contact pressures in the knee joint under controlled load. This model considers the morphometric parameters, physical and mechanical properties of tissues, and also allows modelling scenarios with quadriceps hypotrophy. Modelling the biomechanics of a healthy knee joint at flexion angles of 30, 60 and 90° showed a regular increase in local stress peaks and contact forces with an increase in flexion angle. The maximum stresses were concentrated in the areas

of contact between the patella and the femur and near the geometry transitions. At 90° flexion, the patellofemoral contact force was 2058 N, and the ligament stress reached 3.28 MPa. It was found that quadriceps hypotrophy leads to a significant redistribution of loads in the patellofemoral joint and patellar tendon. There are a pronounced lateralisation of the contact zone and an increase in local stress peaks in the patellofemoral segment. At 30° flexion with hypotrophy, the lateral force (621.4 N) prevailed over the medial force (221 N), and the stress in the ligament was 2.4 MPa. With quadriceps hypotrophy, there is an increase in stress in the areas of attachment of the tendon and ligamentous apparatus. In particular, at 60° flexion with hypotrophy, the stress in the ligament was 6.8 MPa, and local peaks in the patellofemoral region reached 13.116 MPa. This indicates an increased risk of overload of the lateral structures and tendon. Quadriceps hypotrophy creates conditions for an increase in moments that form an eccentric load (for example, 9.4 Nm at 30° flexion). These moments indicate the formation of a rotational and flexion effect that can increase local stresses and contribute to microtrauma of the ligament.

**Keywords:** patellar tendinopathy; knee arthroscopy; rehabilitation; robotic orthoses; anterior knee pain syndrome

УДК 616.71-007.234:616-08:616-084

DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.27.2026.1081>

Григор'єва Н.В.<sup>1</sup>, Корж М.О.<sup>2,3</sup>, Тронько М.Д.<sup>4,5</sup>, Маньковський Б.М.<sup>1,5</sup>, Яцишин Р.І.<sup>6</sup>, Головач І.Ю.<sup>7</sup>, Страфун С.С.<sup>8</sup>, Сміян С.І.<sup>9</sup>, Гурженко Ю.М.<sup>10</sup>, Рекалов Д.Г.<sup>11</sup>, Нікітін О.Д.<sup>12</sup>, Орленко В.Л.<sup>4</sup>, Проценко Г.О.<sup>11</sup>, Калашніков А.В.<sup>8</sup>, Лучицький В.Є.<sup>4</sup>, Мусієнко А.С.<sup>1</sup>, за підтримки Української асоціації остеопорозу

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України», м. Харків, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна

<sup>4</sup>Державна установа «Інститут ендокринології та обміну речовин імені В.П. Комісаренка Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>5</sup>Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

<sup>6</sup>Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ, Україна

<sup>7</sup>Клінічна лікарня «Феофанія» Державного управління справами, м. Київ, Україна

<sup>8</sup>Державна установа «Національний інститут травматології та ортопедії Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>9</sup>Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, м. Тернопіль, Україна

<sup>10</sup>Державна установа «Інститут урології імені акад. О.Ф. Возіанова Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>11</sup>Державна установа «Національний науковий центр «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені академіка М.Д. Стражеска» Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>12</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

## Рекомендації щодо діагностики, профілактики та лікування остеопорозу у чоловіків

**Резюме.** Дані сучасних літературних джерел свідчать про недостатню оцінку, діагностику та лікування остеопорозу у чоловіків, що має негативні медико-соціальні наслідки для суспільства. Метою даної роботи було створення перших в Україні рекомендацій щодо діагностики, профілактики та лікування остеопорозу у чоловіків для поліпшення обізнаності медичної спільноти та підвищення ефективності надання медичної допомоги. Для реалізації мети була створена мультидисциплінарна експертна група, яка на основі всеосяжного аналізу сучасних літературних джерел та їх оцінки за допомогою системи GRADE сформулювала 19 рекомендацій, що стосуються факторів ризику, скринінгу, діагностики, немедикаментозного та фармакологічного лікування остеопорозу у чоловіків, та успішно проголосувала за них. Автори запропонували алгоритм менеджменту остеопорозу у чоловіків залежно від віку та ризику остеопоротичних переломів. Положення підтримані Українською асоціацією остеопорозу і рекомендовані до застосування на різних ланках надання медичної допомоги спеціалістами різного фаху.

**Ключові слова:** остеопороз; чоловіки; рекомендації; діагностика; профілактика; лікування

### Вступ

Остеопороз — системне захворювання скелета, для якого характерні зниження мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) та порушення її мікро-

архітектури, які проявляються підвищенням пористості кісткової тканини, зменшенням її міцності та збільшенням ризику малотравматичних переломів [1]. Згідно з Міжнародною класифікацією хвороб X пере-

© «Травма» / «Trauma» («Trauma»), 2026

© Видавць Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2026

Для кореспонденції: Григор'єва Наталія Вікторівна, доктор медичних наук, професор, керівник відділу клінічної фізіології та патології опорно-рухового апарату ДУ «Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова НАМН України», вул. Вишгородська, 67, Київ, 04114, Україна; e-mail: crystal\_ng@ukr.net; тел.: +380 (44) 355-60-60

For correspondence: Nataliia V. Grygorieva, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Pathology of musculoskeletal system, State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Vyshgorodska st., 67, Kyiv, 04114, Ukraine; e-mail: crystal\_ng@ukr.net; phone: +380 (44) 355-60-60

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

гляду остеопороз класифікують у розділі XIII (хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини, M00-M99, коди M80-M82) [2].

Протягом тривалого часу остеопороз розглядався як жіноче захворювання з огляду на більшу його поширеність у жінок. Проте захворювання діагностують у кожного п'ятого чоловіка віком 50 років і старше [1], а за результатами дослідження SCOPE [3], проведеного в 29 країнах Європи, у 2019 році налічувалося приблизно 32,0 млн осіб з остеопорозом, серед яких 6,5 млн (20,3 %) були чоловіками. Незважаючи на більшу поширеність остеопорозу у жіночій популяції, чоловіки мають вищі показники смертності після перелому [4–7]. Результати дослідження Глобального тягаря хвороб [7] демонструють, що, попри вищу поширеність низької МЩКТ у жінок, чоловіки мають вищі показники втрачених років здорового життя та смертності, особливо у країнах із середніми та високими соціально-демографічними індексами. Стандартизований за віком показник смертності на 100 000 населення становив 4,7 (3,9–5,2) і 3,2 (2,5–3,7) у чоловіків і жінок відповідно [7]. Крім того, сучасні прогнози свідчать про більш виражене зростання кількості переломів [8], що підтверджує особливе медико-соціальне значення остеопорозу саме у чоловічій популяції.

Дослідження українських авторів продемонстрували вірогідне зниження МЩКТ шийки стегнової кістки (ШСК) у чоловіків віком 60–69 років на 8 %, 70–79 років — на 14 %, 80–89 років — на 18 % порівняно з віковою групою 30–39 років за відсутності вірогідних відмінностей МЩКТ поперекового відділу хребта (ПВХ) [9]. Частка остеопорозу у чоловіків у цьому дослідженні, за даними двофотонної (двохенергетичної) рентгівівської абсорбціометрії (ДРА, DXA), становила у віковій групі 60–69 років 3,4 %, 70–79 років — 17,0 %, 80–89 років — 11,8 % і була вірогідно вищою в осіб ві-

ком 70–79 та 80–89 років порівняно з чоловіками віком 50–59 років [9]. За даними українського епідеміологічного дослідження СТОП, частота остеопоротичних переломів (ОПП) проксимального відділу стегнової кістки (ПВСК) в Україні становить 197,8 на 100 тис. чоловіків віком 50 років і старше [10]. Зважаючи на те, що відповідно до даних Державної служби статистики України на 01.01.2022 року (до початку російського вторгнення) особи віком 50 років і старше становили 38,2 % у загальній структурі населення [11], щорічна кількість хворих лише з переломом цієї локалізації може становити більше ніж 35 тис. осіб.

Остеопороз у чоловіків зазвичай класифікують за двома категоріями: первинний (ідіопатичний та вік-асоційований) та вторинний [12–15], які різняться за етіологією та патогенезом. Ідіопатичний остеопороз становить до 40 % випадків і зустрічається переважно у молодих чоловіків. Фактори його ризику невідомі, проте важливими серед них є генетичні порушення. Хоча за останні десятиліття було досягнуто значного прогресу в ідентифікації генів та локусів, що беруть участь у формуванні МЩКТ чи збільшенні ризику переломів, більшість генетичних причин ще належить розкрити [16]. Вік-асоційований остеопороз діагностують переважно у чоловіків віком 70 років і старших. Остеопороз визначають як вторинний, якщо основна причина його розвитку може бути ідентифікована. Вторинні причини остеопорозу виявляють у 40–60 % чоловіків із ОПП [14]. Факторами його ризику є метаболічні, ендокринні, ревматологічні, автоімунні, онкологічні захворювання, патологія ШКТ та нирок, дія токсичних речовин та низки лікарських засобів з негативним впливом на кісткову тканину (табл. 1) [12–17].

На сьогодні остеопороз у чоловіків недостатньо діагностується та лікується [8]. Більшість настанов щодо менеджменту остеопорозу зосереджена на жінках, хоча

**Таблиця 1. Причини остеопорозу у чоловіків**

<b>Первинний</b>	Ідіопатичний остеопороз
	Сенільний остеопороз
<b>Вторинний</b>	<i>Генетичні захворювання:</i> недосконалий остеогенез, синдром Клайнфельтера, ідіопатична гіперкальціурія, гіпофосфатазія, гомоцистинурія, гемохроматоз
	<i>Ендокринні розлади:</i> гіперпаратиреоз, гіпертиреоз, гіперкортицизм, гіпогонадізм (первинний та вторинний), гіпопітуїтаризм, гіпофізарний нанізм, акромегалія, цукровий діабет (ЦД) 1-го та 2-го типів
	<i>Захворювання шлунково-кишкового тракту:</i> запальні захворювання кишечника, целиакія, синдроми мальабсорбції, постгастректомія, гепатити, цирози, гастректомія
	<i>Ревматологічні захворювання:</i> ревматоїдний артрит (РА), аксіальний спондилоартрит, системний червоний вовчак
	<i>Лікарські засоби:</i> глюкокортикоїди, аналоги гонадотропін-релізінг-гормону (аГнРГ), інгібітори ароматази, антиретровірусні, протисудомні препарати, імуносупресанти, гепарин, надмірна доза левотироксину, препарати для хіміотерапії
	<i>Стиль життя:</i> куріння, зловживання алкоголем, малорухливий спосіб життя, розлади харчової поведінки
	<i>Інше:</i> хронічна хвороба нирок, іммобілізація, хронічне захворювання дихальних шляхів, стани після трансплантації, злоякісні новоутворення, саркоїдоз, тривалий дефіцит вітаміну D, серцева недостатність тощо

останнім часом з'явилася низка національних [18–20] та міжнародних [21–23] рекомендацій щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків. Деякі національні лікарські товариства розглядають проблему менеджменту остеопорозу у чоловіків у рамках єдиних рекомендацій для країни [24, 25]. До цього часу національних рекомендацій, присвячених менеджменту остеопорозу у чоловіків, в Україні не було, а доцільність їх розробки підтверджується отриманням нових результатів високоякісних досліджень, даних систематичних оглядів та метааналізів щодо проблеми, а також визначається сучасними можливостями в країні щодо діагностики, профілактики й лікування даного захворювання.

**Мета:** на основі аналізу сучасних літературних джерел розробити рекомендації щодо діагностики, профілактики та лікування остеопорозу у чоловіків для поліпшення обізнаності медичної спільноти України та підвищення ефективності надання медичної допомоги.

## Методологія створення рекомендацій

З метою розробки даних рекомендацій була створена експертна група з 16 провідних українських учених різного фаху (ревматологи, ендокринологи, андрологи, урологи, травматологи-ортопеда), які є експертами з щонайменше 10-річним досвідом щодо вивчення даного питання та активними членами Української асоціації остеопорозу.

Для всеосяжного аналізу доступних літературних джерел, формулювання рекомендацій та координації роботи експертів додатково була створена робоча група. Експерти вивчали такі питання: 1) скринінг та діагностика остеопорозу у чоловіків, оцінка факторів ризику ОПП та визначення їх ризику; 2) немедикаментозні стратегії лікування остеопорозу у чоловіків; 3) фармацевтичні методи лікування остеопорозу у чоловіків, їх ефективність та безпека, тривалість застосування та моніторинг.

Експерти робочої групи проводили ретельний огляд літературних джерел щодо кожного з вищезазначених питань. Аналітичний пошук проведено у базах даних Cochrane, Scopus, Web of Science, PubMed, MedLine, Embase з 01.01.2015 до 01.12.2025 року без мовних обмежень. Перевагу надавали метааналізам, систематичним оглядам та рандомізованим контрольованим дослідженням (РКД), опублікованим за цей час, проте з переліку літературних джерел не виключали найбільш значущі метааналізи, систематичні огляди та дослідження, опубліковані до початку проведення аналітичного пошуку. Синтез доказів проводили за допомогою прийнятої Комітетом ВООЗ щодо розробки рекомендацій [26] Системи класифікацій, оцінки, розробки та експертизи рекомендацій GRADE [27], згідно з рекомендаціями Державного експертного центру МОЗ України [28]. Після аналізу даних літератури з оцінкою якості доказів робочою групою були сформульовані основні положення рекомендацій, які були запропоновані для оцінки та голосування членам експертної групи.

Голосування щодо положень рекомендацій проведено онлайн в режимі реального часу з визначеними часовими обмеженнями двічі у грудні 2025 року та березні 2026 року. Під час голосування члени експертної групи надавали свою оцінку запропонованим положенням, а також рекомендації щодо покращення їх формулювань та включення додаткових положень. Критичну оцінку якості положень проводили за допомогою інструменту AGREE з використанням оцінок від 1 до 9 балів (1 бал — цілком не згоден, 9 балів — цілком згоден) з визначенням середнього арифметичного значення згоди в групі експертів. Після кожного раунду голосування коментарі від усіх членів експертної групи опрацьовувались членами робочої групи. Консенсус вважали досягнутим за умови оцінок 7–9 у щонайменше 75 % учасників. За умови оцінок 4–6 положення доопрацьовувались з урахуванням коментарів усіх авторів.

У результаті роботи було сформульовано 19 положень цих рекомендацій і проведено успішне голосування. 16 авторів цієї статті є членами експертної групи, які брали участь у голосуванні.

## Результати

### 1. Скринінг та діагностика остеопорозу у чоловіків

**Рекомендація 1.** Чоловікам з факторами ризику ОПП ми пропонуємо провести комплексне обстеження з оцінкою анамнезу, а також фізикальне обстеження для пошуку можливих причин розвитку остеопорозу (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,9 бала).

**Рекомендація 2.** Після спонтанного чи малотравматичного перелому ми пропонуємо провести комплексне обстеження для встановлення причини перелому та виявлення захворювань, пов'язаних з остеопорозом (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,9 бала).

### Докази та коментарі

Клінічні прояви остеопорозу у чоловіків, як і в жінок, зазвичай є неспецифічними, а його перебіг є безсимптомним до клінічної маніфестації захворювання у вигляді малотравматичного перелому. З огляду на це більшість настанов [18–25, 29] щодо менеджменту остеопорозу при підозрі на остеопороз у чоловіка пропонує включати детальну оцінку клінічного анамнезу та фізикального обстеження, які дозволяють ідентифікувати фактори ризику низької МЩКТ та діагностувати вторинні причини розвитку захворювання.

Згідно з даними недавнього проведеного українського дослідження найбільш частим фактором ОПП у чоловіків був попередній малотравматичний перелом [30], тому при зборі анамнезу потрібно враховувати наявність переломів, їх характер (низько- чи високоенергетичний) та локалізацію. Крім того, при підозрі на остеопороз слід враховувати сімейний анамнез переломів ПВСК у родичів першої лінії (матері чи батька), наявність хронічних захворювань та станів чи прийом лікарських засобів з доведеним негативним впливом на стан кісткової тканини (табл. 1), професійні ризики

(робота зі шкідливими речовинами), наявність шкідливих звичок (зловживання алкоголем, куріння) та факт попередніх падінь.

До важливих результатів об'єктивного обстеження у чоловіка з підозрою на остеопороз слід віднести ознаки наслідків попередніх переломів (посилення грудного кіфозу, зменшення відстані між нижніми ребрами та клубовим гребенем після переломів тіл хребців); ознаки нещодавнього перелому (локальна болючість у ділянці остистого відростка хребця); а також клінічні ознаки вторинних причин остеопорозу (зменшення статевого органа при гіпогонадізмі, тиреомегалія при гіпертиреозі, стрії при синдромі Кушинга тощо). У діагностичному пошуку цінним є вимірювання основних антропометричних показників (зріст, маса) із розрахунком індексу маси тіла (ІМТ) з урахуванням того, що втрата зросту на  $\geq 4$  см від максимального зареєстрованого значення може свідчити про високу ймовірність перелому хребця, а  $ІМТ \leq 20$  кг/м<sup>2</sup> або втрата  $\geq 5\%$  від маси тіла асоційовані з підвищеним ризиком переломів. Клінічна оцінка має включати виявлення порушень постави (виключення кіфотичної деформації), ходи, рівноваги, сили м'язів, ознак постуральної гіпотензії, порушень зору чи розладів свідомості, які підвищують ризик падінь та переломів.

**Рекомендація 3.** Ми рекомендуємо інструментально підтверджувати діагноз остеопорозу у чоловіків за допомогою ДРА шляхом вимірювання показників МЩКТ ПВСК, ШСК, ПВХ\* та кісток передпліччя, використовуючи рекомендації ISCD та жіночу референтну базу даних. Як альтернативу для інструментального підтвердження діагнозу остеопорозу ми рекомендуємо використовувати кількісну комп'ютерну томографію (ККТ) (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,5 бала).

**Примітка:** \* — слід використовувати найнижчий показник вимірюваних ділянок. За неможливості оцінки МЩКТ зазначених ділянок слід використати МЩКТ дистального відділу променевої кістки.

#### Докази та коментарі

Інструментальне підтвердження діагнозу остеопорозу у чоловіків базується на кількісній оцінці МЩКТ, яка є однією з ключових детермінант кісткової міцнос-

ті й визначає ризик ОПП. На сьогодні для її оцінки у клінічній практиці використовують різні методи (ККТ, ультразвукова денситометрія (УЗД), цифрова рентгеновська радіограмметрія тощо), проте найбільш часто з цією метою використовують ДРА.

ДРА на сьогодні є золотим стандартом у підтвердженні діагнозу остеопорозу. Згідно з рекомендаціями Міжнародного товариства з клінічної денситометрії (ISCD) [31], цільовими групами для проведення ДРА є: чоловіки віком від 70 років; чоловіки молодші за 70 років, якщо у них є фактори ризику низької кісткової маси, зокрема низька маса тіла, попередній перелом; особи, які вживають лікарські засоби високого ризику чи мають захворювання або стани, пов'язані з втратою кісткової маси; особи з малотравматичним переломом; особи із захворюванням чи станом, пов'язаними зі зниженою кістковою масою або втратою кісткової маси; особи, які приймають ліки, пов'язані з низькою кістковою масою або втратою кісткової маси; особи, яких розглядають для фармакологічної терапії остеопорозу; особи, які отримують лікування остеопорозу (для моніторингу його ефективності), та особи, які не отримують лікування, проте у яких втрата кісткової маси призведе до необхідності лікування остеопорозу.

Зазвичай вимірювання МЩКТ проводять на рівні ПВСК (загальний показник або ШСК) або ПВХ (L1-L4). Інтерпретацію показників МЩКТ у чоловіків віком 50 років і старше здійснюють згідно з рекомендаціями ВООЗ на підставі Т-показника (табл. 2) [31, 32], що відображає кількість стандартних відхилень (SD), за якими виміряна МЩКТ відрізняється від середнього значення, очікуваного у молодих здорових осіб.

Референтним діапазоном для розрахунку Т-показника у чоловіків є база даних дослідження NHANES III, яка містить дані європеїдної референтної групи жінок, що раніше викликало дискусії щодо доцільності використання єдиного денситометричного порога для ідентифікації остеопорозу у чоловіків та жінок [33, 34]. На сьогодні міжнародні організації (IOF, ESCEO, ISCD) та новітні рекомендації [21, 24, 31] щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків підтримують доцільність саме такого підходу. Результати проведених досліджень свідчать про співставний ризик

**Таблиця 2. Класифікація стану кісткової тканини за критеріями ВООЗ**

Стан кісткової тканини	Зміна МЩКТ	Т-показник
Норма	У межах 1 SD порівняно з референтною вибіркою молодих осіб*	-1,0 SD або вище
Низька кісткова маса (остеопенія)	Зниження > 1 SD, проте < 2,5 SD від показників референтної вибірки молодих осіб*	Між -1,0 і -2,5 SD
Остеопороз	Зниження > 2,5 SD від показників референтної вибірки молодих осіб*	-2,5 SD або нижче
Тяжкий (встановлений) остеопороз	Зниження > 2,5 SD від показників референтної вибірки молодих осіб*	-2,5 SD або нижче та $\geq 1$ перелом

**Примітка:** \* — референтні значення вибірки молодих осіб (20–29 років) європеїдної раси (дослідження NHANES (The Third National Health and Nutrition Examination Survey) III).

ОПП у представників обох статей за умов однакових показників МЩКТ, причому відносно підвищення ризику переломів, асоційоване з Т-показником  $-2,5$  SD, зменшується з віком [35]. Значні варіації ризику переломів як у чоловіків, так і у жінок на тлі значно менших відмінностей показників МЩКТ також підтверджують той факт, що МЩКТ є важливим, проте не єдиним фактором їх ризику. Зважаючи на це, підтвердження діагнозу остеопорозу слід встановлювати не лише за Т-показником, а й з урахуванням інших факторів ризику переломів.

Вимірювання МЩКТ на рівні ШСК є більш значущим порівняно з відповідним вимірюванням на рівні ПВХ через вищу прогностичну цінність щодо ризику переломів, особливо в осіб літнього віку. Вимірювання показників МЩКТ на рівні дистального відділу променевої кістки для підтвердження діагнозу остеопорозу проводять за таких обставин: 1) вимірювання чи інтерпретація МЩКТ ПВСК та/чи ПВХ неможливі; 2) у хворих з гіперпаратиреозом; 3) в осіб з вираженим ожирінням (обмеження за масою тіла) [31].

Альтернативним методом діагностики остеопорозу та вертебральних переломів є ККТ [36–38]. Порівняно з ДРА для неї характерне високе променеве навантаження, що обмежує використання ККТ для динамічного спостереження стану кісткової тканини. Сучасні дослідження засвідчують цінність ККТ у виявленні переломів тіл хребців при її проведенні з різних клінічних причин [39–42]. Оскільки і ПВСК, і хребет часто знаходяться в полі сканування кісткової тканини, використання ККТ дозволяє підвищити ефективність скринінгу вертебральних переломів. При використанні однозрізової ККТ вимірювання показників хребта слід проводити на рівні хребців L1-L3, за умови використання 3D-ККТ слід сканувати L1-L2 [31].

Згідно з сучасними уявленнями [37, 43], показники Т, виміряні на рівні ПВСК та її шийки на основі двовимірних проєкцій даних ККТ, еквівалентні відповідним ДРА для діагностики остеопорозу відповідно до критеріїв ВООЗ. Проте недавно опублікований метааналіз продемонстрував, що ККТ виявляє значно більше пацієнтів з остеопорозом, ніж ДРА, у тій самій популяції (відношення шансів (ВШ) 4,91; 95% довірчий інтервал (ДІ) 3,19–7,54;  $p < 0,0001$ ), при чому цей показник є значно вищим у чоловіків (ВШ 8,45; 95% ДІ 3,80–18,77;  $p < 0,0001$ ) та в осіб віком  $\geq 65$  років (ВШ 6,01; 95% ДІ 3,45–10,47;  $p < 0,0001$ ) [44].

На сьогодні МЩКТ ПВСК, виміряна за допомогою ККТ, ефективна у прогнозуванні переломів стегнової кістки у чоловіків старших вікових груп, як і відповідний показник, виміряний за допомогою ДРА, проте високоякісних доказів для рекомендацій ККТ хребта для прогнозування перелому ПВСК у чоловіків, як і у жінок, недостатньо [31].

Периферична ККТ з оцінкою показників МЩКТ на рівні ультрадистального відділу променевої кістки ефективно прогнозує ОПП стегнової кістки (проте не тіл хребців) у постменопаузальних жінок; проте подібних даних щодо чоловіків на сьогодні недостатньо.

Згідно з рекомендаціями ISCD, за неможливості проведення ДРА та високої ймовірності ОПП, визначеної за допомогою ККТ хребта чи периферичної ККТ променевої кістки з використанням специфічних для пристрою порогових значень та у поєднанні з клінічними факторами ризику ОПП, слід розпочати антиостеопоротичне лікування [31].

УЗД — ще один діагностичний метод оцінки ризику ОПП на основі вимірювань швидкості поширення ультразвуку, його широкосмугового ослаблення з розрахунком показника МЩКТ [45]. Дослідження проводять на рівні п'яtkової, великогомілкової кісток чи фаланг пальців, хоча згідно з чинним керівництвом ISCD [31] єдиною рекомендованою ділянкою для клінічного використання УЗД є п'яtkова кістка. Незважаючи на проведені метааналізи та систематичні огляди [46, 47] щодо цінності УЗД у прогнозуванні ризику ОПП, на сьогодні ISCD [31], як і інші настанови щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків [21, 24, 29], не рекомендують цей метод як для встановлення діагнозу остеопорозу, так і для оцінки ефективності профілактичних і лікувальних заходів у чоловіків з остеопорозом.

**Рекомендація 4.** У чоловіків з низькою МЩКТ, високим ризиком вертебральних переломів, втратою зросту на  $\geq 4$  см ми рекомендуємо додатково, якщо доступно, проводити оцінку вертебральних переломів (Vertebral Fracture Assessment (VFA)) чи як альтернативу бокову рентгенографію хребта (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,5 бала).

#### Докази та коментарі

Сучасні денситометри не лише оцінюють МЩКТ, а й містять інші важливі програми (VFA, оцінка трабекулярного кісткового індексу (Trabecular Bone Score, TBS), аналіз міцності стегнової кістки (Hip Strength Analysis, HSA) тощо), які разом із вимірюванням МЩКТ дозволяють значно поліпшити прогнозування ОПП, проте самостійно не використовуються для встановлення діагнозу остеопорозу. Загалом усі денситометричні технології мають високу специфічність і низьку чутливість, тому потребують зваженої інтерпретації.

У зв'язку з тим, що ОПП тіл хребців часто перебігають безсимптомно і є значущим предиктором наступних малотравматичних переломів та часто є показанням до ініціації антиостеопоротичного лікування [21, 24, 29, 31], VFA за допомогою денситометричних чи рентгенологічних (бокова рентгенографія грудного та поперекового відділу хребта) методів є цінним інструментом їх виявлення. Проведення VFA за допомогою ДРА дозволяє визначити розміри тіл хребців, при цьому кількість рентгенівського випромінювання є значно меншою, ніж при традиційній рентгенографії хребта чи ККТ. На сьогодні показаннями до проведення VFA у чоловіків є низька МЩКТ (Т-показник  $< -1,0$  SD) та один або декілька додаткових критеріїв: вік  $\geq 80$  років, втрата зросту  $> 4$  см, повідомлений, але незадокументований перелом тіла хребця чи терапія глюкокортикоїдами ( $\geq 5$  мг/д преднізолону чи його еквівалента протягом  $\geq 3$  місяців).

**Рекомендація 5.** У чоловіків з низькою МЩКТ, помірним ризиком ОПП за FRAX ми рекомендуємо, якщо доступно, проводити оцінку трабекулярного кісткового індексу (TBS) разом з FRAX і МЩКТ (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,5 бала).

#### **Докази та коментарі**

TBS, вимірний за допомогою ДРА при аналізі зображень ПВХ, на сьогодні є валідованим показником мікроархітектури кістки. Опубліковані систематичні огляди [36–50] підтверджують його принципову часткову незалежність від МЩКТ та клінічних факторів ризику, що робить його цінним у прогнозуванні ОПП. Сучасні метааналізи [51] підтверджують доцільність використання TBS спільно з МЩКТ і FRAX для підвищення інформативності прогнозування ОПП.

Згідно з чинними рекомендаціями ISCD [31], показник TBS пов'язаний з ризиком ОПП та ПСК у чоловіків старших за 50 років. Його значення не слід використовувати у рутинній клінічній практиці та для визначення рекомендацій щодо лікування, проте оцінка TBS у чоловіків віком  $\geq 40$  років доцільна для корекції ризику переломів, коли результати TBS, найімовірніше, змінять рекомендації щодо ведення пацієнтів, близьких до певного порога втручання [31]. Крім того, у консенсусній заяві експертів ESCO, IOF та Центру ВООЗ з епідеміології здоров'я опорно-рухового апарату та старіння [52] зазначено, що TBS поліпшує прогнозування ризику переломів у чоловіків старше 50 років як при первинному, так і при вторинному остеопорозі і може разом із МЩКТ та клінічними факторами ризику впливати на рішення про початок лікування та вибір антиостеопоротичного засобу. Найбільшою користь від TBS є для тих осіб, чий показник МЩКТ знаходиться близько до порогів втручання за T-показником або FRAX. TBS додає переваги FRAX у пацієнтів, які раніше отримували антирезорбтивне лікування, і разом з МЩКТ і FRAX надає корисну додаткову інформацію для моніторингу довгострокового лікування деносумабом чи остеонаболічними препаратами [52]. Показник TBS має перевагу над МЩКТ у визначенні ризику переломів при вторинному остеопорозі, зокрема при прийомі глюкокортикоїдів чи інгібіторів ароматази, ЦД 2-го типу, хронічній хворобі нирок чи первинному гіперпаратиреозі [53, 54].

**Рекомендація 6.** У чоловіків віком 40–90 років ми рекомендуємо проводити оцінку 10-річної ймовірності ОПП за допомогою української версії опитувальника FRAX® з використанням межових значень для української популяції. Ми рекомендуємо оцінювати ризик ОПП з урахуванням захворювань і станів, які впливають на втрату кісткової тканини, проте не включені в опитувальники FRAX® та FRAXplus®. У чоловіків віком  $< 40$  років ми рекомендуємо оцінювати ризик ОПП на основі клінічних факторів ризику та даних ДРА (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,8 бала).

#### **Докази та коментарі**

Як зазначалося вище, МЩКТ є значущим [55], проте не єдиним предиктором ризику ОПП, тому сучасні керівництва рекомендують визначати її у комбінації з іншими факторами ризику переломів [18–25, 29]. Сучасні метааналізи підтверджують вірогідний вплив низки факторів на ризик ОПП у чоловіків: віку [56], малотравматичного перелому в анамнезі [57], обтяженого сімейного анамнезу перелому [58], падінь в анамнезі [59, 60], низького ІМТ [61, 62], куріння [63, 64], надмірного вживання алкоголю [65–68], зниженої фізичної працездатності [69] та саркопенії [70], спадкових захворювань сполучної тканини (синдромів Елерса — Данлоса та Марфана [71]), низки ревматичних захворювань (аксіального спондилоартриту [72–75], РА [76–80], системного червоного вовчаку [81]), патології ендокринної системи (гіпогонадізму [82], ЦД 1-го та 2-го типів [83–85], дисфункції щитоподібної залози [86–88], первинного гіперпаратиреозу [89, 90], гіпопаратиреозу [91], акромегалії [92]), захворювань ШКТ (запальних захворювань кишечника [92–95], цирозу [95–99]), прийому деяких медикamentозних засобів [100–109] тощо. За даними World Health Organization pharmacovigilance database [110], розвитку остеопорозу та збільшенню ризику ОПП сприяють глюкокортикоїди, аГнРГ, блокатори андрогенних рецепторів, інгібітори ароматази, гормони щитоподібної залози, петльові діуретики, тіазолідиніони, інгібітори протонної помпи, інгібітори протеаз, гепарин, нуклеозидні та нуклеотидні інгібітори зворотної транскриптази й індукуючі ферменти, протипептичні засоби, антагоністи вітаміну К тощо.

Важливим чинником остеопорозу у чоловіків є гіпогонадізм, який може бути вродженим (синдроми Калмана та Клайнфельтера) чи набути (пізній гіпогонадізм, стани після орхіектомії та андроген-деприваційної терапії (АДТ), анорхія внаслідок травми, ураження/пухлини гіпофіза тощо). У деяких випадках потенційно оборотні форми гіпогонадізму можуть бути діагностовані на тлі психологічних порушень (депресія, стрес), метаболічних (ожиріння, ЦД 2-го типу) та запальних захворювань (ХОЗЛ, хронічні запальні захворювання кишечника тощо).

На сьогодні для оцінки ризику ОПП використовують різні калькулятори (хвилинний тест ризику остеопорозу IOF, опитувальники Garven, Q-Fracture), проте найбільш вивченим і вживаним є опитувальник FRAX® (<https://www.fraxplus.org>) [111]. Останній розраховує 10-річну ймовірність основних ОПП (переломи ПВСК, променевої, плечової кісток, клінічно значущі переломи тіл хребців) та переломів ПВСК у осіб віком 40–90 років завдяки вимірюванню клінічних факторів ризику (вік, ІМТ, попередні переломи, переломи ПВСК у батьків, куріння, зловживання алкоголем (більше ніж 3 од/д), прийом глюкокортикоїдів, наявність РА, ЦД 1-го типу, недосконалого остеогенезу, тривало нелікованого гіпертиреозу, гіпогонадізму, синдромів мальабсорбції чи хронічних захворювань печінки). Оновлена версія FRAX (FRAXplus®) дозво-

ляє розраховувати 10-річну ймовірність ОПП та переломів ПБСК на основі звичайних оцінок FRAX® з урахуванням кількості попередніх переломів та часу після настання перелому, дози глюкокортикоїдів, кількості падінь за попередній рік, тривалості ЦД 2-го типу, первинного гіперпаратиреозу та показників ДРА (МШКТ ПБХ, TBS та довжина осі стегнової кістки). На сьогодні на сайті FRAX 34 мовами представлено 98 моделей для 85 країн світу. В Україні алгоритм FRAX застосовується для оцінки ризику ОПП з 2009 року [112]. З червня 2016 року використовується українськомовна версія опитувальника, а з жовтня того ж року на офіційному вебресурсі FRAX представлена українська модель, розроблена на основі даних національних епідеміологічних досліджень [10]. У 2019 році були визначені порогові значення української моделі FRAX [113], які нині рекомендовані Українською асоціацією остеопорозу для стратифікації пацієнтів за рівнем ризику ОПП та вибором подальшої тактики (табл. 3), зокрема й у чоловіків [30]. На сьогодні опитувальник FRAX продемонстрував свою значущість у прогнозуванні ризику ОПП [114] та падінь [115] і включений в алгоритми менеджменту остеопорозу у чоловіків у різних рекомендаціях [18–25, 29]. Проте з огляду на включення в алгоритм FRAX обмеженої кількості факторів ризику ОПП та вікових обмежень у його використанні (вік 40–90 років) очевидно, що FRAX може недооцінювати ризик переломів [14], тому при оцінці ризику ОПП перевагу слід надавати розрахунку ризику переломів на основі індивідуальних факторів ризику обстежуваного та показників ДРА.

**Рекомендація 7.** Чоловікам з факторами ризику остеопорозу ми пропонуємо провести стартове лабораторне дослідження (загальний аналіз крові (з формулою), сироватковий рівень кальцію, фосфору та лужної фосфатази, дослідження функції нирок та печінки) (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,6 бала).

**Рекомендація 8.** Чоловікам з підтвердженим діагнозом остеопорозу перед початком лікування ми пропо-

нуємо додатково провести визначення сироваткового рівня загального та вільного тестостерону, естрадіолу, 25-гідроксिवітаміну D (25(OH)D), поглиблене лабораторне дослідження\* для виключення ймовірних причин вторинного остеопорозу (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,8 бала).

**Примітка:** \* — перелік показників лабораторного дослідження слід визначати за наявною причиною остеопорозу.

#### Докази та коментарі

На сьогодні будь-які лабораторні дослідження крові та сечі не дозволяють встановлювати діагноз остеопорозу, проте з огляду на низку захворювань та станів, які можуть вплинути на ризик ОПП, їх використання може бути корисним у виявленні причин вторинного остеопорозу. Перелік параметрів лабораторного обстеження у чоловіків з остеопорозом слід визначати за виявленою причиною втрати кісткової тканини згідно з чинними стандартами та рекомендаціями. Оцінка параметрів лабораторного дослідження є також цінною при ініціації антиостеопоротичного лікування для визначення низки обмежень чи протипоказань до його призначення.

Дослідження загального аналізу крові дає змогу визначити наявність супутніх запальних, ревматичних та гематологічних захворювань, проте слід зазначити, що для остеопорозу немає специфічних змін аналізів крові чи сечі. Сироватковий рівень креатиніну й оцінка швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ) корисні в оцінці функції нирок, а рівень трансаміназ (АЛТ та АСТ) є важливим в оцінці печінкової функції. Вимірювання сироваткового рівня кальцію (загального та іонізованого), паратиреоїдного гормону, фосфору та активності лужної фосфатази використовують для диференційної діагностики остеопорозу (включаючи гіперпаратиреоз, хворобу Педжета, метастатичну хворобу кісток, остеомаліцію тощо). Крім того, через гіпокальціємічний ефект бісфосфонатів та деносумабу

**Таблиця 3. 10-річна ймовірність основних остеопоротичних переломів залежно від віку з межами втручання для української моделі FRAX, % [113]**

Вік (роки)	Нижня межа втручання	Поріг лікування	Верхня межа втручання
40	2,4	5,5	6,6
45	2,7	6,1	7,3
50	3,1	6,7	8,1
55	3,5	7,5	9,1
60	4,0	8,3	10,0
65	4,4	8,8	11,0
70	5,0	9,6	12,0
75	6,0	11,0	13,0
80	6,7	11,0	13,0
85	6,9	11,0	13,0
90	6,0	10,0	12,0

[116, 117] вимірювання рівня сироваткового кальцію є необхідним для зменшення кількості небажаних явищ при призначенні антирезорбентів.

Важливим у менеджменті остеопорозу є визначення статусу вітаміну D (шляхом вимірювання сироваткового рівня 25(OH)D, оптимальний рівень якого, зокрема, забезпечує ефективність антиостеопоротичної терапії [116, 117]. Оскільки недавні результати епідеміологічних досліджень щодо статусу вітаміну D у українських чоловіків продемонстрували знижений сироватковий рівень 25(OH)D [118], оптимізація його рівня в крові (30–50 нг/мл, або 75–125 ммоль/л) є вкрай важливою при ініціації лікування остеопорозу.

Діагноз гіпогонадізму передбачає комбінацію характерних клінічних симптомів дефіциту тестостерону та його знижену концентрацію в сироватці крові. На сьогодні немає єдиної думки щодо межових значень сироваткового рівня загального (ЗТ) чи вільного (біодоступного) тестостерону (біоТ) у діагностиці гіпогонадізму [119, 120]. Згідно з висновком експертної групи з питань гіпогонадізму Міжнародного товариства з вивчення старіючих чоловіків (ISSAM) рівень ЗТ < 12,1 нмоль/л визначений як нижня межа норми [121], хоча експерти зазначають, що через індивідуальні відмінності в чутливості до тестостерону деякі чоловіки можуть мати симптоми гіпогонадізму і при більш високих його рівнях.

На сьогодні доведений зв'язок між низьким рівнем тестостерону та ризиком переломів. Так, у дослідженні MrOS Study рівень біоТ нижче від медіани був незалежним предиктором ОПП (ВШ 1,56; 95% ДІ 1,14–2,14;  $p < 0,01$ ) та рентгенологічно підтверджених вертебральних переломів (ВШ 2,0; 95% ДІ 1,34–2,86;  $p < 0,001$ ) [122]. У дослідженні Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study також було підтверджено, що нижчий рівень тестостерону був вірогідно пов'язаний з підвищеним ризиком ОПП (переломів ПВСК: ВР 1,88; 95% ДІ 1,24–2,82, та неverteбральних переломів: ВР 1,32; 95% ДІ 1,03–1,68) навіть після корекції показника за основними факторами ризику переломів (вік, маса тіла, МШКТ, наявність переломів в анамнезі, куріння, споживання кальцію та рівень глобуліну, що зв'язує статеві гормони (ГЗСГ)) [123].

За умови, коли рівень ЗТ не відповідає клінічній картині, що може бути пов'язаним з індивідуальними варіаціями рівня ГЗСГ, важливе значення має вимірювання сироваткового рівня біоТ. Його вимірювання може поліпшити діагностику гіпогонадізму у чоловіків з ожирінням [124]. На жаль, на сьогодні також немає консенсусу щодо межових значень біоТ у визначенні гіпогонадізму, різні товариства використовують значення від 65 до 100 пг/мл [119–121].

На сьогодні продемонстровано, що не лише рівень загального чи біодоступного тестостерону, а й рівні ГЗСГ та естрогенів є вкрай важливими для здоров'я кісткової тканини та ризику падінь у чоловіків [124]. Так, у дослідженні MrOS Study [125] було продемонстровано, що рівень ЗТ та біоТ вірогідно пов'язаний з падіннями в моделях, скоригованих за віком та частотою падінь (ВШ

щодо збільшення SD становило 0,88; 95% ДІ 0,86–0,91 та ВШ 0,86; 95% ДІ 0,83–0,88 відповідно), хоча подібних асоціацій з рівнями загального та біодоступного естрадіолу (біоЕ2) та ГЗСГ не було виявлено. У цьому ж дослідженні раніше було продемонстровано, що чоловіки з низьким рівнем біоТ та високим рівнем ГЗСГ мали вищий ризик переломів (ВР 2,1; 95% ДІ 1,4–3,2). Особи з низькими рівнями біоТ та біоЕ2 й високим рівнем ГЗСГ мали найвищий ризик переломів (ВР 3,4; 95% ДІ 2,2–5,3), а чоловіки з найнижчим рівнем біоЕ2 та найвищим рівнем ГЗСГ мали більший ризик неverteбральних переломів (ВР 1,5; 95% ДІ 1,2–1,9 та ВР 1,4; 95% ДІ 1,1–2,1,8 відповідно). При цьому у чоловіків з найнижчим рівнем біоТ ризик переломів не зростав після коригування за рівнем біоЕ2 [125].

Важливими показниками, які слід вимірювати для підтвердження діагнозу гіпогонадізму, на думку експертів ISSAM [121], є рівні лютеїнізуючого, тиреотропного гормонів та рівень пролактину. Очевидно, що перелік параметрів лабораторного дослідження слід визначати у конкретній клінічній ситуації за індивідуальними факторами ризику пацієнта.

Цінним інструментом у комплексній оцінці ризику ОПП та моніторингу антиостеопоротичної терапії [126, 127] є визначення біохімічних маркерів кісткового ремоделювання (БМКР). Вони є продуктами метаболізму кісткової тканини, які можна вимірювати у крові та сечі. На сьогодні найбільш інформативними та вживаними в клінічній практиці є маркер формування кісткової тканини — N-термінальний пропептид колагену I типу (PINP) та її резорбції — карбокситермінальний телопептид колагену I типу ( $\beta$ -СТХ), визначені у сироватці крові [130, 131].

Проведений групою експертів The International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC) спільно з експертами IOF метааналіз засвідчив асоціацію між збільшенням рівнів БМКР та зростанням ризику ОПП у осіб обох статей. Зокрема, для кожного SD підвищення рівня PINP ризик переломів збільшується приблизно на 23 %, тоді як для СТХ-I — на 18 % [126]. Проте, відповідно до висновків консенсусної групи ESCEO [128], БМКР не рекомендовані для прогнозування втрати кісткової тканини та підтвердження діагнозу остеопорозу.

## 2. Немедикаментозні методи профілактики та лікування остеопорозу у чоловіків

**Рекомендація 9.** Чоловікам з остеопорозом та/чи збільшеним ризиком ОПП ми рекомендуємо корегувати модифіковані фактори ризику переломів і пропонуємо практику регулярної фізичної активності та програм фізичних вправ, спрямованих на зниження ризику падінь та переломів (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,9 бала).

### Докази та коментарі

Сучасні немедикаментозні стратегії профілактики й лікування остеопорозу включають модифікацію факторів його ризику, запобігання падінням, особли-

во у чоловіків літнього й старечого віку з переломом в анамнезі, збільшення міцності кісткової тканини за рахунок оптимізації споживання кальцію, вітаміну D і білків. Профілактика остеопорозу повинна починатися ще у дитинстві та включати заходи, спрямовані на формування максимального піку кісткової маси та її підтримку на етапах життя. Корекція модифікованих факторів ризику ОПП [132] та падінь [133] є ефективною складовою частиною менеджменту остеопорозу та його ускладнень, особливо в осіб із їх підвищеним ризиком, проте слід зазначити, що більшість проведених метааналізів щодо цього питання об'єднувала для аналізу осіб обох статей, що могло вплинути на отримані результати [132–149].

На сьогодні продемонстровано вірогідний зв'язок між щоденним споживанням  $\geq 3$  чашок кави (ВШ 2,27; 95% ДІ 1,04–4,97) чи  $\geq 27$  г алкоголю (ВШ 1,54; 95% ДІ 1,12–2,13), малорухливим способом життя (ВШ 2,14; 95% ДІ 1,21–3,77), курінням (ВШ 1,50; 95% ДІ 1,22–1,85), втратою маси тіла (ВШ 1,88; 95% ДІ 1,32–2,68) та підвищеним ризиком перелому стегнової кістки [132].

Якщо зв'язок між надмірним вживанням кави та чаю з показниками МЩКТ та ризиком ОПП продемонстровано не в усіх дослідженнях [134, 134], то негативний вплив куріння та зловживання алкоголем на показники МЩКТ та ризик переломів демонструють усі нещодавно опубліковані метааналізи [63–68].

Важливим фактором для збереження кісткової маси та зменшення ризику падінь та переломів є належна фізична активність. На сьогодні у численних експериментальних та клінічних дослідженнях продемонстровано, що тривала іммобілізація є важливим фактором втрати кісткової маси та збільшення ризику переломів [136]. На сьогодні цей фактор особливо важливий в Україні у зв'язку зі збільшенням кількості травмованих чоловіків з ампутаціями нижніх кінцівок [138]. Подібні травми ведуть не лише до порушення працездатності та самообслуговування, а й до збільшення темпів втрати кісткової тканини та збільшення ризику переломів [144, 146], тому ранні та комплексні реабілітаційні програми із відновленням належної фізичної активності є вкрай важливими. На сьогодні продемонстровано позитивний вплив фізичних вправ на показники МЩКТ [138, 139], проте їх вплив на зниження ризику ОПП є неоднозначним і залежить від характеристик програми фізичної терапії та локалізації ОПП [141, 142].

Фізичні вправи мають не лише доведену ефективність щодо показників МЩКТ, а й ефективні у зниженні ризику падінь [143–145]. Силові вправи, тренування м'язової сили та координації, зокрема з елементами Тай-Чі, на сьогодні розглядають як ефективну стратегію профілактики падінь і переломів як у жінок, так і у чоловіків [146, 147].

На сьогодні існують докази щодо позитивної ролі ортезів у пацієнтів з вертебральними переломами [149, 150], проте якість їх невисока й отримані вони при аналізі даних обох статей [151], що потребує подальших досліджень у чоловічій популяції. Крім того, результати проспективних досліджень свідчать про низь-

ку прихильність до використання спінальних ортезів, яка, зокрема, залежить і від статі [152].

**Рекомендація 10.** Чоловікам з остеопорозом та/чи збільшеним ризиком ОПП ми рекомендуємо споживання 1000–1200 мг/д кальцію, 800–1000 МО/д вітаміну D\* та 1,0–1,2 мг/кг/д білків (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,8 бала).

**Примітка:** \* — за умови нормальних значень 25(OH)D у сироватці крові.

### Докази та коментарі

На сьогодні важливою стратегією первинної та вторинної профілактики ОПП є оптимізація раціону харчування з належним споживанням кальцію, вітаміну D та високоякісних білків [153, 154]. У сучасних керівництвах щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків [18–25] запропоновано щоденне вживання 800–1200 мг кальцію та 800–1000 МО вітаміну D, за можливості переважно з продуктами харчування. За неможливості забезпечити оптимальне вживання кальцію та вітаміну D з їжею можливе додаткове використання дієтичних добавок, що їх містять, а за умови супутнього дефіциту вітаміну D перед ініціацією антиостеопоротичної терапії його слід коригувати.

Згідно з рекомендаціями експертів Інституту медицини (ІОМ) [155] дієтична норма споживання кальцію чоловіками віком 50 років і старше становить 1000 мг/д. Відповідно до українських рекомендацій [156] добова норма споживання кальцію є дещо вищою і для дорослих чоловіків становить 1200 мг/д (для осіб віком 60 років і старше вона зростає до 1300 мг/д). Проте згідно з результатами недавніх популяційних досліджень, проведених в Україні [157], середній рівень споживання кальцію у дорослих чоловіків становить 735 мг/д, що є недостатнім для ефективно профілактики та лікування остеопорозу.

З іншого боку, експерти ІОМ рекомендують дієтичну норму споживання вітаміну D дорослим особам (зокрема, і чоловікам) віком 51–70 років 600 МО/д (15 мкг/д), а особам старше за 70 років — 800 МО/д (20 мкг/д), тоді як у настановах Ендокринного товариства [158] рекомендовано додаткове емпіричне призначення вітаміну D дорослим віком старше за 75 років незалежно від статі. Така рекомендація базувалася на результатах досліджень щодо позитивного впливу вітаміну D у дозі в середньому ~ 900 МО/д (23 мкг/д). В Україні подібні дієтичні норми споживання вітаміну D [156] є значно меншими і становлять відповідно 200 МО/д (5 мкг/д) для дорослих чоловіків молодших за 60 років, а для осіб віком 60 років і старше — 400 МО/д (10 мкг/д), хоча результати нещодавно проведених досліджень засвідчують достатньо високий рівень дефіциту та недостатності вітаміну D у чоловіків [159] з середнім рівнем сироваткового 25(OH)D 31,1 [22,2–41,1] нг/мл.

На сьогодні продемонстровано [168] незначний, проте вірогідний зв'язок між споживанням кальцію та показниками МЩКТ, хоча такий зв'язок з ризиком ОПП є суперечливим [161]. Крім того, сучасні мета-

аналізи не підтверджують позитивного зв'язку між додатковим споживанням вітаміну D й ризиком падінь та переломів [162, 163]. Проте на сьогодні продемонстровано вірогідний, хоч і незначний зв'язок між комбінованим споживанням кальцію та вітаміну D й ризиком ОПП [164, 165]. Оптимізація надходження кальцію та вітаміну D є важливим фактором у забезпеченні ефективності антиостеопоротичної терапії та профілактики побічних ефектів (гіпокальціємії, гострофазових реакцій тощо) [116, 117], тому належне їх споживання, зокрема з урахуванням поточної ситуації в Україні [157, 159, 168], є вкрай важливим.

Найбільш вживаним джерелом кальцію сьогодні є молоко й молочні продукти. У Фремінгемському дослідженні [169] було продемонстровано тенденцію до нижчого ризику перелому стегнової кістки в осіб з середнім (> 1 та < 7 порцій/тиждень) чи високим ( $\geq 7$  порцій/тиждень) рівнем споживання молока (ВР 0,61; 95% ДІ 0,36–1,08;  $p = 0,071$  та ВР 0,58; 95% ДІ 0,31–1,06;  $p = 0,078$  відповідно) проти осіб з його низьким споживанням ( $\leq 1$  порція/тиждень). На сьогодні деякі, проте не всі метааналізи підтверджують позитивний вплив додаткового вживання молока та молочних продуктів на ризик ОПП [170–173], що залежить від типу дослідження, типу продукту та популяції.

Ще одним важливим фактором, необхідним для здоров'я кісткової тканини, є належний рівень споживання білків. Більшість, проте не всі сучасні метааналізи демонструють їх позитивний вплив на МЩКТ і ризик ОПП [174–178]. Відповідно до Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії [156], добова потреба споживання білків для чоловіків віком 60–74 роки становить 65 г/д, для осіб віком 75 років і старших — 53 г/д, що у перерахунок становить менше 1 г/кг/д, хоча на сьогодні продемонстровано [179], що ризик перелому стегнової кістки у чоловіків віком 65–75 років був на 41 % нижчим між найвищим та найнижчим тертилем споживання білка (1,4 проти 0,9 г/кг/д). Відповідний показник у чоловіків віком  $\geq 75$  років становив 23 %. На сьогодні сучасні керівництва щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків [18–25] та експерти ESCEO та IOF [180] підтверджують позитивний вплив раціонального споживання білка на підтримку здоров'я кісткової тканини та в комплексному лікуванні остеопорозу.

### 3. Фармакологічні методи лікування остеопорозу у чоловіків

Незважаючи на важливе медико-соціальне значення остеопорозу у чоловіків, його лікування залишається недостатнім. Нещодавнє дослідження, проведене у п'яти найбільших країнах Європейського Союзу (EU5) та Швеції [8], продемонструвало, що у 2017 році серед чоловіків, які потребували антиостеопоротичного лікування, лише 63 % отримували його, і цей показник зріс з 2010 року на 17 %. Крім того, продемонстровано, що на момент перелому 97 % чоловіків не отримували антиостеопоротичного лікування, а після перелому ПВСК чи тіл хребців лише 5 та 11 % чоловіків відпо-

відно розпочали його. За даними дослідження FROST, серед чоловіків з факторами ризику ОПП лише у 11 % діагноз остеопорозу був підтверджений за допомогою ДРА і лише 1,6 % отримували антиостеопоротичне лікування [181].

Медикаментозне лікування остеопорозу у чоловіків не відрізняється принципово від стратегій лікування постменопаузального остеопорозу і передбачає використання антирезорбтивних та анаболічних антиостеопоротичних засобів і замісної гормонотерапії тестостероном (ЗТТ).

**Рекомендація 11.** Чоловікам з клінічними ознаками гіпогонадізму чи низьким рівнем загального чи вільного тестостерону в сироватці крові ми пропонуємо консультацію фахівця для можливості призначення ЗТТ (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,9 бала).

#### Докази та коментарі

На сьогодні дані щодо ефективності ЗТТ для лікування остеопорозу у чоловіків [182–185] суперечливі. Проведений нещодавно метааналіз [182] РКД не підтвердив позитивного впливу ЗТТ на МЩКТ та ризик падінь і переломів як у короткострокових (до 2 років), так і довгострокових дослідженнях, проте інший метааналіз продемонстрував позитивний ефект ЗТТ у РКД на динаміку МЩКТ ПВХ, але не ШСК. Цей ефект був більшим у пацієнтів з нижчими концентраціями сироваткового тестостерону до лікування, і він збільшувався з тривалістю лікування [183]. Більшість опублікованих рекомендацій щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків [18–21, 29] підтверджує доцільність ЗТТ лише за наявного гіпогонадізму. Згідно з рекомендаціями ISSAM, метою ЗТТ є підтримка сироваткового рівня тестостерону в межах норми, і для неї слід використовувати препарати ароматизованого тестостерону [121]. Зважаючи на відсутність доведеного ефекту ЗТТ на зниження ризику переломів у пацієнтів з гіпогонадізмом, згідно з рекомендаціями Європейського товариства з менопаузи та андропаузи (EMAS), за умови високого ризику переломів ЗТТ повинна бути доповненням до стандартної антиостеопоротичної терапії [186].

**Рекомендація 12.** Чоловікам з інструментально підтвердженим діагнозом остеопорозу та/чи високим чи дуже високим ризиком ОПП ми рекомендуємо розпочати антиостеопоротичне лікування. Вибір препарату слід проводити залежно від ризику ОПП, побічних ефектів лікарського засобу, наявності супутньої соматичної патології й уподобань пацієнта (сила рекомендації A, рівень згоди — 8,9 бала) (рис. 1).

**Рекомендація 13.** Чоловікам з високим ризиком ОПП ми рекомендуємо розпочати антиостеопоротичне лікування з пероральних бісфосфонатів (БФ) (перша лінія терапії), альтернативно (друга лінія терапії) — з ін'єкційних БФ чи деносумабу (сила рекомендації A, рівень згоди — 8,9 бала).

**Рекомендація 14.** Чоловікам з дуже високим ризиком ОПП ми пропонуємо розпочати антиостеопоротичне лікування з ін'єкційних БФ чи деносумабу (сила рекомендації D, рівень згоди — 8,5 бала).

**Докази та коментарі**

На сьогодні найбільш вивченим та поширеним класом антиостеопоротичних засобів, які мають потужний антирезорбтивний ефект, є БФ [187, 188]. Їх ефективність і безпечність у лікуванні остеопорозу у чоловіків доведена у високоякісних дослідженнях та підтверджена в метааналізах [189–191].

Так, результати одного з РКД свідчать про вірогідну ефективність БФ порівняно з плацебо у зниженні ризику вертебральних (ВР 0,36; 95% ДІ 0,24–0,56;  $p < 0,01$ ) та невертебральних переломів (ВР 0,52; 95% ДІ 0,32–0,84;  $p < 0,01$ ) у чоловіків, що супроводжується вірогідним зниженням БМКР та підвищенням МШКТ (на рівні ПВХ, ПВСК та ШСК) порівняно з контролем

( $p < 0,01$  для усіх показників) [189]. Інший метааналіз щодо оцінки ефективності антиостеопоротичної терапії у чоловіків також підтвердив збільшення МШКТ на тлі прийому БФ порівняно з плацебо на рівні як ПВХ (середня різниця (СР) +4,75 %; 95% ДІ 3,45–6,05), так і ПВСК (СР +2,72 %; 95% ДІ 2,06–3,37) та її шийки (СР +2,26 %; 95% ДІ 1,67–2,85) [190].

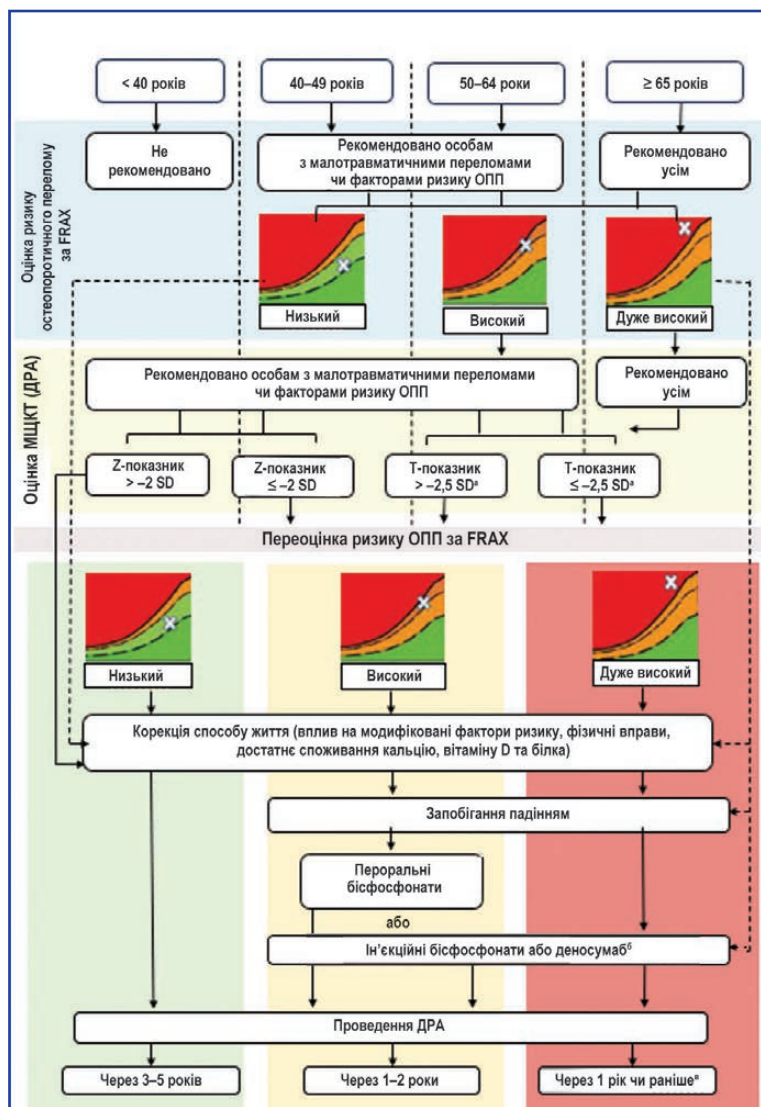
На сьогодні найбільш поширеним представником класу БФ у світі є *алендронна кислота* [192], яку призначають перорально у дозі 70 мг щотижнево. Її ефективність та безпека продемонстрована у чоловіків з остеопорозом у дозах 10 мг/д та 70 мг/тиждень, а також для лікування остеопорозу у чоловіків на тлі АДТ. Результати 2-річного РКД щодо ефективності алендронату (10 мг щодня перорально) у чоловіків з остеопорозом продемонстрували збільшення МШКТ ПВХ на  $7,1 \pm 0,3$  %, ШСК на  $2,5 \pm 0,4$  % та усього скелета на  $2,0 \pm 0,2$  % ( $p < 0,001$  для всіх показників), що супроводжувалось зменшенням частоти вертебральних переломів (0,8 та 7,1 % відповідно,  $p = 0,02$ ) [193].

Результати метааналізу щодо ефективності алендронату у чоловіків продемонстрували його вірогідний ефект у збільшенні МШКТ на рівні ПВХ (+4,95%; 95% ДІ 2,40–7,49), ШСК (+2,59 %; 95% ДІ 1,52–3,66) та ПВСК (+2,39 %; 95% ДІ 1,05–3,27;  $p < 0,001$  для усіх порівнянь) та зниженні ризику переломів тіл хребців (ВР 0,46; 95% ДІ 0,28–0,77;  $p = 0,003$ ) [194].

Іншим високоєфективним представником БФ, що довів свою ефективність у лікуванні остеопорозу у чоловіків, є *ризедронна кислота* [195–197], яку призначають перорально у дозі 35 мг 1 раз на тиждень. У 2-річному РКД, у якому порівнювали ефективність ризедронату з плацебо, продемонстрували вірогідно більший приріст МШКТ ПВХ (+4,5 %; 95% ДІ 3,5–5,6;  $p < 0,001$ ) без вірогідних відмінностей у частоті переломів [196].

Ще одним пероральним БФ, що довів свою ефективність у лікуванні остеопорозу у чоловіків, є *ібандронна кислота*, яка призначається у дозі 150 мг 1 раз щомісячно [198]. Результати РКД STRONG (Research Osteoporosis in Guys) продемонстрували ефективність та безпеку перорального прийому ібандронату у чоловіків з низькою МШКТ (ідіопатичною чи пов'язаною з гіпогонадізмом), що підтверджувалось збільшенням МШКТ ПВХ (3,5 проти 0,9 % у групах, які отримували ібандронат чи плацебо;  $p < 0,001$ ), ПВСК (1,8 проти -0,3 %;  $p < 0,001$ ), ШСК (1,2 проти -0,2 %;  $p = 0,01$ ) [198].

Під час прийому пероральних БФ необхідно дотримуватися низки інструкцій: препарати слід приймати вранці натще,



**Рисунок 1. Алгоритм діагностики та лікування остеопорозу у чоловіків**

**Примітки:** <sup>a</sup> — у чоловіків з ЦД 2-го типу та осіб, які довготривало приймають глюкокортикоїди, слід використовувати межове значення T-показника  $-2,0$  SD; <sup>b</sup> — за умови неможливості використання пероральних бісфосфонатів; <sup>в</sup> — згідно з обґрунтованим рішенням лікаря.

перебуваючи у вертикальному положенні (сидячи або стоячи), щонайменше за 30 хвилин до вживання їжі чи напоїв, запиваючи достатньою кількістю води. Важливо уникати одночасного прийому інших лікарських засобів для запобігання зниженню ефективності БФ чи збільшенню ризику побічних ефектів [188].

Найбільш потужним ін'єкційним БФ, що довів свою клінічну ефективність, зокрема і в лікуванні остеопорозу у чоловіків, є *золедронова кислота*. Результати РКД у чоловіків з остеопорозом (первинним чи пов'язаним з гіпогнадизмом) продемонстрували вищі показники МЩКТ та нижчі БМКР при використанні 5 мг золедронної кислоти доведено 1 раз на рік через 12 місяців порівняно з плацебо. Через 24 місяці лікування частота нових морфометрично підтверджених переломів тіл хребців становила 1,6 та 4,9 % відповідно (ВР 0,33; 95% ДІ 0,16–0,70;  $p = 0,002$ ) [199].

Дуже рідкими, проте інвалідизуючими побічними ефектами БФ є остеонекроз щелепи [200, 201] та атипові переломи стегнової кістки [202, 203]. І хоча ризик цих побічних ефектів є досить низьким і збільшується при тривалому використанні БФ, особливо у пацієнтів з групи ризику (на тлі терапії глюкокортикоїдами, хіміопрепаратами, паління, прийому алкоголю тощо), їх оцінка (зокрема, при стоматологічному огляді перед початком антиостеопоротичного лікування) є вкрай важливою.

*Деносуаб* є ще одним ефективним і безпечним антиостеопоротичним засобом з вираженою антирезорбтивною дією [204, 205]. Результати 12-місячного РКД за участі чоловіків з низькою МЩКТ продемонстрували, що використання деносуабу веде до збільшення МЩКТ ПВХ на 5,7 %, ПВСК на 2,4 % та ШСК на 2,1 % (скорегований  $p \leq 0,01$  для усіх порівнянь порівняно з плацебо) [206]. У недавно опублікованому великому ретроспективному дослідженні [207] у чоловіків з остеопорозом, які отримували деносуаб, порівняно з когортою, яка не отримувала лікування, продемонстровано на 36 % нижчу частоту переломів стегнової кістки (ВР 0,64; 95% ДІ 0,50–0,83). Подібні показники спостерігали й щодо зниження ризику усіх невертебральних переломів (ВР 0,68; 95% ДІ 0,54–0,86).

Ефективність остеонаболічної терапії, до якої відносять *теріпаратид* (ТПТ, рекомбінантний людський паратиреоїдний гормон (1–34)) та *абалонапаратид* (АПТ, синтетичний аналог білка, що зв'язується з паратгормоном), отримала також підтвердження у високоякісних РКД у чоловіків [208–213]. Ці засоби є препаратами вибору в осіб з тяжким остеопорозом чи дуже високим ризиком ОПП і дозволяють швидко й ефективно зменшити їх ризик, проте на сьогодні вони в Україні не зареєстровані, тому обмежені до клінічного використання.

У РКД у чоловіків з низькою МЩКТ через 11 місяців лікування продемонстровано, що ТПТ (20 мкг/д підшкірно) порівняно з плацебо призводив до збільшення МЩКТ ПВХ на 5,9 % ( $p < 0,001$ ) та ШСК на 1,5 % ( $p = 0,02$ ) [209], проте припинення терапії без додаткового застосування БФ призвело до втрати МЩКТ і збільшення ризику переломів [210]. Ефект

відміни ТПТ, як і деносуабу та інших остеонаболічних засобів, слід враховувати при завершенні курсу лікування з обов'язковим подальшим призначенням БФ для мінімізації втрати МЩКТ та контролю ризику переломів [211].

Ефективність та безпечність терапії АПТ (80 мкг/д підшкірно) у чоловіків продемонстрована в РКД АТОМ. Через 12 місяців лікування встановлено вірогідне збільшення МЩКТ ПВХ (8,48 проти 1,17 % у групі плацебо), ПВСК (2,14 проти 0,01 %) та ШСК (2,98 проти 0,15 % відповідно) ( $p < 0,0001$  для усіх показників) [212].

Через 6 та 12 місяців лікування серед чоловіків, які отримували АПТ, було зареєстровано більшу частку осіб із зростанням показників МЩКТ  $> 3$  % у трьох вищезазначених анатомічних ділянках, ніж у групі плацебо (14,8 проти 1,4 %,  $p = 0,002$  та 31,9 проти 1,5 %,  $p < 0,0001$ ) [213].

На сьогодні ще одним класом антиостеопоротичних засобів, рекомендованим особам з високим і дуже високим ризиком переломів, є ромосозумаб (РОМО, моноклональне антитіло, що зв'язується із склеростинном), який демонструє подвійний ефект, стимулюючи формування кісткової тканини та пригнічуючи її резорбцію [214]. Результати РКД BRIDGE щодо лікування чоловіків з остеопорозом з використанням РОМО порівняно з плацебо через 12 місяців терапії продемонстрували вірогідно кращу динаміку МЩКТ ПВХ (12,1 проти 1,2 %) та ПВСК (2,5 проти  $-0,5$  %;  $p < 0,001$ ). Подвійний ефект РОМО підтверджувався зростанням сироваткового рівня PINP (на 86 % від початкового рівня) та зниженням рівня СТХ-І (на 31 %) [215].

Як і деносуаб, ТПТ та АПТ, РОМО має ефект відміни, тому завершення його використання передбачає подальше призначення БФ для мінімізації втрати кісткової тканини та зниження ризику переломів. Серед побічних ефектів РОМО слід відмітити збільшення частоти серцево-судинних подій, що вимагає зваженого призначення цього засобу в осіб з групи ризику [214, 215]. На жаль, РОМО, як і інші остеонаболічні засоби, в Україні не зареєстрований.

На сьогодні результати РКД [216] та метааналізів [217] демонструють ефективність і безпеку в лікуванні остеопорозу у чоловіків ще одного нового класу антиостеопоротичного лікарського засобу — *оданакатибу*, який селективно блокує катепсин К і пригнічує резорбцію кісткової тканини, не впливаючи на проліферацію та функцію остеокластів. Результати РКД у чоловіків з остеопорозом [216] свідчать про позитивний вплив оданакатибу на показники МЩКТ та біохімічні маркери кісткового ремоделювання, проте на сьогодні його використання в Україні обмежене у зв'язку з відсутністю реєстрації.

Економічні оцінки медикаментозного втручання в лікуванні остеопорозу в чоловіків підкреслюють ефективність як антирезорбтивних, так і остеонаболічних засобів. У чоловіків старше 60 років БФ, зокрема алендронат, є загалом економічно ефективними порівняно з відсутністю лікування, тоді як у чоловіків з остеопо-

розом віком 75 років і старше деносумаб є економічно ефективнішим порівняно з БФ та ТПТ [217].

Численні метааналізи, що оцінюють ефективність та безпеку різних засобів у профілактиці та лікуванні остеопорозу у чоловіків [218–221], свідчать про ефективність і безпеку використання як антирезорбтивних, так і остеонаболічних стратегій, а також про доцільність індивідуалізованого (treat to target) підходу [222] до терапії з урахуванням ризику переломів, стану МЩКТ, доступності лікарських засобів та інших факторів.

#### 4. Тривалість та моніторинг антиостеопоротичної терапії

**Рекомендація 15.** Ми рекомендуємо обґрунтовувати тривалість антиостеопоротичної терапії ризиком ОПП на початку та під час лікування, наявністю захворювань і станів з доведеним негативним впливом на кісткову тканину. У чоловіків з остеопорозом ми рекомендуємо антиостеопоротичну терапію в середньому протягом 5 років для пероральних БФ та 3 років для ін'єкційних БФ і деносумабу й вирішувати питання про її продовження індивідуально (сила рекомендації В, рівень згоди — 8,8 бала).

##### *Докази та коментарі*

Сучасні підходи до довгострокової антиостеопоротичної терапії у чоловіків [223–227] базуються на обмежених доказах, оскільки більшість РКД були нетривалими (1–2 роки). Проте подібні ефекти у збільшенні показників МЩКТ, зниженні ризику ОПП та співставний профіль безпеки лікарських засобів у чоловіків та постменопаузальних жінок є підставою для можливості за необхідності тривалої антиостеопоротичної терапії з оцінкою індивідуальних ризиків та переваг різних антиостеопоротичних засобів. З іншого боку, з огляду на зростання частоти таких серйозних побічних ефектів антиостеопоротичної терапії, як остеонекроз щелепи та атипів переломи стегнової кістки [187, 188], при тривалому лікуванні на особливу увагу заслуговує не лише зниження ризику ОПП, а й безпечність терапії.

Зважаючи на те, що на сьогодні більшість РКД, проведених у жінок, оцінювала ефективність і безпечність антиостеопоротичної терапії протягом 3–5 років (максимум 10 років), рішення щодо подальшого лікування остеопорозу у чоловіків слід приймати індивідуально з урахуванням співвідношення користі та ризику. Оскільки даних РКД щодо ефективності й безпечності антиостеопоротичних препаратів понад 10 років немає, прийняття рішення про продовження терапії слід ретельно обґрунтовувати. На сьогодні чинні керівництва [18–21, 29] щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків рекомендують середню тривалість прийому БФ 3–5 років (3 роки для золедронові кислоти та 5 років для алендронату, ібандронату й ризедронату).

Відміна антиостеопоротичного лікування веде до збільшення темпів кісткового ремоделювання, негативної динаміки МЩКТ та збільшення ризику ОПП вже через 1–3 роки, тому за наявності факторів ризику остеопорозу та переломів терапія може бути тривалою.

**Рекомендація 16.** Ми рекомендуємо контролювати МЩКТ за допомогою ДРА кожні 1–2 роки до досягнення результату лікування. За умов досягнення плато МЩКТ частоту її вимірювань рекомендовано зменшити (сила рекомендації В, рівень згоди — 8,8 бала).

##### *Докази та коментарі*

Відповідно до чинних рекомендацій ISCD [31], повторне визначення показників МЩКТ у поєднанні з клінічною оцінкою ризику ОПП, аналізом БМКР може бути використане для оцінки темпів втрати кісткової маси, прийняття рішення щодо початку терапії в раніше нелікованих пацієнтів, моніторингу ефективності лікування або спостереження за особами після його припинення. Вимірювання МЩКТ слід проводити на одному й тому самому денситометрі.

Інтервали між обстеженнями визначаються індивідуально з урахуванням конкретної клінічної ситуації. Зазвичай повторне дослідження проводять через один рік після ініціації або модифікації лікування, а після досягнення стабільного терапевтичного ефекту можливе подовження інтервалів між вимірюваннями. У клінічних ситуаціях, які асоціюються зі швидкою втратою кісткової тканини (зокрема, при застосуванні глюкокортикоїдів), доцільним може бути й більш частий моніторинг МЩКТ [31].

Згідно з висновком експертної групи з питань гіпогонадізму ISSAM оцінку МЩКТ слід проводити особам літнього віку з гіпогонадізмом і нормальними показниками МЩКТ з інтервалом у 2 роки, а чоловікам зі зниженою МЩКТ, які отримують ЗТТ, — щорічно [121].

**Рекомендація 17.** Ми рекомендуємо використовувати за необхідності БМКР (PINP та СТХ-I) через 3–6 місяців після ініціації антиостеопоротичного лікування для оцінки його ефективності та комплаєнтності хворого (сила рекомендації В, рівень згоди — 8,3 бала).

##### *Докази та коментарі*

На сьогодні відповідно до висновків експертів ESCEO [128] визначення рівнів PINP і СТХ-I у сироватці крові є доцільним для контролю прихильності до терапії пероральними БФ. Позитивна динаміка зазначених маркерів через 3 місяці після ініціації антирезорбтивної терапії (зниження рівня PINP і СТХ-I більше межових значень: > 38 % для PINP та 56 % для СТХ-I) може бути підставою для продовження лікування. За відсутності досягнення цих змін БМКР рекомендована переоцінка терапевтичної тактики, яка включає контроль прихильності пацієнта до лікування та пошук інших причин втрати кісткової тканини [128]. В іншому алгоритмі моніторингу ефективності антирезорбтивної терапії із використанням БМКР запропоновано вважати оптимальною відповіддю на лікування зниження рівня PINP щонайменше на 10 мкг/л із досягненням концентрацій нижче 35 мкг/л, а також зниження рівня СТХ-I щонайменше на 100 нг/л із досягненням концентрацій нижче 280 нг/л [129].

**Рекомендація 18.** У чоловіків з остеопорозом ми рекомендуємо обґрунтовувати зміни в антиостеопоротичній терапії її ефективністю, прихильністю до прийому лікарських засобів та їх побічними ефектами (сила рекомендації В, рівень згоди — 8,5 бала).

#### Докази та коментарі

Відповідно до сучасних підходів лікування остеопорозу, причинами для його зміни можуть бути: 1) розвиток побічних ефектів прийому лікарських засобів; 2) недостатня ефективність лікування, зумовлена, зокрема, низькою прихильністю пацієнта; 3) досягнення запланованого терапевтичного результату. Рішення про відміну чи зміну терапії слід приймати на основі комплексної оцінки стану пацієнта з аналізом клінічних (FRAX), інструментальних (МЩКТ) та інших факторів ризику ОПП.

За даними експертів IOF [227], оцінка адекватності відповіді на антиостеопоротичну терапію базується на двох основних показниках за умов належної прихильності до лікування: 1) наявності перелому під час терапії; 2) негативній динаміці МЩКТ. Зокрема, неадекватною відповіддю вважають виникнення перелому на тлі лікування у поєднанні зі зниженням МЩКТ більше ніж на 2 %. Імовірною неадекватною відповіддю є один з перелічених факторів, а адекватною — відсутність обох критеріїв.

Зважаючи на вищезазначене, ми рекомендуємо обґрунтовувати зміни в антиостеопоротичній терапії у чоловіків з остеопорозом її ефективністю, прихильністю до терапії та побічними ефектами лікарських засобів.

## 5. Особливі ситуації

**Рекомендація 19.** Чоловікам з раком передміхурової залози (РПЗ), які отримують АДТ та мають високий ризик ОПП, ми рекомендуємо розпочати антиостеопоротичне лікування. Вибір препарату ми рекомендуємо проводити залежно від ризику ОПП, побічних ефектів лікарських засобів, наявності супутньої соматичної патології й уподобань пацієнта (сила рекомендації А, рівень згоди — 8,5 бала).

#### Докази та коментарі

На сьогодні негативний вплив на здоров'я кісткової тканини у чоловіків, які отримують АДТ, продемонстрований у численних оглядах та метааналізах [228–230]. У чоловіків, які перенесли РПЗ, поширеність остеопорозу коливалась від 9 до 53 %, причому ця варіація частково пояснювалась тривалістю лікування, стадією захворювання, етнічною приналежністю та місцем вимірювання остеопорозу [229], тоді як частота остеопорозу в осіб, які отримували АДТ, є вищою [230]. Андрогенний дефіцит на тлі АДТ є значущим фактором втрати кісткової маси та збільшення ризику ОПП, тому він потребує особливої уваги.

На сьогодні РКД підтверджують ефективність БФ, зокрема алендронату (70 мг) [227] та ризедронату (3 мг) [232] щотижнево, а також золедронової кислоти (4 мг)

кожні 3 місяці [233] у профілактиці втрати кісткової тканини у чоловіків, які отримують АДТ. Крім того, результати 3-річного багатоцентрового РКД [234] у чоловіків, які отримували АДТ з приводу РПЗ, продемонстрували ефективність деносумабу (60 мг підшкірно кожні 6 місяців) не лише у збільшенні МЩКТ ПВХ (на 5,6 % порівняно з втратою 1,0 % у групі плацебо через 24 місяці,  $p < 0,001$ ), ПВСК та її шийки, але й зниження частоти нових переломів тіл хребців порівняно з плацебо (1,5 проти 3,9 % відповідно; ВР 0,38; 95% ДІ 0,19–0,78;  $p = 0,006$ ) через 36 місяців лікування.

Чинні рекомендації щодо профілактики та лікування остеопорозу [235, 236] наголошують на необхідності своєчасної антиостеопоротичної терапії у хворих з РПЗ з наявними факторами ризику ОПП та прийомом АДТ.

## Висновки

Таким чином, дані сучасних літературних джерел свідчать про недостатню оцінку, діагностику та лікування остеопорозу у чоловіків, що має значні медико-соціальні наслідки. У зв'язку з відсутністю рекомендацій щодо менеджменту остеопорозу у чоловіків в Україні з метою їх створення була зібрана мультидисциплінарна експертна група. На основі всеосяжного аналізу літературних джерел було сформульовано, оцінено за допомогою системи GRADE 19 рекомендацій, що стосуються факторів ризику, скринінгу, діагностики та лікування остеопорозу у чоловіків, та проведено успішне голосування. Автори рекомендують їх використання на первинній, вторинній та третинній ланці надання медичної допомоги в Україні спеціалістами різного фаху.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та будь-якої фінансової зацікавленості при створенні цих рекомендацій.

**Інформація про фінансування.** Робота експертної групи проведена за підтримки Української асоціації остеопорозу, публікація рекомендацій схвалена президентом Української асоціації остеопорозу.

**Внесок авторів.** Григор'єва Н.В., Корж М.О. — розробка концепції та дизайну рекомендацій, члени робочої та експертної груп, формулювання положень і голосування, написання та корекція тексту; Головач І.Ю., Сміян С.І., Рекалов Д.Г., Мусієнко А.С. — члени робочої та експертної груп, формулювання положень, написання та корекція тексту; Тронько М.Д., Маньковський Б.М., Яцишин Р.І., Страфун С.С., Гурженко Ю.М., Никітін О.Д., Проценко Г.О., Орленко В.Л., Калашніков А.В., Лучицький В.Є. — члени експертної групи, голосування за положення, корекція тексту.

## Список літератури

1. International Osteoporosis Foundation. About osteoporosis. <https://www.osteoporosis.foundation/health-professionals/about-osteoporosis>.
2. WHO. Disorders of bone density and structure. In: International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10<sup>th</sup> Revision; Chapter XIII: Diseases of the

musculoskeletal system and connective tissue. M80-M85. <https://icd.who.int/browse10/2019/en#/M80>.

3. Kanis JA, Norton N, Harvey NC, et al. SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Arch Osteoporos*. 2021 Jun 2;16(1):82. doi: 10.1007/s11657-020-00871-9.

4. Katsoulis M, Benetou V, Karapetyan T, et al. Excess mortality after hip fracture in elderly persons from Europe and the USA: the CHANCES project. *J Intern Med*. 2017 Mar;281(3):300-310. doi: 10.1111/joim.12586.

5. Sing C-W, Lin T-C, Bartholomew S, et al. Global epidemiology of hip fractures: secular trends in incidence rate, post-fracture treatment, and all-cause mortality. *J Bone Miner Res*. 2023;38(6):1064-75. doi: 10.1002/jbmr.4821.

6. Zubach O, Grygorieva N, Povoroznyuk V. 10-year mortality in patients after hip fractures. *Georgian Med News*. 2021 Jan;(310):19-23. Russian. PMID: 33658403.

7. Panahi N, Saeedi Moghaddam S, Fahimfar N, et al. Trend in global burden attributable to low bone mineral density in different WHO regions: 2000 and beyond, results from the Global Burden of Disease (GBD) study 2019. *Endocr Connect*. 2023 Sep 14;12(10):e230160. doi: 10.1530/EC-23-0160.

8. Borgström F, Karlsson L, Ortsäter G, et al. Fragility fractures in Europe: burden, management and opportunities. *Arch Osteoporos*. 2020;15:59. doi: 10.1007/s11657-020-0706-y.

9. Поворознюк В.В., Мусієнко А.С., Дзерович Н.І. Вікові особливості мінеральної щільності та якості кісткової тканини в чоловіків. *Ортопедія, травматологія і протезування*. 2015;3(600):66-70. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/OpTIP\\_2015\\_3\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/OpTIP_2015_3_12).

10. Povoroznyuk VV, Grygorieva NV, Kanis JA, et al. Epidemiology of hip fracture and the development of FRAX in Ukraine. *Arch Osteoporos*. 2017 Dec;12(1):53. doi: 10.1007/s11657-017-0343-2.

11. Розподіл постійного населення України за статтю та віком на 1 січня 2022 р. За редакцією М. Тімоніної. Державна служба статистики України, Київ, 2022. [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/06/roz\\_nas22.pdf](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/06/roz_nas22.pdf).

12. Bandeira L, Silva BC, Bilezikian JP. Male osteoporosis. *Arch Endocrinol Metab*. 2022 Nov 11;66(5):739-747. doi: 10.20945/2359-3997000000563.

13. Головач И.Ю., Егудина Е.Д. Остеопороз у мужчин: состояние проблемы, факторы риска, диагностика, современные подходы к лечению. *Травма*. 2018;19(5):5-19. doi: 10.22141/1608-1706.5.19.2018.146639.

14. Bjornsdottir S, Clarke BL, Mannstadt M, et al. Male osteoporosis: what are the causes, diagnostic challenges, and management. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2022;36(3):101766. doi: 10.1016/j.berh.2022.101766.

15. Infante M, Caprio M, Fabbri A. Introduction: causes and risk factors for male osteoporosis. In: Ferlin A, Migliaccio S, editors. *Male osteoporosis. Trends in andrology and sexual medicine*. Cham: Springer, 2020. doi: 10.1007/978-3-319-96376-1\_5.

16. Mafi Golchin M, Heidari L, Ghaderian SM, Akhavan-Niaki H. Osteoporosis: A Silent Disease with Complex Genetic Contribution. *J Genet Genomics*. 2016 Feb 20;43(2):49-61. doi: 10.1016/j.jgg.2015.12.001.

17. Golds G, Houdek D, Arnason T. Male hypogonadism and osteoporosis: the effects, clinical consequences, and treatment of testosterone deficiency in bone health. *Int J Endocrinol*. 2017;4602129. doi: 10.1155/2017/4602129.

18. Varsavsky M, Romero Muñoz M, Ávila Rubio V, et al. Consensus document on osteoporosis in males. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición (English ed.)*. 2018;65:9-16. doi: 10.1016/j.endien.2017.12.003.

19. Loures MAR, Zerbini CAF, Danowski JS, et al. Guidelines of the Brazilian Society of Rheumatology for the diagnosis and treatment of osteoporosis in men. *Rev Bras Reumatol Engl Ed*. 2017;57(Suppl 2):497-514. English, Portuguese. doi: 10.1016/j.rbre.2017.07.003.

20. Bouvard B, Briot K, Legrand E, et al. Recommendations françaises de la prise en charge et du traitement de l'ostéoporose masculine. *Rev Rhum*. 2021;88(3):173-82. doi: 10.1016/j.rhum.2021.02.024.

21. Fuggle NR, Beaudart C, Bruyère O, et al. Evidence-Based Guideline for the management of osteoporosis in men. *Nat Rev Rheumatol*. 2024 Apr;20(4):241-251. doi: 10.1038/s41584-024-01094-9.

22. Rochira V, Antonio L, Vanderschueren D. EAA clinical guideline on management of bone health in the andrological outpatient clinic. *Andrology*. 2018;6(2):272-85. doi: 10.1111/andr.12470.

23. Huang CF, Ho CJ, Lin SY, et al. Asia-Pacific consensus for the management of osteoporosis in men. *Osteoporos Int*. 2025 Jul;36(7):1105-1114. doi: 10.1007/s00198-025-07559-1.

24. Gregson CL, Armstrong DJ, Aygerinou C, et al.; National Osteoporosis Guideline Group (NOGG). The 2024 UK clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. *Arch Osteoporos*. 2025;20:119. doi: 10.1007/s11657-025-01588-3.

25. LeBoff MS, Greenspan SL, Insogna KL, et al. The clinician's guide to prevention and treatment of osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2022 Oct;33(10):2049-2102. doi: 10.1007/s00198-021-05900-y.

26. World Health Organization. *WHO handbook for guideline development*, 2nd ed. Switzerland: World Health Organization, 2014. 167 p.

27. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al; GRADE Working Group. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2008 Apr 26;336(7650):924-6. doi: 10.1136/bmj.39489.470347.AD.

28. Посібник для розробників клінічних рекомендацій/ медичних стандартів (скорочений варіант). Новічкова О., Росс Г., Степаненко А. (загальна редакція). Київ, 2007. 71 с. <https://dec.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/prs.pdf>.

29. Watts NB, Adler RA, Bilezikian JP, et al. Osteoporosis in men: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2012 Jun;97(6):1802-22. doi: 10.1210/jc.2011-3045.

30. Povoroznyuk V, Johansson H, Grygorieva N, et al. Ukrainian FRAX version in the male osteoporosis management. *Pain, Joints, Spine*. 2021;11(2):53-61. doi: 10.22141/2224-1507.11.2.2021.236563.

31. ISDC. 2023 ISDC Official Positions. Adults. <https://iscd.org/official-positions-2023>.

32. Anupama S, Lim SY, Bolster MB. Updates on the role of DXA in the evaluation and monitoring of osteoporosis. *Curr*

- Rheumatol Rep.* 2025 Nov 1;27(1):38. doi: 10.1007/s11926-025-01205-9.
33. Binkley N, Adler R, Bilezikian JP. Osteoporosis diagnosis in men: the T-score controversy revisited. *Curr Osteoporos Rep.* 2014 Dec;12(4):403-9. doi: 10.1007/s11914-014-0242-z.
34. De Laet CE, Van Hout BA, Burger H, Weel AE, Hofman A, Pols HA. Hip fracture prediction in elderly men and women: validation in the Rotterdam study. *J Bone Miner Res.* 1998 Oct;13(10):1587-93. doi: 10.1359/jbmr.1998.13.10.1587.
35. Kanis JA, McCloskey EV, Harvey NC, et al. The need to distinguish intervention thresholds and diagnostic thresholds in the management of osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2023 Jan;34(1):1-9. doi: 10.1007/s00198-022-06567-9.
36. Mousavi SZ, Moshfeghinia R, Vardanjani HM, Sani MR. Opportunistic screening of osteoporosis by CT scan compared to DXA: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Imaging.* 2025;118:110372. doi: 10.1016/j.clinimag.2024.110372.
37. Wang L, Diacinti D, Diacinti D, Minisola S, Yajun L. The diagnosis of osteoporosis, including opportunistic computed tomography: a narrative review. *Gerontology.* 2025;71(6):453-460. doi: 10.1159/000545961.
38. Gausden EB, Nwachukwu BU, Schreiber JJ, Lorich DG, Lane JM. Opportunistic use of CT imaging for osteoporosis screening and bone density assessment: a qualitative systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(18):1580-90. doi: 10.2106/JBJS.16.00749.
39. Bromiley PA, Clark EM, Poole KE. Computer-aided diagnostic systems for osteoporotic vertebral fracture detection: opportunities and challenges. *J Bone Miner Res.* 2020 Dec;35(12):2305-2306. doi: 10.1002/jbmr.4205.
40. Howlett DC, Drinkwater KJ, Mahmood N, Illes J, Griffin J, Javaid K. Radiology reporting of osteoporotic vertebral fragility fractures on computed tomography studies: results of a UK national audit. *Eur Radiol.* 2020 Sep;30(9):4713-4723. doi: 10.1007/s00330-020-06845-2.
41. Hou Z, Gao Y, Ding S, Shao F, Zhang G. Diagnostic efficiency of chest CT for opportunistic screening for osteoporosis and low BMD in postmenopausal women. *Sci Rep.* 2025;15:32739. doi: 10.1038/s41598-025-16113-2.
42. Ye K, Qi J, Fan J, et al. Coronal CT attenuation measurement for osteoporosis screening at the proximal femur: a comparative study with the axial approach. *Diagnostics.* 2025;15(21):2794. doi: 10.3390/diagnostics15212794.
43. Zhu Y, Triphuridat N, Yip R, et al. Opportunistic CT screening of osteoporosis on thoracic and lumbar spine: a meta-analysis. *Clin Imaging.* 2021 Dec;80:382-390. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.08.005.
44. Jiancheng Yang, Yuhong Zeng, Wei Yu. Criteria for osteoporosis diagnosis: a systematic review and meta-analysis of osteoporosis diagnostic studies with DXA and QCT. *eClinicalMedicine.* 2025;83:10324. doi: 10.1016/j.eclinm.2025.103244.
45. Hoiberg MP, Rubin KH, Hermann AP, Brixen K, Abrahamsen B. Diagnostic devices for osteoporosis in the general population: A systematic review. *Bone.* 2016 Nov;92:58-69. doi: 10.1016/j.bone.2016.08.011.
46. McCloskey EV, Kanis JA, Odén A, et al. Predictive ability of heel quantitative ultrasound for incident fractures: an individual-level meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2015 Jul;26(7):1979-87. doi: 10.1007/s00198-015-3072-7.
47. Escobio-Prieto I, Blanco-Díaz M, Pinero-Pinto E, et al. Quantitative ultrasound and bone health in elderly people, a systematic review. *Biomedicines.* 2023 Apr 13;11(4):1175. doi: 10.3390/biomedicines11041175.
48. Harvey NC, Glüer CC, Binkley N, et al. Trabecular bone score (TBS) as a new complementary approach for osteoporosis evaluation in clinical practice. *Bone.* 2015 Sep;78:216-24. doi: 10.1016/j.bone.2015.05.016.
49. Поворознюк В.В., Дзерович Н.І., Ханс Д. Показник якості трабекулярної кісткової тканини в клінічній практиці (огляд літератури). *Ортопедия, травматология и протезирование.* 2015;2:126-136. doi: 10.15674/0030-598720152126-136.
50. Kaloudis E-Th. Trabecular bone score for the evaluation of fracture risk: A literature review. *JRPMS.* 2022;6(4):121-127. doi: 10.22540/JRPMS-06-121.
51. McCloskey EV, Odén A, Harvey NC, et al. A meta-analysis of trabecular bone score in fracture risk prediction and its relationship to FRAX. *J Bone Miner Res.* 2016 May;31(5):940-8. doi: 10.1002/jbmr.2734.
52. Shevroja E, Reginster JY, Lamy O, et al. Update on the clinical use of trabecular bone score (TBS) in the management of osteoporosis: results of an expert group meeting organized by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO), and the International Osteoporosis Foundation (IOF) under the auspices of WHO Collaborating Center for Epidemiology of Musculoskeletal Health and Aging. *Osteoporos Int.* 2023 Sep;34(9):1501-1529. doi: 10.1007/s00198-023-06817-4.
53. Hans D, Šteňová E, Lamy O. The trabecular bone score (TBS) complements DXA and the FRAX as a fracture risk assessment tool in routine clinical practice. *Curr Osteoporos Rep.* 2017 Dec;15(6):521-531. doi: 10.1007/s11914-017-0410-z.
54. Shevroja E, Lamy O, Kohlmeier L, Koromani F, Rivadeneira F, Hans D. Use of trabecular bone score (TBS) as a complementary approach to dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for fracture risk assessment in clinical practice. *J Clin Densitom.* 2017 Jul-Sep;20(3):334-345. doi: 10.1016/j.jocd.2017.06.019.
55. Johnell O, Kanis JA, Oden A, et al. Predictive value of BMD for hip and other fractures. *J Bone Miner Res.* 2005 Jul;20(7):1185-94. doi: 10.1359/JBMR.050304.
56. Salari N, Darvishi N, Bartina Y, et al. Global prevalence of osteoporosis among the world older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021 Nov 13;16(1):669. doi: 10.1186/s13018-021-02821-8.
57. Kanis JA, Johansson H, McCloskey EV, et al. Previous fracture and subsequent fracture risk: a meta-analysis to update FRAX. *Osteoporos Int.* 2023 Dec;34(12):2027-2045. doi: 10.1007/s00198-023-06870-z.
58. McCloskey EV, Johansson H, Liu E, Åkesson KE, et al. Family history of fracture and fracture risk: a meta-analysis to update the FRAX® risk assessment tool. *Osteoporos Int.* 2025 Sep;36(9):1725-1741. doi: 10.1007/s00198-025-07607-w.
59. Harvey NC, Odén A, Orwoll E, et al. Falls predict fractures independently of FRAX probability: a meta-analysis of the

- osteoporotic fractures in men (MrOS) Study. *J Bone Miner Res.* 2018 Mar;33(3):510-516. doi: 10.1002/jbmr.3331.
60. Vandenput L, Johansson H, McCloskey EV, et al. A meta-analysis of previous falls and subsequent fracture risk in cohort studies. *Osteoporos Int.* 2024 Mar;35(3):469-494. doi: 10.1007/s00198-023-07012-1.
61. Harvey NC, Johansson H, McCloskey EV, et al. Body mass index and subsequent fracture risk: a meta-analysis to update FRAX. *J Bone Miner Res.* 2025 Sep 28;40(10):1144-1155. doi: 10.1093/jbmr/zjaf091.
62. Kaze AD, Rosen HN, Paik JM. A meta-analysis of the association between body mass index and risk of vertebral fracture. *Osteoporos Int.* 2018 Jan;29(1):31-39. doi: 10.1007/s00198-017-4294-7.
63. Xu Y, Bao Y, Wang M, Wu Q. Smoking and fracture risk in men: a meta-analysis of cohort studies, using both frequentist and Bayesian approaches. *Sci Rep.* 2022;12:9270. doi: 10.1038/s41598-022-13356-1.
64. Wu Z-J, Zhao P, Liu B, Yuan Z-C. Effect of Cigarette smoking on risk of hip fracture in men: a meta-analysis of 14 prospective cohort studies. *PLoS One.* 2016;11(12):e0168990. doi: 10.1371/journal.pone.0168990.
65. Asoudeh F, Salari-Moghaddam A, Lari-jani B, Esmail-lzadeh A. A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies on the association between alcohol intake and risk of fracture. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022;62(20):5623-5637. doi: 10.1080/10408398.2021.1888691.
66. Ke Y, Hu H, Zhang J, Yuan L, et al. Alcohol consumption and risk of fractures: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Adv Nutr.* 2023 Jul;14(4):599-611. doi: 10.1016/j.advnut.2023.03.008.
67. Godos J, Giampieri F, Chisari E, et al. Alcohol consumption, bone mineral density, and risk of osteoporotic fractures: a dose-response meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Jan 28;19(3):1515. doi: 10.3390/ijerph19031515.
68. Cheraghi Z, Doosti-Irani A, Almasi-Hashiani A, et al. The effect of alcohol on osteoporosis: A systematic review and meta-analysis. *Drug Alcohol Depend.* 2019 Apr 1;197:197-202. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2019.01.025.
69. Harvey NC, Odén A, Orwoll E, et al. Measures of Physical performance and muscle strength as predictors of fracture risk independent of FRAX, falls, and aBMD: a meta-analysis of the Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Study. *J Bone Miner Res.* 2018 Dec;33(12):2150-2157. doi: 10.1002/jbmr.3556.
70. Harvey NC, Orwoll E, Kwok T, et al. Sarcopenia definitions as predictors of fracture risk independent of FRAX®, falls, and BMD in the osteoporotic fractures in men (MrOS) study: a meta-analysis. *J Bone Miner Res.* 2021 Jul;36(7):1235-1244. doi: 10.1002/jbmr.4293.
71. Charoengam N, Rittiphairoj T, Ponvilawan B, et al. Bone fragility in hereditary connective tissue disorders: a systematic review and meta-analysis. *Endocr Pract.* 2023 Jul;29(7):589-600. doi: 10.1016/j.eprac.2023.02.003.
72. Ramírez J, Nieto-González JC, Rodríguez RC, Castañeda S, Carmona L. Prevalence and risk factors for osteoporosis and fractures in axial spondyloarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism.* 2018;48(1):44-52. doi: 10.1016/j.semarthrit.2017.12.001.
73. Harlianto NI, Ezzafzafi S, Foppen W, et al. The prevalence of vertebral fractures in diffuse idiopathic skeletal hyperostosis and ankylosing spondylitis: A systematic review and meta-analysis. *N Am Spine Soc J.* 2024 Jan 20;17:100312. doi: 10.1016/j.xnsj.2024.100312.
74. Yan F, Wu L, Lang J, Huang Z. Bone density and fracture risk factors in ankylosing spondylitis: a meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2024 Jan;35(1):25-40. doi: 10.1007/s00198-023-06925-1.
75. Pray C, Feroz NI, Nigil Haroon N. Bone mineral density and fracture risk in ankylosing spondylitis: a meta-analysis. *Calcif Tissue Int.* 2017 Aug;101(2):182-192. doi: 10.1007/s00223-017-0274-3.
76. Kanis JA, Johansson H, McCloskey EV, et al. Rheumatoid arthritis and subsequent fracture risk: an individual person meta-analysis to update FRAX. *Osteoporos Int.* 2025 Apr;36(4):653-671. doi: 10.1007/s00198-025-07397-1.
77. Xue AL, Wu SY, Jiang L, Feng AM, Guo HF, Zhao P. Bone fracture risk in patients with rheumatoid arthritis: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2017 Sep;96(36):e6983. doi: 10.1097/MD.0000000000006983.
78. Chen B, Cheng G, Wang H, Feng Y. Increased risk of vertebral fracture in patients with rheumatoid arthritis: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2016 Nov;95(45):e5262. doi: 10.1097/MD.0000000000005262.
79. Jin S, Hsieh E, Peng L, et al. Incidence of fractures among patients with rheumatoid arthritis: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2018 Jun;29(6):1263-1275. doi: 10.1007/s00198-018-4473-1.
80. Moshayedi S, Tasorian B, Almasi-Hashiani A. The prevalence of osteoporosis in rheumatoid arthritis patient: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2022;12:15844. doi: 10.1038/s41598-022-20016-x.
81. Wang X, Yan S, Liu C, Xu Y, et al. Fracture risk and bone mineral density levels in patients with systemic lupus erythematosus: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2016 Apr;27(4):1413-1423. doi: 10.1007/s00198-015-3449-7.
82. Drake MT, Murad MH, Mauck KF, et al. Clinical review. Risk factors for low bone mass-related fractures in men: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab.* 2012 Jun;97(6):1861-70. doi: 10.1210/jc.2011-3058.
83. Moayeri A, Mohamadpour M, Mousavi SF, Shirzadpour E, Mohamadpour S, Amraei M. Fracture risk in patients with type 2 diabetes mellitus and possible risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Ther Clin Risk Manag.* 2017 Apr 11;13:455-468. doi: 10.2147/TCRM.S131945.
84. Liu X, Chen F, Liu L, Zhang Q. Prevalence of osteoporosis in patients with diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *BMC endocrine disorders.* 2023;23(1):1. doi: 10.1186/s12902-022-01260-8.
85. Wang H, Ba Y, Xing Q, Du J-L. Diabetes mellitus and the risk of fractures at specific sites: a meta-analysis. *BMJ Open.* 2019;9:e024067. doi: 10.1136/bmjopen-2018-024067.
86. Blum MR, Bauer DC, Collet TH, et al.; Thyroid Studies Collaboration. Subclinical thyroid dysfunction and fracture risk: a meta-analysis. *JAMA.* 2015 May 26;313(20):2055-65. doi: 10.1001/jama.2015.5161.
87. Zhang T, Pan W, Huang K, Qiu J, Zhang W, Yang J. Association of subclinical thyroid dysfunction with the risk of vertebral fracture: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Annals of Medicine.* 2025 Dec;57(1):2558122. doi: 10.1080/07853890.2025.2558122.

88. Zhu H, Zhang J, Wang J, et al. Association of subclinical thyroid dysfunction with bone mineral density and fracture: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Endocrine*. 2020;67:685-698. doi: 10.1007/s12020-019-02110-9.
89. Narayanan N, Palui R, Merugu C, Kar SS, et al. The risk of fractures in primary hyperparathyroidism: a meta-analysis. *JBM R Plus*. 2021 Mar 16;5(4):e10482. doi: 10.1002/jbm4.10482.
90. Shahbaz Y, Jamalafrouz Z, Hesari N, et al. Risk of bone fractures in patients with primary hyperparathyroidism: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Parathyroid Disease*. 2024;12:e12262. doi: 10.34172/jpd.2024.12262.
91. Pal R, Bhaadara SK, Mukherjee S, Banerjee M, Kumar A. Fracture risk in hypoparathyroidism: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2021 Nov;32(11):2145-2153. doi: 10.1007/s00198-021-05966-8.
92. Mazziotti GBE, Maffezzoni F, et al. Bone turnover, bone mineral density, and fracture risk in acromegaly: A Meta-Analysis. *J Clin Endocrinol Metab*. 2015;100(2):384-94. doi: 10.1210/jc.2014-2937.
93. Hao L, Mu S, Yin J, Liu J. A meta-analysis of the risk of osteoporotic fractures in inflammatory bowel disease. *Adv Clin Exp Med*. 2024 Apr;33(4):327-333. doi: 10.17219/acem/168684.
94. Szaforos P, Che H, Barnette T, et al. Risk of fracture and low bone mineral density in adults with inflammatory bowel diseases. A systematic literature review with meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2018 Nov;29(11):2389-2397. doi: 10.1007/s00198-018-4586-6.
95. Marzban Abbas Abadi M, Emadian ST, Zamani M, Khalilzad M. Prevalence of osteoporosis in patients with inflammatory bowel disease: a systematic review and meta-analysis. *J Health Popul Nutr*. 2025 May 29;44(1):178. doi: 10.1186/s41043-025-00946-8.
96. Liang J, Meng WD, Yang JM, et al. The association between liver cirrhosis and fracture risk: A systematic review and meta-analysis. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2018 Oct;89(4):408-413. doi: 10.1111/cen.13762.
97. Shirinezhad A, Eshlaghi FM, Salabat D, et al. Prevalent osteoporosis and fracture risk in patients with hepatic cirrhosis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Gastroenterol*. 2025 Feb 25;25(1):115. doi: 10.1186/s12876-025-03720-6.
98. Lupoli R, Di Minno A, Spadarella G, et al. The risk of osteoporosis in patients with liver cirrhosis: a meta-analysis of literature studies. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2016 Jan;84(1):30-8. doi: 10.1111/cen.12780.
99. Kang J, Gopakumar H, Puli SR. Prevalence of osteoporosis in cirrhosis: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*. 2023 Jan 12;15(1):e33721. doi: 10.7759/cureus.33721.
100. Mortensen SJ, Mohamadi A, Wright CL, et al. Medications as a risk factor for fragility hip fractures: a systematic review and meta-analysis. *Calcif Tissue Int*. 2020 Jul;107(1):1-9. doi: 10.1007/s00223-020-00688-1.
101. Li L, Bensing S, Falhammar H. Rate of fracture in patients with glucocorticoid replacement therapy: a systematic review and meta-analysis. *Endocrine*. 2021 Oct;74(1):29-37. doi: 10.1007/s12020-021-02723-z.
102. Loke YK, Gilbert D, Thavarajah M, Blanco P, Wilson AM. Bone mineral density and fracture risk with long-term use of inhaled corticosteroids in patients with asthma: systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2015 Nov 24;5(11):e008554. doi: 10.1136/bmjopen-2015-008554.
103. Peng S, Tan C, Du L, et al. Effect of fracture risk in inhaled corticosteroids in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pulm Med*. 2023;23:304. doi: 10.1186/s12890-023-02602-5.
104. Ruanpeng D, Ungprasert P, Sangtian J, Harind-hanavudhi T. Sodium-glucose cotransporter 2 (SGLT2) inhibitors and fracture risk in patients with type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis. *Diabetes Metab Res Rev*. 2017 Sep;33(6). doi: 10.1002/dmrr.2903.
105. Chai S, Liu F, Yang Z, et al. Risk of fracture with dipeptidyl peptidase-4 inhibitors, glucagon-like peptide-1 receptor agonists, or sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis combining 177 randomized controlled trials with a median follow-up of 26 weeks. *Front Pharmacol*. 2022 Jul 1;13:825417. doi: 10.3389/fphar.2022.825417.
106. Mercurio M, de Filippis R, Spina G, et al. The use of antidepressants is linked to bone loss: A systematic review and meta-analysis. *Orthop Rev (Pavia)*. 2022 Oct 13;14(6):38564. doi: 10.52965/001c.38564.
107. Poly TN, Islam MM, Yang HC, Li YJ. Association between benzodiazepines use and risk of hip fracture in the elderly people: A meta-analysis of observational studies. *Joint Bone Spine*. 2020 May;87(3):241-249. doi: 10.1016/j.jbspin.2019.11.003.
108. Zhang YS, Zheng YD, Yuan Y, Chen SC, Xie BC. Effects of anti-diabetic drugs on fracture risk: a systematic review and network meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021 Oct 14;12:735824. doi: 10.3389/fendo.2021.735824.
109. Teng Z, Zhu Y, Wu F, et al. Opioids Contribute to Fracture Risk: A Meta-Analysis of 8 Cohort Studies. *PLoS One*. 2015;10(6):e0128232. doi: 10.1371/journal.pone.0128232.
110. Batteux B, Bennis Y, Bodeau S, et al. Associations between osteoporosis and drug exposure: A post-marketing study of the World Health Organization pharmacovigilance database (VigiBase®). *Bone*. 2021 Dec;153:116137. doi: 10.1016/j.bone.2021.116137.
111. Kanis JA, Johansson H, Harvey NC, McCloskey EV. A brief history of FRAX. *Arch Osteoporos*. 2018 Oct 31;13(1):118. doi: 10.1007/s11657-018-0510-0.
112. Поворознюк В.В., Григор'єва Н.В., Kanis J.A., McCloskey E.V., Johansson H. Українська версія FRAX: від створення до валідації. *Біль. Суглоби. Хребет*. 2016;3(23):5-14. doi: 10.22141/2224-1507.3.23.2016.85000.
113. Povoroznyuk V, Grygorieva N, Johansson H, et al. FRAX-Based Intervention Thresholds for Osteoporosis Treatment in Ukraine. *J Osteoporos*. 2021 Jun 10;2021:2043479. doi: 10.1155/2021/2043479.81.
114. Schini M, Johansson H, Harvey NC, Lorentzon M, Kanis JA, McCloskey EV. An overview of the use of the fracture risk assessment tool (FRAX) in osteoporosis. *J Endocrinol Invest*. 2024 Mar;47(3):501-511. doi: 10.1007/s40618-023-02219-9.
115. Harvey NC, Johansson H, Odén A, et al. FRAX predicts incident falls in elderly men: findings from MrOs Sweden. *Osteoporos Int*. 2016 Jan;27(1):267-74. doi: 10.1007/s00198-015-3295-7.

116. Sugimoto T, Matsumoto T, Hosoi T, et al. Efficacy of denosumab co-administered with vitamin D and Ca by baseline vitamin D status. *J Bone Miner Metab.* 2020 Nov;38(6):848-858. doi: 10.1007/s00774-020-01119-9.166.
117. Lu K, Shi Q, Gong YQ, Li C. Association between vitamin D and zoledronate-induced acute-phase response fever risk in osteoporotic patients. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2022 Oct 10;13:991913. doi: 10.3389/fendo.2022.991913.
118. Grygorieva NV, Solonenko TY, Musiienko AS, Bys-trytska MA. Vitamin D deficiency in Ukraine: current evidence. *BMC Nutr.* 2023 Mar 14;9(1):49. doi: 10.1186/s40795-023-00706-z.
119. McBride JA, Carson CC, Coward RM. Diagnosis and management of testosterone deficiency. *Asian J Androl.* 2015 Mar-Apr;17(2):177-86. doi: 10.4103/1008-682X.143317.
120. Bhasin S, Pencina M, Jasuja GK, et al. Reference ranges for testosterone in men generated using liquid chromatography tandem mass spectrometry in a community-based sample of healthy nonobese young men in the Framingham Heart Study and applied to three geographically distinct cohorts. *J Clin Endocrinol Metab.* 2011 Aug;96(8):2430-9. doi: 10.1210/jc.2010-3012.
121. Lunenfeld B, Mskhalaya G, Zitzmann M, et al. Recommendations on the diagnosis, treatment and monitoring of hypogonadism in men. *Aging Male.* 2015 Mar;18(1):5-15. doi: 10.3109/13685538.2015.1004049.
122. Mellström D, Johnell O, Ljunggren O, et al. Free testosterone is an independent predictor of BMD and prevalent fractures in elderly men: MrOS Sweden. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2006;21(4):529-535. doi.org/10.1359/jbmr.060110.
123. Meier C, Nguyen TV, Handelsman DJ, et al. Endogenous sex hormones and incident fracture risk in older men: the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. *Arch Intern Med.* 2008 Jan 14;168(1):47-54. doi: 10.1001/archinternmed.2007.2.
124. Luo Z, Feng A, Tyurin A, et al. Testosterone, sex hormone-binding globulin, and fracture risk in men: evidence from observational and Mendelian randomization analyses. *Osteoporos Int.* 2025 Oct;36(10):1977-1986. doi: 10.1007/s00198-025-07620-z.
125. Vandendput L, Mellström D, Laughlin GA, et al. Low testosterone, but not estradiol, is associated with incident falls in older men: the international MrOS Study. *J Bone Miner Res.* 2017 Jun;32(6):1174-1181. doi: 10.1002/jbmr.3088.
126. Johansson H, Odén A, Kanis JA, et al.; IFCC-IOF Joint Working Group on standardisation of biochemical markers of bone turnover. a meta-analysis of reference markers of bone turnover for prediction of fracture. *Calcif Tissue Int.* 2014 May;94(5):560-7. doi: 10.1007/s00223-014-9842-y.
127. Hong L, Liu D, Wu F, Wang M, Cen Y, Ma L. Correlation between bone turnover markers and bone mineral density in patients undergoing long-term anti-osteoporosis treatment: a systematic review and meta-analysis. *Applied Sciences.* 2020;10(3):832. doi: 10.3390/app10030832.
128. Lorentzon M, Branco J, Brandi ML, et al. Algorithm for the use of biochemical markers of bone turnover in the diagnosis, assessment, and follow-up of treatment for osteoporosis. *Adv Ther.* 2019 Oct;36(10):2811-2824. doi: 10.1007/s12325-019-01063-9.
129. Eastell R, Pigott T, Gossiel F, Naylor KE, Walsh JS, Peel NFA. Diagnosis of endocrine disease: Bone turnover markers: are they clinically useful? *Eur J Endocrinol.* 2018 Jan;178(1):R19-R31. doi: 10.1530/EJE-17-0585.
130. Schini M, Vilaca T, Gossiel F, Salam S, Eastell R. Bone Turnover Markers: Basic Biology to Clinical Applications. *Endocr Rev.* 2023 May 8;44(3):417-473. doi: 10.1210/endo/rev/bnac031.
131. Fisher A, Fisher L, Srikusalanukul W, Smith PN. Bone turnover status: classification model and clinical implications. *Int J Med Sci.* 2018 Feb 1;15(4):323-338. doi: 10.7150/ijms.22747.
132. Mortensen SJ, Beeram I, Florance J, et al. Modifiable lifestyle factors associated with fragility hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Miner Metab.* 2021 Sep;39(5):893-902. doi: 10.1007/s00774-021-01230-5.
133. Clemson L, Stark S, Pighills AC, et al. Environmental interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023 Mar 10;3(3):CD013258. doi: 10.1002/14651858.CD013258.pub2.
134. Chen CC, Shen YM, Li SB, Huang SW, Kuo YJ, Chen YP. Association of coffee and tea intake with bone mineral density and hip fracture: a meta-analysis. *Medicina (Kaunas).* 2023 Jun 20;59(6):1177. doi: 10.3390/medicina59061177.
135. Zeng X, Su Y, Tan A, et al. The association of coffee consumption with the risk of osteoporosis and fractures: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2022 Sep;33(9):1871-1893. doi: 10.1007/s00198-022-06399-7.
136. Григор'єва Н.В., Дедух Н.В., Парубець М.М., Бустріцька М.А. Постімобілізаційний остеопороз: огляд літератури та серія клінічних випадків. *Біль. Суглоби. Хребет.* 2022;12(3):94-107. doi: 10.22141/pjs.12.3.2022.335.
137. Cunningham C, O'Sullivan R, Caserotti P, Tully MA. Consequences of physical inactivity in older adults: A systematic review of reviews and meta-analyses. *Scand J Med Sci Sports.* 2020 May;30(5):816-827. doi: 10.1111/sms.13616.
138. Vilenskyi A, Grygorieva N, Stefiuk O, et al. Bone mineral density and bone turnover markers in war veterans after lower limb amputation. *Pain. Joints. Spine.* 2025;15(4):157-165. doi: 10.22141/pjs.15.4.2025.480.
139. Kast S, Shojaa M, Kohl M, et al. Effects of different exercise intensity on bone mineral density in adults: a comparative systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2022 Aug;33(8):1643-1657. doi: 10.1007/s00198-022-06329-7.
140. Schinzel E, Kast S, Kohl M, et al. The effect of aquatic exercise on bone mineral density in older adults. A systematic review and meta-analysis. *Front Physiol.* 2023 Mar 13;14:1135663. doi: 10.3389/fphys.2023.1135663.
141. Hoffmann I, Kohl M, von Stengel S, et al. Exercise and the prevention of major osteoporotic fractures in adults: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on intensity progression and study duration. *Osteoporos Int.* 2023 Jan;34(1):15-28. doi: 10.1007/s00198-022-06592-8.
142. Hoffmann I, Shojaa M, Kohl M, et al. Exercise reduces the number of overall and major osteoporotic in adults. Does supervision make a difference? Systematic review and meta-analysis. *J Bone Miner Res.* 2022 Nov;37(11):2132-2148. doi: 10.1002/jbmr.4683.

143. Pantouvaki A, Patelarou E, Kastanis G, Alpantaki K, Sfakianakis MZ. The effect of an exercise-based rehabilitation programme in functional recovery and prevention of secondary falls after a hip fracture in older adults: A systematic review. *J Frailty Sarcopenia Falls*. 2023 Jun 1;8(2):118-126. doi: 10.22540/JFSF-08-118.
144. Gibbs JC, MacIntyre NJ, Ponzano M, et al. Exercise for improving outcomes after osteoporotic vertebral fracture. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019 Jul 5;7(7):CD008618. doi: 10.1002/14651858.CD008618.pub3.
145. Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, et al. Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019 Jan 31;1(1):CD012424. doi: 10.1002/14651858.CD012424.pub2.
146. Huang ZG, Feng YH, Li YH, Lv CS. Systematic review and meta-analysis: Tai Chi for preventing falls in older adults. *BMJ Open*. 2017 Feb 6;7(2):e013661. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013661.
147. Lomas-Vega R, Obrero-Gaitán E, Molina-Ortega FJ, Del-Pino-Casado R. Tai Chi for risk of falls. A meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2017 Sep;65(9):2037-2043. doi: 10.1111/jgs.15008.
148. Chen W, Li M, Li H, Lin Y, Feng Z. Tai Chi for fall prevention and balance improvement in older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Public Health*. 2023 Sep 1;11:1236050. doi: 10.3389/fpubh.2023.1236050.
149. Kweh BTS, Lee HQ, Tan T, et al. Role of spinal orthoses in osteoporotic vertebral fractures of the elderly population (age 60 years or older): systematic review. *Global Spine J*. 2021 Jul;11(6):975-987. doi: 10.1177/2192568220948036.
150. Pieroh P, Spiegl UJA, Völker A, et al.; Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma. Spinal orthoses in the treatment of osteoporotic thoracolumbar vertebral fractures in the elderly: a systematic review with quantitative quality assessment. *Global Spine J*. 2023 Apr;13(1\_suppl):59S-72S. doi: 10.1177/21925682221130048.
151. Jin YZ, Lee JH. Effect of brace to osteoporotic vertebral fracture: a meta-analysis. *J Korean Med Sci*. 2016 Oct;31(10):1641-9. doi: 10.3346/jkms.2016.31.10.1641.
152. Furrer PR, Hodel S, Wanivenhaus F, Grubhofer F, Farshad M. Compliance with wearing a thoracolumbar orthosis in nonoperative treatment of osteoporotic vertebral fractures: a prospective sensor-controlled study. *Spine J*. 2023 Mar;23(3):433-439. doi: 10.1016/j.spinee.2022.11.009.
153. Webster J, Dalla Via J, Langley C, Smith C, Sale C, Sim M. Nutritional strategies to optimise musculoskeletal health for fall and fracture prevention: Looking beyond calcium, vitamin D and protein. *Bone Rep*. 2023 May 5;19:101684. doi: 10.1016/j.bonr.2023.101684.
154. Webster J, Rycroft CE, Greenwood DC, Cade JE. Dietary risk factors for hip fracture in adults: An umbrella review of meta-analyses of prospective cohort studies. *PLoS One*. 2021 Nov 10;16(11):e0259144. doi: 10.1371/journal.pone.0259144.
155. Institute of Medicine (US) Committee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium. *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Ross AC, Taylor CL, Yaktine AL, Del Valle HB, editors. Washington (DC): National Academies Press (US), 2011. PMID: 21796828.
156. On the approval of the norms of physiological needs of the population of Ukraine in basic food substances and energy. Order of the Ministry of Health of Ukraine (No 1073, 03.09.2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17/ed20170903/stru>.
157. Grygorieva N, Povoroznyuk V, Romanenko M, Synieok L. Calcium intake in an adult Ukrainian population. *Arch Osteoporos*. 2020 Feb 23;15(1):23. doi: 10.1007/s11657-020-0712-0.
158. Demay MB, Pittas AG, Bikle DD, et al. Vitamin D for the prevention of disease: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024 Jul 12;109(8):1907-1947. doi: 10.1210/clinem/dgae290.
159. Григор'єва Н.В., Солоненко Т.Ю., Мусієнко А.С. Дефіцит вітаміну D під час пандемії COVID-19 і війни в Україні. *Біль. Суглоби. Хребет*. 2023;13(1):7-14. doi: 10.22141/pjs.13.1.2023.352.
160. Tai V, Leung W, Grey A, Reid IR, Bolland MJ. Calcium intake and bone mineral density: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2015 Sep 29;351:h4183. doi: 10.1136/bmj.h4183.
161. Bolland MJ, Leung W, Tai V, et al. Calcium intake and risk of fracture: systematic review. *BMJ*. 2015 Sep 29;351:h4580. doi: 10.1136/bmj.h4580.
162. Bolland MJ, Grey A, Avenell A. Effects of vitamin D supplementation on musculoskeletal health: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2018 Nov;6(11):847-858. doi: 10.1016/S2213-8587(18)30265-1.
163. Yao P, Bennett D, Mafham M, et al. Vitamin D and calcium for the prevention of fracture: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2019 Dec 2;2(12):e1917789. doi: 10.1001/jamanet-workopen.2019.17789.
164. Kong SH, Jang HN, Kim JH, Kim SW, Shin CS. Effect of vitamin D supplementation on risk of fractures and falls according to dosage and interval: a meta-analysis. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2022 Apr;37(2):344-358. doi: 10.3803/EnM.2021.1374.
165. Thanapluetiwong S, Chewcharat A, Takkavatakarn K, Praditpornsilpa K, Eiam-Ong S, Susantitaphong P. Vitamin D supplement on prevention of fall and fracture: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Aug 21;99(34):e21506. doi: 10.1097/MD.00000000000021506.
166. Zhao JG, Zeng XT, Wang J, Liu L. Association between calcium or vitamin D supplementation and fracture incidence in community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2017 Dec 26;318(24):2466-2482. doi: 10.1001/jama.2017.19344.
167. Weaver CM, Alexander DD, Boushey CJ, et al. Calcium plus vitamin D supplementation and risk of fractures: an updated meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *Osteoporos Int*. 2016 Jan;27(1):367-76. doi: 10.1007/s00198-015-3386-5.
168. Григор'єва Н.В., Тронько М.Д., Коваленко В.М. та ін. Діагностика, профілактика та лікування дефіциту вітаміну D у дорослих: Консенсус українських експертів. *Біль. Суглоби. Хребет*. 2023;13(2):60-76. doi: 10.22141/pjs.13.2.2023.368.
169. Sahni S, Mangano KM, Tucker KL, Kiel DP, Casey VA, Hannan MT. Protective association of milk intake on the risk

- of hip fracture: results from the Framingham Original Cohort. *J Bone Miner Res.* 2014 Aug;29(8):1756-62. doi: 10.1002/jbmr.2219.
170. Hidayat K, Du X, Shi BM, Qin LQ. Systematic review and meta-analysis of the association between dairy consumption and the risk of hip fracture: critical interpretation of the currently available evidence. *Osteoporos Int.* 2020 Aug;31(8):1411-1425. doi: 10.1007/s00198-020-05383-3.
171. Bian S, Hu J, Zhang K, Wang Y, Yu M, Ma J. Dairy product consumption and risk of hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health.* 2018 Jan 22;18(1):165. doi: 10.1186/s12889-018-5041-5.
172. Matía-Martín P, Torrego-Ellacuría M, Larrad-Sainz A, Fernández-Pérez C, Cuesta-Triana F, Rubio-Herrera MÁ. Effects of milk and dairy products on the prevention of osteoporosis and osteoporotic fractures in Europeans and Non-Hispanic whites from North America: a systematic review and updated meta-analysis. *Adv Nutr.* 2019 May 1;10(suppl\_2):S120-S143. doi: 10.1093/advances/nmy097.
173. Malmir H, Larijani B, Esmailzadeh A. Consumption of milk and dairy products and risk of osteoporosis and hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;60(10):1722-1737. doi: 10.1080/10408398.2019.1590800.
174. Shams-White MM, Chung M, Du M, et al. Dietary protein and bone health: a systematic review and meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *Am J Clin Nutr.* 2017 Jun;105(6):1528-1543. doi: 10.3945/ajcn.116.145110.
175. Wu AM, Sun XL, Lv QB, et al. The relationship between dietary protein consumption and risk of fracture: a subgroup and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Sci Rep.* 2015 Mar 16;5:9151. doi: 10.1038/srep09151.
176. Wallace TC, Frankenfeld CL. Dietary protein intake above the current RDA and bone health: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Nutr.* 2017 Aug;36(6):481-496. doi: 10.1080/07315724.2017.1322924.
177. Groenendijk I, den Boeft L, van Loon LJC, de Groot LCPGM. High versus low dietary protein intake and bone health in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Comput Struct Biotechnol J.* 2019 Jul 22;17:1101-1112. doi: 10.1016/j.csbj.2019.07.005.
178. Zeraattalab-Motlagh S, Mortazavi AS, Ghoreishy SM, Mohammadi H. Association between total and animal proteins with risk of fracture: A systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Osteoporos Int.* 2024 Jan;35(1):11-23. doi: 10.1007/s00198-023-06948-8.
179. Fung TT, Meyer HE, Willett WC, Feskanich D. Protein intake and risk of hip fractures in postmenopausal women and men age 50 and older. *Osteoporos Int.* 2017 Apr;28(4):1401-1411. doi: 10.1007/s00198-016-3898-7.
180. Rizzoli R, Biver E, Bonjour JP, et al. Benefits and safety of dietary protein for bone health: an expert consensus paper endorsed by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis, and Musculoskeletal Diseases and by the International Osteoporosis Foundation. *Osteoporos Int.* 2018 Sep;29(9):1933-1948. doi: 10.1007/s00198-018-4534-5.
181. Rinonapoli G, Ruggiero C, Meccariello L, Bisaccia M, Ceccarini P, Caraffa A. Osteoporosis in men: a review of an underestimated bone condition. *Int J Mol Sci.* 2021;22:2105. doi: 10.3390/ijms22042105.
182. Zhang Z, Kang D, Li H. The effects of testosterone on bone health in males with testosterone deficiency: a systematic review and meta-analysis. *BMC Endocr Disord.* 2020;20(1):33. doi: 10.1186/s12902-020-0509-6.
183. Corona G, Vena W, Pizzocaro A, et al. Testosterone supplementation and bone parameters: a systematic review and meta-analysis study. *J Endocrinol Invest.* 2022;45(5):911-926. doi: 10.1007/s40618-021-01702-5.
184. Kazahari H, Hoshiya H, Takahiko S, Ochiai R. The effectiveness and safety of testosterone replacement therapy in the musculoskeletal system of males with hypogonadism: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Question.* 2024;1(3):148-158. doi: 10.69854/jcq.2024.0018/.
185. Junjie W, Dongsheng H, Lei S, Hongzhuo L, Changying S. Testosterone replacement therapy has limited effect on increasing bone mass density in older men: a meta-analysis. *Curr Pharm Des.* 2019;25(1):73-84. doi: 10.2174/1381612825666190206223244.
186. Kanakis GA, Pofi R, Goulis DG, et al. EMAS position statement: Testosterone replacement therapy in older men. *Maturitas.* 2023 Dec;178:107854. doi: 10.1016/j.maturitas.2023.107854.
187. Oryan A, Sahviah S. Effects of bisphosphonates on osteoporosis: Focus on zoledronate. *Life Sci.* 2021 Jan 1;264:118681. doi: 10.1016/j.lfs.2020.118681.
188. Bellido T. Bisphosphonates for osteoporosis: from bench to clinic. *J Clin Invest.* 2024;134(6):e179942. doi: 10.1172/JCI179942.
189. Chen L, Wang G, Zheng F, Zhao H, Li H. Efficacy of bisphosphonates against osteoporosis in adult men: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Osteoporos Int.* 2015 Sep;26(9):2355-63. doi: 10.1007/s00198-015-3148-4.
190. Beaudart C, Demonceau C, Sabico S, et al. Efficacy of osteoporosis pharmacological treatments in men: a systematic review and meta-analysis. *Aging Clin Exp Res.* 2023 Sep;35(9):1789-1806. doi: 10.1007/s40520-023-02478-9.
191. Zhou J, Wang T, Zhao X, Miller DR, Zhai S. Comparative efficacy of bisphosphonates to prevent fracture in men with osteoporosis: a systematic review with network meta-analyses. *Rheumatol Ther.* 2016 Jun;3(1):117-128. doi: 10.1007/s40744-016-0030-6.
192. Al Lawati H, Al Busaidi S, Al Rawahi T, Al Lawati A, Kifah A, Das S. Alendronate for effective treatment of male osteoporosis: an insight. *Curr Pharm Des.* 2025;31(1):26-36. doi: 10.2174/0113816128310838240820065324.
193. Orwoll E, Ettinger M, Weiss S, et al. Alendronate for the treatment of osteoporosis in men. *N Engl J Med.* 2000 Aug 31;343(9):604-10. doi: 10.1056/NEJM200008313430902.
194. Xu Z. Alendronate for the treatment of osteoporosis in men: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Ther.* 2017 Mar/Apr;24(2):e130-e138. doi: 10.1097/MJT.0000000000000446.
195. McClung MR, Ebetino FH. History of risedronate. *Bone.* 2020 Aug;137:115407. doi: 10.1016/j.bone.2020.115407.
196. Boonen S, Orwoll ES, Wenderoth D, Stoner KJ, Eusebio R, Delmas PD. Once-weekly risedronate in men with osteoporosis: results of a 2-year, placebo-controlled, double-blind,

- multicenter study. *J Bone Miner Res.* 2009 Apr;24(4):719-25. doi: 10.1359/jbmr.081214.
197. Ringe JD, Farahmand P, Faber H, Dorst A. Sustained efficacy of risedronate in men with primary and secondary osteoporosis: results of a 2-year study. *Rheumatol Int.* 2009 Jan;29(3):311-5. doi: 10.1007/s00296-008-0689-2.
198. Orwoll ES, Binkley NC, Lewiecki EM, Gruntmanis U, Fries MA, Dasic G. Efficacy and safety of monthly ibandronate in men with low bone density. *Bone.* 2010;46:970-976. doi: 10.1016/j.bone.2009.12.034.
199. Boonen S, Reginster JY, Kaufman JM, et al. Fracture risk and zoledronic acid therapy in men with osteoporosis. *N Engl J Med.* 2012 Nov 1;367(18):1714-23. doi: 10.1056/NEJ-Moa1204061.
200. Singh M, Gonenandla GS. Bisphosphonate-Induced Osteonecrosis of the Jaws (BIONJ). *J Maxillofac Oral Surg.* 2020 Jun;19(2):162-167. doi: 10.1007/s12663-019-01211-2.
201. Khan AA, Morrison A, Hanley DA et al.; International Task Force on Osteonecrosis of the Jaw. Diagnosis and management of osteonecrosis of the jaw: a systematic review and international consensus. *J Bone Miner Res.* 2015 Jan;30(1):3-23. doi: 10.1002/jbmr.2405.
202. Larsen MS, Schmal H. The enigma of atypical femoral fractures: A summary of current knowledge. *EFORT Open Reviews.* 2018;3(9):494-500. doi: 10.1302/2058-5241.3.170070.
203. Gedmintas L, Solomon DH, Kim SC. Bisphosphonates and risk of subtrochanteric, femoral shaft, and atypical femur fracture: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Miner Res.* 2013 Aug;28(8):1729-37. doi: 10.1002/jbmr.1893.
204. Kendler DL, Cosman F, Stad RK, Ferrari S. Denosumab in the Treatment of Osteoporosis: 10 Years Later: A Narrative Review. *Adv Ther.* 2022 Jan;39(1):58-74. doi: 10.1007/s12325-021-01936-y.
205. Chapurlat R. Effects and management of denosumab discontinuation. *Joint Bone Spine.* 2018 Oct;85(5):515-517. doi: 10.1016/j.jbspin.2017.12.013.184.
206. Orwoll E, Teglbjerg CS, Langdahl BL, et al. A randomized, placebo-controlled study of the effects of denosumab for the treatment of men with low bone mineral density. *J Clin Endocrinol Metab.* 2012 Sep;97(9):3161-9. doi: 10.1210/jc.2012-1569.
207. Huang Z, Liao TC, Chuang AT, Shao SC, Lange J, Lin TC, et al. Denosumab and clinical outcomes among men with osteoporosis: a retrospective cohort study. *Osteoporos Int.* 2025 Mar;36(3):465-473. doi: 10.1007/s00198-024-07381-1.
208. Hauser B, Alonso N, Riches PL. Review of current real-world experience with teriparatide as treatment of osteoporosis in different patient groups. *Journal of Clinical Medicine.* 2021;10(7):1403. doi: 10.3390/jcm10071403.
209. Orwoll ES, Scheele WH, Paul S, et al. The effect of teriparatide [human parathyroid hormone (1-34)] therapy on bone density in men with osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 2003 Jan;18(1):9-17. doi: 10.1359/jbmr.2003.18.1.9.
210. Kaufman JM, Orwoll E, Goemaere S, et al. Teriparatide effects on vertebral fractures and bone mineral density in men with osteoporosis: treatment and discontinuation of therapy. *Osteoporos Int.* 2005 May;16(5):510-6. doi: 10.1007/s00198-004-1713-3.
211. Minisola S, Cipriani C, Grotta GD, et al. Update on the safety and efficacy of teriparatide in the treatment of osteoporosis. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2019 Oct 5;11:1759720X19877994. doi: 10.1177/1759720X19877994.
212. Czerwinski E, Cardona J, Plebanski R, et al. The Efficacy and Safety of Abaloparatide-SC in men with osteoporosis: a randomized clinical trial. *J Bone Miner Res.* 2022 Dec;37(12):2435-2442. doi: 10.1002/jbmr.4719.
213. Dhaliwal R, Kendler D, Saag K, et al. Response rates for lumbar spine, total hip, and femoral neck bone mineral density in men treated with abaloparatide: results from the ATOM study. *JBM Plus.* 2024 Jan 27;8(2):z1ae009. doi: 10.1093/jbmrpl/z1ae009.
214. Mäkinen VN, Sølling AS, McClung M, Langdahl BL. Romosozumab for the treatment of osteoporosis — a systematic review. *J Endocrinol Invest.* 2025 Mar;48(3):547-572. doi: 10.1007/s40618-024-02469-1.
215. Lewiecki EM, Blicharski T, Goemaere S, et al. A Phase III Randomized Placebo-Controlled Trial to Evaluate Efficacy and Safety of Romosozumab in Men With Osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab.* 2018 Sep 1;103(9):3183-3193. doi: 10.1210/jc.2017-02163.
216. Binkley N, Orwoll E, Chapurlat R, Langdahl BL, Scott BB, et al. Randomized, controlled trial to assess the safety and efficacy of odanacatib in the treatment of men with osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2021 Jan;32(1):173-184. doi: 10.1007/s00198-020-05701-9.
217. Chen R, Chen C, Geng B, et al. Efficacy and safety of odanacatib for osteoporosis treatment: a systematic review and meta-analysis. *Arch Osteoporos.* 2023 May 11;18(1):67. doi: 10.1007/s11657-023-01261-7.
218. Li N, Beaudart C, Cauley JA, et al. Cost-effectiveness analyses of interventions for osteoporosis in men: a systematic literature review. *Pharmacoeconomics.* 2023 Apr;41(4):363-391. doi: 10.1007/s40273-022-01239-2.
219. Chai SJ, Yu T, Wang GR, et al. The efficacy and safety of denosumab, risedronate, alendronate, and teriparatide to treat male osteoporosis: a systematic review and Bayesian network meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2025 Jun 19;16:1579101. doi: 10.3389/fendo.2025.1579101.
220. Dong A, Fei X, Huang Y, Huang Y. Efficacy of anti-osteoporosis treatment for men with osteoporosis: a meta-analysis. *J Bone Miner Metab.* 2023 Mar;41(2):258-267. doi: 10.1007/s00774-023-01407-0.
221. Nayak S, Greenspan SL. Osteoporosis treatment efficacy for men: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc.* 2017 Mar;65(3):490-495. doi: 10.1111/jgs.14668.
222. Lewiecki EM. Operationalizing Treat-to-Target for Osteoporosis. *Endocrinol Metab (Seoul).* 2021 Apr;36(2):270-278. doi: 10.3803/EnM.2021.970.
223. Foessel I, Dimai HP, Obermayer-Pietsch B. Long-term and sequential treatment for osteoporosis. *Nat Rev Endocrinol.* 2023 Jul 18. doi: 10.1038/s41574-023-00866-9.
224. Adler RA, El-Hajj Fuleihan G, et al. Managing osteoporosis in patients on long-term bisphosphonate treatment: report of a Task Force of the American Society for Bone and Mineral Research. *J Bone Miner Res.* 2016 Jan;31(1):16-35. doi: 10.1002/jbmr.2708.
225. Meier C, Uebelhart B, Aubry-Rozier B, et al. Osteoporosis drug treatment: duration and management after discontinuation. A position statement from the SVGO/ASCO.

Swiss Med Wkly. 2017 Aug 16;147:w14484. doi: 10.4414/smw.2017.14484.

226. Tai TW, Chen HY, Shih CA, et al. Asia-Pacific consensus on long-term and sequential therapy for osteoporosis. *Osteoporos Sarcopenia*. 2024 Mar;10(1):3-10. doi: 10.1016/j.afos.2024.02.001.

227. Díez-Pérez A, González-Macias J. Inadequate responders to osteoporosis treatment: proposal for an operational definition. *Osteoporos Int*. 2008 Nov;19(11):1511-6. doi: 10.1007/s00198-008-0659-2.

228. Wu CC, Chen PY, Wang SW, et al. Risk of fracture during androgen deprivation therapy among patients with prostate cancer: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Front Pharmacol*. 2021;12:652979. doi: 10.3389/fphar.2021.652979.

229. Lassemillante AC, Doi SA, Hooper JD, Prins JB, Wright OR. Prevalence of osteoporosis in prostate cancer survivors: a meta-analysis. *Endocrine*. 2014 Apr;45(3):370-81. doi: 10.1007/s12020-013-0083-z.

230. Lassemillante AC, Doi SA, Hooper JD, Prins JB, Wright OR. Prevalence of osteoporosis in prostate cancer survivors II: a meta-analysis of men not on androgen deprivation therapy. *Endocrine*. 2015 Nov;50(2):344-54. doi: 10.1007/s12020-015-0536-7.

231. Klotz LH, McNeill IY, Kebabdjian M, Zhang L, Chin JL; Canadian Urology Research Consortium. A phase 3, double-blind, randomised, parallel-group, placebo-controlled study of oral weekly alendronate for the prevention of androgen deprivation bone loss in nonmetastatic prostate cancer: the cancer and osteoporosis research with alendronate and leuprolide (CORAL) study. *Eur Urol*. 2013 May;63(5):927-35. doi: 10.1016/j.eururo.2012.09.007.

232. Choo R, Lukka H, Cheung P, et al. Randomized, double-blinded, placebo-controlled, trial of risedronate for the prevention of bone mineral density loss in nonmetastatic prostate cancer patients receiving radiation therapy plus androgen deprivation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2013 Apr 1;85(5):1239-45. doi: 10.1016/j.ijrobp.2012.11.007.

233. Smith MR, Eastham J, Gleason DM, Shasha D, Tchekmedyian S, Zinner N. Randomized controlled trial of zoledronic acid to prevent bone loss in men receiving androgen deprivation therapy for nonmetastatic prostate cancer. *J Urol*. 2003 Jun;169(6):2008-12. doi: 10.1097/01.ju.0000063820.94994.95.

234. Smith MR, Egerdie B, Hernández Toriz N, et al. Denosumab HALT Prostate Cancer Study Group. Denosumab in men receiving androgen-deprivation therapy for prostate cancer. *N Engl J Med*. 2009 Aug 20;361(8):745-55. doi: 10.1056/NEJMoa0809003.

235. Casado E, Borque-Fernando A, Caamaño M, Graña J, Muñoz-Rodríguez J, Morote J. Multidisciplinary consensus on the prevention and treatment of osteoporosis and fragility fractures in patients with prostate cancer receiving androgen-deprivation therapy. *World J Mens Health*. 2022 Jan;40(1):74-86. doi: 10.5534/wjmh.210061.

236. Hannaway N, Prichard R, Leaning D, Sahadevan K, Jiang XY. Guideline on management of bone health in men with prostate cancer. 2022. [https://northerncanceralliance.nhs.uk/wp-content/uploads/2022/12/NCA-Guidance-on-BPA-and-Prostate-Cancer-V4\\_UPLOADED-5-\\_12\\_22.pdf](https://northerncanceralliance.nhs.uk/wp-content/uploads/2022/12/NCA-Guidance-on-BPA-and-Prostate-Cancer-V4_UPLOADED-5-_12_22.pdf).

Отримано/Received 16.02.2026

Рецензовано/Revised 20.03.2026

Прийнято до друку/Accepted 10.04.2026

#### Information about authors

N.V. Grygorieva, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Pathology of Musculoskeletal system, State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; President of the Ukrainian Association of Osteoporosis; <https://orcid.org/0000-0002-4266-461X>

M.O. Korzh, MD, PhD, Professor, Honoured Worker of Science and Technology of Ukraine, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Physical and Rehabilitation Medicine of the Kharkiv National Medical University, Adviser at the directorate of the State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-0489-3104>

M.D. Tronko, MD, PhD, Professor, Academician of National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Director of the State Institution "V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Head of the Department of Endocrinology at the Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; President of the Association of Endocrinologists of Ukraine, President of the Ukrainian Diabetes Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7421-0981>

B.M. Mankovsky, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Director of the State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Head of the Department of Therapy, Age-Related Diseases and Diabetology at the Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-8289-3604>

R.I. Yatsyshyn, MD, PhD, Professor, Rector of Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-1262-5609>

I.Yu. Golovach, MD, PhD, Professor, Head of the Center for Rheumatology of Feofania Clinical Hospital of the State Administration of Affairs, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-6930-354X>

S.S. Strafun, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Deputy Director for scientific work of the State institution "Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; President of the All-Ukrainian Association of Orthopedics and Traumatologists; <https://orcid.org/0000-0001-8178-9290>

S.I. Smiyan, MD, PhD, Professor, Chief of 2nd Department of Internal Medicine of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-5543-9895>

Yu. M. Gurzhenko, MD, PhD, Professor, Chief Research Fellow of the Department of Sexopathology and Andrology, State Institution "Academician O.F. Vozyanov Institute of Urology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-9116-2157>

D.G. Rekalov, MD, PhD, Professor, Leading researcher of the State Institution "National scientific center "The M.D. Strazhesko Institute of Cardiology, Clinical and Regenerative Medicine, National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-5793-2322>

O.D. Nikitin, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Urology, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-6563-7008>

V.L. Orlenko, MD, PhD, Doctor of Medicine, Deputy director of the Institute for Scientific Work of the Clinic of the State Institution "V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-8400-576X>

G.O. Protosenko, MD, PhD, Professor, Chief Scientists of the Department of Non-coronary Heart diseases, Rheumatology and Therapy of the State Institution "National scientific center "The M.D. Strazhesko Institute of Cardiology, Clinical and Regenerative medicine National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; Head of the Republican Orphan Center, General Secretary of the Association of Rheumatologists of Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-9328-4839>

A.V. Kalashnikov, MD, PhD, Professor, Head of the Department for Trauma Injuries and Problems of Osteosynthesis, State Institution "The Institute of Traumatology and Orthopedics NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; President of Pan-Ukrainian Association of Traumatology and Osteosynthesis; <https://orcid.org/0000-0001-8092-3451>

V.Ye. Luchytskyi, MD, PhD, Doctor of Medicine, Senior Researcher, Head of the Department of Reproductive Endocrinology State Institution "V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-3515-3264>

A.S. Musienko, MD, PhD, Senior Research Fellow at the Department of Clinical Physiology and Pathology of the Musculoskeletal system, State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the NAMS Ukraine", Kyiv, Ukraine; Secretary of the Ukrainian Association of Osteoporosis; <https://orcid.org/0000-0002-1672-1991>

**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 work of the expert group was carried out with the support of the Ukrainian Association of Osteoporosis; the publication of the recommendations was approved by the Presidium of the Ukrainian Association of Osteoporosis.

**Authors' contribution.** N.V. Grygorieva, M.O. Korzh — development of the concept and design of the recommendations, member of the working and expert groups, formulation of the main provisions and their voting, writing and correcting the text; I.Yu. Golovach, S.I. Smiyan, D.G. Rekalov, A.S. Musiienko — member of the working and expert groups, formulation of the main provisions, writing and correcting the text; M.D. Tronko, B.M. Mankovsky, R.I. Yatsyshyn, S.S. Strafun, Yu.M. Gurzhenko, O.D. Nikitin, G.O. Protsenko, V.L. Orlenko, A.V. Kalashnikov, Luchytskyi V.Ye. — member of the expert group, voting on the main provisions, correcting the text.

N.V. Grygorieva<sup>1</sup>, M.O. Korzh<sup>2,3</sup>, M.D. Tronko<sup>4,5</sup>, B.M. Mankovsky<sup>1,5</sup>, R.I. Yatsyshyn<sup>6</sup>, I.Yu. Golovach<sup>7</sup>, S.S. Strafun<sup>8</sup>, S.I. Smiyan<sup>9</sup>, Yu.M. Gurzhenko<sup>10</sup>, D.G. Rekalov<sup>11</sup>, O.D. Nikitin<sup>12</sup>, V.L. Orlenko<sup>4</sup>, G.O. Protsenko<sup>11</sup>, A.V. Kalashnikov<sup>8</sup>, V.Ye. Luchytskyi<sup>4</sup>, A.S. Musiienko<sup>1</sup>, with the support of Ukrainian Association of Osteoporosis

<sup>1</sup>State Institution "D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

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

<sup>3</sup>Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

<sup>4</sup>State Institution "V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>5</sup>Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>6</sup>Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

<sup>7</sup>Feofaniya Clinical Hospital of the State Management of Affairs, Kyiv, Ukraine

<sup>8</sup>State Institution "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>9</sup>I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

<sup>10</sup>State Institution "Academician O. F. Vozyanov Institute of Urology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>11</sup>State Institution "National Scientific Center "M.D. Strazhesko Institute of Cardiology, Clinical and Regenerative Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>12</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

### Recommendations for the diagnosis, prevention and treatment of osteoporosis in men

**Abstract.** Data from modern literature sources indicate insufficient assessment, diagnosis and treatment of osteoporosis in men, which has negative medical and social consequences for society. The aim of this project was to create the first Ukrainian recommendations for the diagnosis, prevention and treatment of osteoporosis in men in order to improve the awareness of the medical community and increase the efficiency of medical care. To achieve this goal, a multidisciplinary expert group was created, which, based on a comprehensive analysis of modern literature sources and their assessment using the GRADE tool, formulated and successfully

voted on 19 statements regarding risk factors, screening, diagnosis, non-pharmacological and pharmacological treatment of osteoporosis in men. The authors proposed an algorithm for the management of osteoporosis in men depending on age and the risk of osteoporotic fractures. The statements of these recommendations are supported by the Ukrainian Association of Osteoporosis and are recommended for use at different levels of providing medical care by health professionals of various specialties.

**Keywords:** osteoporosis; men; recommendations; diagnosis; prevention; treatment



**AKSIMEД**  
КЛІНІКА СУЧАСНОЇ НЕВРОЛОГІЇ

# РЕАБІЛІТАЦІЯ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТІВ І ТРАВМ

НЕВРОЛОГІЧНА КЛІНІКА "АКСІМЕД"

ВУЛ. ТУМАНЯНА, 3 • AKSIMED.UA

(044) 390-00-55

20 РОКІВ  
ДОСВІДУ



САМОКОНТРОЛЬ МОЖЕ БУТИ КРИТИЧНО ВАЖЛИВИМ ДЛЯ ВАШОГО ЗДОРОВ'Я

— Симптоматичне лікування різних видів болю<sup>1-3</sup>

# Дексалгін®

декскетопрофену трометамол



## ШВИДКА та ЕФЕКТИВНА знеболювальна дія<sup>1-10</sup>



Інформація про рецептурні лікарські засоби для медичників і фармацевтичних працівників.

Перед застосуванням, будь ласка, обов'язково уважно ознайомтеся з повним текстом чинної інструкції для медичного застосування.

**Фармакотерапевтична група.** Нестероїдні протизапальні та протиревматичні засоби. Похідні пропіонової кислоти. Код АТХ M01A E17.

**Скорочена інструкція для медичного застосування ДЕКСАЛГІН® (DEXALGIN®)\***

**Склад:** 1 таблетка, вкрита плівковою оболонкою, містить декскетопрофену 25 мг. **Показання.** Симптоматичне лікування болю від легкого до помірного ступеня, наприклад, м'язово-скелетний біль, болючі менструації (дисменорея), зубний біль. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до будь-якого компонента препарату або до іншого НПЗЗ; стріччнення подібними речовинами або іншими НПЗЗ нападів бронхіальної астми, бронхоспазму, гострого риниту, розвитку поліпів у носі, кропив'янки або ангіоневротичного набряку; фотолергічні або фототоксичні реакції на кетопрофен або фібрати; кровотеча або перфорації у травному тракті в анамнезі або в активній фазі, пов'язані із застосуванням НПЗЗ; активна фаза або рецидивуючий перебіг виразкової хвороби; хронічна диспепсія; підвищена кровоточивість; хвороба Крона або неспецифічний виразковий коліт; тяжка серцева недостатність; помірна або тяжка порушення функції нирок; тяжке порушення функції печінки; порушення згортання крові; тяжка дегідратація; III тримістр вагітності та період годування груддю. **Спосіб застосування та дози.** Найменша ефективна доза повинна застосовуватися протягом найменшого часу, необхідного для усунення симптомів. Залежно від виду та інтенсивності болю рекомендована доза становить 12,5 мг кожні 4–6 годин або 25 мг кожні 8 годин. Добова доза – не більше 75 мг. Не передбачений для тривалої терапії; лікування триває, поки є симптоми. Таблетки приймають, запиваючи достатньою кількістю рідини, не менше ніж за 30 хвилин до їди. **Побічні реакції.** Часто: нудота та/або блювання, біль у животі, діарея, диспепсія. Безпека та ефективність застосування дітям віком до 18 років не встановлені. **Категорія відпуску.** За рецептом.

**Скорочена інструкція для медичного застосування ДЕКСАЛГІН® САШЕ (DEXALGIN® SACHET)\***

**Склад:** 1 ододозовий пакет містить декскетопрофену 25 мг. **Показання.** Короточасне симптоматичне лікування гострого болю від легкого до помірного ступеня тяжкості, наприклад, м'язово-скелетний біль, дисменорея та зубний біль. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до будь-якого компонента препарату або до іншого НПЗЗ; стріччнення подібними речовинами або іншими НПЗЗ нападів бронхіальної астми, бронхоспазму, гострого риниту, розвитку поліпів у носі, кропив'янки, ангіоневротичного набряку, фотолергічні або фототоксичні реакції на кетопрофен або фібрати; шлунково-кишкові кровотечі або перфорації в анамнезі, пов'язані із застосуванням НПЗЗ або виразковою хворобою; хронічна диспепсія; підвищена кровоточивість; хвороба Крона або неспецифічний виразковий коліт; тяжка серцева недостатність; помірна або тяжка порушення функції нирок; порушення функції печінки; порушення згортання крові; тяжка дегідратація; III тримістр вагітності та період годування груддю. **Спосіб застосування та дози.** Найменша ефективна доза повинна застосовуватися протягом найменшого часу, необхідного для усунення симптомів. Залежно від виду та інтенсивності болю рекомендована доза становить 25 мг кожні 8 годин. Добова доза – не більше 75 мг. Розчинити вміст 1 пакету у скляній воді. **Побічні реакції.** Часто: нудота та/або блювання, біль у животі, діарея, диспепсія. Безпека та ефективність застосування дітям віком до 18 років не встановлені. **Категорія відпуску.** За рецептом.

**Скорочена інструкція для медичного застосування ДЕКСАЛГІН® ІН'ЄКТ (DEXALGIN® INJECT)\***

**Склад:** 1 мл розчину для ін'єкцій/інфузій містить декскетопрофену 25 мг. **Показання.** Симптоматичне лікування гострого болю середньої або високої інтенсивності у випадках, коли пероральне застосування препарату нецільове, наприклад, при післяопераційних болях, ниркових коліках та болю у попереку. **Протипоказання.** Підвищена чутливість до будь-якого компонента препарату або до іншого НПЗЗ; стріччнення подібними речовинами або іншими НПЗЗ нападів бронхіальної астми, бронхоспазму, гострого риниту, розвитку поліпів у носі, кропив'янки або ангіоневротичного набряку; фотолергічні або фототоксичні реакції на кетопрофен або фібрати; шлунково-кишкові кровотечі або перфорації в анамнезі, пов'язані із застосуванням НПЗЗ; печінка виразка або кровотеча в активній фазі; хронічна диспепсія; хвороба Крона або неспецифічний виразковий коліт; тяжка серцева недостатність; порушення функції нирок середнього або тяжкого ступеня; тяжке порушення функції печінки; порушення згортання крові; виражена дегідратація; III тримістр вагітності та період годування груддю; неінтратекальне (інтратекальне або епідуральне) введення. **Спосіб застосування та дози.** Вміст однієї ампули (2 мл) повільно вводити глибоко в м'язи. Для внутрішньовенної інфузії вміст ампули 2 мл розвести у 30–100 мл 0,9% розчину хлориду натрію або Рінгера лактату. Інфузію проводити повільно протягом 10–30 хвилин. При необхідності вміст однієї ампули (2 мл) вводити внутрішньовенно повільно протягом не менше 15 секунд. **Побічні реакції.** Часто: нудота та/або блювання, біль у місці ін'єкції, реакції у місці ін'єкції, у т.ч. запалення, гематома, кровотеча. Безпека та ефективність застосування дітям віком до 18 років не встановлені. **Категорія відпуску.** За рецептом.

<sup>1</sup> Інструкція для медичного застосування лікарського засобу ДЕКСАЛГІН®, РП No UA/9258/01/01, дата останнього перегляду 03.03.2023. <sup>2</sup> Інструкція для медичного застосування лікарського засобу ДЕКСАЛГІН® САШЕ, РП No UA/9258/02/01, дата останнього перегляду 03.03.2023. <sup>3</sup> Інструкція для медичного застосування лікарського засобу ДЕКСАЛГІН® ІН'ЄКТ, РП No UA/3764/01/01, дата останнього перегляду 18.10.2023. <sup>4</sup> Sanchez-Carpes J, et al. Comparison of dexketoprofen trometamol and dipyrone in the treatment of renal colic. Clin Drug Invest 2003, 23:139–152. <sup>5</sup> Barbanof MJ, et al. Clinical pharmacokinetics of dexketoprofen. Clin Pharmacokinet 2001, 40:245–262. <sup>6</sup> Marenco 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. <sup>7</sup> Metscher B, et al. Dexketoprofen-trometamol and tramadol in acute lumbago. Fortschr Med Orig 2001, 118:147–151. <sup>8</sup> 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. <sup>9</sup> 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. <sup>10</sup> Karanam 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):47–52.