



TERRA ORTHOPAEDICA

2

129 | 2026

український науково-практичний журнал

ДУ "ІНСТИТУТ ТРАВМАТОЛОГІЇ
ТА ОРТОПЕДІЇ НАМН УКРАЇНИ"

SI «Institute of Traumatology
and Orthopedics of NAMS of Ukraine»

TERRA ORTHOPAEDICA

Ukrainian Journal of Research and Practice
Est. October 1999 as
«HERALD OF ORTHOPEDICS,
TRAUMATOLOGY AND PROSTHETICS»
(until 2022 inclusive)
Published 4 times a year

2 (129) – 2026

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief A.P. Liabakh

M.L. Ankin (Kyiv, Ukraine)
O.A. Bur'yanov (Kyiv, Ukraine)
V.V. Filipchuk (Kyiv, Ukraine)
V.A. Filipenko (Kharkiv, Ukraine)
M.P. Grytsay (Kyiv, Ukraine)
M.O. Korzh (Kharkiv, Ukraine)
A.F. Levytskyi (Kyiv, Ukraine)
J.A. Nyland (Louisville, USA)
T.M. Omelchenko (Kyiv, Ukraine)
S.S. Strafun (Kyiv, Ukraine)
R. Smigielski (Warsaw, Poland)
I.M. Zazirnyi (Kyiv, Ukraine)

Terra Orthopaedica
<http://visnyk.uaot.com.ua>
Bulvarno-Kudriavska St., 27,
Kyiv, Ukraine 01601
Tel/Fax: +38 (044) 486-66-28

ДУ «Інститут травматології
та ортопедії НАМН України»

TERRA ORTHOPAEDICA

УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
Заснований у жовтні 1999 р. як
«ВІСНИК ОРТОПЕДІЇ,
ТРАВМАТОЛОГІЇ ТА ПРОТЕЗУВАННЯ»
(до 2022 року включно)
Видається 4 рази на рік

2 (129) – 2026

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор А.П. Лябах

М.Л. Анкін (Київ)
О.А. Бур'янов (Київ)
М.П. Грицай (Київ)
І.М. Зазірний (Київ)
М.О. Корж (Харків)
А.Ф. Левицький (Київ)
Д.А. Найланд (Луїсвіль, США)
Т.М. Омельченко (Київ)
С.С. Страфун (Київ)
В.А. Філіпенко (Харків)
Р. Шмігельський (Варшава)
В.В. Філіпчук (Київ)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
«Terra Orthopaedica»: серія КВ № 25385-15325 ПР від 11.01.2023 р.
Журнал внесено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть
публікуватися результати дисертаційних робіт у галузі медичних наук
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 1188 від 24.09.2020
(зі змінами від 21.02.2024 №220).

Адреса редакції: 01601, Україна, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.
Тел.: (044) 486-42-49, 486-60-65, тел./факс: (044) 486-66-28,
e-mail: terraorthopaedica@gmail.com.
Веб-сайт журналу: <http://visnyk.uaot.com.ua>.

Редакція залишає за собою право редагувати подані матеріали.
Затверджено до друку рішенням редколегії від 14.08.2026 р.

© Журнал «Terra Orthopaedica», 2026



ЗМІСТ

ОРИГІНАЛЬНІ ПУБЛІКАЦІЇ

Перший досвід застосування інфрачервоної термографії для оцінки життєздатності кісткової тканини при вогнепальних переломах кінцівок суглобової та білясуглобової локалізації
Хорошун Е.М., Панасенко С.І., Клапчук Ю.В., Негодуйко В.В. 4

Порівняльне визначення чутливості мультирезистентних клінічних штамів бактерій групи ESKAPE до продуктів біодеградації сплавів MZZ-P та MZZ-MB
Мовчан О.С., Котелюх Б.А., Кирик Д.Л. 16

Shockwave Therapy After Lavage in Gartner Type II Calcific Rotator Cuff Tendinopathy
Biliavskiy V.O., Strafun O.S. 24

Результати хірургічного лікування хворих з ротаторною артропатією другої стадії за Хамада
Страфун С.С., Богдан С.В., Шишка І.В., Сергієнко Р.О., Гофман М.П. 33

Рівень професійного вигорання ортопедів-травматологів під час війни. Український досвід
Тимошенко С.В., Слабко А.В. 41

ПРАКТИКУЮЧОМУ ЛІКАРЮ

Вогнепальні ураження периферичних нервів кінцівок. Особливості діагностика та лікування (методичні рекомендації)
Страфун С.С., Лисак А.С., Курінний І.М., Гайович В.В., Кулик Ю.А. 51

ORIGINAL PUBLICATIONS

Initial Experience with Infrared Thermography for Assessing Bone Tissue Viability in Gunshot Fractures of the Extremities Involving Articular and Periarticular Regions
Khoroshun E.M., Panasenko S.I., Klapchuk Yu.V., Nehoduiko V.V. 4

Comparative Assessment of the Susceptibility of Multidrug-Resistant Clinical ESKAPE Bacterial Strains to the Biodegradation Products of MZZ-P and MZZ-MB Alloys
Movchan O.S., Koteliukh B.A., Kyryk D.L. 16

Ударно-хвильова терапія після лаважу при кальцифікуючій тендинопатії плеча II типу за Gartner
Білявський В.О., Страфун О.С. 24

Results of Surgical Treatment of Patients with Stage II Rotator Cuff Arthropathy According to Hamada
Strafun S.S., Bohdan S.V., Shyshka I.V., Serhienko R.O., Hofman M.P. 33

Professional Burnout Among Orthopedic Surgeons During Wartime: The Ukrainian Experience
Tymoshenko S.V., Slabko A.V. 41

TO A PRACTICING PHYSICIAN

Gunshot Injuries of the Peripheral Nerves of the Extremities: Features of Diagnosis and Treatment (Methodological Recommendations)
Strafun S.S., Lysak A.S., Kurinnyi I.M., Haiovych V.V., Kulyk Yu.A. 51

ПАМ'ЯТНІ ДАТИ

MEMORABLE DATES

**90 років професійного розвитку:
ювілейний пленум Української асоціації
ортопедів-травматологів 66**

**Умови публікації в журналі
«TERRA ORTHOPAEDICA» 68**

**Conditions of publication in the journal
«TERRA ORTHOPAEDICA» 68**

Перший досвід застосування інфрачервоної термографії для оцінки життєздатності кісткової тканини при вогнепальних переломах кінцівок суглобової та навколосуглобової локалізації

Хорошун Е. М.^{1,2}, Панасенко С.І.^{1,3}, Клатчук Ю.В.^{1,2}✉, Негодуйко В.В.^{1,2}

Вступ. Інфрачервона термографія (ІЧТ) широко використовується в ортопедії, травматології, в діагностиці та лікуванні судинних захворювань, діагностиці та оцінці формування запального процесу [12]. Сучасні наукові джерела інформації не містять робіт, присвячених питанням визначення життєздатності кісткової тканини при бойовій травмі шляхом ІЧТ; вони переважно орієнтовані на оцінку перфузії та меж некрозу м'якотканинних ушкоджень, а також на раннє виявлення інфекційного запалення [2, 7, 9, 12]. **Мета.** Оцінити діагностичну спроможність ІЧТ, як методу інтраопераційного визначення життєздатності кісткової тканини при навколосуглобових вогнепальних переломах із наявними кістковими та м'якотканинними дефектами. **Матеріали та методи.** Сформовано вибірку з 10 клінічних випадків вогнепальних багатоуламкових переломів навколосуглобової локалізації з формуванням первинного дефекту кістки і м'яких тканин. Термографію проводили за допомогою портативної камери FLIR C5 (FLIR Systems, USA). Для прогнозування життєздатності кісткового фрагмента брали до уваги центральну температуру, градієнт температур (ΔT), bleeding test та наявність холодних зон. **Результати.** За результатами дослідження, у 72% випадків ІЧТ дозволила диференціювати життєздатні ділянки кістки від аваскулярних фрагментів, що дало змогу зберегти кісткові структури та провести первинну пластику. У 28% випадків виявлено приховані зони некрозу ($\Delta T > 4,0^\circ\text{C}$), що стало підставою для обмеженої чи радикальної резекції нежиттєздатних уламків та дозволило уникнути розвитку хронічного остеомієліту у відтермінований період. **Висновки.** ІЧТ показала свою ефективність під час оцінки змін життєздатності кісткових фрагментів з часом. Перший досвід застосування інфрачервоної термографії для визначення життєздатності кісткової тканини при вогнепальних переломах навколосуглобової локалізації засвідчує підвищення ефективності інтраопераційного хірургічного планування об'єму оперативного втручання та обумовлює стійку тенденцію до покращення результатів лікування пацієнтів із складною бойовою травмою суглобів.

Ключові слова: бойова ортопедична травма, вогнепальний перелом кістки, поранення суглоба, інфрачервона термографія, «bleeding test», некроз кістки.

Вступ

Неспровокована агресія проти суверенної України та злочинні методи ведення війни супротивником поставили перед вітчизняною ортопедією і травматологією нові виклики, що характеризуються безпрецедентними кількісними і якісними показниками сучасної бойової хірургічної травми.

Негативна динаміка структури бойової ортопедичної травми останніх років характеризується збільшенням питомої ваги вогнепальних переломів з формуванням первинних дефектів кісток та численних кісткових фрагментів [10]. Подібна бойова ортопедична травма сама по собі має потенційно інвалідизуючий характер, проте об'єм кісткової тканини, що видаляється при хірургічній обробці, виступає вагомим чинником впливу на ступінь інвалідизації та може бути причиною ампутації кінцівки [5]. У цьому контексті пошук і розробка методів визначення життєздатності кісткової тканини для визначення об'єму її резекції при

✉ Клатчук Ю.В., klapchuks@gmail.com

¹ Військово-медичний клінічний центр Північного регіону КМС ЗС України, Україна, Харків

² Харківський національний медичний університет, Україна, Харків

³ Полтавський державний медичний університет, Україна, Полтава

хірургічній обробці вогнепальних переломів набуває актуального значення. Особливої ваги вона набуває при суглобових та навколосуглобових локалізаціях переломів, де збереження суглобової поверхні є важливим для досягнення конгруентності суглобу та раннього відновлення рухів задля покращення результатів лікування. Переважна більшість хірургів та травматологів під час прийняття рішення щодо резекції кістки орієнтуються лише на результатах клінічних даних без використання об'єктивних методів діагностики.

Одним із перспективних методів визначення життєздатності тканин при бойовій травмі є інфрачервона термографія (ІЧТ). Результати дослідження Sobko I.V. (2024) щодо застосування ІЧТ при бойовій травмі живота показали, що за характером термопрофілю можна виявляти нежиттєздатні тканини та межі некрозу паренхіматозних органів. Такий підхід дозволив оцінювати наявність кровопостачання в окремих ділянках тканин і органів, констатувати наявність мікроциркуляторних порушень та встановлювати межу резекції під час хірургічної обробки [11].

Інфрачервона термографія – це безконтактний метод вимірювання температури поверхні, що відображає стан локального кровообігу та пов'язаний з ним рівень теплообміну тканин. Вона широко використовується в судинній хірургії, ортопедії, травматології, діагностиці та оцінці формування запального процесу [12]. Наукові публікації присвячені визначенню життєздатності тканин при вогнепальних переломах у ділянці великих суглобів мають спорадичний характер. Окремі автори зазначають, що дані ІЧТ давали можливість виявити нежиттєздатні тканини, які підлягали видаленню та оцінити життєздатність переміщених клаптів після закриття дефектів м'яких тканин суглобових локалізацій [10]. Auf der Strasse W. та співавт. (2021) з'ясували, що зміни локальної температури тісно корелюють зі змінами кровопостачання, запаленням чи затримкою загоєння, і можуть доповнювати традиційні променеві методи діагностики під час спостереження за остеогенезом у процесі моніторингу загоєння тяжких переломів великогомілкової кістки [1].

Сучасні наукові джерела інформації не містять робіт, присвячених питанням визначення життєздатності кісткової тканини при бойовій травмі шляхом ІЧТ. Існуючі публікації фокусуються переважно на оцінці перфузії та меж некрозу м'якотканинних ушкоджень, а також застосуванні методу для раннього виявлення інфекційного запалення [2, 7, 9, 12].

Мета роботи: оцінити діагностичну спроможність ІЧТ як методу інтраопераційного визначен-

ня життєздатності кісткової тканини в ділянках суглобових і навколосуглобових вогнепальних переломів з наявними кістковими та м'якотканинними дефектами.

Матеріали і методи

Із загального дослідницького масиву сформовано вибірку з 10 клінічних випадків вогнепальних багатоуламкових переломів з проникненням у великі суглоби або навколосуглобовою локалізацією з формуванням первинного дефекту кістки і м'яких тканин. Всі пацієнти проходили лікування у травматологічному відділенні клініки ушкоджень ВМКЦ ПнР та були чоловічої статі, середній вік становив $38,2 \pm 3,2$ роки.

Критерії включення до дослідницької вибірки: наявний вогнепальний перелом суглобової та навколосуглобової локалізації з дефектом м'якої та кісткової структури верхньої та нижньої кінцівок. Критерії виключення: вогнепальний перелом суглобової та навколосуглобової локалізації без дефекту м'яких тканин, вогнепальний перелом на рівні діафіза верхньої та нижньої кінцівок, закриті переломи кінцівок.

Усі пацієнти попередньо отримували медичну допомогу на рівні Role 2 у регламентованому обсязі: мультимодальне знеболення, первинна хірургічна обробка (ПХО) ран з тимчасовим закриттям ранових дефектів стерильними пов'язками, фіксація ушкодженого суглоба стрижневим апаратом зовнішньої фіксації (АЗФ), профілактика ранової інфекції за допомогою антибактеріального препарату групи цефазоліну 1,0 г.

Надалі після стабілізації стану пацієнтів евакуювали на рівень Role 3. У ВМКЦ ПнР усі пацієнти проходили регламентоване комплексне фізикальне, клініко-лабораторне та інструментально-променеве ургентне обстеження і госпіталізувалися у профільне відділення відповідно до домінуючого ушкодження.

У плановому порядку всім пацієнтам, які мали проникаюче поранення ділянки великого суглоба, проводилися загальноклінічні та лабораторні методи дослідження, рентгенографія, спіральна комп'ютерна томографія (СКТ) для оцінки ступеня та характеру пошкодження кістки. Для класифікації кісткового дефекту навколосуглобової та суглобової локалізації використовували класифікацію кісткових дефектів Burianov O. та співавт. (2024) [3]. Дефекти м'яких тканин стратифікували за Ferreira N. і Tanwar Y. S. (2020) [4].

Після обстеження хворого в умовах операційної проводилася хірургічна обробка, під час якої

здійснювали ревізію рани, фасціотомію, туалет розчином декскетпрофену трометамолу та фізіологічним розчином згідно із сучасними настановами [6]. Після осушення кістки стерильними серветками проводили ІЧТ за допомогою портативного професійного тепловізора (термографа) FLIR C5 (FLIR Systems, USA). Це пристрій, який фіксує інфрачервоне випромінювання від об'єктів та перетворює його на видиме зображення, де різні кольори відповідають різним температурам. Дана модель має функцію MSX (Multi-Spectral Dynamic Imaging), тобто тепловізор накладає контури об'єктів зі звичайної камери на теплове зображення, що значно полегшує ідентифікацію окремих деталей під час обстеження. Дистанційну спектральну ІЧТ виконували у стандартних умовах при температурі приміщення 21-23 °С. Вимірювання здійснювали з відстані 20 см під кутом 90° до поверхні досліджуваної ділянки. Для аналізу використовували програмне забезпечення FLIR Tools із визначенням центральної температури зони кісткового уламку, мінімальної, максимальної температури в зоні інтересу (ROI) та температурний градієнт. Статистичну обробку проводили з використанням пакету SPSS 26.0.

Прийняття рішення стосовно резекції кістки, збереження чи видалення кісткового уламку проводилося комплексно на підставі аналізу даних клінічної картини, тесту на кровоточивість (bleeding test) та показників ІЧТ.

Результати та їх обговорення

Проведено 14 сеансів ІЧТ у 10 пацієнтів з використанням термографа Flir C5, при яких визначали наступні температурні параметри: центральна температура (зона кісткового уламка), максималь-

на температура, периферична температура, наявність чи відсутність гіпотермічних (холодових) зон та температурний градієнт.

Практичне виконання комплексної оцінки життєздатності кісткової тканини та інтерпретацію отриманих даних представлено наступними клінічними прикладами.

Пацієнт №1 (рис. 1) із вогнепальним переломом дистального метафізу великогомілкової кістки з формуванням кісткового дефекту класу В3. При ІЧТ центральна температура дистального уламку склала 33,0 °С, периферична – 34,6 °С. Температурний градієнт склав 1,6 °С. Холодові зони на термограмі відсутні.

Відносно підвищена температура у центрі свідчить про наявність локальної перфузії, активний метаболізм тканин та відсутність аваскулярного некрозу, що може вказувати на життєздатну зону із частково збереженим кровопостачанням. Перидефектна зона характеризувалася вищою температурою – 34,6 °С, що вказує на реактивну гіперемію та активний ангіогенез; це типово для репаративної фази та на нашу думку, є позитивним прогностичним маркером для кісткової реконструкції. Слід зазначити відсутність холодної «мертвої» зони, тобто чіткої гіпотермічної ділянки (<28–29 °С), що характерно для секвестру або повного некрозу. Враховуючи клінічні дані, позитивний bleeding test та термографічні показники, резекція кістки не проводилася, оскільки вона була розцінена як життєздатна. Надалі було проведено етапне хірургічне втручання: заміщення кісткового дефекту антибактеріальним цементним спейсером із пластикою дефекту м'яких тканин суральним клаптом.

Пацієнт №2 (рис. 2) із вогнепальним переломом верхньої третини діафіза лівої стегнової кістки та сегментарним кістковим дефектом. При ІЧТ відмічається центральна температура 22,2 °С, що

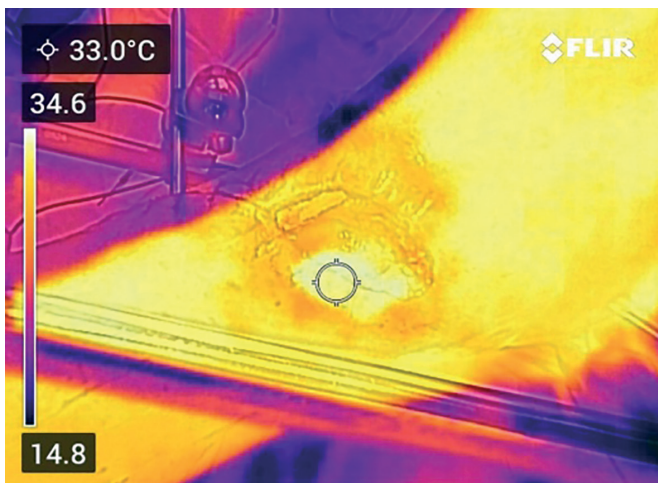


Рис. 1. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин ділянки гомілково-стопного суглобу та кісткових структур дистального метафізу великогомілкової кістки правої гомілки.

характеризується слабкою термічною активністю та може бути проявом зниженого або критично порушеного кровопостачання. Це типово для ішемізованої кістки або початкових проявів аваскулярного некротичного процесу.

Наявна гіпотермічна ділянка (16–18 °C) темно-синього кольору характерна для критичного зниження мікроциркуляції, ймовірно формування некрозу та секвестрації. Ця ділянка з високою вірогідністю має підлягати резекції. Периферична гіпертермія (25–26 °C) вказує на збережену судинну реакцію та спроможність організму до регенерації. Враховуючи клінічні дані, негативний «bleeding test» та дані термографічного профілю, була проведена резекція краю дистального фрагменту стегнової кістки довжиною 3,8 см до появи позитивного «bleeding test». У подальшому проведено заміщення кісткового дефекту антибактеріальним цементним спейсером з фіксацією стрижневим АЗФ таз-стегно.

Пацієнт №3 (рис. 3) із вогнепальним внутрішньосуглобовим багатоуламковим переломом проксимального епіметафізу правої великогомілкової кістки та формуванням дефекту м'яких тканин і кісткової структури. Температура кісткового уламка склала 26,2 °C, і він має температурний градієнт 2,1 °C, що відповідає ознакам збереженої або частково збереженої життєздатності. Враховуючи клінічні дані, позитивний «bleeding test» та дані термографічного профілю, резекція краю кісткового уламка великогомілкової кістки не проводилася.

Пацієнт №4 (рис. 4) із вогнепальним багатоуламковим переломом великогомілкової кістки правої гомілки в області верхньої та середньої третини з формуванням дефекту м'яких тканин та кісткової тканини. Температура центральної зони склала 31 °C з діапазоном 19,1–33,4 °C. Периферична температура 33 °C. Температурний градієнт 2 °C. Кістковий уламок демонструє відсутність чіткої холодної зони, що відповідає ознакам збереженої

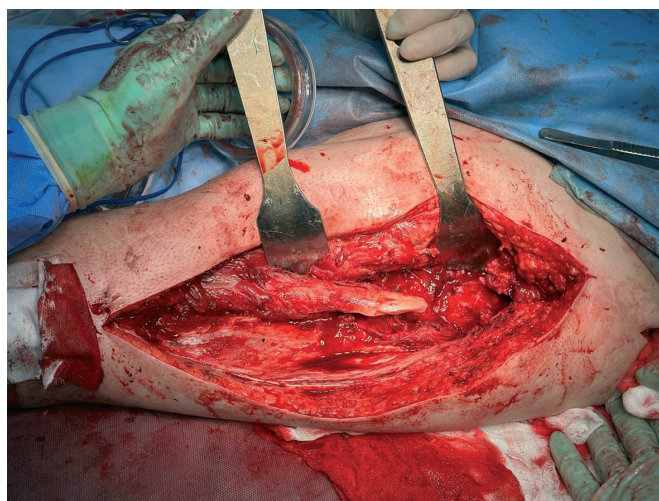
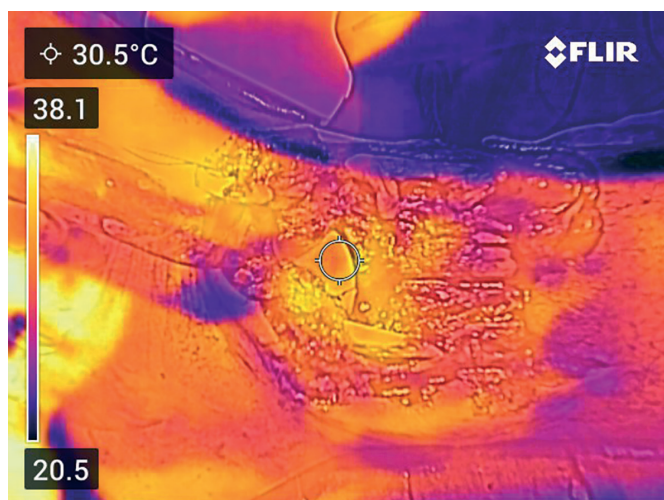


Рис. 2. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин ділянки верхньої третини стегна та кісткових структур проксимального метафізу стегнової кістки.

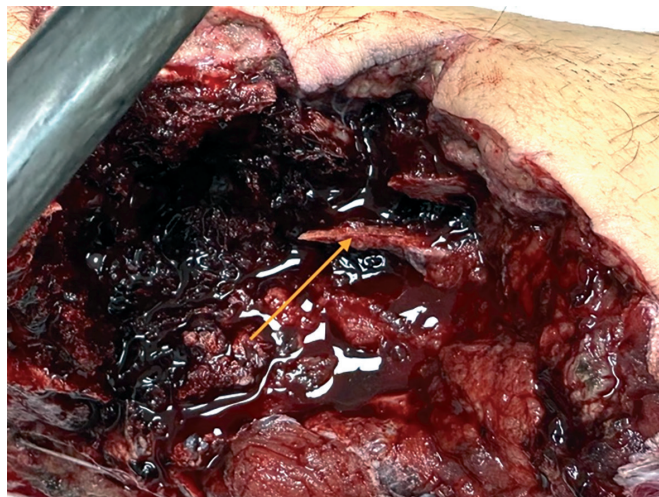
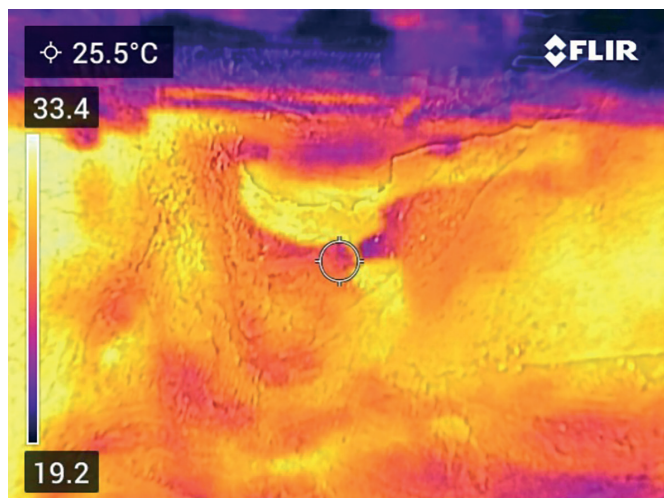


Рис. 3. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин ділянки верхньої третини гомілки та кісткових структур проксимального метафізу великогомілкової кістки правої гомілки.

або частково збереженої життєздатності. Враховуючи клінічні дані, позитивний «bleeding test» та дані термографічного профілю, резекція краю фрагменту кісткового уламку великогомілкової кістки не проводилася. У подальшому пацієнт був евакуйований на IV рівень надання медичної допомоги.

Пацієнт №5 (рис. 5.1, 5.2) із наскрізним пораненням лівого гомілково-стопного суглоба та стопи з уламковим переломом зовнішньої кісточки, крайовим переломом таранної та п'яткової кісток зі зміщенням, багатоуламковим переломом кубоподібної кістки та основи V плесневої кістки зі зміщенням, кістковими дефектами та масивним дефектом м'яких тканин передньо-зовнішньої поверхні гомілково-стопного суглоба. Проведено ІЧТ блока таранної кістки через 48 годин після поранення (рис. 5.1).

Згідно з даними термограми температура цент-

ральної зони склала 29,8 °С з діапазоном 34,6–21,8 °С. Відмічається помірне зниження температури центральної частини блоку таранної кістки. Температура периферії складає 33,8°С. Температурний градієнт – «центр-периферія» склав 4 градуси, що свідчить про порушення мікроциркуляції та високу ймовірність формування аваскулярного некрозу. Враховуючи отримані дані через 2 доби проведено повторну термографію таранної кістки для оцінки її життєздатності (рис. 5.2).

Згідно з даними термограми температура центральної зони склала 27,2 °С, що на 2,6° С менше, ніж два дні тому. Діапазон температур склав 34,6–17,7 °С. Тобто відмічається помірне зниження температури центральної частини блоку таранної кістки з 29,8 °С до 27,2 °С. Температура периферії складає 34,2 °С. Температурний градієнт склав 7 градусів. Зберігається типовий термографічний патерн ішемічного фрагменту з перифокальною

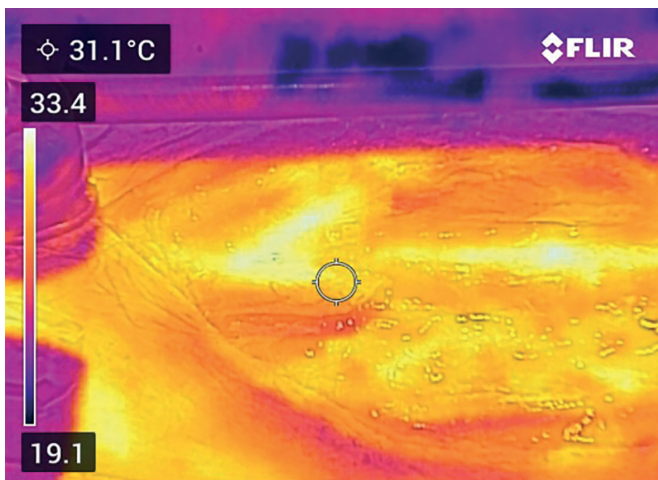


Рис. 4. Термограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур верхньої третини правої гомілки.

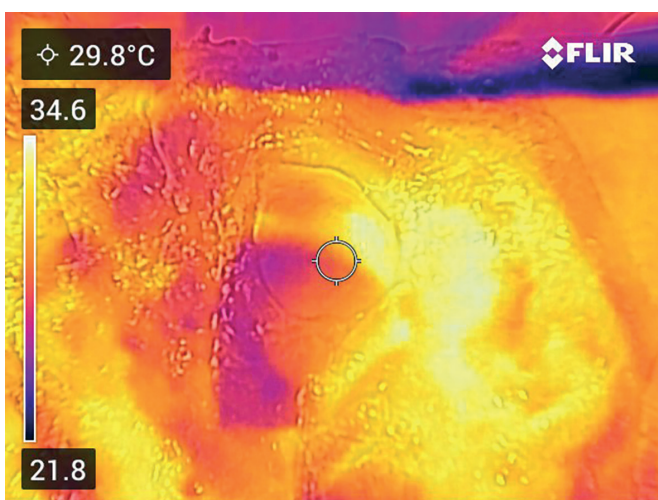


Рис. 5.1. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур лівого гомілково-стопного суглоба

реактивною гіперемією, що свідчить про значне порушення мікроциркуляції та високу ймовірність формування аваскулярного некрозу. Крім того, відмічається макроскопічне прогресування некрозу блоку таранної кістки у вигляді потемніння суглобового хряща, що свідчить про незворотні зміни. Для подальшого лікування пацієнт евакуйований на IV рівень надання медичної допомоги. Згодом пацієнту було проведено видалення частини нежиттєздатної таранної кістки на фоні прогресування її некрозу.

Пацієнт №6 (рис. 6.1, 6.2, 6.3) із вогнепальним проникаючим пораненням лівого ліктьового суглоба з багатоуламковим внутрішньо-суглобовим переломом нижньої третини плечової кістки, верхньої третини ліктьової кістки та голівки променевої кістки з масивним дефектом м'яких тканин і кісткової структури. Проведено ІЧТ ушкодженої голівки променевої кістки (рис. 6.1).

Згідно зі шкалою показників тепловізора максимальна температура – 35,2 °С, у центральній зоні вимірювання – 25,4 °С. Периферична зона – 33 °С. Температурний градієнт становить 7,6 °С, що є патологічним для життєздатних тканин. Центральна зона (чітка «холодна зона»), що свідчить про відсутність адекватної перфузії, порушення мікроциркуляції або некротичний процес. Спираючись на термографічні показники та негативний bleeding test проведено резекцію голівки променевої кістки з повторною термографією та порівняльним аналізом (рис. 6.2).

За даними тепловізора FLIR температура в центральній точці вимірювання (проксимальна ділянка променевої кістки після резекції) склала 29,7 °С. Максимальна температура поля: 34,7 °С, Мінімальна температура: 19,0 °С. Периферична зона – 33 °С. Температурний градієнт між зоною

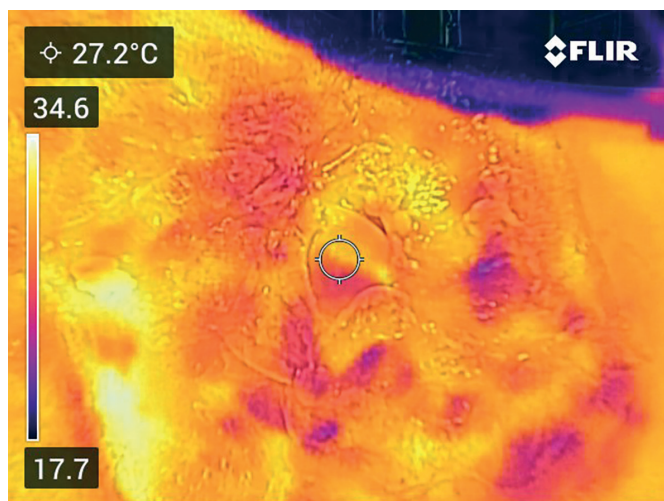


Рис. 5.2. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин і кісткових структур лівого гомілково-стопного суглоба через 2 доби після первинної термографії, де відмічається прогресування некрозу блоку таранної кістки.

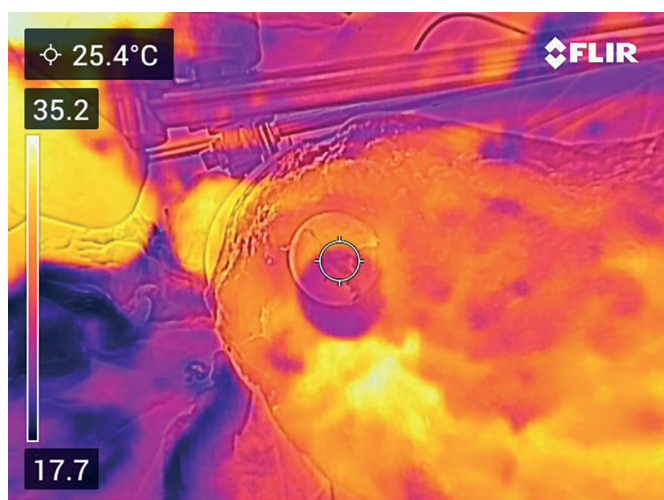


Рис. 6.1. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур ділянки лівого ліктьового суглоба та нижньо-середньої третини плеча. Зона інтересу – голівка променевої кістки.

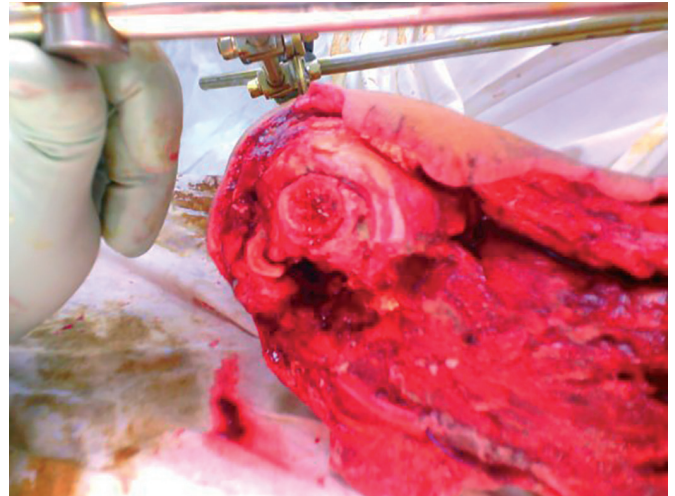
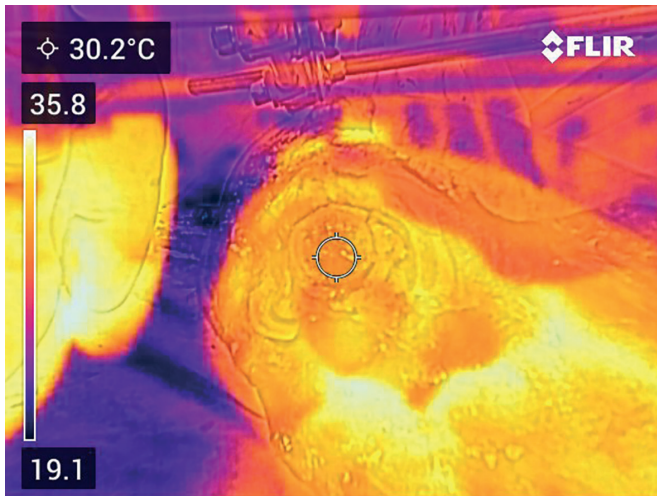


Рис. 6.2. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур ділянки лівого ліктьового суглоба та нижньо-середньої третини плеча. Зона інтересу – проксимальний відділ променевої кістки після резекції голівки променевої кістки

вимірювання та периферичною зоною покращився та склав 3,3 °С. Термографічне дослідження після резекції голівки променевої кістки демонструє підвищення температури проксимального відділу променевої кістки з 25,4 °С до 29,7 °С, зменшення температурного градієнта з 7,6 °С до 3,3 °С та більш рівномірний розподіл теплового поля. Це свідчить про покращення мікроциркуляції та збереження життєздатності проксимального відділу променевої кістки після резекції некротизованої голівки. Хворому проводилися етапні хірургічні обробки з використанням NPWT. Через 10 днів проведено контрольну термографію проксимального кінця променевої кістки для визначення її життєздатності. Після очищення та позитивного bleeding test проведено термографію (рис. 6.3).

Порівняно із попередньою термограмою є незначне підвищення центральної температури з 29,7 °С до 30,2 °С, що свідчить про збереження пер-

фузії. Температурний градієнт склав 2 °С. Враховуючи позитивний bleeding test, додаткова резекція кістки не проводилася. Планується оперативне втручання в об'ємі заміщення кісткового дефекту антибактеріальним цементним спейсером та закриття дефекту м'яких тканин торако-дорсальним клаптом.

У наступного пацієнта №7 було вогнепальне поранення правого гомілково-стопного суглоба з багатоуламковим переломом дистального метафіза обох кісток правої гомілки та таранної кістки з дефектом м'яких тканин і кісткової структури. Проведено термографію уламків медіальної кісточки (рис. 7.1) та таранної кістки (рис. 7.2).

Згідно з термопрофілем максимальна температура склала 32,1°С, мінімальна температура – 19,1°С. Центральна зона, що відповідає кістковим уламкам медіальної кісточки, має темно-фіолетовий колір та температуру 25,2°С, що свідчить про

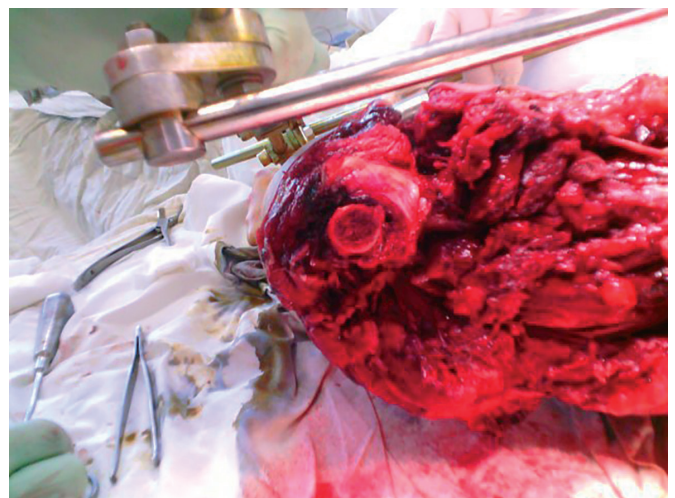
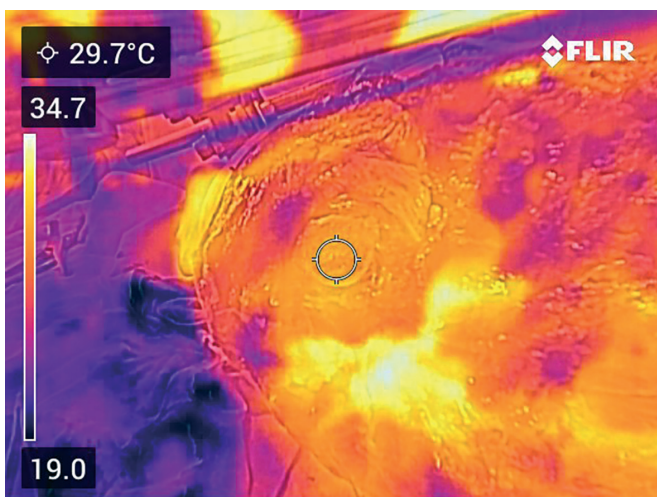


Рис. 6.3. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур лівого ліктьового суглоба та нижньо-середньої третини плеча через 10 днів після резекції голівки променевої кістки.

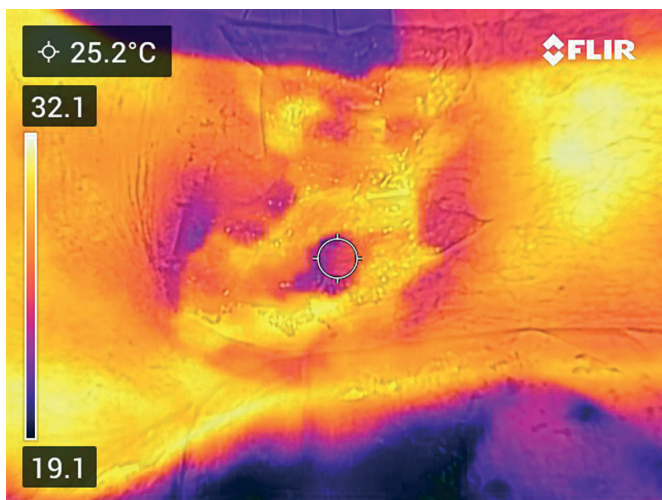


Рис. 7.1. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур правого гомілково-стопного суглоба

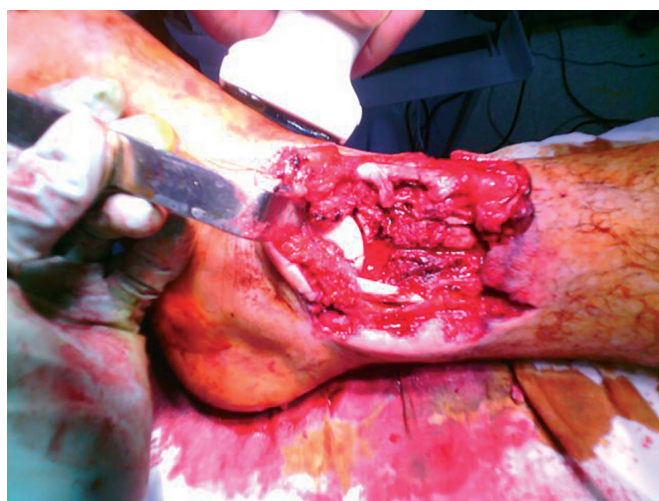
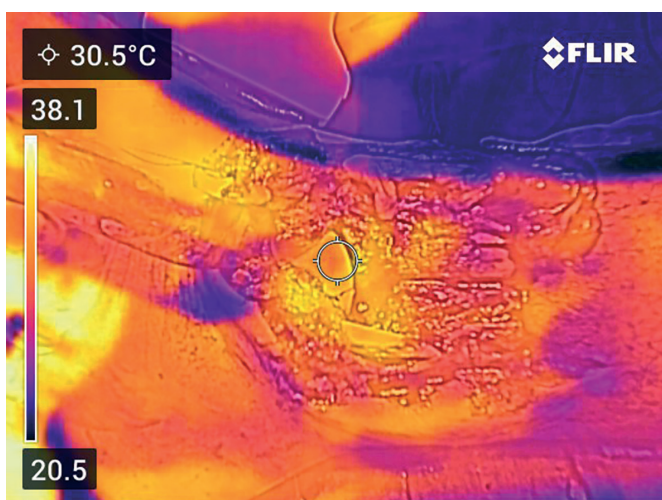


Рис. 7.2. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур правого гомілково-стопного суглоба

значне зниження локальної перфузії та ішемію кісткових фрагментів. Перифокальна зона має жовтий та оранжевий колір з температурою 30 °С, що відповідає післятравматичній запальній реакції та активному кровопостачанню навколо перелому. Температурний градієнт становить 4,8 °С, що свідчить про порушення мікроциркуляції в уламках внутрішньої кісточки. Враховуючи негативний «bleeding test» та показники термографії, проведено видалення фрагментів медіальної кісточки.

Після видалення фрагментів внутрішньої щиколотки проведено аналіз термопрофілю таранної кістки (рис. 7.2). Згідно з даними термограми максимальна температура склала 38,1 °С, мінімальна температура – 20,5 °С. Перифокальна температура – 32,3 °С. Центральна температура, що відповідає блоку таранної кістки – 29,8 °С. Температурний градієнт склав 2,5 °С, що свідчить про знижений кровотік, що потребує подальшого динамічного

спостереження та ревізії при проведенні повторних хірургічних обробок.

У пацієнта №8 із вогнепальним проникаючим осколковим пораненням лівого ліктьового суглоба з багатоуламковим переломом ліктьового відростка (olecranon) та дефектом м'яких тканин (альфа-тип) і кісткової структури проведено термографію уламків. Максимальна температура: 38,2 °С. Мінімальна температура: 21,9 °С. Центральна зона (уламки) має світло-жовтий/білуватий колір – 33,9 °С. Це нижче, ніж у навколишніх тканинах, але значно вище критичного рівня ішемії. Периферична зона (м'які тканини) має помаранчевий/червоний колір – 35,9 °С. Це відповідає гіперемії після травми або операції. Температурний градієнт – 2,0 °С. Таким чином, уламки ліктьового відростка зберігають життєздатність з помірно зниженою перфузією. Прийнято рішення про динамічне спостереження та повторну оцінку

життєздатності під час наступних хірургічних обробок.

У пацієнта № 9 із вогнепальним наскрізним осколковим пораненням верхньої третини лівої гомілки з дефектом м'яких тканин типу beta та кістковим дефектом проксимального метадіфізу великогомілкової кістки типу V3 на 3-тю добу після поранення проведено термографію (рис. 9).

Центральна температура склала 25,5 °С. Градієнт температури – 7,0 °С. Це характерно для некрозу кісткового уламка. Термопрофіль відповідає ішемічному типу з високим ризиком девіталізації центральної частини уламка при збереженій реактивній периферії. Враховуючи негативний «bleeding test» та показники термографії, проведено резекцію проксимального уламка великогомілкової кістки.

У пацієнта №10 із вогнепальним осколковим наскрізним пораненням нижньої третини правого передпліччя з дефектом м'яких тканин альфа-типу

та дефектом дистального епіметафізу променевої кістки типу V3 проведено термографію кісткового уламка дистального епіметафізу променевої кістки (рис. 10).

Максимальна температура: 29,7 °С, мінімальна температура: 13,1 °С. Центральна зона (уламки) – 27,5 °С. Це нижче, ніж у навколишніх тканинах, але значно вище критичного рівня ішемії. Температурний градієнт – 2,2 °С. «Bleeding test» позитивний. Таким чином, уламки зберігають життєздатність з помірно зниженою перфузією. Прийнято рішення про динамічне спостереження та повторну оцінку життєздатності під час наступних хірургічних обробок.

Інтегральний порівняльний аналіз виявлених термопрофільів пацієнтів та результатів «bleeding test» із визначенням прогнозу щодо життєздатності кісткових структур представлений у зведеній табл. №1.

Для прогнозування життєздатності кісткового

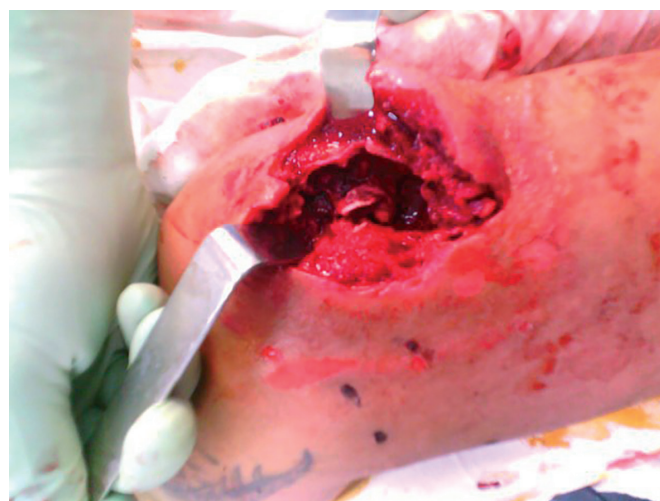
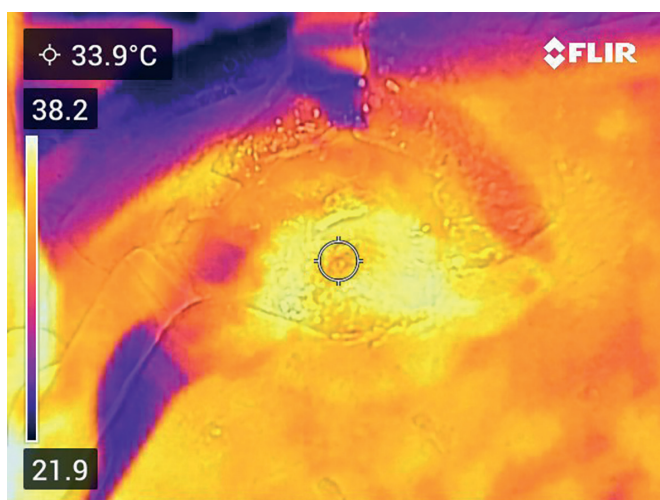


Рис. 8. Фототермограма (А) та фото (Б) дефекту м'яких тканин та кісткових структур лівого ліктьового суглоба.

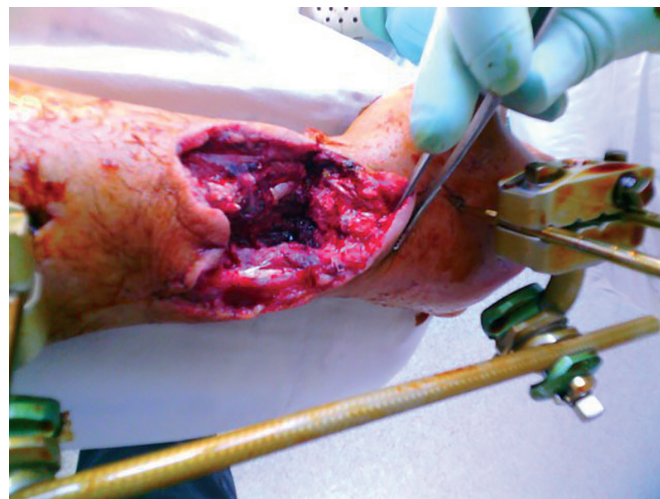
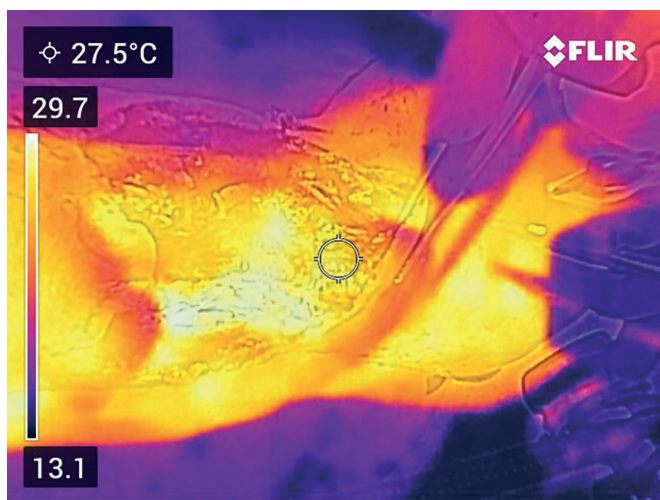


Рис. 9. Фототермограма (А) та фото дефекту м'яких тканин та кісткових структур (Б) проксимального відділу лівої гомілки через 3 доби після поранення.

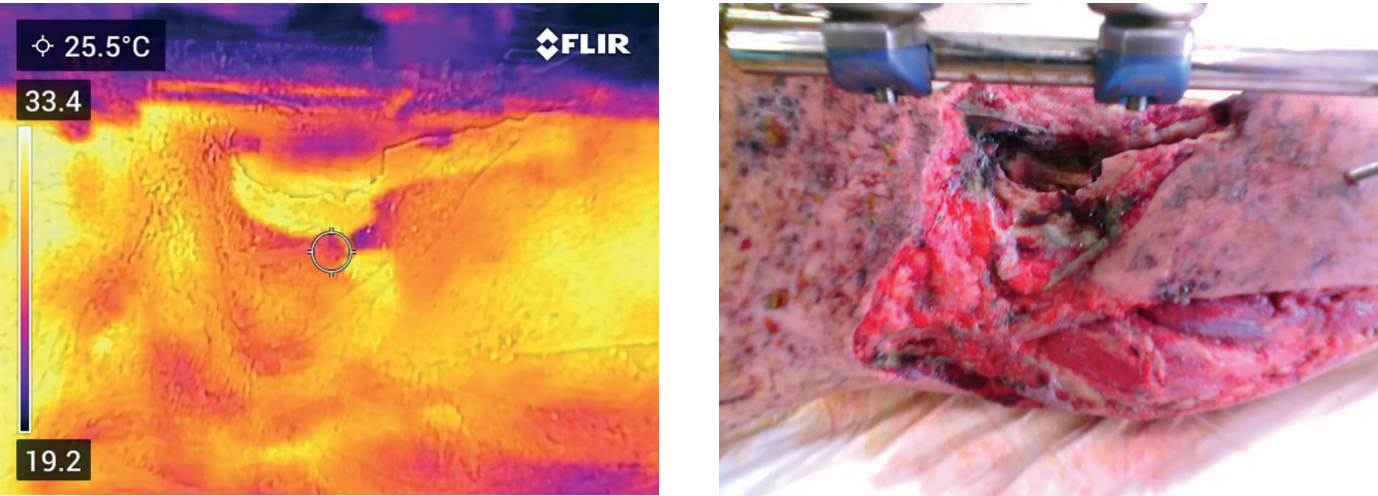


Рис. 10. Фототермограма (А) та фото дефекту м’яких тканин нижньої третини передпліччя та кісткових структур (Б) дистального метафізу променевої кістки.

Таблиця №1

Порівняльний аналіз термопрофілів пацієнтів та результатів «bleeding test» із визначенням прогнозу щодо життєздатності кісткових структур

Пацієнт	Центральна t °C	Наявність Холодні зони +/-	Температурний градієнт	«Bleeding test» +/-	Прогноз
№1	33,0	-	1,5	+	Життєздатна
№2	22,0	+	8	-	Некроз
№3	26,3	-	2,1	+	Сумнівно життєздатна
№4	31,0	-	2	+	Життєздатна
№5.1	29,8	-	4	+	Сумнівно життєздатна
№5.2	27.2	+	7	-	Некроз
№6.1	25.4	+	7.6	-	Некроз
№6.2	29.7	-	3.3	+	Сумнівно життєздатна
№6.3	30,2	-	2	+	Життєздатна
№7.1	25,2	+	4.8	-	Некроз
№7.2	29,8	-	2,5	+	Сумнівно життєздатна
№8	33,9	-	2	+	Життєздатна
№9	25,5	+	7	-	Некроз
№10	27,6	+	2,2	+	Сумнівно життєздатна

фрагменту брали до уваги центральну температуру, градієнт температур (ΔT), bleeding test та наявність холодних зон. Розрізняли наступні чотири категорії життєдіяльності кісткової структури: життєздатна, сумнівно життєздатна, сумнівно некротична та некротична.

Таким чином, у 72% випадків ІЧТ дозволила диференціювати життєздатні ділянки кістки від аваскулярних фрагментів, що дало змогу зберегти кісткові структури та провести первинну пластику. У 28% випадків виявлено приховані зони некрозу ($\Delta T > 4.0^{\circ}\text{C}$), що стало підставою для обмеженої чи радикальної резекції нежиттєздатних уламків та дозволило уникнути розвитку хронічного остеомиєліту у відтермінований період.

Автори усвідомлюють той факт, що ІЧТ оцінює поверхневу температуру та не дає прямої оцінки

ендостального кровопостачання. Результати дослідження залежать від експозиції рани, часу після дебридменту, температури операційної. Тому ми вважаємо, що для об’єктивізації отриманих даних надалі доцільно комбінувати термографію з іншими методиками, що дозволять оцінити функціональний та морфологічний стан верифікованих термопрофілів. З цією метою до комплексу наукових досліджень нами включено лазерну доплерівську флоуметрію та гістологічне морфометричне дослідження.

Наш досвід застосування ІЧТ дозволив підвищити ефективність інтраопераційного хірургічного планування об’єму оперативного втручання, що обумовило стійку тенденцію до покращення результатів лікування пацієнтів зі складною бойовою травмою суглобів. Отримані результати, на

нашу думку, підтверджують можливість використання ІЧТ як перспективного та інформативного неінвазивного інструмента оцінки життєздатності кісткової тканини при вогнепальних переломах кінцівок навколосуглобової локалізації, що дозволяє об'єктивізувати показання до резекції та мінімізувати обсяг оперативного втручання.

Висновки

1. Дистанційна інфрачервона спектральна термометрія – це перспективний неінвазивний метод оцінки життєздатності кісткової тканини з потенційною можливістю прогнозування клінічного перебігу бойової ортопедичної травми.

2. Згідно з результатами нашого дослідження центральна температура кісткових уламків коливалася від 22,0 до 33,9 °С, градієнт температур (ΔT) – від 1,5 до 7,6 °С. Основними показаннями для резекції кістки є градієнт температур (ΔT) $\geq 4,1$ °С у поєднанні з негативним «bleeding test».

3. Метод показав свою ефективність при проведенні оцінки змін життєздатності кісткових фрагментів у часі. Повторна термографія дала можливість з одного боку вчасно провести видалення ураженої ділянки, що зменшило ймовірність розвитку остеомієліту у майбутньому, з іншого – зберегти кісткові уламки та провести реконструкцію м'яких тканин, що також покращило результати лікування.

4. Перший досвід застосування інфрачервоної термометрії для визначення життєздатності кісткової тканини при суглобовій та навколосуглобовій локалізації вогнепальних переломів кісток кінцівок засвідчує підвищення ефективності інтраопераційного хірургічного планування об'єму оперативного втручання та обумовлює стійку тенденцію до покращення результатів лікування пацієнтів із складною бойовою травмою суглобів.

References

1. Auf der Strasse W, Campos DP, Mendonça CJA, Soni JF, Mendes J, Nohama P. Evaluation of tibia bone healing by infrared thermography: A case study. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*. 2021; 14: 3161–3175. doi: 10.2147/JMDH.S330094.
2. Schepers T, Hagenaars T, Den Hartog D. An irreducible ankle fracture dislocation: the Bosworth injury. *J Foot Ankle Surg*. 2012;51(4):501-503. doi:10.1053/j.jfas.2012.04.011
3. Бур'янов ОА, Кваша ВП, Соболевський ЮЛ, Ярмолук ЮО, Кляпчук ЮВ, Лось ДВ, et al. Методологічні принципи

верифікації діагнозу та визначення тактики лікування в разі бойових ушкоджень кінцівок із дефектами кісткової тканини. Ортопедія, травматологія та протезування. 2024; 4: 5–13. doi: 10.15674/0030-5987202345-13.

Burianov O, Kvasha V, Sobolevskiy Y, Yarmoliuk Y, Klapchuk Y, Los D, et al. Methodological principles of diagnosis verification and treatment tactics determination in combat limb injuries with bone defects. *Orthopaedics Traumatology and Prosthetics*. 2024; 4: 5–13. doi: 10.15674/0030-5987202345-13. [in Ukrainian]

4. Ferreira N, Tanwar YS. Systematic approach to the management of post-traumatic segmental diaphyseal long bone defects: Treatment algorithm and comprehensive classification system. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*. 2020;15(2):106–116. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1466.

5. Guryev SO, Kushnir VA, Solovyov OS, Panasenko SI. Substantiation of indications for limb amputation in civilian victims with multisystem injuries as a result of modern warfare. *The Ukrainian Journal of Clinical Surgery*. 2025;92(1):49–54. doi: 10.26779/2786-832X.2025.1.49.

6. Joint Trauma System. War wounds: debridement and irrigation (CPG ID: 31). 2024.

7. Хоменко ІП, Цема ЄВ, Гуменюк КВ, Тertiшній СВ. Створення концепції термографічної класифікації вогнепальних поранень м'яких тканин *World Science*. 2020;4(56:1):32-36. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30042020/7022.

Khomenko IP, Tsema YeV, Gumenuk KV, Tertyshnyi SV. Creation concept of thermographic classification of gunshot wounds of soft tissues. *World Science*. 2020;4(56:1):32-36. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30042020/7022. [in Ukrainian]

8. Klapchuk Y, Los D, Burianov O, Yarmoliuk Y, Bazarov M, Lyanskorunsky V, et al. Reconstructive surgery for gunshot injuries of the knee: Experience from the Russo-Ukrainian War 2022–2024. *BMJ Military Health*. 2024;0:1–5. doi: 10.1136/military-2024-002799.

9. Liu Q, Li M, Wang W, Jin S, Piao H, Jiang Y, et al. Infrared thermography in clinical practice: A literature review. *European Journal of Medical Research*. 2025;30(1):33. doi: 10.1186/s40001-025-02278-z.

10. Lurin I, Khoroshun E, Burianov O, Klapchuk Y, Mansyrov A, Dinets A. The utility of 3D-printed titanium grid scaffolds for the management of gunshot bone injuries in patients wounded in Russo-Ukrainian war. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2025;103214. doi: 10.1016/j.jcot.2025.103214.

11. Собко ІВ. Застосування інфрачервоної термографії при вогнепальних пораненнях живота. Запорізький медичний журнал. 2024; 26(3:144):258-264. doi: 10.14739/2310-1210.2024.3.298580.

Sobko I.V. The use of infrared thermography for abdominal gunshot wounds. *Zaporozhye Medical Journal*. 2024; 26(3:144):258-264. doi: 10.14739/2310-1210.2024.3.298580. [in Ukrainian]

12. Стояновський ІВ, Хіміч СД, Чемерис ОМ. Ефективність використання інфрачервоної термографії для діагностики некротизуючого фасциїту. Хірургія дитячого віку (Україна). 2024;3(84):38-43. doi: 10.15574/PS.2024.3(84).3843.

Stoianovskiy IV, Khimich SD, Chemerys OM. The effectiveness of infrared thermography in the diagnosis of necrotizing fasciitis. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2024;3(84):38-43. doi: 10.15574/PS.2024.3(84).3843. [in Ukrainian]

Initial Experience with Infrared Thermography for Assessing Bone Tissue Viability in Gunshot Fractures of the Extremities Involving Articular and Periarticular Regions

Khoroshun E.M.^{1, 2}, Panasenko S.I.^{1, 3}, Klapchuk Yu.V.^{1, 2}✉, Neboduiko V.V.^{1, 2}

¹ Military Medical Clinical Center of the Northern Region, MFC of the AFU, Kharkiv, Ukraine

² Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

³ Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

Summary. Background. Infrared thermography (IRT) is widely used in vascular medicine, orthopedics, traumatology, the diagnosis of inflammatory conditions, and the assessment of inflammatory process development [12]. To date, scientific literature contains no studies specifically addressing the assessment of bone tissue viability in combat trauma using IRT. Existing studies have primarily focused on evaluating perfusion and delineating areas of soft-tissue necrosis, as well as the early detection of infectious inflammation [2, 7, 9, 12]. **Objective.** To evaluate the diagnostic capability of IRT as a method for intraoperative assessment of bone tissue viability in periarticular gunshot fractures associated with bone and soft-tissue defects. **Materials and Methods.** The study included 10 clinical cases of comminuted periarticular gunshot fractures with primary bone and soft-tissue defects. Thermographic examinations were performed using a portable FLIR C5 camera (FLIR Systems, USA). Bone fragment viability was assessed based on central temperature, temperature gradient (ΔT), the bleeding test, and the presence of cold zones. **Results.** The study demonstrated that, in 72% of cases, IRT enabled differentiation of viable bone areas from avascular fragments, allowing preservation of bone structures and primary reconstruction. In 28% of cases, occult areas of necrosis ($\Delta T > 4.0^{\circ}\text{C}$) were identified, providing an indication for limited or radical resection of nonviable fragments and helping to prevent the subsequent development of chronic osteomyelitis. **Conclusions.** IRT proved effective for assessing changes in bone fragment viability over time. This initial experience with IRT for assessing bone tissue viability in periarticular gunshot fractures demonstrates improved intraoperative planning of the extent of surgical intervention and indicates a consistent trend toward optimizing treatment outcomes in patients with complex combat-related joint injuries.

Key words: combat-related orthopedic trauma; gunshot fracture; joint injury; infrared thermography; bleeding test; bone necrosis.

Порівняльне визначення чутливості мультирезистентних клінічних штамів бактерій групи ESKAPE до продуктів біодеградації сплавів MZZ-P та MZZ-MB

Мовчан О.С.¹, Котелюх Б.А.¹✉, Кирик Д.Л.¹

Резюме. Актуальність. Антибіотикорезистентність мікроорганізмів групи ESKAPE є однією з провідних загроз сучасної медицини, особливо в контексті імплант-асоційованих інфекцій в ортопедії та травматології. Пошук нових біоматеріалів із власними антибактеріальними властивостями є перспективним напрямком профілактики ускладнень. **Мета дослідження.** Провести порівняльну оцінку антибактеріальної дії продуктів біодеградації сплавів MZZ-P та MZZ-MB щодо мультирезистентних клінічних штамів бактерій групи ESKAPE. **Матеріали та методи.** Дослідження виконано на мультирезистентних штаммах *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Enterococcus faecalis* (VRE), *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Acinetobacter baumannii*. Чутливість до антибіотиків визначали за стандартами EUCAST (диско-дифузійний метод, метод серійних розведень). Антимікробну активність продуктів біодеградації сплавів оцінювали за бактеріостатичним і бактерицидним ефектами протягом 72 год інкубації з подальшим висівом на агар Мюллера – Хінтона. Статистичний аналіз проводили з використанням критерію Вілкоксона. **Результати.** Встановлено виражену антибактеріальну активність продуктів біодеградації обох сплавів щодо всіх досліджених штамів. Відмічено поступове зниження кількості колоній мікроорганізмів у процесі інкубації, що свідчить про бактерицидну дію. Сплав MZZ-MB продемонстрував статистично значущо вищу ефективність порівняно з MZZ-P ($p < 0,05$), особливо щодо грамнегативних неферментуючих бактерій. **Висновки.** Продукти біодеградації сплавів MZZ-P та MZZ-MB мають виражені бактерицидні властивості щодо мультирезистентних збудників групи ESKAPE. Отримані результати обґрунтовують перспективність їх використання як біодеградуючих імплантів для профілактики імплант-асоційованих інфекцій.

Ключові слова: ESKAPE-патогени; мультирезистентні бактерії; продукти біодеградації; магнієві сплави; антибактеріальна активність; імплант-асоційовані інфекції; остеомієліт.

Вступ

Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), швидке зростання стійкості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів загрожуює підірвати основи охорони здоров'я, закладені протягом останніх 50 років. Як наслідок, ВООЗ визначила антибіотикорезистентність однією з головних загроз людству. Недостатня обізнаність клініцистів щодо правил раціональної антибіотикотерапії призводить до невиправданих призначень антибактеріальних препаратів [1]. У різних країнах, регіонах і навіть лікувальних за-

кладах чутливість мікроорганізмів до антибіотиків значно варіює, проте існує уявлення про групу проблемних мікроорганізмів – ESKAPE: *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, дослідженню яких приділяється значно більше уваги. Інфекція, що проявляється на ранніх стадіях після остеосинтезу, переважно спричинена високовірулентними мультирезистентними збудниками цієї групи: *Staphylococcus aureus* (резистентний до метициліну – MRSA), *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii* та *Pseudomonas aeruginosa*, яким властиве формування стійкості до карбапенемів і багатошарових біоплівки з низькою проникністю матриксу [2, 3, 4].

Захворювання і травми опорно-рухової системи посідають друге місце серед причин травматизму і

✉ Котелюх Б.А., xcisman257@gmail.com

¹ Національний університет охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика, Київ, Україна

третє місце серед хвороб, що призводять до інвалідності дорослого населення. Ортопедичні імпланти займають особливе місце як у клінічній практиці, так і в біомедичній промисловості. Найбільшу зацікавленість викликають імпланти, що здатні біодеградувати в разі їх імплантації в організм людини. Концепція імплантів, що біодеградують, з'явилася завдяки становленню й розвитку застосування шовних матеріалів, що розсмоктуються в організмі. Важливим аспектом під час проведення хірургічних втручань із використанням імплантів є попередження виникнення гнійно-запальних інфекційних ускладнень, які часто пов'язані з неефективною антибактеріальною терапією [5]. Значна частота виникнення незадовільних результатів антибактеріальної терапії в ортопедо-травматологічній практиці потребує пошуку принципово нових матеріалів, продукти біодеградації яких забезпечують профілактику та ефективне лікування імплант-асоційованих остеомієлітів.

Бактеріальна інфекція під час регенерації кісткової тканини є серйозною проблемою, оскільки призводить до інфікування тканини з подальшим пошкодженням імпланту. Лікування антибіотиками – одне з рішень, яке дає змогу розв'язати цю проблему, але постає нова проблема – підвищена стійкість бактерій, що пов'язана з нераціональним використанням антибіотиків. Досить часто це закінчується розвитком остеомієлітів – від 3,0 до 24,0 % після відкритих переломів та до 8,0 % після оперативного лікування закритих переломів із застосуванням імплантів [6]. Імплант-асоційовані інфекції спричинені мікроорганізмами, що розташовані на поверхні імплантату і призводять до уповільненої бактеріємії. Патогенна мікрофлора може змінюватися залежно від розташування імпланта та стану імунної системи пацієнта. Бактерії колонізують його поверхню у вигляді біоплівки, що значно підвищує їх стійкість до антибіотиків і дезінфікуючих засобів, інгібуючи вроджений та адаптивний імунний захист людського організму [7].

Формування і поширення резистентності до карбапенемів у грамнегативних бактерій є однією з найактуальніших проблем сучасної антимікробної хіміотерапії. Карбапенеми зазвичай розглядаються як найефективніші антимікробні препарати для лікування тяжких нозокоміальних і позалікарняних інфекцій полімікробної етіології. Проте набута стійкість до препаратів цієї групи останнім часом зустрічається все частіше, особливо серед збудників нозокоміальних інфекцій, включно з імплант-асоційованими. Провідними серед таких збудників є карбапенемрезистентні

K. pneumoniae та грамнегативні неферментуючі бактерії – *Acinetobacter baumannii* та *Pseudomonas aeruginosa*, а також метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus* (MRSA) і ванкомицинрезистентний *Enterococcus faecalis* (VRE) [8, 9, 10].

Мета дослідження. Провести порівняльну оцінку антибактеріальної дії продуктів біодеградації металевих сплавів MZZ-P та MZZ-MB щодо мультирезистентних клінічних штамів нозокоміальних збудників групи ESCAPE з метою мікробіологічного обґрунтування можливості їх використання в ортопедо-травматологічній практиці.

Матеріали і методи

Вивчення антимікробної активності сплавів проводили на базі мікробіологічної лабораторії кафедри мікробіології, вірусології та імунології Національного університету охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика. У роботі використовували мультирезистентні штами мікроорганізмів, що були виділені від хворих з інфекцією, обумовленою наданням хірургічної допомоги: метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus* (MRSA), ванкомицинрезистентний *Enterococcus faecalis* (VRE), карбопенемрезистентні *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* та *Klebsiella pneumoniae*.

Вивчення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів проводили згідно з вимогами Європейського комітету з визначення чутливості до антимікробних препаратів (The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. Routine and extended internal quality control as recommended by EUCAST, версія 15.0 (2025); <http://www.eucast.org>) [11, 12]. Дослідження проводили диско-дифузійним методом згідно з положеннями EUCAST з використанням агару Мюллера – Хінтона (MXA) виробництва Himedia Laboratories Pvt. Limited, Індія, без додаткових добавок, розлитого по 25 мл у скляні чашки Петрі (товщина агару дорівнювала $4 \pm 0,5$ мм). Перед посівами поверхню агару в чашках підсушували у термостаті за температури 37 °C, що запобігло формуванню нечіткої зони затримки росту навколо колоній. Для визначення чутливості культур мікроорганізмів до антибіотиків готували інокулят досліджуваного штаму методом прямого суспендування. З цієї метою чисту 18–24-годинну культуру бактерій, що виросла на МПА, стерильною бактеріологічною петлею суспендували в стерильному фізіологічному розчині і доводили бактеріальну суспензію до щільності 0,5 за стандартом мутності МакФарланда з використанням денсиметра для визначення оптичної щільності бактеріальної

суспензії (виробництва Erba Lachema, Чехія). Оптична щільність 0,5 за МакФарландом відповідала навантаженню $1,5 \times 10^8$ КУО/мл. Після цього на поверхню агару МХА рівномірно (для отримання суцільного газону) штриховими рухами наносили інокулят. Через 1–2 хв після нанесення суспензії на поверхню підсушеного агару з досліджуваною культурою поміщали диски з антибіотиками виробництва Himedia Laboratories Pvt. Limited (Індія). Чашки з посівами інкубували в термостаті за температури $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$ протягом 16–20 год, після чого проводили облік результатів: вимірювання діаметру зони затримки росту (мм) мікроорганізму навколо диску з антибіотиком.

Вивчення чутливості бактерій до колістину виконували згідно з вимогами EUCAST методом серійних (послідовних) розведень. Спочатку виготовляли основний розчин колістину з розрахунку 1000,0 мкг антибіотика на 1 мл дистильованої води. У стерильних скляних пробірках в об'ємі 1 мл з основного розчину готували ряд серійних двократних розведень у бульйоні Мюллера – Хінтона (МХБ) (Himedia Laboratories Pvt. Limited, Індія) до концентрації 0,122 мкг/мл. Таким чином, дослідні концентрації антибіотика складали: 500 мкг/мл; 250 мкг/мл; 125 мкг/мл; 62,5 мкг/мл; 31,25 мкг/мл; 15,6 мкг/мл; 7,8 мкг/мл; 3,9 мкг/мл; 1,95 (≈ 2) мкг/мл; 0,987 (≈ 1) мкг/мл; 0,49 ($\approx 0,5$) мкг/мл; 0,24 мкг/мл; 0,122 мкг/мл; 0,061 мкг/мл; 0,03 мкг/мл. Кінцева кількість бактерій, що вносилися у пробірку з розведеннями антибіотика, складала 5×10^5 КУО/мл. Посіви інкубували при температурі $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$ 16–20 год, після чого проводили облік результатів і визначали мінімальну інгібуючу концентрацію (МІК), яка встановлювалася за останньою пробіркою з візуально відсутнім ростом бактерій. Зростання культури в присутності антибіотика порівнювали з референтною пробіркою («негативний» контроль), що містила основний розчин без додавання в нього мікроорганізмів. Позитивним контролем дослідження слугували ємності з середовищем та культурами без додавання антибіотика. Штам вважався чутливим до колістину, якщо його МІК відповідала нормативним даним, наведеним у EUCAST, тобто ≤ 2 мг/л (2 мкг/мл).

Антибіотикорезистентність клебсієли вивчали до ампіциліну (10 мкг/диск), ампіцилін-сульбактаму (10–10 мкг/диск), цефокситину (30 мкг/диск), цефепіму (30 мкг/диск), цефтріаксону (30 мкг/диск), цефотаксиму (5 мкг/диск), цефтазідиму (10 мкг/диск), іміпенему (10 мкг/диск), меропенему (10 мкг/диск), гентаміцину (10 мкг/диск), амікацину (30 мкг/диск), ципрофлоксацину (5 мкг/диск), офлоксацину (5 мкг/диск).

Чутливість штамів ацинетобактера і синьогній-

ної палички визначали до гентаміцину (10 мкг/диск), амікацину (30 мкг/диск), тобраміцину (10 мкг/диск), меропенему (10 мкг/диск), іміпенему (10 мкг/диск), ципрофлоксацину (5 мкг/диск), левофлоксацину (5 мкг/диск). Чутливість псевдомонади до колістину визначали згідно з вимогами EUCAST методом серійних (послідовних) розведень. Штами *P. aeruginosa* вважалися чутливими до даного антибіотика, якщо його МІК дорівнювала або була меншою ніж 2 мкг/мл (2 мг/л).

У стафілококу вивчали чутливість до бензилпеніциліну (1 Од/диск), ампіциліну (2 мкг/диск), цефокситину (30 мкг/диск), норфлоксацину (10 мкг/диск), еритроміцину (15 мкг/диск), кліндаміцину (2 мкг/диск), лінезоліду (10 мкг/диск). Дослідження антибіотикочутливості у ентерококу проводили з використанням дисків з ампіциліном (2 мкг/диск), іміпенемом (10 мкг/диск), норфлоксацином (10 мкг/диск), ципрофлоксацином (5 мкг/диск), гентаміцином (30 мкг/диск), стрептоміцином (300 мкг/диск), ванкоміцином (5 мкг/диск), лінезолідом (10 мкг/диск), тігецикліном (15 мкг/диск).

Для проведення експериментів навіски стружки досліджуваних металів масою 5 мг попередньо промивали у стерильному фізіологічному розчині (0,85 % NaCl), потім стерилізували у 70 % спирті протягом 5 хв і промивали у стерильному фізіологічному розчині. Після стерилізації стружку занурювали в ємності зі свіжоприготованим бульйоном Мюллера – Хінтона, рН 7,4 (виробництво HiMedia Laboratories Pvt. Limited, Індія) з розрахунку 1 мг стружки на 1 мл бульйону. Ємності зі зануреною стружкою інкубували в термостаті за температури 37°C протягом 72 годин. Інкубація стружки в рідкому середовищі супроводжувалася утворенням продуктів біодеградації сплаву внаслідок електрохімічних реакцій. Після інкубації надосадову рідину відбирали та центрифугували за допомогою лабораторної центрифуги при 1000 оборотах/хвилину упродовж 5 хвилин. Отриманий таким чином надосад характеризувався прозорістю та лужним середовищем рН 8–9.

При проведенні дослідів використовували штамми нозокоміальних збудників, які в процесі підготовки до дослідження вирощували на простому живильному середовищі МПА (виробник HiMedia Laboratories Pvt. Limited, Індія) за температури 37°C протягом 24 годин. У стерильних умовах із добових культур бактеріологічною петлею готували гомогенний інокулюм у фізіологічному розчині до щільності 1,0 за стандартом мутності МакФарланда, що відповідала навантаженню $1,0 \times 10^9$ КУО/мл. З отриманого інокулюму методом серійних розведень у фізіологічному розчині готували робочі суспензії мікроорганізмів від 10⁻¹ до 10⁻⁵.

Густина цих розведень відповідала концентрації мікроорганізмів від 108 до 104 КУО/мл.

В експерименті в стерильних умовах готовий екстракт стерильною піпеткою розливали по 2 мл у пробірки. У кожену пробірку вносили бактеріальний інокулюм у відповідній концентрації, з розрахунку 0,1 мл суспензії на 1 мл екстракту. Додатково ставили три контролю: росту культури, стерильності середовища та екстракту, відповідно. Ёмності з посівами ентеробактерій, неферментуючих грамнегативних мікроорганізмів і грампозитивних коків та контролюми інкубували в термостаті при $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ протягом 72 годин (4 доби). Щодоби візуально визначали наявність зростання мікроорганізмів у пробірках та робили висів вмісту (0,1 мл) на чашки з агаром Мюллера – Хінтона. Чашки з посівами термостатували при 37°C протягом 24 год. Таким чином проводили по п'ять висівів з пробірок з клебсіелою, неферментуючими грамнегативними мікроорганізмами та грампозитивними коками. В якості контролю використовували чашки зі стерильним агаром.

Проводилась оцінка бактеріостатичної та бактерицидної активності екстракту, а саме, продуктів біодеградації досліджуваних сплавів. Бактеріостатичну активність визначали візуально за наявністю або відсутністю зростання мікроорганізмів у пробірках із посівами мікроорганізмів впродовж 72 годин (3 доби). Бактерицидну дію екстракту вивчали за наявністю або відсутністю росту колоній мікроорганізмів на чашках з агаром Мюллера – Хінтона. Після кожного висіву з пробірок по закінченню інкубації чашок проводили підрахунок колоній, що виросли на агарі. Дослідження антимікробної активності екстрактів сплавів проводили в п'яти повторях.

Статистичний аналіз результатів вивчення бактерицидної активності продуктів біодеградації сплавів проводили за допомогою ліцензійних комп'ютерних програм Microsoft Excel 2010 і StatSoft Statistica v12. При аналізі розподілів кількісних даних визначали міри центральної тенденції – медіану (Me) і міри дисперсії – міжквартильний інтервал у вигляді 25-го і 75-го перцентилів. Порівняння кількісних показників у двох незалежних вибірках (результати дії екстрактів сплавів MZZ-P та MZZ-MB) здійснювали за допомогою непараметричного Т-критерію Вілкоксона (Wilcoxon T-test). Відмінності між групами вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати

Проведене дослідження антибактеріальної дії продуктів біодеградації сплавів MZZ-P і MZZ-MB щодо клінічного карбапенем-резистентного шта-

му клебсіели, виділеного від хворого з нозокоміальною інфекцією, встановило бактеріостатичну і бактерицидну дію цих сплавів. Для підтвердження наявності генів карбапенем-резистентності застосовано швидкий імунохроматографічний тест NG RAPID Test CARBA-5 виробництва DIAMEDIX Diagnostica (Румунія) (рис.1). За допомогою тесту виявлені гени карбапенемрезистентності груп CTX і KPC. Клінічний штам клебсіели виявився високочутливим до дії продуктів біодеградації сплаву MZZ-P (табл. 1): загибель мікроорганізмів відбувалася у концентраціях від 106 до 104 КУО/мл, кількість колоній збудника відповідно зменшувалася від 17 до 4. Ефективніше знешкоджували цей збудник продукти біодеградації сплаву MZZ-MB у концентраціях від 106 до 105 КУО/мл, кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 43 до 5 ($p < 0,05$). У всіх проведених дослідженнях з мультирезистентними клінічними штамами після перших трьох висівів з пробірок, до яких було додано найбільшу концентрацію бактерій (109 – 107 КУО/мл), кількість колоній на агарі у більшості дослідів неможливо було підрахувати через їх значне число та майже зливне зростання (∞).

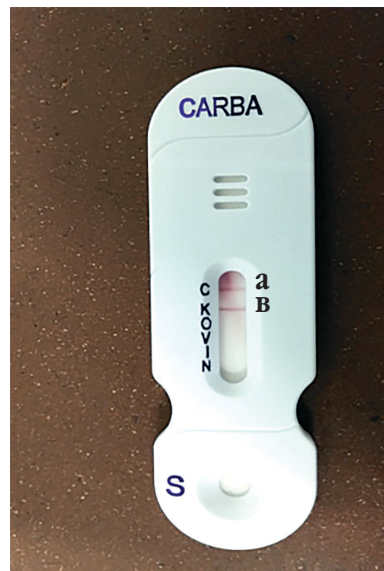


Рис.1. Імунохроматографічне виявлення карбапенем-резистентних генів у штаму *K. pneumoniae* №367: а - CTX; в - KPC

У процесі вивчення бактерицидної активності екстрактів сплавів щодо грампозитивних мультирезистентних стафілококів та ентерококів, виявлено, що вони чутливі до дії продуктів біодеградації досліджуваних сплавів. Протягом терміну інкубації кількість коків в екстракті значно зменшувалася, що підтверджувалося зниженням кількості колоній, які виросли на агарі Мюллера – Хінтона після кожного висіву. Продукти біодеградації досліджуваного MZZ-P сплаву та підвищене рН

середовища обумовили як бактеріостатичний, так і бактерицидний ефект на штамі *S. aureus* № 127. Зафіксовано зменшення кількості колоній мікроорганізмів, які виростили на поверхні агару після кожного висіву з пробірок у концентраціях від 10^6 до 10^4 КУО/мл; кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 673 до 2 (табл.). Ефективніше цей збудник знешкоджували продукти біодеградації сплаву MZZ-MB при концентраціях від 10^6 до 10^5 КУО/мл, кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 247 до 2 ($p < 0,05$).

Мультирезистентний штам *E. faecalis* № 223, як і штамі *S. aureus* № 127, проявив помірну резистентність до дії продуктів біодеградації сплаву MZZ-P. Знешкодження ентерококів відбувалося досить повільно, проте з кожним висівом кількість колоній на агарі Мюллера – Хінтона зменшувалась, що свідчило про загибель клітин в екстракті протягом усього періоду інкубації. Це підтверджувалося зменшенням кількості колоній мікроорганізмів, які виростили на поверхні агару після кожного висіву з пробірок: при концентраціях від 10^6 до 10^4 КУО/мл кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 576 до 8 (табл.). Також встановлено вищий бактерицидний ефект продуктів біодеградації сплаву MZZ-MB. Загибель бактерій спостерігалася при посівних дозах від 10^6 до 10^5 КУО/мл, при цьому кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 208 до 12 ($p < 0,05$).

На підставі проведених досліджень виявлено, що досліджувані екстракти сплавів володіють високою бактерицидною активністю щодо мультирезистентних клінічних штамів групи грамнега-

тивних неферментуючих бактерій: *P. aeruginosa* №182 та *A. baumannii* №171 (табл.). Під час візуального обліку посівів в екстрактах досліджуваних сплавів визначено, що впродовж 72 год інкубації бактерій у термостаті відбулося зменшення кількості колоній синьогнійної палички та ацинетобактера на всіх щільних поживних середовищах. У результаті вивчення бактерицидної активності сплаву MZZ-P щодо штаму *P. aeruginosa* №182 виявлено, що під час інкубації відбувалася поступова загибель бактерій в екстракті. Це підтверджувалося зменшенням кількості колоній мікроорганізмів, які виростили на поверхні агару після кожного висіву з пробірок у концентраціях від 10^6 до 10^4 КУО/мл, відповідно від 369 до 2. Ефективніше знешкоджували цей збудник продукти біодеградації сплаву MZZ-MB у посівних дозах від 10^6 до 10^5 КУО/мл, кількість колоній синьогнійної палички відповідно зменшувалась від 276 до 6 ($p < 0,05$).

Визначено, що під час інкубації штаму *A. baumannii* №171 в екстракті сплаву MZZ-P, його кількість протягом чотирьох діб поступово зменшувалась, що підтверджувалося результатами підрахунків колоній, які виростили на агарі після висівів з екстракту у посівних дозах від 10^6 до 10^4 КУО/мл. Кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 64 до 4. Під час періоду спостереження також виявлено більш ефективне знезараження мікробної зависі цього збудника продуктами біодеградації сплаву MZZ-MB. У посівних дозах від 10^6 до 10^5 КУО/мл кількість колоній збудника відповідно зменшувалась від 10 до 3 ($p < 0,05$).

Таблиця №1

Кількість колоній мультирезистентних нозокоміальних штамів бактерій групи ESKAPE, які виростили на агарі Мюллера – Хінтона після інкубації в екстракті сплавів через 72 години, Ме (Q25-Q75)

NN п/п	Назва штаму	Посівна доза, КУО/мл	MZZ-P	MZZ-MB
1	2	3	4	5
1.	<i>S. aureus</i> N127 (MRSA)	106	673(505-841)	247(185-309)
		105	189(142-236)	2(1,5-2,5)
		104	2(1,5-2,5)	0
2.	<i>E. faecalis</i> № 223 (VRE)	106	576(432-720)	208(156-260)
		105	83(62-104)	12(9-15)
		104	8(6-10)	0
3.	<i>P. aeruginosa</i> № 182	106	369(277-461)	275(206-344)
		105	32(24-40)	6(4,5-7,5)
		104	2(1,5-2,5)	0
4.	<i>A. baumannii</i> №171	106	64(48-80)	10(7,5-12,5)
		105	11(8,25-13,75)	3(2-4)
		104	4(3-5)	0
5.	<i>K. pneumoniae</i> № 367	106	17(13-21)	43(32-54)
		105	8(6-10)	5(3,8-6,3)
		104	4(3-5)	0

Обговорення

Захворювання та травми опорно-рухової системи посідають друге місце серед причин травматизму і третє місце серед хвороб, що призводять до інвалідності дорослого населення. Ортопедичні імплантати займають особливе місце як у клінічній практиці, так і в біомедичній промисловості. На сьогодні найбільшу зацікавленість викликають імпланти, здатні біодеградувати у разі їх імплантації в організм людини. Концепція імплантів, що біодеградує, з'явилася завдяки становленню й розвитку застосування шовних матеріалів, що розсмоктуються в організмі. Важливим аспектом під час проведення хірургічних втручань із використанням імплантів є попередження виникнення гнійно-запальних інфекційних ускладнень, які часто пов'язані з неефективною антибактеріальною терапією [13]. Значна частота виникнення незадовільних результатів антибактеріальної терапії в ортопедо-травматологічній практиці потребує пошуку принципово нових матеріалів, продукти біодеградації яких забезпечують профілактику та ефективне лікування імплантат-асоційованих остеомієлітів [14]. Бактеріальна інфекція під час регенерації кісткової тканини є серйозною проблемою, оскільки призводить до її інфікування з подальшим пошкодженням імплантату. Лікування антибіотиками – одне з рішень, яке дає змогу розв'язати цю проблему, але постає нова проблема підвищеної стійкості бактерій, що пов'язана зі зловживанням антибіотиками. Досить часто це закінчується розвитком остеомієліту – від 3,0 до 24,0 % після відкритих переломів та до 8,0 % після оперативного лікування закритих переломів із застосуванням імплантів [15].

Інфекції, асоційовані з імплантатами (implant-associated infections, IAI), зумовлені колонізацією поверхні імплантованих конструкцій мікроорганізмами з подальшим формуванням біоплівки (biofilm). Біоплівка є високоорганізованою мікробною спільнотою, зануреною в екстрацелюлярний полімерний матрикс (extracellular polymeric substance, EPS), що забезпечує персистенцію патогенів, їх захист від факторів імунної відповіді та антимікробних препаратів, а також сприяє розвитку хронічного інфекційного процесу, рецидивів і, в окремих випадках, персистуючої бактеріємії. Етіологічний спектр збудників визначається локалізацією імплантату, типом імплантованої конструкції, механізмом інфікування та імунологічним статусом пацієнта. Після контамінації поверхні імплантату бактерії послідовно проходять стадії початкової адгезії, незворотної фіксації, проліферації, синтезу екстрацелюлярно-

го полімерного матриксу та дозрівання біоплівки, яка міцно інтегрується з поверхнею імплантату і набуває високої резистентності до антимікробної терапії та механізмів імунного захисту організму. Саме формування біоплівки є одним із ключових факторів хронізації інфекції та невдачі антибактеріального лікування без видалення або ревізії імплантату [16]. Формування і поширення резистентності до карбапенемів у грамнегативних бактерій є однією з найбільш актуальних проблем сучасної антимікробної хіміотерапії. Карбапенеми зазвичай розглядаються як найбільш ефективні антимікробні препарати при лікуванні важких нозокоміальних і позалікарняних інфекцій полімікробної етіології. Проте набута стійкість до препаратів цієї групи останнім часом зустрічається все частіше, особливо серед збудників нозокоміальних інфекцій, включно з імплант-асоційованими. Одними з таких збудників є карбапенем-резистентні *K. pneumoniae* та група неферментуючих грамнегативних бактерій – *Acinetobacter baumannii* та *Pseudomonas aeruginosa* [17].

Сучасні дослідження зосереджені на розробці медичних сплавів, які б володіли антибактеріальними властивостями та піддавалися біорозкладанню в організмі, виконавши свою функцію з остеосинтезу або зіставлення та загоєння тканин ранових поверхонь. Отримані нами результати підтверджують високу бактеріостатичну та бактерицидну дію досліджених сплавів щодо мультирезистентних штамів основних нозокоміальних збудників. Подібні результати були отримані іншими дослідниками на прикладі дії магнієвого сплаву на ентеробактерії та стафілококи [18], комбінованого біомедичного сплаву (Fe–Mn–Si–Cu) щодо групи грамнегативних неферментуючих бактерій [19] та антимікробної дії комбінованого титановмісного сплаву на *E. coli*. [20]. Надалі наші дослідження можуть фокусуватися на вивченні антимікотичної дії сплавів MZZ-P та MZZ-MB, в першу чергу на нозокоміальні збудники роду *Candida*.

Висновки

1. Продукти біодеградації магнієвих сплавів MZZ-P та MZZ-MB продемонстрували виражену бактеріостатичну та бактерицидну активність щодо клінічних мультирезистентних штамів бактерій групи ESKAPE, включаючи MRSA (*S. aureus*), VRE (*E. faecalis*), *P. aeruginosa*, *A. baumannii* та карбапенем-резистентну *K. pneumoniae*, що підтверджує їх широкий антимікробний потенціал.

2. Результати порівняльного аналізу показали, що продукти біодеградації сплаву MZZ-MB у

більшості випадків забезпечували більш виражений бактерицидний ефект порівняно зі сплавом MZZ-P, що проявлялося швидшим і статистично значущим ($p < 0,05$) зменшенням кількості життєздатних бактеріальних клітин у клінічних ізолятах.

3. Антимікробна дія досліджуваних сплавів характеризувалася поступовим зниженням кількості колонієутворювальних одиниць протягом 72-годинної інкубації у широкому діапазоні початкових концентрацій інокулюму (10^4 – 10^6 КУО/мл), що свідчить про пролонговану бактерицидну активність продуктів їх біодеградації.

4. Отримані результати свідчать про перспективність використання біодеградуючих магнієвих сплавів, особливо MZZ-MB, як матеріалів для створення ортопедичних імплантатів із власними антимікробними властивостями. Водночас для підтвердження їх клінічної ефективності та безпечності необхідне проведення подальших досліджень *in vivo* та клінічних випробувань.

References

1. World Health Organization. *Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report 2023*. Geneva: World Health Organization; 2023. doi:10.4060/cc8074en.
2. Miller WR, Arias CA. ESKAPE pathogens: antimicrobial resistance, epidemiology, clinical impact and therapeutics. *Nat Rev Microbiol*. 2024;22:598-616. doi:10.1038/s41579-024-01054-w.
3. Venkateswaran P, Vasudevan S, David H, Shaktivel A, Shanmugam K, Neelakantan P, et al. Revisiting ESKAPE pathogens: virulence, resistance, and combating strategies focusing on quorum sensing. *Front Cell Infect Microbiol*. 2023;13:1159798. doi:10.3389/fcimb.2023.1159798.
4. Sarmah P, Das S. Escaping the ESKAPE pathogens: a review on antibiofilm potential and resistance mechanisms. *Microb Pathog*. 2024;194:106842. doi:10.1016/j.micpath.2024.106842
5. Zhang T, Wang W, Liu J, Wang L, Tang Y, Wang K. A review on magnesium alloys for biomedical applications. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:953344. doi: 10.3389/fbioe.2022.953344
6. Walter N, Rupp M, Hierl K, Alt V. Long-term patient-related quality of life after fracture-related infections of the long bones. *Bone Joint Res*. 2021;10(5):321-329. doi:10.1302/2046-3758.105.BJR-2020-0532.
7. Koo H, Allan RN, Howlin RP, Stoodley P, Hall-Stoodley L. Targeting microbial biofilms: current and prospective therapeutic strategies. *Nat Rev Microbiol*. 2017;15(12):740-755. doi: 10.1038/nrmicro.2017.99.
8. Koenig C, Kuti JL. Evolving resistance landscape in Gram-negative pathogens: an update on β -lactam and β -lactam inhibitor treatment combinations for carbapenem-resistant organisms. *Pharmacotherapy: The Journal of Human Pharmacology and Drug Therapy*. 2024;44(8):658-674. doi:10.1002/phar.2950.
9. Li Q, Zhou X, Yang R, Shen X, Li G, Zhang C, et al. Carbapenem-resistant Gram-negative bacteria (CR-GNB) in ICUs: resistance genes, therapeutics, and prevention: a comprehensive review. *Front Public Health*. 2024;12:1376513. doi:10.3389/fpubh.2024.1376513.
10. Paudel R, Shrestha E, Chapagain B, Tiwari BR. Carbapenemase-producing Gram-negative bacteria: review of resistance and detection methods. *Diagn Microbiol Infect Dis*. 2024;110(1):116370. doi:10.1016/j.diagmicrobio.2024.116370..
11. The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. *Routine and extended internal quality control for MIC determination and disk diffusion as recommended by EUCAST. Version 15.0*. Växjö (Sweden): EUCAST; 2025. Available from: <https://www.eucast.org>
12. The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. *Disk diffusion methodology and quality control tables. Version 15.0*. Växjö (Sweden): EUCAST; 2025. Available from: <https://www.eucast.org>
13. Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, Moriarty TF, McFadyen I, Scarborough M, et al. Fracture-related infection: a consensus on definition and management. *Injury*. 2018;49(3):505-510. doi: 10.1016/j.injury.2017.08.040.
14. Buijs MAS, Haidari S, Ijpma FFA, Hietbrink F, Govaert GAM. What can they expect? Decreased quality of life and increased postoperative complication rate in patients with a fracture-related infection. *Injury*. 2024;55:111425. doi:10.1016/j.injury.2024.111425.
15. Zhang T, Wang W, Liu J, Wang L, Tang Y, Wang K. A review on magnesium alloys for biomedical applications. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:953344. doi:10.3389/fbioe.2022.953344
16. Mackow NA, van Duin D. Reviewing novel treatment options for carbapenem-resistant Enterobacterales. *Expert Rev Anti Infect Ther*. 2024;22(1-3):71-85. doi:10.1080/14787210.2024.2303028.
17. Orapiriyakul W, Young PS, Damiati L, Tsimbouri PM. Antibacterial surface modification of titanium implants in orthopaedics. *J Tissue Eng*. 2018;9:2041731418789838. doi: 10.1177/2041731418789838.
18. Zhang G, Sior G, Szczepański J, Radtke A. Biodegradable Iron-Based Materials-What Was Done and What More Can Be Done? *Materials (Basel)*. 2021;14(12):3381. doi: 10.3390/ma14123381.
19. Durdu S, Yalçın E, Altinkök A, Çavuşoğlu K. Characterization and investigation of electrochemical and biological properties of antibacterial silver nanoparticle-deposited TiO₂ nanotube array surfaces. *Sci Rep*. 2023;13:4699. doi: 10.1038/s41598-023-31937-6.
20. Wang W, Liu H, Guo Z, Hu Z, Wang K, Leng Y, et al. Various Antibacterial Strategies Utilizing Titanium Dioxide Nanotubes Prepared via Electrochemical Anodization Biofabrication Method. *Biomimetics (Basel)*. 2024 Jul 5;9(7):408. doi: 10.3390/biomimetics9070408

Comparative Assessment of the Susceptibility of Multidrug-Resistant Clinical ESKAPE Bacterial Strains to the Biodegradation Products of MZZ-P and MZZ-MB Alloys

Movchan O.S.¹, Koteliukh B.A.¹ ✉, Kyryk D.L.¹

¹Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Summary. Background. Antibiotic resistance of microorganisms belonging to the ESKAPE group is one of the leading threats to modern medicine, particularly in the context of implant-associated infections in orthopedics and traumatology. The search for new biomaterials with inherent antibacterial properties is a promising strategy for preventing such complications. **Objective.** To compare the antibacterial activity of the biodegradation products of MZZ-P and MZZ-MB alloys against multidrug-resistant clinical ESKAPE bacterial strains. **Materials and Methods.** The study was performed using multidrug-resistant strains of *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Enterococcus faecalis* (VRE), *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Acinetobacter baumannii*. Antibiotic susceptibility was determined according to EUCAST standards using the disk diffusion and serial dilution methods. The antimicrobial activity of alloy biodegradation products was assessed based on their bacteriostatic and bactericidal effects over a 72-hour incubation period, followed by subculturing on Mueller–Hinton agar. Statistical analysis was performed using the Wilcoxon test. **Results.** The biodegradation products of both alloys demonstrated pronounced antibacterial activity against all tested strains. A progressive decrease in the number of microbial colonies during incubation was observed, indicating a bactericidal effect. The MZZ-MB alloy demonstrated statistically significantly higher efficacy compared to MZZ-P ($p < 0.05$), particularly against Gram-negative non-fermenting bacteria. **Conclusions.** The biodegradation products of MZZ-P and MZZ-MB alloys exhibited strong bactericidal activity against multidrug-resistant ESKAPE pathogens. These findings support their potential use as biodegradable implants for the prevention of implant-associated infections.

Key words: ESKAPE pathogens; multidrug-resistant bacteria; biodegradation products; magnesium alloys; antibacterial activity; implant-associated infections; osteomyelitis.

Shockwave Therapy After Lavage in Gartner Type II Calcific Rotator Cuff Tendinopathy

Biliavskiy V.O.¹✉, Strafun O.S.¹

Summary. Background. Ultrasound-guided percutaneous irrigation of calcific deposits (lavage) is widely used for calcific rotator cuff tendinopathy, but the added value of focused extracorporeal shockwave therapy (ESWT) after lavage in Gartner type II deposits remains insufficiently studied. **Objective.** To compare lavage followed by focused ESWT with lavage alone in patients with Gartner type II calcific rotator cuff tendinopathy. **Materials and Methods.** A prospective comparative cohort study. Group A received lavage, three focused ESWT sessions, a subacromial corticosteroid injection, and physiotherapy; group B received the same without focused ESWT. The primary outcome was total SPADI at 6 months. **Results.** Sixty-six patients (32 in group A and 34 in group B) with comparable baseline characteristics were analyzed. At 6 months, group A showed superior outcomes for total SPADI (9.57 vs 28.81%; difference – 19.24), SPADI pain and disability subscales, and numeric-scale pain at night, at rest, and during activity (all $p < 0.01$). Residual deposit was smaller in group A (1.43 vs 3.93 mm; $p < 0.001$). Complete resorption of the calcific deposit was achieved in 62.5% vs 26.5% of patients (OR 4.63), near-complete resorption (≤ 2 mm residual calcification) in 75.0% vs 32.4% (OR 6.27), and significant subjective improvement in 62.5% vs 11.8% (OR 12.50). In both groups, the calcific deposit size decreased significantly, while the difference in absolute reduction was non-significant ($p = 0.215$). **Conclusions.** The addition of focused ESWT after lavage was associated with better pain relief, functional recovery, and ultrasound-assessed calcification resorption at 6 months. Because of the non-randomized study design, these findings should be interpreted as associative.

Key words: calcific rotator cuff tendinopathy; Gartner type II; lavage; ultrasound-guided percutaneous lavage; extracorporeal shockwave therapy; SPADI.

Introduction

Calcific rotator cuff tendinopathy is a common cause of shoulder pain and functional impairment resulting from the deposition of calcium hydroxyapatite crystals within the rotator cuff tendons, most commonly the supraspinatus tendon. When symptomatic, the condition is characterized by nocturnal pain, pain during activity, sleep disturbance, and restricted shoulder motion, and most frequently affects women between 30 and 60 years of age [1–3].

Management remains challenging: in some patients, symptoms resolve over time and with conservative treatment, whereas in others pain and functional limitations persist despite nonsteroidal anti-inflammatory drugs, physical rehabilitation, and activity modification. The most commonly used non-surgical treatment options include focused extracor-

poreal shockwave therapy (hereafter referred to as ESWT), ultrasound-guided percutaneous lavage of the calcific deposit (hereafter referred to as lavage), and subacromial corticosteroid injection [4–6].

Current evidence suggests that lavage provides faster reduction of calcific deposits and a more pronounced short-term structural response than ESWT alone. However, in the longer term, these differences are less consistent and study findings remain heterogeneous [7–10]. One important source of this heterogeneity is the morphology of the calcific deposit. According to the Gartner classification, type II calcifications represent an intermediate phenotype, characterized by a dense deposit with partial radiolucency, and biologically occupy a transitional position between the well-defined dense type I calcifications and the more resorptive type III lesions.

The sequential combination of lavage followed by ESWT has been investigated less extensively than direct comparisons between these two treatments. Some retrospective and cohort studies have suggested that adding ESWT after needle lavage may improve

✉ Biliavskiy V.O., dr.biliavskiy@gmail.com

¹SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

both ultrasound and clinical outcomes compared with lavage alone; however, prospective data for specific calcification phenotypes remain limited [11, 12]. In particular, the additional benefit of focused ESWT following standardized lavage in patients with Gartner type II calcifications has not yet been established.

Objective. To compare the outcomes of ultrasound-guided lavage followed by focused ESWT with those of lavage alone (with identical concomitant treatment) in patients with Gartner type II calcific rotator cuff tendinopathy. We hypothesized that the addition of ESWT after lavage would be associated with greater pain relief, better shoulder function, smaller residual calcific deposits, and higher rates of ultrasound-confirmed calcification resorption and patient-reported recovery.

MATERIALS AND METHODS

Study Design and Setting

This prospective comparative cohort study was conducted at the SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine» between February 2023 and September 2025 (patient enrollment, treatment, and follow-up). Group allocation was non-randomized and based on patient preference after detailed explanation of the additional time commitment, costs, and discomfort associated with ESWT. Patient enrollment, group allocation, losses to follow-up, and the final analysis are summarized in Figure 1. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Local Bioethics Committee of the SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine» (Protocol No. 09, February 11, 2023). Written informed consent was obtained from all participants.

Participants

The study included adult patients with symptomatic calcific tendinopathy of the rotator cuff that was resistant to conservative treatment, including non-steroidal anti-inflammatory drugs and physical therapy. Inclusion criteria comprised persistent shoulder pain for more than 3 months, Gartner type II calcification confirmed on radiographs, ultrasonographic confirmation of the calcific deposit, and a baseline calcification size of at least 5 mm. Calcific deposits could be located in the supraspinatus, infraspinatus, or subscapularis tendon, or involve both the supraspinatus and infraspinatus tendons.

Exclusion criteria included partial- or full-thickness rotator cuff tears, adhesive capsulitis, glenohumeral osteoarthritis, shoulder instability, migration

of the calcific deposit into the subacromial-subdeltoid bursa, previous surgery on the affected shoulder, lavage or ESWT performed on the affected shoulder within the preceding 3 months, subacromial corticosteroid injection within the preceding 3 months, coagulation disorders, pregnancy, allergy to lidocaine, rheumatoid arthritis, and poorly controlled diabetes mellitus.

Interventions

All procedures were performed by experienced musculoskeletal ultrasonography specialists using a high-resolution ultrasound system. In both groups, ultrasound-guided lavage was performed first under sterile conditions and local anesthesia. Following skin preparation, 10 mL of 1% lidocaine was infiltrated into the skin, the subacromial-subdeltoid bursa, and the peritendinous tissues surrounding the calcific deposit. A two-needle technique (16–18-gauge needles) was used. Warmed normal saline (38–42°C) was repeatedly injected and aspirated until the returning fluid became macroscopically clear. Gentle rotation and back-and-forth movements of the needles facilitated fragmentation of the calcific deposit.

Patients in group A subsequently received focused ESWT beginning one week after lavage. The treatment protocol was identical to that used in our previous cohort with dense calcific deposits and consisted of three weekly sessions delivered with a focused electromagnetic shockwave device (DUOLITH SD1, Storz Medical, Switzerland). Each session consisted of 2,000 impulses administered at a frequency of 3–8 Hz and an energy flux density of 0.15–0.30 mJ/mm². Before each treatment session, the calcific deposit was localized by ultrasound, and, as in the previous protocol, local anesthesia was administered to improve patient tolerance.

Patients in group B did not receive ESWT. To standardize anti-inflammatory treatment, both groups underwent ultrasound-guided subacromial-subdeltoid injection of 6.43 mg betamethasone mixed with 2 mL of 1% lidocaine after completion of the intervention protocol. In group A, the injection was administered after the final ESWT session, whereas in group B it was performed immediately after lavage.

Following completion of the interventions, both groups received the same short course of analgesic and anti-inflammatory medication and participated in an identical standardized home-based physical rehabilitation program consisting of sequential phases: pain control, restoration of range of motion, scapular control, muscle strengthening, and gradual return to activity. Rehabilitation was initiated one week after completion of treatment and was performed twice daily for 15–30 minutes over a period of 4–8 weeks.

Adherence to the rehabilitation program was not formally monitored.

Time Points and Outcome Measures

Assessments were performed before treatment (at baseline) and at 1, 3, and 6 months. Follow-up time points were scheduled from completion of the assigned intervention course: in group A, from the day of the final (third) shockwave therapy session and subacromial corticosteroid injection; in group B, from the day of lavage and subacromial corticosteroid injection. Completion of the treatment course was selected as the common reference point because both groups subsequently followed the same rehabilitation program. However, due to the additional ESWT sessions, the treatment course in group A lasted approximately 3–4 weeks longer, which should be taken into account when interpreting the early follow-up assessments.

The primary outcome was the total Shoulder Pain and Disability Index (SPADI) score at six months. SPADI was assessed before treatment and at 1, 3, and 6 months. The pain and disability subscales were also analyzed separately. Secondary clinical outcomes included pain intensity measured using the 11-point Numeric Rating Scale (NRS) for night pain, pain at rest, and pain during activity at the same time points.

Sonographic outcomes were based on ultrasound measurement of the largest visible diameter of the calcific deposit before treatment and at six months. In addition to residual calcification size and absolute reduction in calcification size, complete disappearance of the calcification (0 mm) and near-complete sonographic resorption, defined a priori as a residual size of ≤ 2 mm, were analyzed. At 6 months, subjective recovery was assessed using the Patient Global Impression of Improvement (PGI-I) scale; a responder was predefined as a patient who rated their condition as «much better.»

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using JASP (version 0.19.6 for Mac). Quantitative data are presented as mean $\pm$ standard deviation for approximately normally distributed variables, or as median with interquartile range [Q1–Q3] for non-normally distributed

or ordinal variables. Categorical data are presented as counts and percentages. Baseline differences between groups were assessed using Welch's t-test, the Mann–Whitney U test, and Fisher's exact test, or the chi-square test.

The primary longitudinal analysis was performed using linear mixed-effects models with fixed effects for time, treatment group, and their interaction, and a random effect for patient identifier. Comparisons between groups at six months were performed using Welch's t-test or the Mann–Whitney U test. Within-group changes in calcific deposit size were assessed using the Wilcoxon signed-rank test. For binary outcomes, odds ratios (ORs) with 95% confidence intervals (CIs) were calculated. All statistical tests were two-sided, and $p < 0.05$ was considered statistically significant. The final analysis was conducted according to the protocol and included only patients with complete data across all predefined time points.

Results

Study Population and Baseline Characteristics

Of the 85 patients assessed for eligibility, 80 met the inclusion criteria and 76 agreed to participate. Initially, 40 patients were assigned to group A (lavage + ESWT + corticosteroid) and 36 to group B (lavage + corticosteroid). At the 1-month follow-up, 37 patients remained in group A and 34 in group B; at the 3- and 6-month follow-ups, 32 and 34 patients, respectively, remained. Thus, the final per-protocol analysis included 66 patients with complete data (Fig. 1).

Reasons for participant withdrawal were unrelated to treatment dissatisfaction or adverse events. In group A, three patients did not attend the first follow-up visit (two because of relocation and one because contact with the study center was lost), while another five withdrew before the 3-month assessment for personal reasons unrelated to treatment. In group B, two patients withdrew because of relocation. Because the drop-out rate was moderate (8 of 40 patients [20%] in group A and 2 of 36 patients [6%] in group B) and no withdrawals resulted from

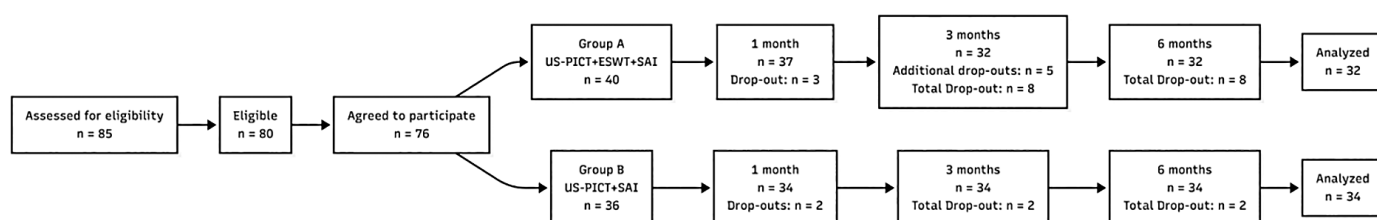


Fig. 1. Flow diagram of study participants.

treatment failure or complications, these losses were unlikely to have substantially affected the study results.

All analyzed patients had radiographic Gartner type II calcific deposits. Baseline demographic, clinical, metabolic, and imaging characteristics were comparable between the groups (Table 1). The supraspinatus tendon was the most frequently affected site (65.6% in group A and 64.7% in group B). No significant between-group differences were observed regarding age, body mass index, symptom duration, dominant-side involvement, diabetes mellitus, hypothyroidism, smoking status, baseline calcific deposit size, SPADI scores, or NRS pain scores.

Longitudinal Clinical Outcomes

Linear mixed-effects models demonstrated significant effects of time and treatment group for all longitudinal clinical outcomes. A significant time $\times$ group interaction, favoring group A, was observed for total SPADI ($F = 10.94$, $p < 0.001$), SPADI pain ($F = 9.88$, $p < 0.001$), SPADI disability ($F = 11.50$, $p < 0.001$), NRS pain at night ($F = 9.63$, $p < 0.001$), and NRS pain during activity ($F = 9.87$, $p < 0.001$). For NRS pain at rest, the effects of time ($F = 207.02$, $p < 0.001$) and group ($F = 16.24$, $p < 0.001$) were significant, whereas the interaction was not ($F = 1.01$, $p = 0.388$),

indicating parallel improvement over time, with consistently lower pain scores in group A (Fig. 2).

Mean outcome trajectories are presented in Table 2. From baseline to 6 months, the total SPADI score decreased from 61.70 ± 14.58 to 9.57 ± 7.53 in group A and from 65.14 ± 13.01 to 28.81 ± 9.99 in group B. Similar patterns were observed for the SPADI pain and disability subscales. In group B, a noticeable plateau was evident for total SPADI and pain during activity between 1 and 3 months, whereas group A demonstrated a more continuous decline.

Comparison at 6 Months

At the 6-month follow-up, all clinical outcomes were significantly better in group A (Table 3). The total SPADI score was significantly lower in group A than in group B (9.57 ± 7.53 vs. 28.81 ± 9.99), with a mean difference of -19.24 points (95% CI, -23.58 to -14.90 ; $p < 0.001$). SPADI pain and disability scores were also lower in group A, with mean differences of -9.95 (95% CI, -12.24 to -7.67 ; $p < 0.001$) and -15.05 points (95% CI, -18.44 to -11.67 ; $p < 0.001$), respectively. Pain intensity at 6 months was likewise lower in group A, including pain at night (0.62 ± 0.55 vs. 1.18 ± 0.76 ; $p = 0.001$), pain at rest (0.09 ± 0.30 vs. 0.71 ± 0.58 ; $p < 0.001$), and pain during activity (1.91 ± 0.78 vs. 2.59 ± 0.96 ; $p = 0.002$).

Table 1.

Baseline Characteristics of the Study Participants

Parameters	Group A (n=32)	Group B (n=34)	Test	p
Age, years	49.53 ± 7.90	52.56 ± 8.77	Welch t-test	0.145
Female sex, n (%)	19 (59.4)	24 (70.6)	Fisher exact test	0.44
Body mass index, kg/m	26.45 ± 2.11	27.02 ± 1.98	Welch t-test	0.263
Affected dominant side, n (%)	26 (81.2)	23 (67.7)	Fisher exact test	0.265
Symptom duration, months	21.00 [15.00–30.50]	24.50 [16.25–35.75]	Mann–Whitney U test	0.376
Diabetes mellitus, n (%)	6 (18.75)	4 (12.5)	Fisher exact test	0.505
Hypothyroidism, n (%)	5 (15.63)	7 (20.6)	Fisher exact test	0.752
Smoking, n (%)	9 (28.1)	7 (20.6)	Fisher exact test	0.57
Baseline calcification size, mm	14.58 ± 4.45	15.74 ± 4.29	Welch t-test	0.284
Affected tendon, n (%)			χ^2	0.943
Supraspinatus	21 (65.6)	22 (64.7)		
Infraspinatus	4 (12.5)	5 (14.7)		
Subscapularis	3 (9.4)	2 (5.9)		
Supraspinatus + Infraspinatus	4 (12.5)	5 (14.7)		
Total SPADI, %	61.70 ± 14.58	65.14 ± 13.01	Welch t-test	0.318
SPADI pain, points	32.03 ± 7.79	33.74 ± 7.11	Welch t-test	0.358
SPADI disability, points	48.19 ± 11.21	50.94 ± 9.84	Welch t-test	0.294
NRS night pain	4.94 ± 1.48	5.44 ± 1.26	Mann–Whitney U test	0.192
NRS pain at rest	2.72 ± 1.14	3.09 ± 1.03	Mann–Whitney U test	0.193
NRS pain during activity	7.00 ± 1.55	7.35 ± 1.50	Mann–Whitney U test	0.327

Note. Quantitative data are presented as mean $\pm$ standard deviation or median [Q1–Q3]. All patients had Gartner type II calcific deposits. Group A = lavage + ESWT + corticosteroid; Group B = lavage + corticosteroid.

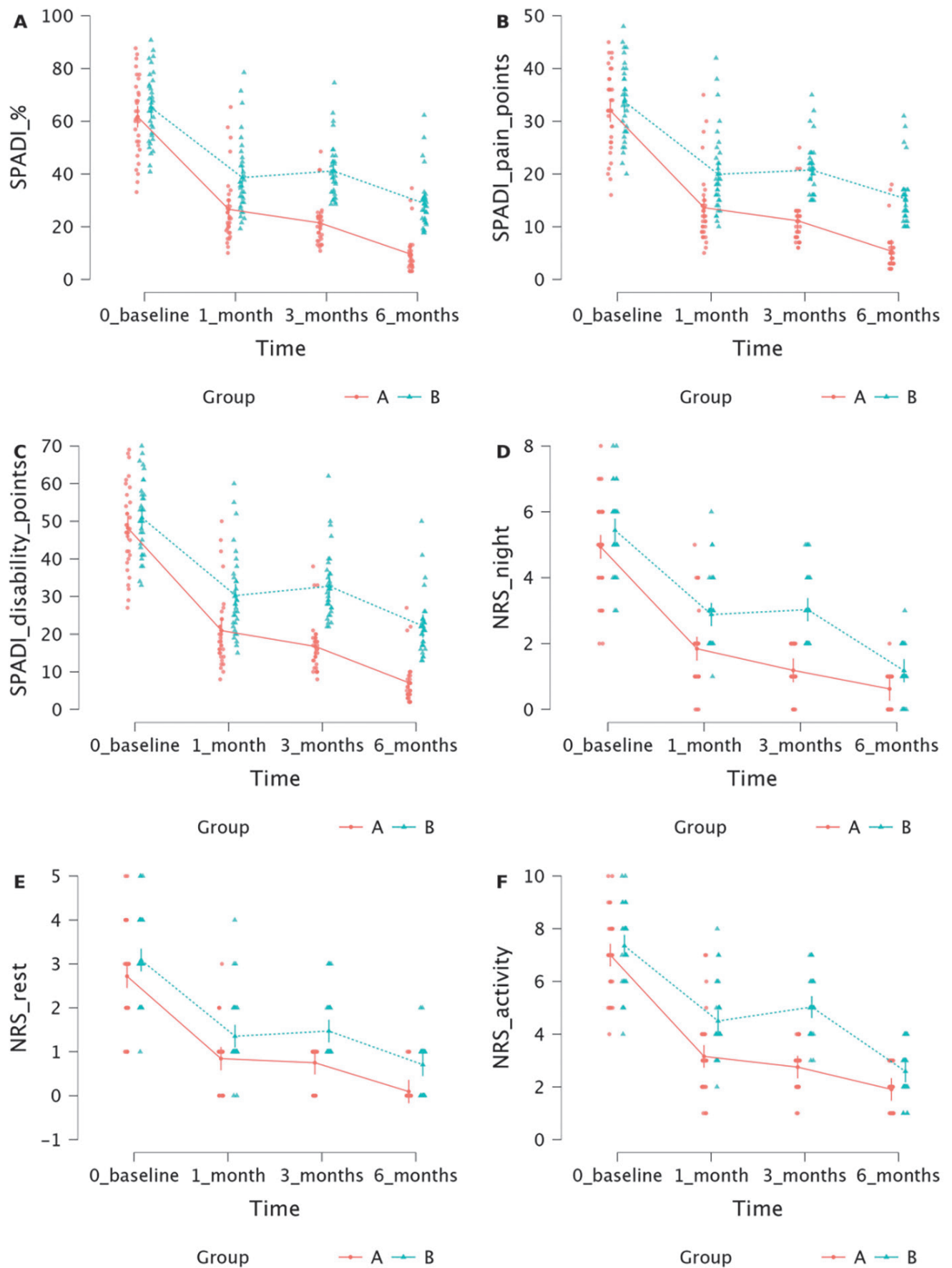


Figure 2. Changes in clinical outcomes over time in the two treatment groups. Panels: (A) total SPADI; (B) SPADI pain; (C) SPADI disability; (D) NRS pain at night; (E) NRS pain at rest; (F) NRS pain during activity.

Table 2.**Changes in Clinical Outcomes over Time**

Parameters	Group	Baseline	1 month	3 months	6 months
Total SPADI, %	A	61.70 ± 14.58	26.56 ± 13.16	21.44 ± 8.64	9.57 ± 7.53
	B	65.14 ± 13.01	38.62 ± 14.18	41.13 ± 10.68	28.81 ± 9.99
SPADI pain, points	A	32.03 ± 7.79	13.59 ± 6.97	11.12 ± 4.35	5.34 ± 3.96
	B	33.74 ± 7.11	19.94 ± 7.59	20.74 ± 5.12	15.29 ± 5.27
SPADI disability, points	A	48.19 ± 11.21	20.94 ± 10.15	16.75 ± 6.92	7.09 ± 5.86
	B	50.94 ± 9.84	30.26 ± 10.84	32.74 ± 8.91	22.15 ± 7.81
NRS night pain	A	4.94 ± 1.48	1.84 ± 1.17	1.19 ± 0.69	0.62 ± 0.55
	B	5.44 ± 1.26	2.88 ± 1.07	3.03 ± 1.00	1.18 ± 0.76
NRS pain at rest	A	2.72 ± 1.14	0.84 ± 0.72	0.75 ± 0.44	0.09 ± 0.30
	B	3.09 ± 1.03	1.35 ± 0.81	1.47 ± 0.71	0.71 ± 0.58
NRS pain during activity	A	7.00 ± 1.55	3.16 ± 1.51	2.75 ± 0.88	1.91 ± 0.78
	B	7.35 ± 1.50	4.50 ± 1.31	5.03 ± 1.09	2.59 ± 0.96

Note. Values are presented as mean ± standard deviation. Group A = lavage + ESWT + corticosteroid; Group B = lavage + corticosteroid.

Table 3.**Clinical, Sonographic, and Patient-Reported Outcomes at 6 Months**

Parameters	Group A (n=32)	Group B (n=34)	Test	p	Effect Estimate (95% CI)
Total SPADI, %	9.57 ± 7.53	28.81 ± 9.99	Welch t-test	<0.001	MD -19.24 (-23.58...-14.90)
SPADI pain, points	5.34 ± 3.96	15.29 ± 5.27	Welch t-test	<0.001	MD -9.95 (-12.24...-7.67)
SPADI disability, points	7.09 ± 5.86	22.15 ± 7.81	Welch t-test	<0.001	MD -15.05 (-18.44...-11.67)
NRS night pain	0.62 ± 0.55	1.18 ± 0.76	Welch t-test	0.001	MD -0.55 (-0.88...-0.23)
NRS pain at rest	0.09 ± 0.30	0.71 ± 0.58	Welch t-test	<0.001	MD -0.61 (-0.84...-0.39)
NRS pain during activity	1.91 ± 0.78	2.59 ± 0.96	Welch t-test	0.002	MD -0.68 (-1.11...-0.25)
Residual calcification, mm	1.43 ± 2.85	3.93 ± 4.54	Mann-Whitney U test	<0.001	HL -2.3 (-2.8...-0.2)
Reduction in calcification size, mm	13.15 ± 4.69	11.82 ± 3.87	Welch t-test	0.215	MD 1.33 (-0.79...3.46)
Complete disappearance, n (%)	20 (62.5)	9 (26.5)	Fisher exact test	0.006	OR 4.63 (1.63...13.17)
Resorption ≤2 mm, n (%)	24 (75.0)	11 (32.4)	Fisher exact test	<0.001	OR 6.27 (2.14...18.39)
PGI-I, median [Q1-Q3]	1.00 [1.00-2.00]	2.00 [2.00-3.00]	Mann-Whitney U test	<0.001	HL -1 (-1...-1)
PGI-I responders, n (%)	20 (62.5)	4 (11.8)	Fisher exact test	<0.001	OR 12.50 (3.53...44.30)

Note. MD = mean difference (group A – group B); HL = Hodges–Lehmann estimate (group A – group B); OR = odds ratio for group A vs group B. Lower values indicate better outcomes for SPADI, NRS, PGI-I, and residual calcific deposit size.

Calcific Deposit Size and Ultrasound-Assessed Resorption

The size of the calcific deposit decreased significantly from baseline to 6 months in both groups (Fig. 3). In group A, it decreased from 14.58 ± 4.45 to 1.43 ± 2.85 mm ($W = 528.0$, $z = 4.94$, $p < 0.001$), whereas in group B it decreased from 15.74 ± 4.29 to 3.93 ± 4.54 mm ($W = 595.0$, $z = 5.09$, $p < 0.001$). At 6 months, the residual calcific deposit was significantly smaller in group A than in group B (1.43 ± 2.85 vs 3.93 ± 4.54 mm; $p < 0.001$; Hodges–Lehmann estimate: -2.3 mm; 95% CI, -2.8 to -0.2). The mean ab-

solute reduction was 13.15 ± 4.69 mm in group A and 11.82 ± 3.87 mm in group B; this difference was not statistically significant ($p = 0.215$).

However, clinically more meaningful sonographic outcomes favored group A. Complete disappearance of the calcific deposit was observed in 20 of 32 patients (62.5%) in group A compared with 9 of 34 patients (26.5%) in group B; OR, 4.63 (95% CI, 1.63–13.17; $p = 0.006$). Near-complete resolution (residual deposit ≤ 2 mm) was achieved in 24 of 32 patients (75.0%) in group A versus 11 of 34 patients (32.4%) in group B; OR, 6.27 (95% CI, 2.14–18.39; $p < 0.001$).

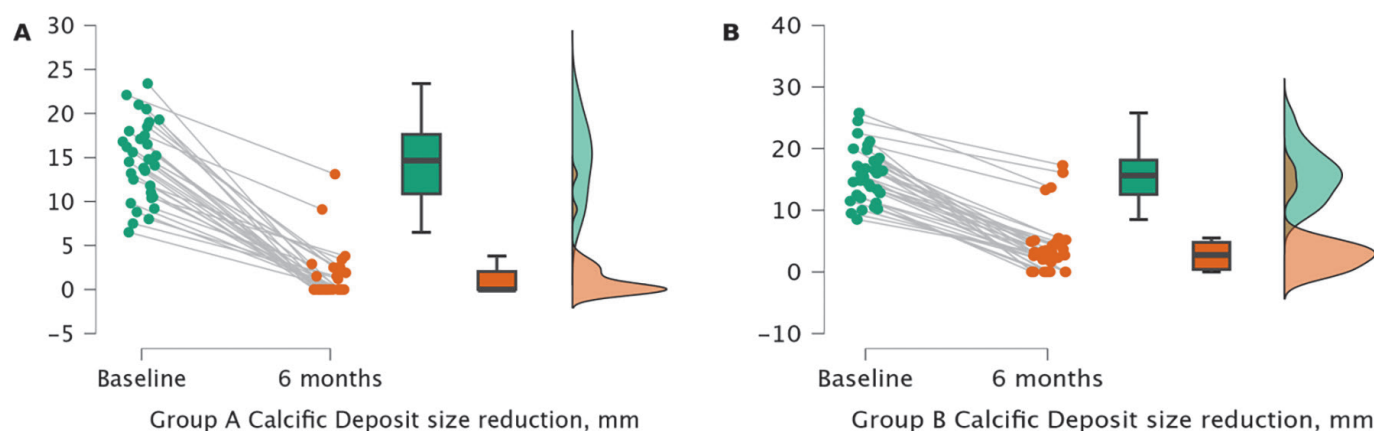


Figure 3. Within-group changes in calcific deposit size from baseline to 6 months. Panel A, group A (lavage + ESWT + corticosteroid); Panel B, group B (lavage + corticosteroid).

Patient Global Impression of Improvement

Patient-reported improvement at 6 months also favored group A. The PGI-I score was lower in group A than in group B (median [Q1–Q3], 1.00 [1.00–2.00] vs. 2.00 [2.00–3.00]; $p < 0.001$). According to the pre-defined responder criterion, 20 of 32 patients (62.5%) in group A were classified as responders compared with 4 of 34 patients (11.8%) in group B; OR, 12.50 (95% CI, 3.53–44.30; $p < 0.001$).

Safety

Both treatment strategies were well tolerated. Consistent with our previous cohort, minor adverse events were infrequent, resolved spontaneously, and required no specific treatment. Occasional vasovagal reactions occurred during or immediately after the lavage procedure in both groups. In group A, transient pain exacerbation following ESWT and small superficial hematomas were observed occasionally. No serious complications, including infection, neurovascular injury, tendon rupture, or hospitalization, were recorded. Because adverse events were recorded descriptively rather than as formal incidence endpoints, they are reported qualitatively.

Discussion

The principal finding of this study is that the addition of focused ESWT after lavage was associated with better clinical and sonographic outcomes at 6 months compared with the same lavage-based treatment protocol without ESWT in patients with Gartner type II calcific tendinopathy. The superiority of group A was consistently demonstrated across total SPADI, SPADI pain and disability scores, pain at night and during activity, patient-reported improvement, residual calcific deposit size, and the rates of complete and near-complete sonographic resorption.

These findings are clinically relevant because the existing literature has focused primarily on direct comparisons between lavage and ESWT rather than on additive treatment strategies. Randomized studies and meta-analyses have shown that lavage often provides greater short-term reductions in pain and calcific deposit size than ESWT alone, although long-term differences appear less consistent [5–9]. Our study addressed a different clinical question: does a patient who has already undergone lavage derive additional benefit from a standardized course of subsequent ESWT? In this cohort of patients with type II calcific deposits, the answer appears to be affirmative, at least over a 6-month follow-up period.

The pattern of recovery is also noteworthy. In group A, pain and functional limitations gradually decreased, whereas in group B several outcomes improved early and then reached a plateau between 1 and 3 months, particularly total SPADI and pain during activity. These findings suggest that lavage combined with subacromial corticosteroid injection provides substantial early symptom relief in patients with type II calcific tendinopathy, whereas the addition of ESWT may help sustain or further enhance recovery during the subacute phase.

The sonographic findings require careful interpretation. Calcific deposit size decreased significantly in both groups, as expected, since all patients underwent lavage. However, the difference in the absolute reduction between the groups was not significant, in contrast to the clear differences in the residual calcification size and categorical measures of resorption. In other words, the addition of ESWT increased the likelihood of complete or near-complete clearance of the calcific deposit by 6 months. This is likely to represent a more clinically meaningful structural signal than the average reduction in deposit size.

Overall, our findings are consistent with recent reports on combined treatment strategies. Zhang

et al. reported better clinical and sonographic outcomes when ESWT was added to ultrasound-guided needling lavage compared with lavage alone, whereas Hiraoka et al. demonstrated high resorption rates and favorable clinical outcomes with repeated focused ESWT combined with lavage in a large observational cohort [11, 12]. Our study adds prospective evidence and, importantly, focuses on a morphologically homogeneous population with Gartner type II calcific deposits.

Specifically restricting the study population to type II calcific deposits is a major advantage of this study. Many previous investigations combined different radiographic types of calcific deposits despite the fact that the biological and mechanical behavior of dense type I deposits, transitional type II deposits, and the more resorptive type III deposits may differ. By focusing exclusively on type II lesions, we reduced phenotypic heterogeneity and matched the intervention to a subgroup in which both lavage and subsequent fragmentation- and resorption-promoting stimulation are mechanistically justified. A second advantage is protocol standardization: the lavage technique, corticosteroid regimen, analgesia, and rehabilitation program were identical in both groups, minimizing the risk that differences resulted from unequal co-interventions.

Limitations

Several limitations should be acknowledged. The allocation was non-randomized and based on patient preference, making it impossible to exclude expectation effects, residual confounding, and selection bias, despite the well-balanced baseline characteristics. In particular, patients who chose to undergo additional ESWT (group A) may have been more motivated and had a higher socioeconomic status and, consequently, may have adhered more closely to the rehabilitation program, although adherence was not formally monitored. These unmeasured factors may therefore have contributed, at least in part, to the observed advantage of group A. Imaging assessments were not blinded and were performed by the treating physician. Analyses were conducted on a per-protocol rather than according to the intention-to-treat principle. Adverse events were recorded descriptively rather than as formal endpoints. Finally, this was a single-center study with only 6 months of follow-up; therefore, the durability of treatment benefits and the risk of recurrence remain uncertain.

Despite these limitations, the study has important clinical implications. In patients with Gartner type II calcific tendinopathy, a lavage-based treatment strat-

egy may be enhanced by the addition of standardized focused ESWT. The greatest benefits were observed in shoulder function, night pain, pain during activity, patient-perceived recovery, and the likelihood of complete or near-complete resorption. Randomized trials with blinded imaging assessment, formal recording of adverse events, and longer follow-up are needed to confirm these findings.

Conclusions

In this prospective cohort study of patients with radiographic Gartner type II calcific rotator cuff tendinopathy, the addition of focused ESWT following ultrasound-guided percutaneous lavage was associated with better pain relief, improved shoulder function, greater patient-reported improvement, and better sonographic resorption at 6 months than an otherwise identical lavage-based treatment protocol without ESWT. Because the study was non-randomized and imaging assessments were not blinded, these findings should be interpreted as associative rather than definitively causal.

ADDITIONAL INFORMATION

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Funding. This study received no external funding.

References

1. Catapano M, Robinson DM, Schowalter S, McInnis KC. Clinical evaluation and management of calcific tendinopathy: an evidence-based review. *J Osteopath Med*. 2022;122(3):141–151. DOI: 10.1515/jom-2021-0213.
2. Chianca V, Albano D, Messina C, Midiri F, Mauri G, Aliprandi A, et al. Rotator cuff calcific tendinopathy: from diagnosis to treatment. *Acta Biomed*. 2018;89(1-S):186–196. DOI: 10.23750/abm.v89i1-S.7022.
3. Guido F, Venturin D, De Santis A, Giovannico G, Brindisino F. Clinical features in rotator cuff calcific tendinopathy: a scoping review. *Shoulder Elbow*. 2025;17(2):121–129. DOI: 10.1177/17585732241244515.
4. Avendano JP, Pereira D. Treatment of calcific tendinitis of the rotator cuff: an updated review. *Orthopedics*. 2023;46(6):e326–e332. DOI: 10.3928/01477447-20230901-01.
5. Lafrance S, Doiron-Cadrin P, Saulnier M, Lamontagne M, Bureau NJ, Dyer JO, et al. Is ultrasound-guided lavage an effective intervention for rotator cuff calcific tendinopathy? A systematic review with a meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5(1):e000506. DOI: 10.1136/bmjsem-2018-000506.
6. Sconza C, Palloni V, Lorusso D, Guido F, Fari G, Tognolo L, et al. Ultrasound-guided percutaneous lavage for the treatment of rotator cuff calcific tendinopathy: a systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2024;60(6):995–1008. DOI: 10.23736/S1973-9087.24.08544-7.

7. De Boer FA, Mocking F, Nelissen EM, Van Kampen PM, Huijsmans PE. Ultrasound guided needling vs radial shock-wave therapy in calcific tendinitis of the shoulder: a prospective randomized trial. *J Orthop.* 2017;14(4):466–469. DOI: 10.1016/j.jor.2017.07.011.
8. De Witte PB, Kolk A, Overes F, Nelissen RGHH, Reijnen M. Rotator cuff calcific tendinitis: ultrasound-guided needling and lavage versus subacromial corticosteroids: five-year outcomes of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2017;45(14):3305–3314. DOI: 10.1177/0363546517721686.
9. Louwerens JKG, Siersevelt IN, Kramer ET, Boonstra R, Van Den Bekerom MPJ, Van Royen BJ, et al. Comparing ultrasound-guided needling combined with a subacromial corticosteroid injection versus high-energy extracorporeal shockwave therapy for calcific tendinitis of the rotator cuff: a randomized controlled trial. *Arthroscopy.* 2020;36(7):1823–1833. DOI: 10.1016/j.arthro.2020.02.027.
10. Moosmayer S, Ekeberg OM, Hallgren HB, Heier I, Kvalheim S, Juel NG, et al. Ultrasound guided lavage with corticosteroid injection versus sham lavage with and without corticosteroid injection for calcific tendinopathy of shoulder: randomised double blinded multi-arm study. *BMJ.* 2023;383:e076447. DOI: 10.1136/bmj-2023-076447.
11. Hiraoka Y, Ochiai N, Hashimoto E, Inagaki K, Hattori F, Akiyama T, et al. Clinical outcomes of combined focused shock wave and ultrasound-guided percutaneous irrigation of rotator cuff calcific tendinopathy therapy. *J Orthop Sci.* 2025;30(5):805–809. DOI: 10.1016/j.jos.2024.12.005.
12. Zhang H, Wang Y, Yang J, Zhao Z, Zhang W, Liu X. Ultrasound-guided needling combined with high- or low-energy extracorporeal shock wave therapy versus needling alone for calcified rotator cuff: a retrospective study. *Orthop J Sports Med.* 2024;12(11):23259671241275078. DOI: 10.1177/23259671241275078.

Ударно-хвильова терапія після лаважу при кальцифікуючій тендинопатії плеча II типу за Gartner

Білявський В.О.¹✉, Страфун О.С.¹

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ, Україна

Резюме. Актуальність. Лаваж (черезшкірне промивання кальцинату під ультразвуковим контролем) широко застосовують при кальцифікуючій тендинопатії ротаторної манжети, проте додаткова користь фокусованої ударно-хвильової терапії після лаважу при кальцинатах II типу за Gartner вивчена недостатньо. **Мета дослідження.** Порівняти результати лаважу з наступною фокусованою ударно-хвильовою терапією та ізольованого лаважу при тендинопатії II типу за Gartner. **Матеріали і методи.** Проспективне порівняльне когортне дослідження: група А отримала лаваж, три сеанси ударно-хвильової терапії, субакроміальний кортикостероїд і реабілітацію; група В — те саме без ударно-хвильової терапії. Первинним показником був сумарний бал SPADI через 6 місяців. **Результати.** Проаналізовано 66 пацієнтів (32 у групі А, 34 у групі В) із зіставними вихідними характеристиками. Через 6 місяців група А переважала за сумарним SPADI (9,57 проти 28,81 %; різниця –19,24), болем і функціональною недостатністю за SPADI та болем за числовою шкалою вночі, у спокої й під час навантаження (усі $p < 0,01$). Залишковий кальцинат був меншим у групі А (1,43 проти 3,93 мм; $p < 0,001$). Повне зникнення кальцинату досягнуто в 62,5 проти 26,5 % (ВШ 4,63), майже повне розсмоктування ≤ 2 мм — у 75,0 проти 32,4 % (ВШ 6,27), виразне суб'єктивне поліпшення — у 62,5 проти 11,8 % (ВШ 12,50). В обох групах розмір кальцинату суттєво зменшився, а різниця в абсолютному зменшенні була незначущою ($p = 0,215$). **Висновки.** Додавання фокусованої ударно-хвильової терапії до лаважу асоціювалося з кращими через 6 місяців болем, функцією та сонографічним розсмоктуванням; через нерандомізований дизайн результати слід трактувати як асоціативні.

Ключові слова: кальцифікуюча тендинопатія ротаторної манжети; II тип за Gartner; лаваж; черезшкірне промивання під ультразвуковим контролем; ударно-хвильова терапія; SPADI.

Результати хірургічного лікування хворих з ротаторною артропатією другої стадії за Хамада

Страфун С.С.¹, Богдан С.В.¹ ✉, Шишка І.В.², Сергієнко Р.О.³, Гофман М.П.¹

Резюме. Вступ. Лікування ротаторної артропатії плечового суглоба (ПС) є достатньо складною малодослідженою проблемою оскільки у даної групи хворих з'являються біомеханічні порушення у ПС пов'язані з верхньою міграцією голівки плечової кістки та жировою дегенерацією м'язів ротаторної манжети плеча. **Мета роботи** – порівняти результати різних варіантів хірургічного лікування хворих з ротаторною артропатією плечового суглоба II ст за Хамада. **Матеріали і методи.** Нами проведено лікування 391 хворого з ротаторною артропатією ПС різного ступеню. У 130 хворих, що становили 33,2% від загальної кількості пацієнтів, було виявлено ротаторну артропатію ПС II ст за Хамада. Саме їх ми і включили до даного дослідження. Середній вік складав $64,1 \pm 19,4$ років. Всі хворі були розподілені на 5 груп в залежності від виконаного оперативного втручання. Оцінку функції ПС ми проводили за шкалами Constant Shoulder Score та ВАШ до оперативного втручання, а також через 6 та 12 міс після операції. **Результати.** Найкращі середні результати за шкалою Constant Shoulder Score через 6 міс після операції серед всіх хворих з ротаторною артропатією II ст за Хамада було отримано в групі, де виконувалося відновлення верхньої капсули ПС – $20,9 \pm 14,3$ балів. Водночас децю гірші результати отримано в групі, де виконували реверсивне протезування – $23,8 \pm 5,1$ балів, а найгірші результати було отримано в групі, де виконувався шов сухожилків РМП – $38,4 \pm 12,1$ балів. **Висновки.** Найбільший середній приріст функції ПС за шкалою Constant Shoulder Score через 12 міс після операції було виявлено в групі, де було виконано реверсивне протезування та відновлення його верхньої капсули. Найменший середній приріст функції ПС за шкалою Constant Shoulder Score спостерігався в групі пацієнтів, яким було виконано шов сухожилків РМП або дебрідмент ПС. З огляду на отримані результати, виконання цих хірургічних втручань у хворих із ротаторною артропатією II ступеня не є доцільним.

Ключові слова: ротаторна манжета плеча, ротаторна артропатія, сухожилок надостьового м'яза, плечовий суглоб.

Лікування ротаторної артропатії плечового суглоба (ПС) є достатньо складною малодослідженою проблемою, оскільки у даної групи хворих з'являються біомеханічні порушення у ПС пов'язані з верхньою міграцією голівки плечової кістки та жировою дегенерацією м'язів ротаторної манжети плеча (РМП), зокрема надостьового та підостьового м'язів [1–4]. При ротаторній артропатії другої стадії за Хамада субакроміальний простір зменшується до 1–5 мм, а ушкоджені сухожилки ретрагуються (відсуваються від місця своєї фіксації до голівки плечової кістки), що створює

додаткові складності під час хірургічного втручання [1, 5, 6].

Частина зарубіжних авторів такі ушкодження РМП розглядають як невідновні та пропонують різні варіанти хірургічного лікування – від шва сухожилків РМП (за умови можливості їх мобілізації до місця анатомічної фіксації) та відновлення верхньої капсули ПС до транспозиції найширшого м'яза спини на великий горбок плечової кістки у осіб середнього віку або реверсивного протезування ПС у пацієнтів літнього віку [1, 5, 7]. Щоправда, результати таких оперативних втручань лишаються сумнівними та неоднозначними.

У більшості досліджень, присвячених результатам лікування ротаторної артропатії недостатньо враховуються стадія захворювання та стан м'язів РМП, а показання до реверсивного протезування

✉ Богдан С.В., www.sergey-mena@ukr.net

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Україна, Київ

² Запорізька обласна клінічна лікарня, Україна, Запоріжжя

³ Національний університет фізичного виховання і спорту України, Україна, Київ

ПС нерідко поширюються на пацієнтів середнього віку. Це може впливати на інтерпретацію результатів лікування. [1–3, 8, 9]. Окрім того, обмежені можливості щодо застосування реверсивних ендопротезів ПС зумовлюють необхідність пошуку варіантів альтернативних операцій із зіставними результатами лікування.

Мета роботи порівняти результати різних варіантів хірургічного лікування хворих з ротаторною артропатією плечового суглоба II ст за Хамада.

Матеріали і методи

Протягом останніх 20-ти років на базі Державної установи «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» (м. Київ) нами проведено лікування 391 хворого з ротаторною артропатією ПС різного ступеню. У 130 хворих, що становили 33,2% від загальної кількості пацієнтів, було виявлено ротаторну артропатію ПС II ст за Хамада. Саме їх ми і включили до даного дослідження. Середній вік складав $64,1 \pm 19,4$ років. Всі хворі були розподілені на п'ять груп в залежності від виконаного оперативного втручання:

1. Шов сухожилків РМП – 61 хворий (46,9%), з них – 41 (31,5%) було виконано артроскопічно, а іншим 20 (15,4%) – відкрито;

2. Дебрідмент ПС, тенотомія сухожилка довгої

голівки біцепса та резекція великого горбка плечової кістки – 5 хворих (3,8%);

3. Відновлення верхньої капсули ПС виконано у 48 хворих (36,9%). Із них у 8 (6,1%) пацієнтів використаний аллотрансплантат, у 19 хворих (14,6%) – сухожилок довгої голівки біцепса, а у 21 хворого (16,1%) – широку фасцію стегна 8-шарового трансплантата. Відкрите оперативне втручання виконано у 21 (16,1%) хворого, тоді як у 27 (20,7%) пацієнтів операцію проведено під артроскопічним контролем.

4. Реверсивне протезування ПС – 2 хворих (1,5%);

5. Транспозиція сухожилка найширшого м'яза спини (LTD) – 14 хворих (10,7%).

Основні характеристики вищевказаних груп наведено в табл.1.

Всім хворим перед оперативним втручанням було проведено клінічне та рентгенологічне обстеження. Крім того, майже всім пацієнтам було виконано МРТ-дослідження ПС з оцінкою стану РМП, зокрема наявності та ступеня жирової дегенерації її м'язів.

Глобальний індекс жирової дегенерації (GFDI) – це показник, що використовується в ортопедії для кількісної оцінки тяжкості жирової дегенерації або жирової інфільтрації в м'язах РМП. GFDI розраховували як середнє значення балів за шкалою Гутальє (від 0 до 4), що присвоюються надостному, підостному та підлопатковому м'язам, які виявляються за допомогою МРТ. Вищий GFDI

Таблиця №1

Основні характеристики груп дослідження з ротаторною артропатією плечового суглоба II ст за Хамада в залежності від виконаного оперативного втручання

Характеристика	група 1 (n=61)	група 2 (n=5)	група 3 (n=48)	група 4 (n=2)	група 5 (n=14)
Варіант хірургічного втручання	Шов сухожилків РМП	Дебрідмент ПС	Відновлення верхньої капсули ПС	Реверсивне протезування	Транспозиція LTD
Відкрито	25 (20,7%)	0	21 (16,1%)	2 (1,5%)	14 (10,7%)
Артроскопічно	41 (31,5%)	5 (3,8%)	27 (20,7%)	0	0
Стать: ч/ж (%)	21 (16,1%) / 40 (30,7%)	1 (0,7%) / 4 (3,1%)	25 (20,7%) / 23 (17,7%)	0 / 2 (1,5%)	10 (7,7) / 4 (3,1%)
Вік (років)	$51,9 \pm 12,2$	$71,7 \pm 2,9$	$49,9 \pm 11,8$	$74,1 \pm 1,9$	$54,8 \pm 13,8$
Середня кількість ушкоджених сухожилків РМП	$2,1 \pm 1,9$	$2,4 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,6$	2,5	$2 \pm 0,9$
Глобальний індекс жирової дегенерації (GFDI)	$1,4 \pm 0,5$	$1,5 \pm 1,1$	$1,3 \pm 1,1$	$1,2 \pm 1,9$	$1,3 \pm 1,1$
Термін від початку захворювання до операції (міс)	$8,21 \pm 3,91$	$8 \pm 4,4$	$7,7 \pm 3,4$	$12,7 \pm 1,4$	$6,9 \pm 5,4$
Середня оцінка за шкалою ВАШ до операції (балів)	$5,7 \pm 2,6$	$5,5 \pm 1,8$	$6,1 \pm 2,6$	$6,6 \pm 2,8$	$5,9 \pm 2$
Середня оцінка за шкалою Constant Shoulder Score до операції (балів)	$48,2 \pm 13,4$	$41,8 \pm 4,1$	$40,7 \pm 12,3$	$43,8 \pm 3,1$	$47,5 \pm 21,1$

вказує на більш тяжку жирову інфільтрацію та пов'язаний з гіршим прогнозом, включаючи підвищений ризик повторного розриву та зниження функціональних результатів після операції на ротаторній манжеті [1,7,9].

У своєму дослідженні оцінку функції ПС ми проводили за шкалами Constant Shoulder Score та ВАШ до оперативного втручання та через 6 та 12 міс після операції [1,7].

Критеріями включення до дослідження були: наявність ротаторної артропатії ПС II ст, відсутність переломів проксимального епіметафізу плечової кістки або лопатки, що підтверджувалося клінічним обстеженням та додатковими методами візуалізації (рентгенографія, МРТ); виконання стандартного протоколу оперативного втручання та програми післяопераційної реабілітації, проведення контрольних оглядів пацієнтів через 6 та 12 міс після оперативного втручання.

Статистичний аналіз. Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакета STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc., США; ліцензія № ALXR712D833 252FAN3). Для відображення загальної характеристики вихідних параметрів застосовувалися методи описової статистики з визначенням середнього значення та стандартного відхилення. Для порівняння кількісних показників між двома групами за умови нормального розподілу даних застосовували критерій Стюдента, а при розподілі відмінному від нормального – критерій Манна – Уїтні.

Результати

У табл. 2 показано результати лікування хворих всіх груп за шкалою Constant Shoulder Score через 6 та 12 міс після операції.

За шкалою ВАШ було отримано наступні результати табл.3.

Як бачимо з табл. 2, найкращі середні результати за шкалою Constant Shoulder Score через 6 міс після операції серед всіх хворих з ротаторною артропатією II ст за Хамада було отримано в групі, де виконувалося відновлення верхньої капсули ПС – $20,9 \pm 14,3$ балів, дещо гірші результати отримано в групі, де виконували реверсивне протезування – $23,8 \pm 5,1$ балів, найгірші результати було отримано в групі, де виконувався шов сухожилків РМП – $38,4 \pm 12,1$ балів. При статистичній обробці даних, порівнюючи групи 1 та 3 ($p=0,038$); 3 та 5 ($p=0,067$), 1 та 5 ($p=0,041$). Групи 2 та 4 до статистичного аналізу не вносили у зв'язку із малою кількістю хворих в групах. Таким чином, результати в групі 3 були достовірно кращі ніж результати груп 5 та 1. Аналогічна ситуація була і при оцінці результатів лікування хворих через 12 міс після операції. Найкращі результати отримано в групі 3, де виконувалося відновлення верхньої капсули – $14,7 \pm 10,4$ балів, схожу картину спостерігали в групі 4, де виконувалося реверсивне протезування ПС – $14,4 \pm 4,2$ балів. Найгірші результати отримано в групі 1, де виконувався шов сухожилків РМП – $35,1 \pm 10,4$ балів.

Схожу картину спостерігали і при оцінці хворих за шкалою ВАШ. Найменший рівень больового синдрому було отримано в групах 3 та 4 через 12 міс після оперативного втручання. При статистичній обробці даних, порівнюючи групи 1 та 3 ($p=0,041$); 3 та 5 ($p=0,081$), 1 та 5 ($p=0,02$).

Для оцінки ефективності хірургічного втручання ми визначили середні показники приросту функції ПС в кожній з груп (рис. 1).

Як свідчать дані рис.1, найбільший приріст функції ПС за шкалою Constant Shoulder Score було виявлено в групі, де було виконано реверсивне

Таблиця №2

Середні показники результатів лікування за шкалою Constant Shoulder Score у хворих всіх груп в різні терміни спостереження

Терміни обстеження хворих	група 1 балів (n=61)	група 2 балів (n=5)	група 3 балів (n=48)	група 4 балів (n=2)	група 5 балів (n=14)
Через 6 міс після операції	$38,4 \pm 12,1$	$31,1 \pm 9,1$	$20,9 \pm 14,3$	$23,8 \pm 5,1$	$33,9 \pm 10,1$
Через 12 міс після операції	$35,1 \pm 10,4$	$32,4 \pm 4,4$	$14,7 \pm 10,4$	$14,4 \pm 4,2$	$29,5 \pm 13,4$

Таблиця №3

Середні показники візуально-аналогової шкали болю (ВАШ) у хворих всіх груп в різні терміни спостереження

Терміни обстеження хворих	група 1 балів (n=61)	група 2 балів (n=5)	група 3 балів (n=48)	група 4 балів (n=2)	група 5 балів (n=14)
Через 6 міс після операції	$3,7 \pm 1,6$	$4,4 \pm 1,1$	$2,1 \pm 2,9$	$2,6 \pm 0,8$	$3,9 \pm 2,2$
Через 12 міс після операції	$2,7 \pm 1,3$	$4,5 \pm 1,3$	$1,9 \pm 2$	$1,4 \pm 0,4$	$3,0 \pm 1,5$

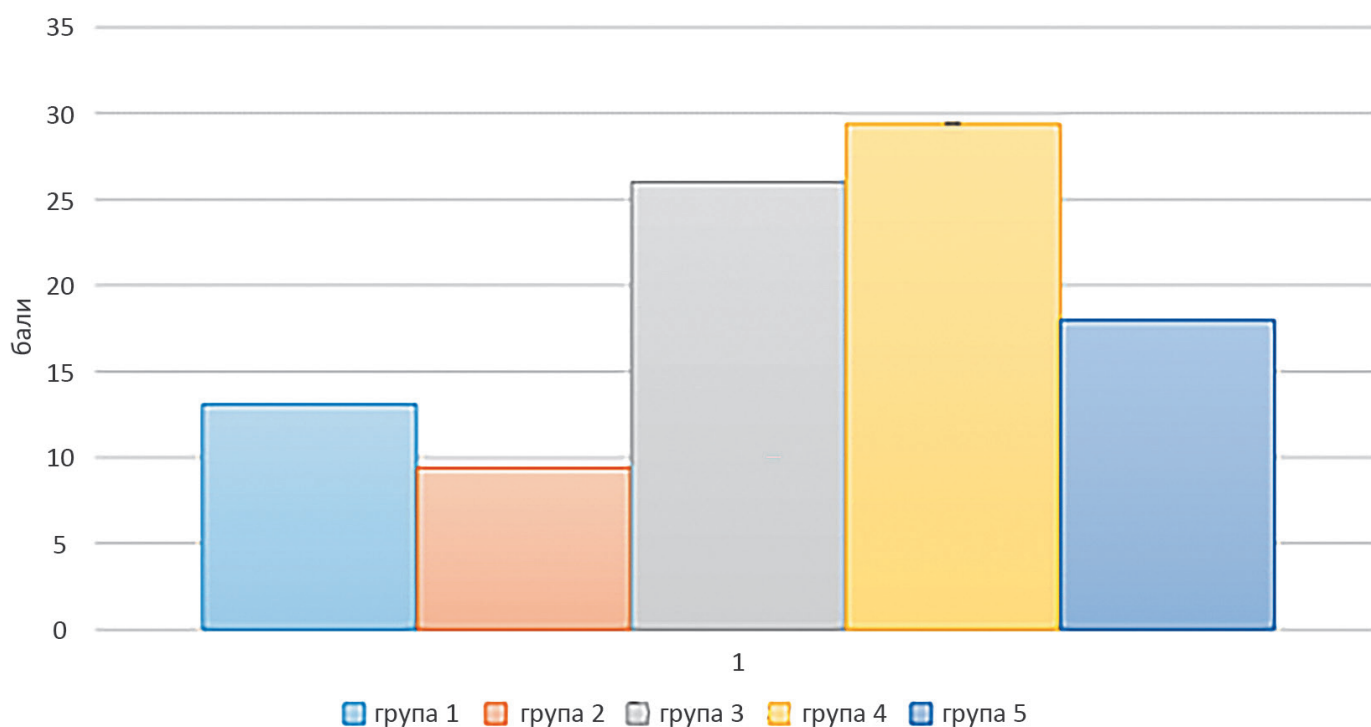


Рис. 1 Середній приріст функції плечового суглоба в балах кожної з груп дослідження за шкалою Constant Shoulder Score

протезування та відновлення верхньої капсули ПС. Найменший приріст функції ПС виявлено в групі 2, де було виконано дебрідмент ПС та резекцію великого горбка плечової кістки.

Обговорення

Наявність численних варіантів хірургічного втручання, що застосовуються для лікування однієї нозології свідчить про відсутність уніфікованого підходу до вирішення даної проблеми. Вибір оптимального методу хірургічного лікування потребує ретельного аналізу результатів різних операцій, що можуть застосовуватися при даній патології. Для об'єктивної оцінки кожного застосованого варіанту хірургічного втручання доцільно аналізувати такі показники, як функціональний результат та приріст функції через певний період часу.

Аналізуючи результати лікування хворих усіх груп за шкалою Constant Shoulder Score через 6 та 12 міс після операції, можна зробити висновок, що найкращі результати отримано у хворих, яким виконувалося відновлення верхньої капсули (superior capsule reconstruction) – $20,9 \pm 14,3$ балів через 6 міс після операції, тоді як після реверсивного протезування функція ПС була дещо гірша – $23,8 \pm 5,1$ балів. На нашу думку це пов'язано з віком хворих, який суттєво впливає на здатність орга-

нізму до регенерації. Середній вік у групі, де виконувалося відновлення верхньої капсули складав $49,9 \pm 11,8$ років, тоді як у групі, де було виконано реверсивне протезування ПС – $74,1 \pm 1,9$ років. Ми не проводили аналіз супутньої патології пацієнтів цих двох груп, але можна припустити, що її частота була вищою у групі пацієнтів віком понад сімдесят років порівняно з групою, у якій середній вік пацієнтів становив близько п'ятидесяти років. Під час аналізу результатів лікування у цих двох групах через 12 міс після операції кращі показники отримано у групі, де було виконано реверсивне протезування, що пов'язано, на нашу думку, з покращенням тону м'язів плечового поясу. Статистичний порівняльний аналіз не проводився, оскільки в одній з груп було лише двоє хворих.

Найбільший інтерес для оцінки результатів становить група, де виконувався шов сухожилків РМП. У даній групі отримали найгірші результати, навіть гірші ніж у групі, де виконувався лише дебрідмент суглоба. На нашу думку це пов'язано з великим натягом сухожилків РМП та неспроможністю швів та (або) з тенodesом чи тенотомією сухожилка довгої голівки біцепса, відсутність якого між голівкою плеча та акроміоном суттєво пришвидшує прогресування ротаторної артропатії.

У клінічній практиці нерідко спостерігаються пацієнти старшого віку з повним відривом сухожилка надостового м'яза та частковими розривами сухожилків підлопаткового та підостового

м'язів, які мають помірний больовий синдром і достатній обсяг рухів у ПС для самообслуговування. Такі пацієнти часто відмовляються від хірургічного втручання допоки є неушкодженим сухожилок довгої голівки біцепса, який виконує роль прокладки між голівкою плеча та акроміоном [10,11]. (рис.2).

У тих випадках, коли сухожилок довгої голівки біцепса розривається або вивихується зі свого

анатомічного положення, прогресують ротаторна артропатія, а з нею і больовий синдром, що, як правило, змушує пацієнтів звернутися за медичною допомогою. (рис. 3 та 4).

Транспозиція сухожилка найширшого м'яза спини (LTD) в положення зовнішніх ротаторів (рис. 5) отримала задовільні середні результати як за шкалою Constant Shoulder Score – $29,5 \pm 13,4$ балів, так і за шкалою ВАШ – $3,0 \pm 1,5$ балів, проте

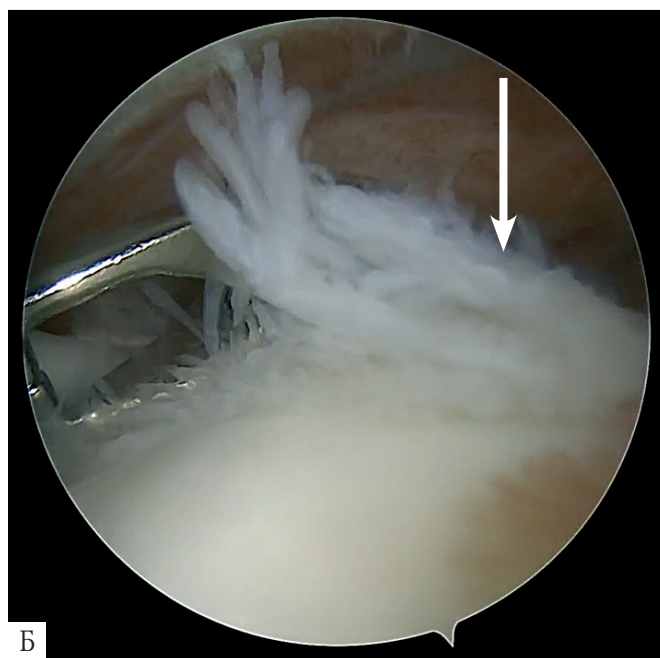
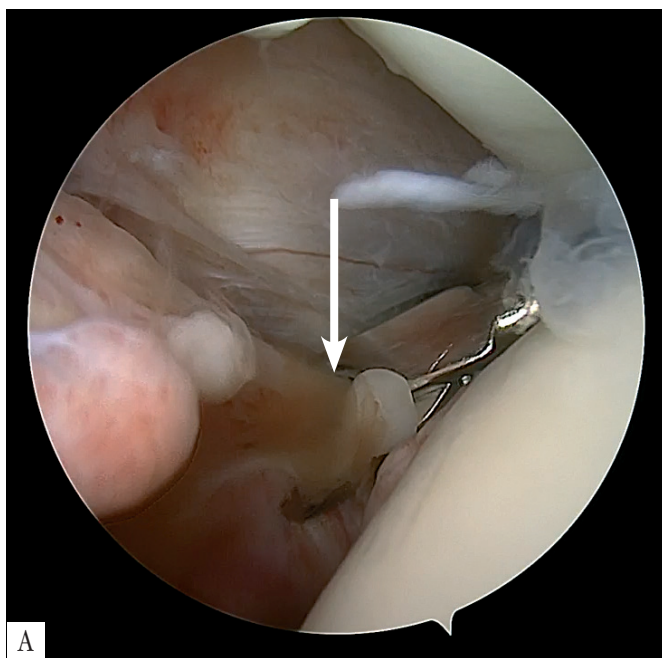


Рис. 2. Артроскопія плечового суглоба: а) сухожилок підлопаткового м'яза підтягнутий за допомогою маніпулятора; б) відсутній сухожилок надостового м'яза (показано стрілками).

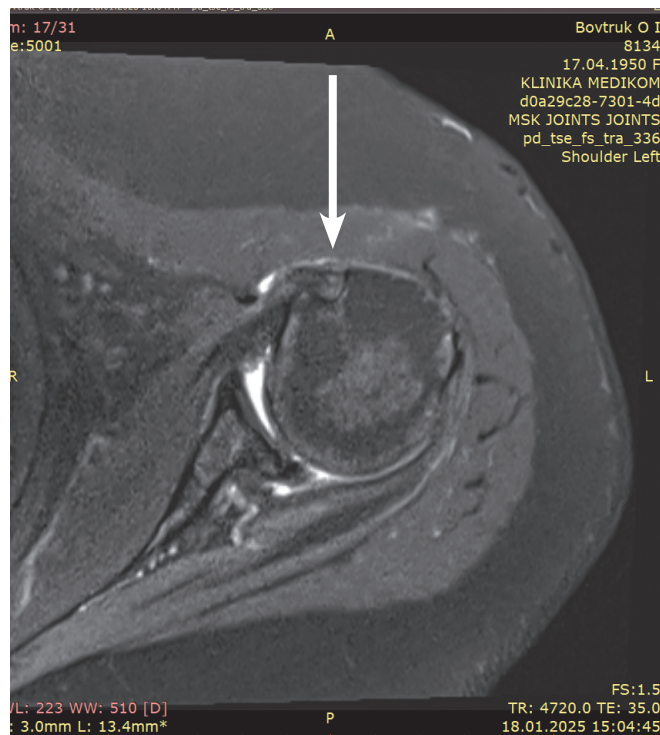
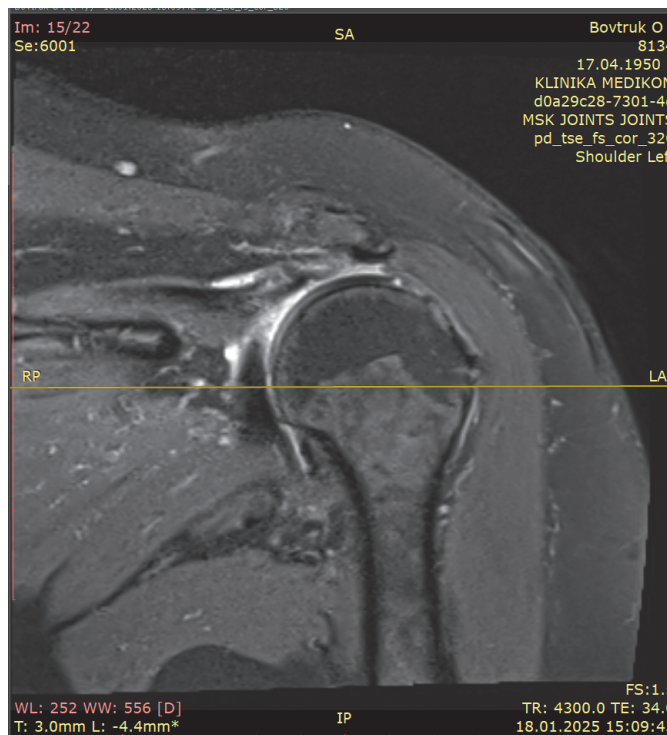


Рис. 3. МРТ дослідження Т2 режим, сухожилок довгої голівки біцепса відсутній в міжгорбковій борозні (показано стрілкою).

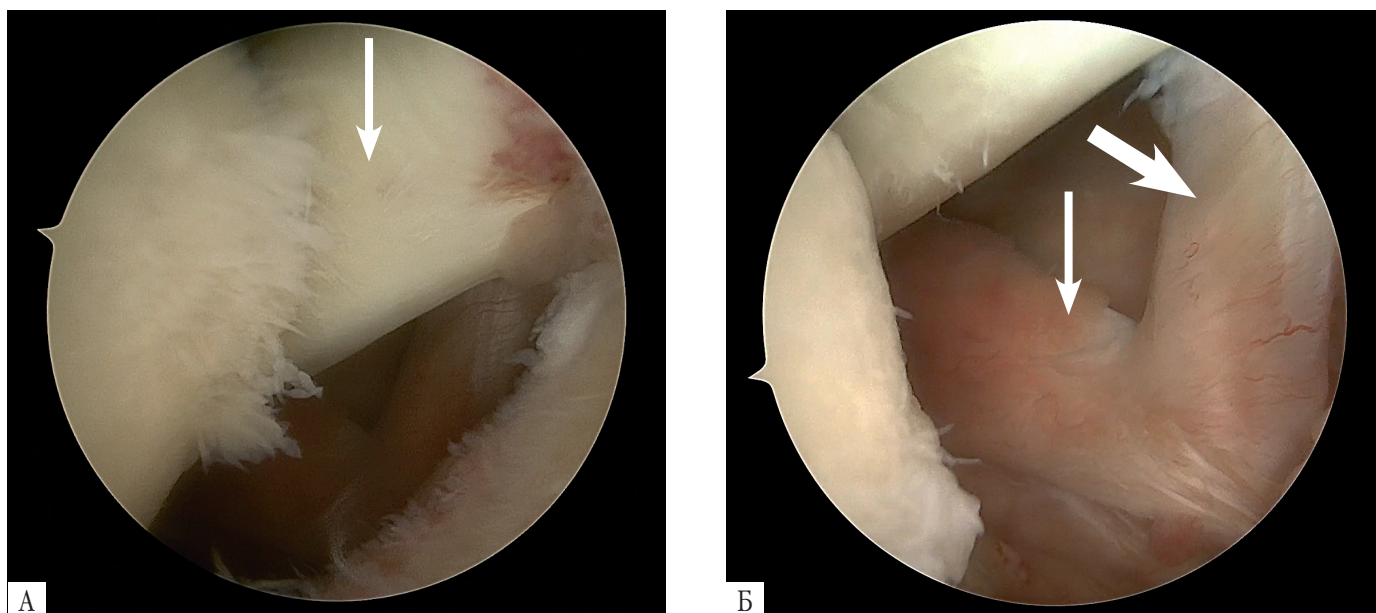


Рис. 4. Артроскопія плечового суглоба: а) сухожилок довгої голівки біцепса вивихнутий медіально (показано стрілкою); б) сухожилок підлопаткового м'яза частково відірваний (показано стрілками).

вони суттєво поступалися результатам груп, де виконувалися відновлення верхньої капсули та реверсивне протезування ПС. На нашу думку, ці результати могли б бути кращими у випадку виконання даного втручання під артроскопічним контролем, оскільки кількість рубців була б суттєво меншою, ніж при відкритих операціях. Ми ж виконували дані операції виключно відкрито.

Під час аналізу англомовної літератури, нами виявлено лише кілька робіт, в яких проведено порівняльний аналіз різних варіантів хірургічного лікування певного ступеня ротаторної артропатії [6, 12–14]. Обмежена кількість таких досліджень обґрунтовує доцільність подальшого вивчення цієї проблеми.

Сильними сторонами нашого дослідження є чітке виділення групи хворих з ротаторною артропатією II ст за Хамада, достатня чисельність вибірки, що дало можливість виконати відповідну статистичну обробку, а також оцінка результатів через рік після операції.

Перспективними напрямками нашого дослідження є оцінка результатів застосування різних методів хірургічного лікування у хворих з іншими більш пізніми стадіями ротаторної артропатії, коли жирова дегенерація м'язів більш виражена та спостереження хворих, яким виконано реверсивне протезування при даній нозології. Також необхідно оцінити результати артроскопічної транспозиції сухожилка найширшого м'яза спини у хворих з ротаторною артропатією II ст за Хамада.

Висновки

1. При хірургічному лікуванні ротаторної артропатії плечового суглоба II ст за Хамада найкращі середні результати за шкалою Constant Shoulder Score через 6 та 12 міс після операції отримано у хворих, де виконувалося відновлення верхньої капсули (superior capsule reconstruction) – $20,9 \pm 14,3$ балів через 6 міс після операції, тоді як після реверсивного протезування функція ПС була найкраща через 12 міс після операції – $23,8 \pm 5,1$ балів.

2. У хворих з ротаторною артропатією II ст за Хамада найбільший середній приріст функції плечового суглоба за шкалою Constant Shoulder Score через 12 міс після операції було виявлено в групах, де було виконано реверсивне протезування та відновлення верхньої капсули – $29,4 \pm 3,1$ та $26 \pm 12,4$ балів відповідно.

3. Найменший середній приріст функції у даній групі хворих за шкалою Constant Shoulder Score було виявлено в групі, де було виконано шов сухожилків РМП або дебрідмент плечового суглоба, таким чином ми не рекомендуємо виконувати такі хірургічні втручання у хворих з ротаторною артропатією II ст.

4. **Конфлікт інтересів.** Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Інформація про фінансування. Жодної вигоди у будь якій формі отримано не буде.

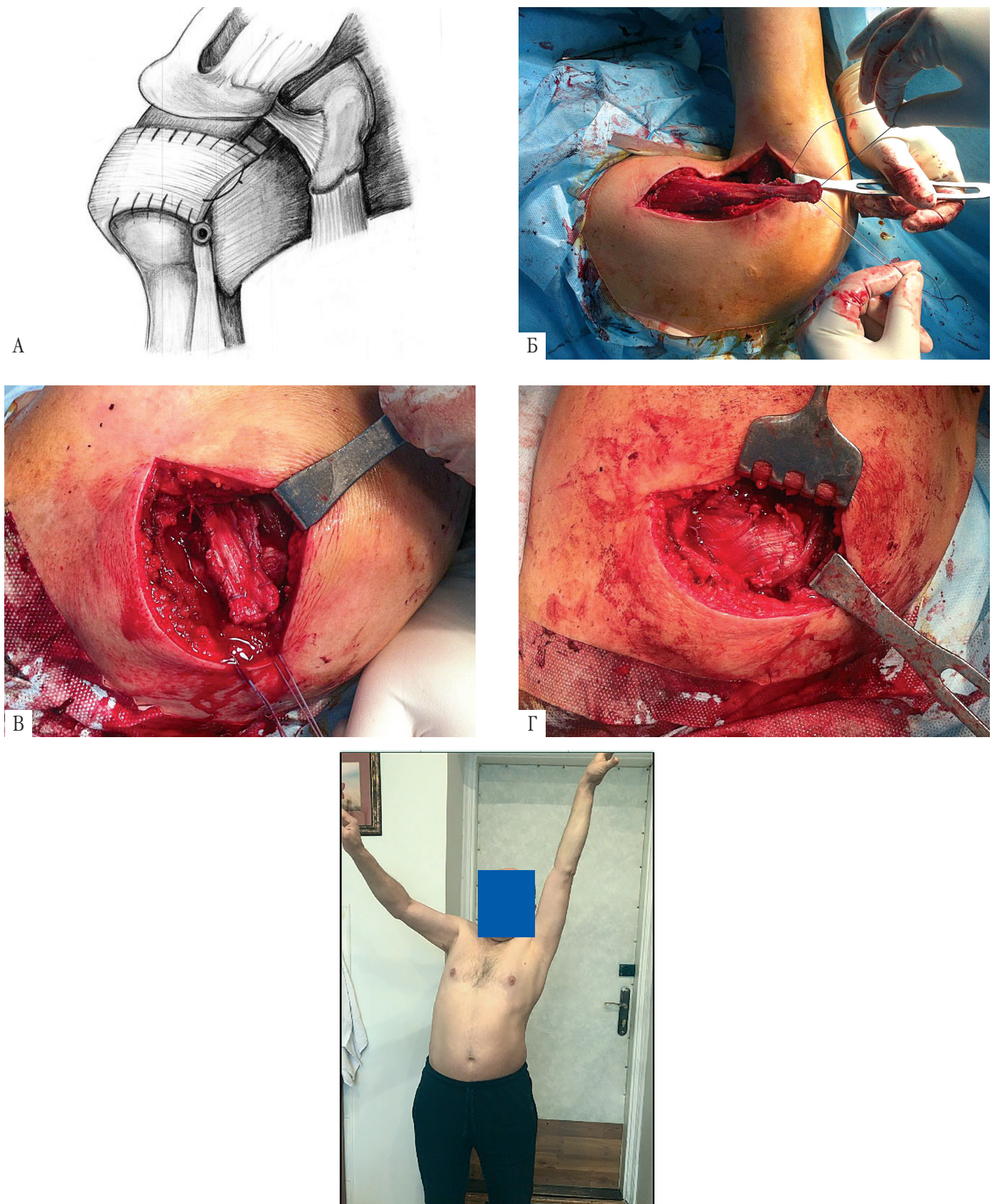


Рис. 5. Основні етапи та результат транспозиції сухожилка найширшого м'яза спини в дефект сухожилків надостювого та підостювого м'язів: а) схема кінцевого етапу операції; б) виділення сухожилка найширшого м'яза спини; в) міні-спліт доступ з проведеним сухожилком найширшого м'яза спини; г) кінцевий результат операції – фіксація сухожилка найширшого м'яза спини до зони «foot-print» та до сухожилків надостювого та підостювого м'язів; д) результат через 12 міс.

References

1. Rockwood CA, Matsen FA. Rockwood and Matsen's The Shoulder. 6th ed. Philadelphia: Elsevier; 2022. 1386 p. eBook ISBN: 9780323698368
2. Mizuki Y, Tamai M, Senjyu T, Tkagishi K. Arthroscopic Extreme Medialized Repair for Massive Rotator Cuff Tear: Resection of Cartilage and Subchondral Bone Over the Top of the Humeral Head. *Arthroscopy Techniques*. 2022;11(6):965–70. doi:10.1016/j.eats.2022.01.017.
3. Clifford AL, Hurley E, Anakwenze O, Klifto CS. Rotator Cuff Arthropathy: A Comprehensive Review. *J Hand Surg Glob Online*. 2024;6(4):458–462. doi:10.1016/j.jhsg.2023.12.014
4. Ecklund KJ, Lee TQ, Tibone J, Gupta R. Rotator Cuff Tear Arthropathy. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2007;15(6):340–9. doi: 10.5435/00124635-200706000-00003.
5. Cvetanovich GL, Waterman BR, Verma NN, Romeo AA. Management of the Irreparable Rotator Cuff Tear. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2019;27(24):909–17. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00199.
6. Ohta S, Ueda Y, Komai OJ. Postoperative results of arthroscopic superior capsule reconstruction using fascia lata: a retrospective cohort study. *Shoulder Elbow Surg*. 2024;33(3):686–697. doi: 10.1016/j.jse.2023.07.021.
7. Zafra M, Uceda P. Arthroscopic superior capsule reconstruction using semitendinosus tendon autograft for irreparable rotator cuff tears: Preliminary results. *J Orthop*. 2021;28:107–111. doi: 10.1016/j.jor.2021.11.005.
8. Thacher RR, Heaps BR, Dines JS. Superior Capsule Reconstruction: A Glimpse into the Future? *HSS J*. 2020;16(Suppl 2):503–506. doi: 10.1007/s11420-020-09796-y.
9. Rittenschober F, Ortmaier R. Arthroscopic augmentation techniques for superior capsule reconstruction. *Oper Orthop Traumatol*. 2022;34(1):21–33. doi: 10.1007/s00064-021-00757-0.
10. Cohn MR, Vadhera AS, Garrigues GE, Verma NN. Superior Capsular Reconstruction: Proposed Biomechanical Advantages. *Arthroscopy*. 2022;38(1):20–21. doi: 10.1016/j.arthro.2021.11.011.
11. Sun K, Li Y. Study of arthroscopic superior capsule reconstruction in the treatment of irreparable rotator cuff tears. *Front Surg*. 2023;9:895571. doi: 10.3389/fsurg.2022.895571.
12. Eppler MB, Bolia IK, Tibone JE, Gamradt SC, Hatch GF, Omid R, et al. Superior Capsular Reconstruction of the Shoulder. *Arthroscopy The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. 2021;37(6):1708–10. doi: 10.1016/j.arthro.2021.04.001.
13. Hsu CH, Chiu CH, Weng CJ, Hsu KY, Chan YS, Chao-Yu Chen A. Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction Using Autologous Fascia Lata and Biceps Tendon Augmentation. *Arthroscopy Techniques*. 2021;10(6):e1411–5. doi: 10.1016/j.eats.2021.02.004.
14. Furuhashi R, Matsumura N, Oki S, Nishikawa T, Kimura H, Suzuki T, et al. Risk factors of radiographic severity of massive rotator cuff tear. *Scientific Reports*. 2022;12(1):13567. doi: 10.1038/s41598-022-17624-y.

Results of Surgical Treatment of Patients with Stage II Rotator Cuff Arthropathy According to Hamada

Strafun S.S.¹, Bohdan S.V.¹ ✉, Shyshka I.V.², Serbiienko R.O.³, Hofman M.P.¹

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

² Zaporizhzhia Regional Clinical Hospital, Zaporizhzhia, Ukraine

³ National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Summary. Background. Surgical treatment of rotator cuff arthropathy (RCA) of the shoulder joint remains challenging and insufficiently studied because these patients develop biomechanical disorders in the shoulder joint associated with superior migration of the humeral head and fatty degeneration of the rotator cuff muscles. **Objective.** To compare the outcomes of different surgical treatment options in patients with Hamada stage II RCA. **Materials and Methods.** A total of 391 patients with RCA of varying severity were treated. Hamada stage II RCA was identified in 130 patients (33.2%); these patients were included in the present study. The mean age was 64.1 ± 19.4 years. The patients were divided into five groups according to the surgical procedure performed. Shoulder function was assessed using the Constant Shoulder Score and VAS before surgery and at 6 and 12 months postoperatively. **Results.** At 6 months, the best mean Constant Shoulder Score among all patients with Hamada stage II RCA was observed in the group where the upper capsule was restored (20.9 ± 14.3 points). Slightly poorer results were obtained in the group where reverse shoulder arthroplasty was performed (23.8 ± 5.1 points), whereas the poorest results were observed in the group where rotator cuff tendons were repaired (38.4 ± 12.1 points). **Conclusions.** The greatest mean increase in shoulder function according to the Constant Shoulder Score at 12 months after the surgery was observed in the group that underwent reverse shoulder arthroplasty and restoration of the upper capsule of the shoulder joint. The smallest mean increase in shoulder function according to the Constant Shoulder Score was observed in the group that underwent rotator cuff tendon repair or shoulder debridement. Based on these findings, these surgical procedures do not appear appropriate for patients with stage II RCA.

Key words: rotator cuff; rotator cuff arthropathy; supraspinatus tendon; shoulder joint.

Рівень професійного вигорання ортопедів-травматологів під час війни. Український досвід

Тимошенко С.В.¹, Слабко А.В.¹✉

Резюме. Вступ. З початком повномасштабного вторгнення росії в Україну умови професійної діяльності ортопедів-травматологів суттєво змінилися. Це супроводжується підвищенням емоційним і фізичним навантаженням і ризиком розвитку професійного вигорання. **Мета дослідження.** Оцінити рівень професійного вигорання серед ортопедів-травматологів України в умовах війни та визначити його зв'язок з клінічним навантаженням і різними соціально-професійними факторами. **Матеріали і методи.** Проведено анонімне поперечне дослідження за участю 147 ортопедів-травматологів із різних регіонів України. Рівень вигорання оцінювали за шкалою Copenhagen Burnout Inventory (CBI), яка включає особистісну, професійну та пацієнт-орієнтовану підшкали. Дані подано у вигляді медіани та міжквартильного розмаху (IQR). Для статистичного аналізу застосовано непараметричні методи. **Результати.** Виявлено помірно високий рівень вигорання: медіана особистісного вигорання – 62,5 (IQR 50,0–75,0), професійного – 67,86 (57,14–78,57), пацієнт-орієнтованого – 58,33 (50,0–75,0). Жінки, молодші лікарі та фахівці, які працюють у регіонах наближених до лінії фронту, мали достовірно вищі показники вигорання ($p < 0,05$). Хірургічне навантаження не мало статистично значущого зв'язку з рівнем вигорання ($p > 0,05$), тоді як консультативне навантаження демонструвало слабкий, але значущий зв'язок з окремими показниками. **Висновки.** Професійне вигорання ортопедів-травматологів у воєнний період має багатфакторний характер і більше пов'язане з організаційними та соціальними чинниками, ніж з кількісним хірургічним навантаженням.

Ключові слова: професійне вигорання, ортопеди-травматологи, війна, Copenhagen Burnout Inventory, хірургічне навантаження, консультації.

Вступ

Війна російської федерації проти України суттєво змінила як умови діяльності вітчизняної системи охорони здоров'я, так і стан медичних співробітників [1, 2]. Ортопеди-травматологи, особливо ті, які працюють у регіонах, наближених до лінії бойових дій, зіткнулися з перевантаженнями, пов'язаними зі значним зростанням кількості тяжких травм, зокрема множинних, поліструктурних, поєднаних та комбінованих. Окрім того, вони опинилися в умовах необхідності напруженої роботи за постійної загрози безпеці, обмежених ресурсів лікувальних закладів, кадрового дефіциту, руйнування та дисфункції інфраструктури, міграції або мобілізації членів їхніх родин, а також порушення соціально-побутових умов життя та праці.

З фахових публікацій відомо, що поєднання

значного професійного навантаження, напруженої емоційної взаємодії з пацієнтами, які мають бойовий досвід та наслідки поранень, дефіциту ресурсів і негативних соціально-побутових чинників, створює передумови для розвитку професійного вигорання серед медпрацівників [3]. Очевидно, що вивчення психологічного стану ортопедів-травматологів у воєнний період є важливим для планування заходів щодо збереження кадрового ресурсу та забезпечення якості медичної допомоги. Дослідження, проведені серед хірургів демонструють, що професійне вигорання асоціюється зі зниженням якості життя лікарів, підвищенням ризику медичних помилок і тяжкими психоемоційними наслідками [3,4]. Це зумовлює необхідність вивчення параметрів професійного вигорання ортопедів-травматологів в умовах сучасної війни.

Мета дослідження. Оцінити рівень професійного вигорання серед ортопедів-травматологів України в умовах сучасної війни та проаналізувати

✉ Слабко А.В., aniaslabko@gmail.com

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Україна, Київ

його взаємозв'язок з віком, статтю, стажем роботи, типом закладу охорони здоров'я, територіальною наближеністю місця роботи до лінії фронту, а також з хірургічною та консультаційною активністю, та часткою військових пацієнтів у структурі клінічної діяльності лікаря.

Матеріали і методи

Проведено анонімне поперечне дослідження з використанням онлайн-опитування. Залучення учасників до дослідження здійснювалося шляхом поширення посилання на опитувальник на платформі Google Forms. Первинно посилання було розміщено на «Форумі ортопедів кисті України». Надалі його додатково поширювали серед лікарів-ортопедів-травматологів через професійні контакти. У дослідженні взяли участь 147 ортопедів-травматологів, які працюють у закладах охорони здоров'я різних регіонів України. Зібрано інформацію щодо віку, статі, стажу роботи, типу установи (цивільна/військова), кількості консультованих і оперованих за тиждень пацієнтів (цивільних і військових), регіону (області України), де працює лікар. Критеріями включення визначено лікарів-ортопедів-травматологів, які здійснювали практичну, хірургічну та консультативну діяльність в Україні на момент проведення дослідження, були повнолітніми та у формі опитувальника отримали інформацію про анонімність опитування та використання результатів опитування в науковій роботі. Критерієм виключення: неповні заповнені анкети. Було встановлено часові межі анкетування лікарів-ортопедів-травматологів – 14 днів. На засіданні комісії з біоетики ДУ «ІТО НАМН України» від 13 липня 2026 р. члени Комісії визнали, що матеріали, які висвітлені в статті, отримані з дотриманням етичних вимог згідно з Гельсінською конвенцією Ради Європи про права людини і біомедицину та відповідними законами України.

Для оцінки рівня професійного вигорання використовували Копенгагенський опитувальник вигорання (Copenhagen Burnout Inventory (CBI)) – валідований інструмент, спрямований на оцінку фізичного та емоційного виснаження медичних працівників, який дозволяє диференційовано аналізувати особистісний, професійний та пацієнт-орієнтований компоненти вигорання [5]. Він складається з 19 пунктів і включає три підшкали: особистісне вигорання (personal burnout) – відображає загальний рівень фізичного та емоційного виснаження незалежно від професійної діяльності; вигорання, пов'язане з роботою (work-related burnout) – характеризує виснаження, зумовлене

організацією та умовами роботи, інтенсивністю робочої діяльності та адміністративними чинниками та вигорання, пов'язане з пацієнтами (client-related burnout), що оцінює рівень виснаження безпосередньо пов'язаний з взаємодією з пацієнтами та емоційним навантаженням під час надання їм медичної допомоги. Шкала містить 19 пунктів (6, 7, 6 пунктів у кожній з підшкал) від 0 до 100 балів, чим вищі значення, тим більше вигорання. Шкалу було інтерпретовано відповідно до рекомендацій розробників методики: «завжди» – 100 балів, «часто» – 75 балів, «іноді» – 50 балів, «рідко» – 25 балів, «ніколи (майже ніколи)» – 0 балів. Надалі для кожного респондента розраховували середні значення за кожною підшкалою та інтегральний бал CBI.

Для аналізу респондентів було розподілено: за віком: (≤ 35 років та ≥ 36 років), стажем роботи: (≤ 15 років та ≥ 16 років), типом установи: (цивільна або військова) та статевую приналежністю. Залежно від територіального розташування місця роботи сформовано дві групи: «ближче до фронту» – Запорізька, Луганська, Донецька, Херсонська, Миколаївська, Харківська, Сумська, Чернігівська та Полтавська області; «далі від фронту» – усі інші регіони України.

Обраховувався відсоток операцій/консультацій у військових серед усіх оперованих/консультованих респондентом пацієнтів. З метою вивчення впливу особливостей роботи саме з військовими пацієнтами було сформовано дві контрольні групи лікарів відносно вищого/нижчого показника медіани масиву. Для хірургічної активності медіана складала 9% всього масиву. Відповідно лікарі, які оперували менше 9% військових пацієнтів, склали групу ($n = 66$), які консультують переважно цивільних пацієнтів; лікарі, які оперували 9% і більше військових пацієнтів, склали групу ($n = 69$) тих, хто має більше хірургічне навантаження саме військовими пацієнтами. Також для достовірного аналізу того, як частка військових/цивільних консультацій впливає на показники вигорання, було сформовано дві контрольні групи лікарів відносно медіани цієї частки (30,5% військових на консультаціях). Лікарі, які консультували 30,5% і менше військових пацієнтів склали групу ($n = 74$), що консультують переважно цивільних пацієнтів; лікарі, які консультували понад 30,5% військових пацієнтів, склали групу тих, хто має більше навантаження «військових» консультацій. Задля підготовки даного матеріалу було використано інструменти штучного інтелекту для аналізу даних та створення графічних матеріалів. Усі результати, що додаються до роботи, були перевірені авторами, останні несуть відповідальність за зміст роботи.

У таблиці 1 наведено загальну соціально-демографічну статистику та особливості навантаження вибірки ортопедів-травматологів, які взяли участь у дослідженні.

Таблиця №1

Показники	Кількість (n)	Частка (%)
Стать Чоловіки/ Жінки	130/17	88/12
Вікові групи ≤ 35 років/≥ 36 років	70/77	48/ 52
Стаж роботи ≤ 15 років/≥ 16 років	78/69	53/47
Тип установи Цивільний заклад/ Військова установа	135/12	91/9
Наближеність до лінії фронту Ближче до фронту/ Далі від фронту	86/61	59/42
Лікарі в хірургічній діяльності яких переважають цивільні пацієнти / у яких переважають військові пацієнти*	66/69*	49/51
Лікарі в консультативній діяльності яких переважають цивільні пацієнти / у яких переважають військові пацієнти **	75/72	51/49
Разом	147	100

*Лікарі, які оперували менше 9% (поділ за медіаною) військових пацієнтів, склали групу тих, хто оперує переважно цивільних пацієнтів; лікарі, які оперували 9% і більше військових пацієнтів, склали групу тих, хто має більше хірургічне навантаження саме по військовим пацієнтам (тих, хто не оперує, – виключено).

** Лікарі, які консультували менше 30,5% (поділ за медіаною) військових пацієнтів, склали групу тих, хто консультує переважно цивільних пацієнтів; лікарі, які консультували 30,5% і більше військових пацієнтів, склали групу тих, хто має більше консультативне навантаження саме по військовим пацієнтам.

Статистичний аналіз. Кількісні показники подавали у вигляді медіани та міжквартильного розмаху (IQR), категоріальні — у вигляді абсолютних значень та відсотків. Для аналізу взаємозв'язків між категоріальними змінними використовували: χ^2 -критерій Пірсона та точний критерій Фішера (за умови очікуваних частот <5). Для порівняння показників СБІ між незалежними групами застосовано U-тест Манна – Вітні з рівнем статистичної значущості $p < 0,05$.

Результати

Аналізуючи демографічний розподіл респондентів, було встановлено статистично значущий зв'язок між віком і типом установи ($\chi^2 = 7,11$; $p = 0,008$), а також між стажем роботи і типом установи ($\chi^2 = 8,74$; $p = 0,003$) а саме: лікарі молодшого віку та лікарі з меншим стажем частіше працювали у військових закладах охорони здоров'я. Лікарі зі стажем роботи до 15 років достовірно частіше працювали у регіонах, наближених до лінії фронту (54 із 78 осіб), порівняно з лікарями зі стажем понад 15 років (32 із 69 осіб) ($\chi^2 = 8,04$; $p = 0,005$). Водночас зв'язок між віком і наближеністю до фронту не досяг статистичної значущості ($\chi^2 = 2,95$; $p = 0,086$). Військові медики майже повністю були представлені у регіонах, наближених до бойових дій (11 із 12 осіб; точний критерій Фішера; $p = 0,018$). Статистично значущого зв'язку між статтю та віком респондентів не виявлено ($\chi^2 = 0,63$; $p = 0,43$).

При аналізі рівня вигорання серед усіх 147 опитаних лікарів показники були помірно високими. Медіана особистісного вигорання становила 62,5 (IQR 50,0–75,0), професійного – 67,86 (IQR 57,14–78,57), а пов'язаного з пацієнтами – 58,33 (IQR 50,0–75,0). Загальний бал СБІ досягав 75,0 (IQR 50,0–75,0), що відповідає високому рівню вигорання (див. гістограму на рис. 1).

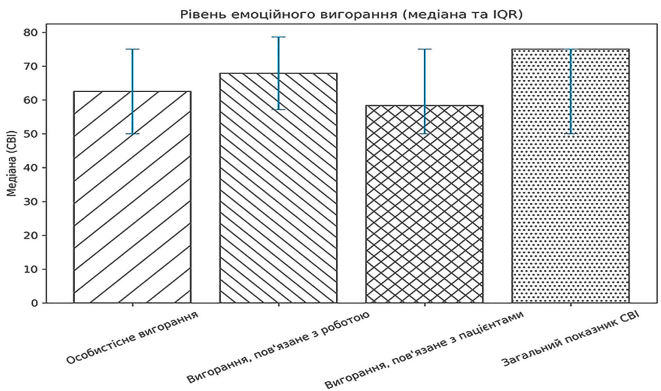


Рис. 1. Загальні показники вигорання для всіх респондентів

Отже, вигорання було більше пов'язане із загальним робочим навантаженням, ніж з категорією пацієнтів.

Встановлено, що ортопеди-травматологи жіночої статі ($n = 17$) мали достовірно ($p < 0,05$) вищий рівень професійного вигорання порівняно з чоловіками ($n = 130$). Медіана загального балу СБІ у жінок становила 60 (IQR 47–74), тоді як у чоловіків – 54 (IQR 43–68). Аналогічна тенденція спостерігалася і за окремими підшкалами СБІ. Зокрема, медіана особистісного вигорання у жінок

була вищою, ніж у чоловіків 60 [IQR 48–74] проти 54 [IQR 42–68]; $R = 0,22$, $p < 0,05$), так само як і вигорання, пов'язаного з роботою 62 [IQR 49–76] проти 57 [IQR 45–71]; $p < 0,05$). Для пацієнтоорієнтованого вигорання спостерігалася тенденція до вищих значень у жінок, однак вона не досягла статистичної значущості ($p > 0,05$).

Аналіз показників вигорання показав, що ортопеди-травматологи, які працюють у регіонах, наближених до лінії фронту ($n = 86$), мали достовірно ($R = 0,35$, $p < 0,05$) вищі показники вигорання, як за загальними показниками шкали, так і за всіма підшкалами порівняно з лікарями, які працюють у віддалених регіонах ($n = 61$) (табл. 2).

Таким чином, наближеність області до лінії фронту достовірно погіршувала показники вигорання як загальні, так і в підгрупах.

Виявилося, що молоді лікарі віком до 35 років зі стажем роботи до 15 років ($n = 68$) мали достовірно вищий рівень вигорання порівняно зі лікарями старшого віку – 36 років і старше зі стажем понад 15 років ($n = 67$). Медіана загального балу CBI у молодших лікарів становила 58 (IQR 46–71), тоді як у старших – 47 (IQR 34–60) ($R = 0,35$, $p < 0,01$).

При вивченні впливу хірургічного навантаження на лікаря-травматолога були відібрані тільки ті респонденти, які оперували, а хірургічне навантаження визначали, як сумарну кількість оперованих пацієнтів за тиждень.

Розподіл загальної щотижневої середньої кількості операцій та показники вигорання ортопед-травматологів представлені на рис. 2.

При вивченні впливу хірургічного навантаження на лікаря ортопед-травматолога були відібрані тільки ті респонденти, які оперували, а хірургічне навантаження визначали, як сумарну кількість оперованих пацієнтів за тиждень. Аналіз не виявив статистично значущого зв'язку між хірургічним навантаженням та рівнем вигорання за шкалами

особистісного вигорання ($p = 0,655$), вигорання пов'язаного з роботою ($p = 0,970$), та пацієнтоорієнтованим вигоранням ($p = 0,890$) та загальним показником CBI ($p = 0,827$). Таким чином, у опитаних респондентів не виявилось статистично значущого зв'язку між хірургічним навантаженням та вигоранням, навіть у межах тенденцій.

При вивченні впливу консультативного навантаження на лікаря ортопед-травматолога визначали середню кількість оглядів за тиждень і співвідносили її з показниками вигорання (гістограма на рис. 3).

При статистичному аналізі не виявлено значущого зв'язку між консультативним навантаженням та рівнем особистісного вигорання ($p = 0,477$). Водночас було встановлено слабкий, але статистично значущий зв'язок між консультативним навантаженням та вигоранням пов'язаним з роботою ($p = 0,044$), пацієнт-орієнтованим вигоранням ($p = 0,036$), а також загальним показником CBI ($p = 0,036$).

Науковий інтерес представляє вплив завантаження лікаря саме пораненими військовими пацієнтами, а саме те, як їх частка в загальній практиці конкретного ортопед-травматолога впливає на показники його вигорання.

На точкових гістограмах нижче відображено взаємозв'язок показників емоційного вигорання зі ступенем завантаження лікаря військовими пораненими, поданим у відсотках: на рис. 4 для хірургічної активності, та на рис. 5 щодо консультативної активності.

Лінії тренду на діаграмі демонструють незначні тенденції до зростання рівня вигорання по підгрупах і загалом при збільшенні частки оперованих військових пацієнтів. Для окреслення достовірності цих тенденцій ми і створили, зазначені в матеріалах і методах, контрольні групи. Проте при порівнянні цих груп виявилося, що статистично

Таблиця №2

Показники Copenhagen Burnout Inventory (CBI) залежно від територіальної наближеності місця роботи до лінії фронту*

	Особистісне вигорання	Вигорання пов'язане з роботою	Пацієнт-орієнтоване вигорання	Загальний бал CBI
Ближче до фронту ($n = 86$), медіана (IQR)	58 (44–72)	61 (48–74)	54 (40–68)	58 (46–71)
Далі від фронту ($n = 61$), медіана (IQR)	46 (32–60)	49 (36–63)	54 (40–68)	47 (34–60)
p	0,002	0,004	0,018	0,001

Примітка: * Дані подано у вигляді медіани та міжквартильного розмаху (IQR). Порівняння між групами здійснювали за допомогою U-тесту Манна – Вітні. Статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

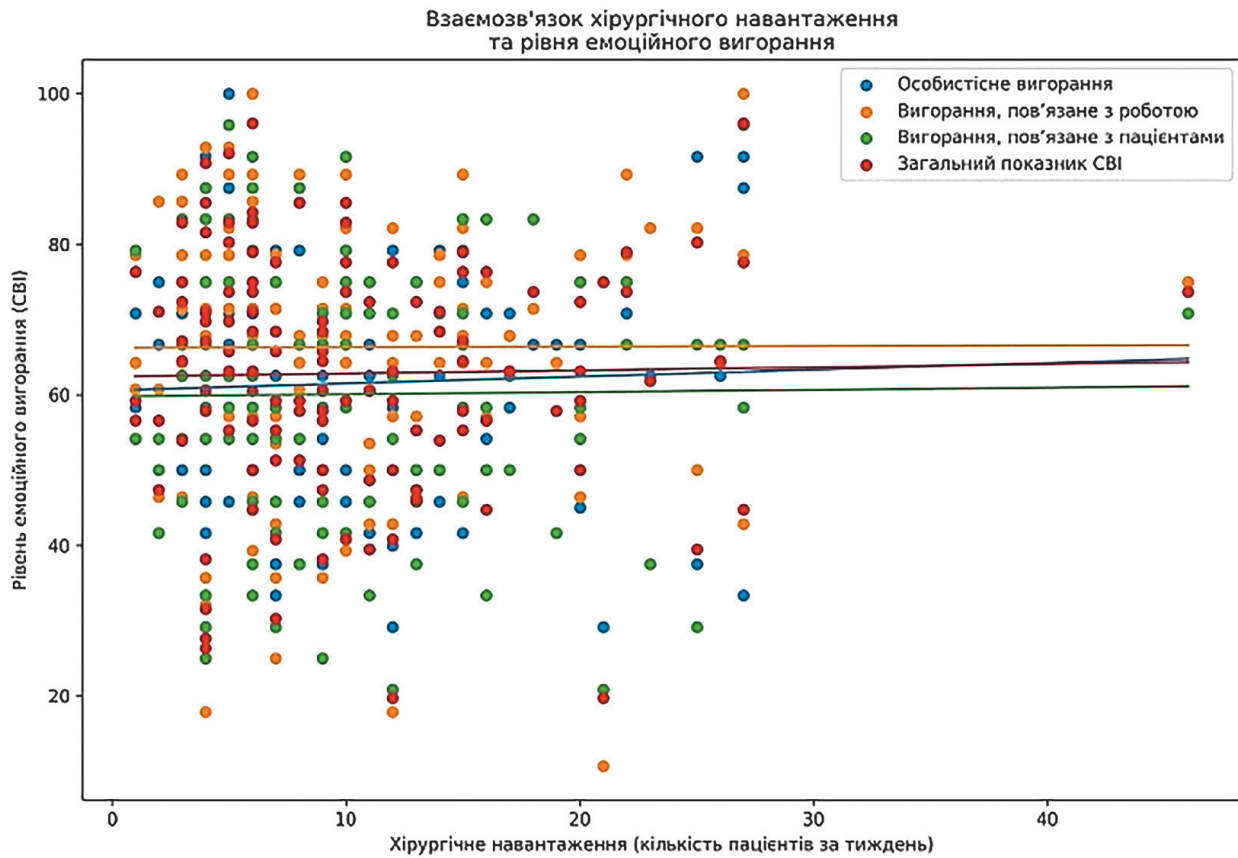


Рис. 2. Розподіл показників вигорання і хірургічного навантаження.

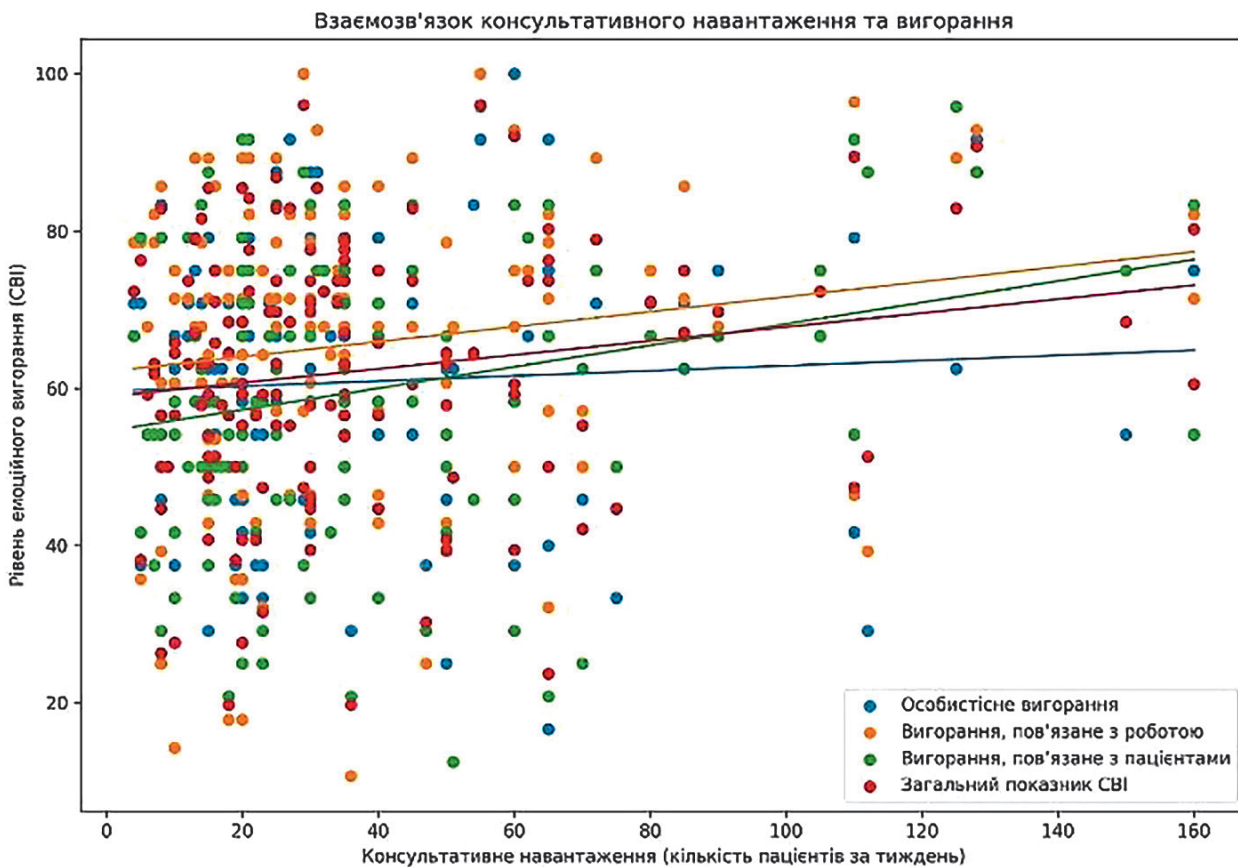


Рис. 3. Розподіл показників вигорання і консультативного навантаження.

значимої різниці між ними за всіма показниками шкали вигорання – немає ($p > 0,05$).

Експоненційні криві трендів свідчать, що саме

для консультативного навантаження (рис. 5) взаємозв'язки між часткою (%) військових серед пацієнтів та показниками вигорання більш окреслені.

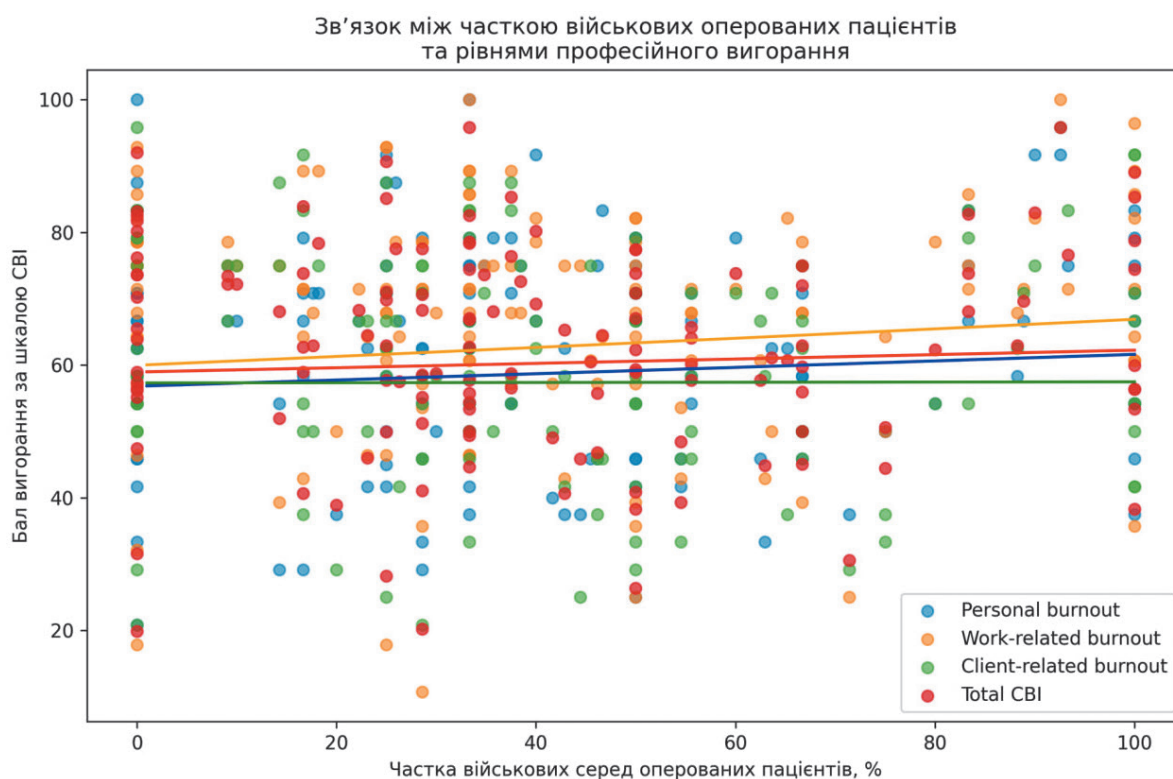


Рис. 4. Взаємозв'язок між часткою (%) військових серед оперованих лікарем пацієнтів та рівнями його емоційного вигорання.

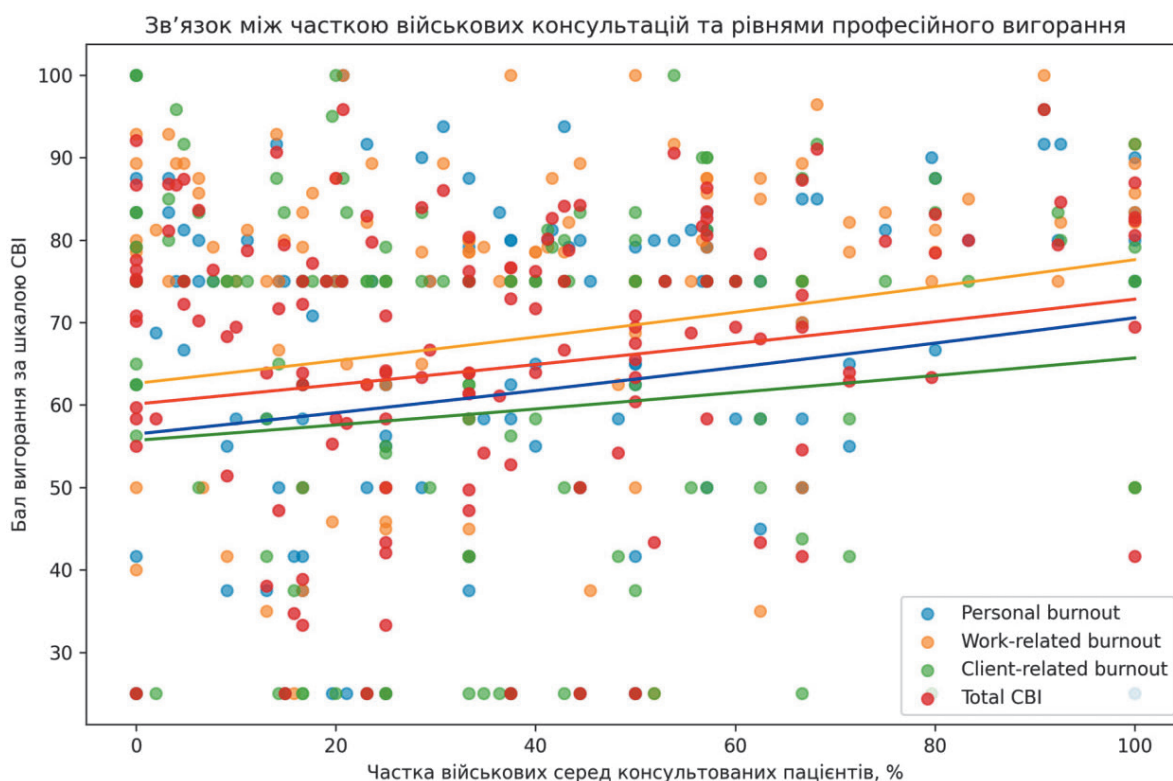


Рис. 5. Взаємозв'язок між часткою (%) консультованих лікарем військових пацієнтів та рівнями його емоційного вигорання.

Це свідчить про помітне посилення емоційного виснаження зі зростанням частки «військових» консультацій.

Щоб визначити достовірність такого припущення ми і розподілили лікарів на контрольні групи, спираючись на медіану частки військових в їх активності. Результати порівняння рівня вигорання у лікарів, які відносно більше займаються військовими чи цивільними пацієнтами, представлені у табл. 3 та 4.

Як свідчать дані, наведені в таблицях 3,4 відносне збільшення частки військових пацієнтів у хірургічному навантаженні на хірурга не виявило негативного впливу на показники вигорання. Проте збільшення частки військових на консультативному прийомі, хоч і незначне, достовірно збільшувало особистісне вигорання лікарів.

Обговорення

Отримані результати узгоджуються з даними попередніх міжнародних досліджень, які свідчать про високий рівень професійного вигорання се-

ред лікарів хірургічного профілю, що працюють в умовах підвищеного стресу, великої кількості травм та дефіциту ресурсів [3]. Зокрема, у роботах, присвячених медичним працівникам у зонах військових конфліктів та гуманітарних криз, показано, що інтенсивне клінічне навантаження та емоційна взаємодія з пацієнтами з травматичним досвідом асоціюються з підвищенням професійного та пацієнт-орієнтованого вигорання [1].

Подібні тенденції описані також серед хірургів та лікарів невідкладної допомоги в умовах збройних конфліктів і пандемій, де саме професійне та пацієнт-орієнтоване вигорання виявляються найбільш чутливими до змін характеру клінічної діяльності, рівня відповідальності та емоційного навантаження [3]. Крім того, систематичні огляди та мета-аналізи демонструють, що тривале перебування в умовах криз та надзвичайних ситуацій асоціюється з підвищеним ризиком психоемоційного виснаження, депресії та тривожних розладів серед медичних працівників [4].

Наше дослідження стосується саме ортопедів-травматологів, які мають специфічне навантаження, з підвищеною шкідливістю. Такі фактори,

Таблиця №3

Рівні професійного вигорання залежно від частки (у %)* оперованих військових пацієнтів у клінічній діяльності ортопедів-травматологів

Показник вигорання	Особистісне медіана (IQR) бали	Пов'язане з роботою медіана (IQR) бали	Пов'язане з пацієнтами медіана (IQR) бали	Загальне СВІ, медіана (IQR) бали
Переважно цивільні пацієнти*	50 (63–1)	71 (57 – 79)	50 (25,0 – 75,0)	65 (55 – 76)
Переважно військові пацієнти†	63 (47 – 75)	68 (57 – 75)	50 (25 – 50)	63(54 – 73)
<i>p-значення</i>	<i>p = 0,984</i>	<i>p = 0,634</i>	<i>p = 0,480</i>	<i>p = 0,466</i>

Примітка: * Група лікарів, які оперували менше 9% військових пацієнтів † Група лікарів, які консультували та/або оперували 9% і більше військових пацієнтів. Дані подано у вигляді медіани та міжквартильного розмаху (IQR). Для міжгрупового порівняння використано непараметричні статистичні методи (U-тесту Манна – Вітні).

Таблиця №4

Рівні професійного вигорання залежно від частки (%) консультованих військових пацієнтів у клінічній діяльності ортопедів-травматологів

Показник вигорання	Особистісне медіана (IQR) бали	Пов'язане з роботою медіана (IQR) бали	Пов'язане з пацієнтами медіана (IQR) бали	Загальне СВІ, медіана (IQR) бали
Переважно цивільні пацієнти*	58 (45,0-71)	69 (50 – 75)	58 (50 – 75)	59 (50 – 74)
Переважно військові пацієнти†	67 (50 – 75)	68 (61 – 79)	63 (50 – 71)	65 (57 – 74)
<i>p-значення</i>	<i>p = 0,047</i>	<i>p = 0,415</i>	<i>p = 0,738</i>	<i>p = 0,466</i>

Примітка: * Група лікарів, які консультували ≤30,5% військових пацієнтів † Група лікарів, які консультували >30,5% на тиждень. Дані подано у вигляді медіани та міжквартильного розмаху (IQR). Для міжгрупового порівняння використано непараметричні статистичні методи (U-тесту Манна – Вітні).

як безперервність і напруженість (не тільки емоційна, а часто і фізична) роботи, необхідність прийняття важливих, доленосних для хворого, рішень, спостереження каліцтв у осіб молодого віку, перебування під тиском родичів пораненого або адміністрації установи, нерегулярністю надмірної роботи, порушенням сну, пов'язаними з чергуваннями, роздуми про хворих у позаробочій час тощо. Важлива складова напруженої роботи пов'язана, зокрема з оформленням надмірної документації, необхідністю контролювати матеріально-технічну складову роботи (підбір та логістика металофіксаторів та імплантів, ВАК-систем, специфічного інструментарію, обладнання та витратних матеріалів, їх списання та обліку), нерідко необхідністю отримувати дози рентгєнівського випромінювання, підвищеним ризиком інфекційних захворювань, пов'язаних з контактом із кров'ю пораненого тощо.

Наше дослідження доповнює наявні літературні дані, демонструючи, що в українських умовах сучасної війни ключовими, достовірними факторами формування професійного вигорання можуть бути декілька значимих чинників, а саме: молодий вік та невеликий стаж, приналежність до жіночої статі, наближеність регіону до лінії бойового зіткнення, робота у військовому шпиталі, підвищення консультативного навантаження на лікаря.

Відомо, що вигоранню сприяють необхідність лікування тяжкої травми, підвищена важливість прийняття значимих для життя та здоров'я пацієнта рішень, контакт з молодими, мотивованими пацієнтами, які мають травматичний досвід. Мають значення такі шкідливі фактори, як напруженість, безперервність роботи в умовах знижених ресурсів та небезпеки [6].

На відміну від деяких контрастних досліджень, на нашій когорті респондентів вперше простежено, що збільшення частки військових пацієнтів у хірургічному навантаженні на хірурга не виявляє негативного впливу на показники вигорання, проте збільшення частки військових на консультативному прийомі незначно, проте достовірно збільшувало саме особистісне вигорання лікаря. У доступних джерелах немає саме порівняльних даних, яким чином переважання військових чи цивільних у практиці хірурга змінює показники вигорання, тому наші дані свідчать про більшу важливість інших чинників вигорання, поза залежністю від особливостей навантаження саме військовими пацієнтами.

Вбачається необхідним впровадження регулярного психологічного моніторингу, програм профілактики професійного вигорання, а також мотиваційних заходів (підвищена заробітна плата,

нагороди, публічне визнання, триваліший і якісний відпочинок) та адміністративної підтримки ортопедів-травматологів, які працюють в умовах підвищеного воєнного навантаження. Особливу увагу слід приділяти молодим спеціалістам із малим досвідом роботи, жінкам-ортопедам, тим спеціалістам, які працюють у місцях, наближених до лінії бойового зіткнення. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку та оцінку ефективних систем психологічної й організаційної підтримки медичних працівників, а також на аналіз впливу тривалості та інтенсивності роботи в умовах війни, кількісних та якісних показників клінічного навантаження та індивідуальних чинників (темперамент, сімейний стан, тощо) або стресостійкості на формування професійного вигорання.

Таким чином, результати дослідження підтверджують багатофакторний характер професійного вигорання ортопедів-травматологів у воєнний період та узгоджуються з міжнародними даними щодо впливу кризових умов на психоемоційний стан медичних працівників.

Висновки

1. У ортопедів-травматологів України в умовах війни виявлено клінічно та статистично значущі рівні професійного вигорання за всіма підшкалами Copenhagen Burnout Inventory, що може бути пов'язане з їх емоційним виснаженням. Найвищі значення зафіксовано для професійного та пацієнтоорієнтованого компонентів, що ймовірно відображає провідну роль робочого навантаження та емоційної взаємодії з пацієнтами у формуванні виснаження.

2. Встановлено взаємозв'язок показників вигорання з соціально-професійними характеристиками лікарів. Жінки-травматологи мали вищі рівні загального, особистісного та професійного вигорання порівняно з чоловіками (медіана CBI 60 проти 54 балів; $R = 0,22$, $p < 0,05$). Лікарі молодшого віку до 35 років зі стажем роботи до 15 років становлять групу підвищеного ризику професійного вигорання (медіана CBI 58 проти 47 балів у старших і більш досвідчених колег; $R = 0,35$, $p < 0,01$).

3. Було виявлено статистично значущий зв'язок між територіальною наближеністю місця роботи до лінії фронту та рівнем професійного вигорання. Ортопеди-травматологи, які працюють у регіонах, наближених до бойових дій, мали достовірно вищі показники за всіма підшкалами CBI, зокрема загальний бал CBI 58 (IQR 46–71) проти 47

(IQR 34–60) у лікарів, що працюють у віддалених регіонах ($R = 0,29$ $p = 0,001$).

4. Аналіз не виявив статистично значущого зв'язку між кількісним хірургічним навантаженням ортопеда-травматолога та рівнем вигорання, за шкалами особистісного вигорання ($p = 0,655$), вигорання пов'язаного з роботою ($p = 0,970$), та пацієнт-орієнтованого вигорання ($p = 0,890$), а також загальним показником шкали СВІ ($p = 0,827$). Таким чином, у опитаних респондентів не було виявлено статистично значущого зв'язку між хірургічним навантаженням та вигоранням, навіть у межах тенденцій.

5. При статистичному аналізі не було зафіксовано значущого зв'язку між консультативним навантаженням та рівнем особистісного вигорання ($p = 0,477$). Водночас було встановлено слабкий, але статистично значущий зв'язок між консультативним навантаженням та вигоранням, пов'язаним з роботою ($p = 0,044$), пацієнт-орієнтованим вигоранням ($p = 0,004$), а також загальним показником СВІ ($p = 0,036$). Таким чином, ймовірно, збільшення загального консультативного навантаження може бути пов'язане з вигоранням.

6. Збільшення частки військових пацієнтів у хірургічному навантаженні на хірурга не виявило негативного впливу на показники вигорання, проте збільшення частки військових на консультативному прийомі незначно, проте достовірно збільшувало особистісне вигорання лікарів.

7. Сукупність отриманих результатів свідчить, що до груп з підвищеним ризиком професійного вигорання в умовах війни, можуть належати: молоді лікарі з меншим стажем роботи, лікарі, що працюють у регіонах, наближених до лінії фронту, ортопеда-травматологи жіночої статі, а також спеціалісти з кількісно збільшеним консультативним прийомом у тому числі з більшою часткою військових пацієнтів.

Обмеження дослідження. По-перше, досліджен-

ня базується на даних онлайн-опитування, що може зумовлювати селективне зміщення та обмежену репрезентативність вибірки. По-друге, не враховувалися такі потенційно важливі фактори, як загальна тривалість робочого часу, кількість нічних чергувань, рівень адміністративного навантаження та індивідуальні особливості стресостійкості. Крім того, поперечний дизайн дослідження не дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки між клінічним навантаженням та розвитком професійного вигорання. При обчисленні «хірургічного навантаження» враховувалася лише середня кількість операцій кожного респондента, а не складність і тривалість втручань, що може впливати на показники вигорання.

References

1. WHO Regional Office for Europe. Impact of the conflict on the costs of primary health care and investments in Ukraine: survey of war effects. Copenhagen: WHO; 2024.
2. Gutor T, Kovalska O, Zaremba N, Herasymovych I, Diachyshyn V, Mysak Z, et al. The influence of military actions on the Ukrainian territory on the work of the health-care system. *Curr Issues Pharm Med Sci*. 2024;37(3):143–147. doi:10.2478/cipms-2024-0023.
3. West CP, Dyrbye LN, Shanafelt TD. Physician burnout: Contributors, consequences and solutions. *J Intern Med*. 2018;283(6):516–529. doi:10.1111/joim.12752
4. Dutheil F, Aubert C, Pereira B, Dambrun M, Moustafa F, Mermillod M, et al. Suicide among physicians and health-care workers: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2019;14(12):e0226361. doi:10.1371/journal.pone.0226361
5. Kristensen TS, Borritz M, Villadsen E, Christensen KB. The Copenhagen Burnout Inventory: A new tool for the assessment of burnout. *Work Stress*. 2005;19(3):192–207. doi:10.1080/02678370500297720
6. Adler AB, Adrian AL, Hemphill M, Scaro NH, Sipos ML, Thomas JL. Professional stress and burnout in U.S. military medical personnel deployed to Afghanistan. *Mil Med*. 2017;182(3–4):e1669–e1676. doi:10.7205/MILMED-D-16-00154

Professional Burnout Among Orthopedic Surgeons During Wartime: The Ukrainian Experience

Tymoshenko S.V.¹, Slabko A.V.¹✉

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Summary. Background. Since the beginning of Russia's full-scale invasion of Ukraine, the working conditions of orthopedic surgeons have changed substantially. These changes have been accompanied by increased emotional and physical demands and a higher risk of professional burnout. **Objective.** To assess the level of burnout among orthopedic surgeons in Ukraine during wartime and to analyze its association with clinical workload and various social and professional factors. **Materials and Methods.** An anonymous cross-sectional study was conducted among 147 orthopedic surgeons from different regions of Ukraine. Burnout was assessed using the Copenhagen Burnout

*Inventory (CBI), including personal, work-related, and client-related subscales. Data were presented as medians and interquartile ranges (IQR). Non-parametric statistical methods were applied. **Results.** Moderately high burnout levels were observed: median personal burnout, 62.5 (IQR 50.0–75.0); work-related burnout, 67.86 (57.14–78.57); and client-related burnout, 58.33 (50.0–75.0). Female surgeons, younger physicians, and those working in regions close to the front line had significantly higher burnout levels ($p < 0.05$). Surgical workload was not significantly associated with burnout ($p > 0.05$), whereas consultation workload showed a weak but statistically significant association with certain burnout indicators. Conclusions. Professional burnout among orthopedic surgeons during wartime is multifactorial and is more strongly associated with organizational and social factors than with surgical workload itself.*

Key words: burnout; orthopedic surgeons; war; Copenhagen Burnout Inventory; surgical workload; consultation workload.

Вогнепальні ураження периферичних нервів кінцівок. Особливості діагностики та лікування (методичні рекомендації)

Страфун С.С.¹, Лисак А.С.¹ ✉, Курінний І.М.¹, Гайович В.В.¹, Кулик Ю.А.¹

Резюме. Вогнепальні ураження периферичних нервів кінцівок є складовою тяжкої поліструктурної бойової травми та характеризуються особливостями механізму ушкодження, діагностики й відновного лікування. Викладено основні типи та особливості вогнепальних уражень периферичних нервів, методи клінічної та інструментальної діагностики, оптимальні терміни й принципи хірургічного відновлення, а також підходи до реконструктивного лікування наслідків травми.

Ключові слова: вогнепальна травма, периферичні нерви, бойова травма кінцівок, діагностика, хірургічне лікування, реконструктивна хірургія.

Сучасна російсько-українська війна доволі сильно відрізняється від більш ранніх збройних конфліктів та воєн завдяки застосуванню новітньої військової техніки, переважанню артилерії та масовому використанню FPV-дронів, що зумовлює тяжкість і поліструктурність поранень. Стрімке зростання кількості високоенергетичних осколкових та мінно-вибухових травм, у свою чергу, обтяжує та ускладнює надання медичної допомоги в плані відновлення анатомічних структур і функціональних можливостей кінцівки. А щільність вогню та інтенсивність бойових дій значно ускладнюють медичну евакуацію, а отже, сприяють задавленню травм.

Згідно з даними відділу статистики Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» за період з лютого 2022 року по червень 2023 року та відділення реконструктивної мікрохірургії та ортопедії ДУ «Головний медичний клінічний центр МВС України» за 2023–2025 роки, в структурі поранень переважають поранення кінцівок та складають близько 69–71%. Незважаючи на те, що осколкові поранення все ще є основним типом поранень (81% у 2022 році та 65% у 2025 році), зі збільшенням використання FPV-дронів прогресивно зростає і кількість мінно-вибухових поранень (з 11% у 2022 році до 28% у 2025 році).

Вогнепальні поранення кінцівок, що супроводжуються ушкодженнями периферичних нервів, часто спричиняють втрату працездатності, тривалий період реабілітації, хронічний больовий

синдром, зниження толерантності до холоду, та інвалідність [1]. Механізм ушкодження є багатофакторним і може бути викликаний прямою (безпосередньою) та непрямою (наприклад, тепловою та/або ударною хвилею) травмою, що ускладнює лікування таких пацієнтів [2]. Можливе ушкодження нервів кістковими уламками, оскільки при вогнепальному пораненні кісткові фрагменти під кінетичною дією раничого агента можуть при значному зміщенні травмувати розташований поруч нерв. Травма, з якою ми стикаємося у сучасній війні, може бути зумовлена прямим проникненням кулі в тіло, уламками куль або осколками від мін, гранат, снарядів чи бомб. Такі травми з високою ймовірністю можуть призводити до ушкодження нервів, особливо у разі поранення кінцівок. Осколкові та кульові поранення характеризуються масивним пошкодженням м'яких тканин внаслідок прямої трансляції високої енергії через органи та тканини і супутнього термічного ураження [3]. Так, вогнепальні ушкодження м'яких тканин, котрі потребують хірургічних реконструктивних втручань, спостерігаються в 64,9–68,2%, із них 36,4–37,5% супроводжуються малими і середніми, а 28,5–30,7% – великими та надвеликими дефектами. Вогнепальні переломи кісток зазвичай є багатоуламковими (у 76% – вогнепальні переломи з дефектами кісткової тканини, чверть з яких – дефекти, що перевищують 6 см) та супроводжуються різними видами пошкоджень м'яких тканин. За даними різних авторів, ушкодження периферичних нервів є характерним для вогнепальних травм, проте приблизно в половині випадків можливе спонтанне відновлення [4]. При вогнепальних

✉ Лисак А.С., dr.andrew.lysak@gmail.com

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Україна, Київ

ушкодженнях периферичних нервів – необхідний особливий підхід щодо показань, термінів та видів оперативного втручання [5]. Специфіка такої травми передбачає раннє хірургічне лікування у певної категорії пацієнтів [6]. При анатомічних ушкодженнях периферичних нервів їх хірургічне відновлення (шляхом зшивання, аутонейропластики, або невротизації) необхідно проводити в перші 6 місяців після травми [7]. Ушкодження магістральних судин та вогнепальні переломи кісток є факторами ризику ушкодження периферичних нервів [8]. Аналізуючи 40-річний досвід (2106 пацієнтів) лікування вогнепальних ушкоджень нервів – Н.І. Secer та співавтори визначили, що тип і ступінь пошкодження (та реконструкції) нерва, супутні ураження, терміни до операції, інтраопераційні дані, характеристики відновлення нерва та післяопераційної реабілітації є основними прогностичними факторами відновлення функції кінцівки [9]. До 26% пацієнтів із пошкодженням периферичних нервів стають інвалідами через постійний невропатичний біль і втрату функції кінцівки [10].

Аналізуючи власний досвід, нами було визначено, що серед 2306 пацієнтів з вогнепальними пораненнями кінцівок у період з квітня 2014 року по жовтень 2025 року у 732 пацієнтів (близько 31,74%) було діагностовано вогнепальні ушкодження периферичних нервів кінцівок. Переважали ураження нервів верхньої кінцівки (77%); осколкові поранення (90%) переважали кульові (10%). Ураження периферичних нервів у поєднанні з пошкодженнями інших структур визначали в 86% випадків. Одночасне пошкодження двох і більше нервів – у 15%.

Близько 53,1% вогнепальних уражень периферичних нервів мали первинний дефект і потребували хірургічного лікування (шов або аутонейропластика). На момент оперативного втручан-

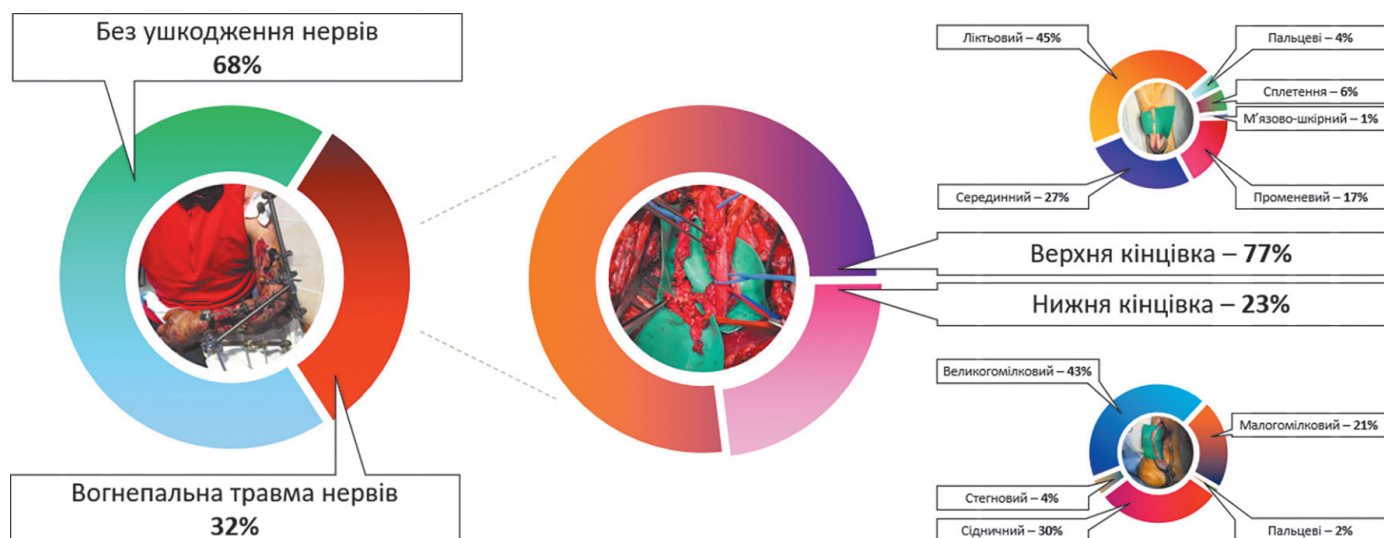
ня **середній розмір дефекту нерва становив $4,88 \pm 3,22$ см.** Причому дефекти периферичних нервів нижніх кінцівок ($5,26 \pm 3,14$ см) були достовірно більшими ($p < 0,01$), ніж дефекти нервів верхніх кінцівок ($4,77 \pm 3,26$ см).

Важливо пам'ятати, що з плином часу стан травмованої кінцівки погіршується; наявність дефектів шкірних покривів буде призводити до збільшення ризиків інфекційних ускладнень та рубцевих дефектів шкіри; вогнепальні переломи – до утворення несправжніх суглобів або неправильної консолідації фрагментів. Проте найбільш важливим для відновлення функції кінцівки є стан м'язів, і саме тут час відіграє найкритичнішу роль. Ішемічне ушкодження м'яза за рахунок пошкодження магістральних судин або розвитку компартмент синдрому потребує негайних дій (до 4–5 годин), тоді як денерваційні зміни більш розтягнуті в часі, проте не менш загрозливі для відновлення функції кінцівки. Варто також зазначити, що при бойовій травмі кінцівок не рідкісною є комбінація ішемічно-денерваційних уражень, котрі не лише взаємобтяжують одне одного та потребують інших підходів, а й мають виражений негативний прогноз щодо відновлення функції.

Загальний алгоритм лікування бойової травми

Загалом лікування бойових травм кінцівок складається з 4 основних етапів:

- **1-й етап** – етап гострої травми або так званих «стабілізуючих операцій». Це етап підготовчих до реконструктивних втручань операцій, проте, незважаючи на свій характер, він є одним із найбільш важливих та критичних, оскільки саме він визначає подальші перспективи та потенціал до відновлення функції кінцівки. Протягом цього етапу необхідно прийняти рішення щодо збереження чи ампутації кінцівки,



провести дебрідмент ран, за необхідності первинну стабілізацію кісткових сегментів та виконати фасціотомії (стабілізацію кісткових сегментів та фасціотомії необхідно виконати під час первинного дебрідменту), а також за потреби налагодити VAC-систему та досягти ерадикації інфекції. Реабілітаційні дії мають бути спрямовані на зменшення набряку та профілактику утворення контрактур. Загальна тривалість першого етапу не має перевищувати 2 тижні з моменту поранення.

- **2-й етап** — етап «**формоутворюючих операцій**». Протягом цього етапу необхідно провести закриття дефектів м'яких тканин повношаровими клаптями (локальними, острівцевими, невідними або мікрохірургічними) та досягти остаточної стабілізації кісткових сегментів за допомогою погрузних конструкцій. Реабілітаційні дії на цьому етапі також мають бути спрямовані на зменшення запальних процесів, набряку та профілактику контрактур. Загальна тривалість цього періоду не має перевищувати 1 місяця.
- **3-й етап** — етап «**функцієутворюючих операцій**». Саме під час цього етапу необхідно проводити відновлення периферичних нервів кінцівок, мобілізацію або стабілізацію суглобів, ендопротезування суглобових дефектів, відновлення сухожилків та проведення сухожильно-м'язових транспозицій чи мікрохірургічних пересадок активних м'язових клаптів, суглобів або пальців. Цей етап є найдовшим і потребує спеціалізованої реабілітації залежно від типу хірургічного втручання.

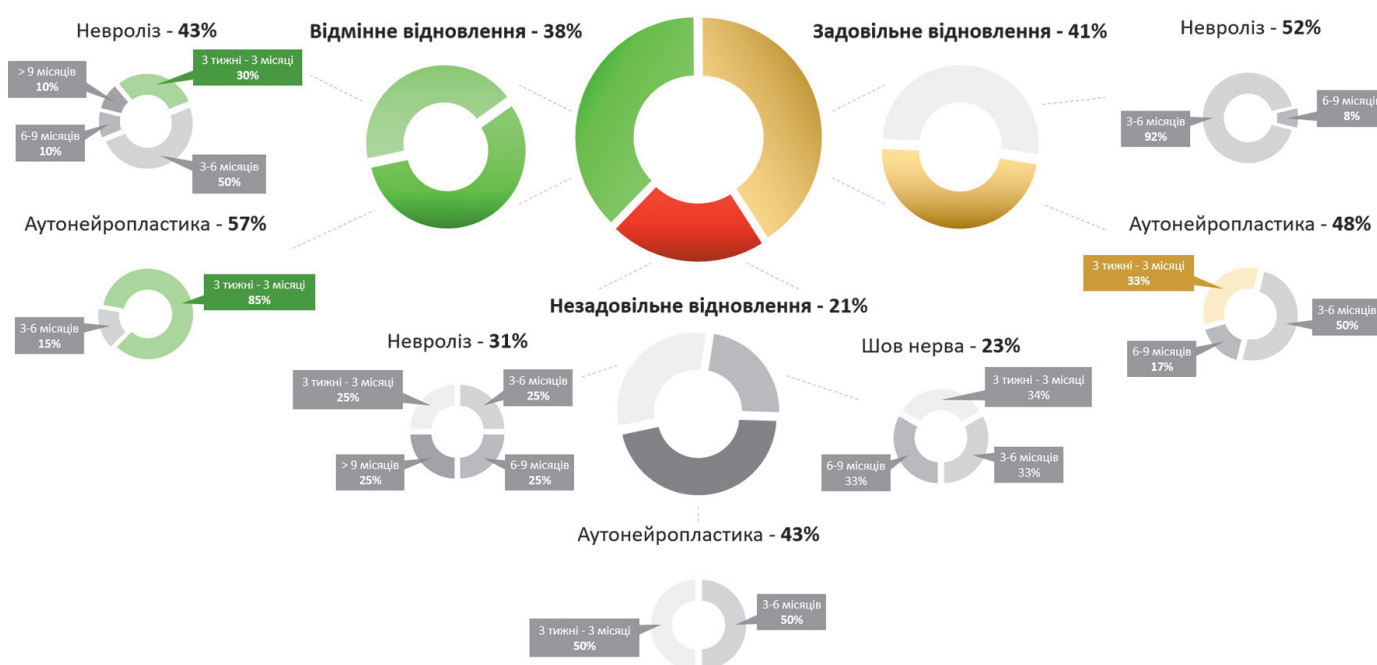
- **4-й етап** — завершальний або етап «**коригуючих операцій**». Під час цього етапу виконують корекцію довжин сухожилків і шкірних рубців, а також знежирення клаптів.

Провівши аналіз хірургічного лікування 296 пацієнтів з бойовою травмою кінцівок, що включала ушкодження периферичних нервів, — найбільшу кількість задовільного функціонального відновлення вдалося досягти у випадках, коли операція з відновлення периферичних нервів виконувалася в період від 3 тижнів до 3 місяців після поранення.

Особливості вогнепальної травми нервів

Куля або осколок, потрапляючи в тіло людини, може спричинити не лише безпосереднє (повне або часткове) ушкодження периферичного нерва, але й ураження параневральної жирової клітковини, пошкодження мікроциркуляторного русла нерва, а також дисрупцію нейром'язових синапсів та безпосереднє (дефект м'язової тканини) чи опосередковане (за рахунок ішемічного ураження) ушкодження цільових м'язів. Зважаючи на це, можна виділити цілий ряд особливостей вогнепальної травми периферичних нервів у порівнянні з іншими травмами чи ураженнями периферичної нервової системи:

1. **Значні первинні дефекти нервів.** Безпосереднє ушкодження нерва кулею або осколком призводить не лише до його первинного дефекту (рис. 1), але й до значного ураження його мікроциркуляторного русла та мікроциркуляції навколишніх тканин. Згідно з дослідженнями R.Birch [14] — відновлення мікроциркуляції та остаточне



формування «дефекту» нерва відбуваються лише через 3 тижні після поранення. З іншого боку, це означає неможливість адекватної аутонейропластики ушкодженого периферичного нерва на ранніх етапах, що призводить до збільшення термінів денервації скелетних м'язів. Саме така дистантність змін мікроциркуляторного русла в нерві і обумовлює значні істинні дефекти нерва що можуть бути більшими за видимий анатомічний дефект.

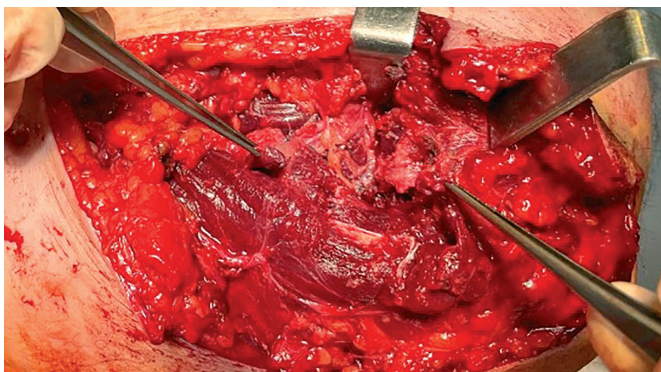


Рис. 1. Первинний дефект ліктьового нерва при кульовому пораненні.

- 2. Фіброз параневральних тканин.** Ударна хвиля від кулі чи осколка нерівномірно поширюється через різні тканини організму. Як правило, найбільшою травмою зазнає мікроциркуляторне русло [11, 12, 13]. Саме ураження мікроциркуляторного русла призводить до ушкодження найбільш чутливих до порушення кровопостачання тканин (бідної на кровоносні судини жирової клітковини та чутливої до ішемії нервової тканини), які не перебували у безпосередньому контакті з травмуючим агентом. **Порушення кровопостачання жирової клітковини мезоневрію призводить до її дегенерації та фіброзування**, що, своєю чергою, веде до утворення щільного рубця навколо нерва та його вторинної компресії (рис. 2).

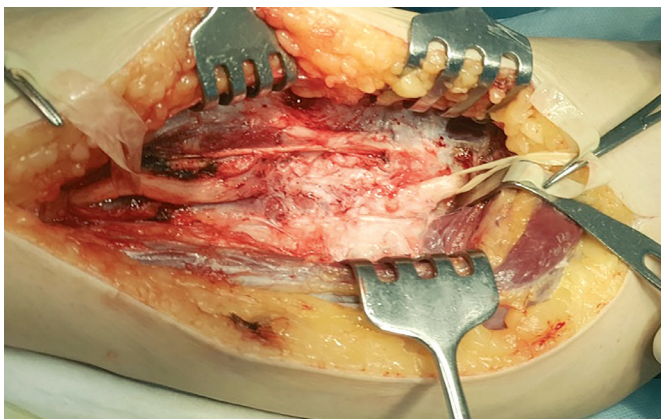


Рис. 2. Фіброз параневральних тканин.

- 3. Ішемічне ураження нерва (дем'єлінізація та блок проведення).** Залежно від кінетичної енергії раничого снаряда, дія первинної та вторинної ударної хвилі, утворення тимчасової пульсуючої порожнини та, в подальшому, ураження вихровим слідом також впливають на периферичні нерви всього сегмента (у випадку високоенергетичної травми), зокрема й ті, що не розташовані безпосередньо в зоні ураження раничого снаряда. Так, **ураження мікроциркуляторного русла периферичного нерва та дії тракційних сил на нерв призводять до його ішемії** і, як наслідок, дем'єлінізації та подальшої дегенерації (рис. 3).



Рис. 3. Збереження цілісності нерва, проте порушення його функції за рахунок ішемії та дем'єлінізації.

- 4. Змішаний тип ушкодження нерва. Вогнепальні ушкодження периферичних нервів доволі часто можуть бути змішаними**, тобто одночасно частина фасцикул можуть бути ушкоджені по типу нейропраксису (дем'єлінізація нерва при збереженні його анатомічної цілісності), частина фасцикул (волокон) постраждати за типом аксонотмезису (дегенерація аксонів при збереженні цілісності оболонки нерва), та частина фасцикул можуть повністю втрачати цілісність (нейротмезис) (Табл. 1). Такі «змішані» ушкодження периферичних нервів кінцівок потребують ранньої ревізії та відновлення цілісності ушкоджених фасцикул шляхом первинної аутонейропластики (Рис. 4).
- 5. Багаторівневе ураження нерва.** Можливе ураження одного і того самого нерва на різних сегментах кінцівки, або на різних рівнях одного сегменту. Наприклад ушкодження серединного нерва на рівні плеча та зап'ястка.
- 6. Ушкодження нервів «вторинними раничими снарядами».** Ушкодження периферичних нервів кінцівок при вогнепальній травмі також можуть бути спричинені не лише безпосередньою дією кулі чи осколка, а й,

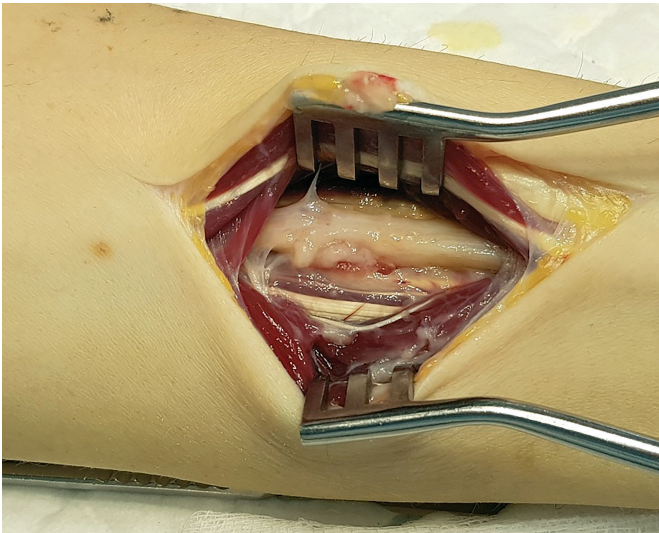


Рис. 4. Часткове ушкодження серединного нерва на рівні середньої третини передпліччя. На фотографії видно наявність як збережених, так і повністю ушкоджених фасцикул в одному нерві.



Рис. 5. Ушкодження серединного нерва на рівні ліктьового суглоба та дистальної третини передпліччя.

Таблиця 1.

Класифікація Седдона-Сандерленда

Схематичне зображення	Seddon	Sunderland	Пояснення	Можливість відновлення
	Нейропраксис	I a – ішемія	Сегментарна демієлінізація, «блок проведення» без дегенерації аксонів.	Повне, швидке самостійне відновлення.
		I b – набряк		
		Ic – демієлінізація		
	Аксонотмезис	II	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій інтактний.	Повне, проте повільне самостійне відновлення.
		III	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій ушкоджений, периневрій інтактний.	Можливе відновлення з незначним функціональним дефіцитом.
		IV	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій і периневрій ушкоджені, епіневрій інтактний.	Самостійне відновлення – сумнівне.
	Нейротмезис	V	Пошкодження і дегенерація аксонів, повне ушкодження всіх сполучно-тканинних оболонок нерва.	Самостійне відновлення – не можливе.
		VI	Змішаний тип ушкодження. Наявність всіх типів ушкодження в одному нервовому волокні.	Можливе мозаїчне відновлення, проте з прогнозовано не задовільним функціональним результатом.

наприклад, фрагментами кістки при її вогнепальному переломі. Такі ушкодження нервів можуть бути поза основним рановим каналом і характеризуватися значно меншими дефектами, а також змінами мікроциркуляторного русла як у самого нерва, так і в параневральних тканинах.

7. Дисрупція нейро-м'язових синапсів. Виникнення первинної та вторинної ударної хвилі, а також дія тимчасової пульсуючої порожнини поблизу нейро-м'язових синапсів можуть призвести до **дисрупції синапсу**. Тобто відокремлення нервового закінчення від скелетного м'яза на мікроскопічному рівні. У такому разі як нерв, так і м'яз макроскопічно будуть зберігати свою цілісність, проте реіннервація м'яза та відновлення його функції зазвичай можуть бути неефективними або неможливими.

8. Комбіновані ураження та дефекти скелетних м'язів. Комбіновані денерваційно-ішемічні ураження цільових скелетних м'язів значно виснажують пул сателітних клітин міоцитів, а отже, і регенераторний потенціал м'яза. Пригнічення регенераторних можливостей скелетних м'язів, особливо за умов тривалого періоду денервації, негативно впливає на функціональний результат після відновлення нерва. Первинні дефекти цільових м'язів в свою чергу ускладнюють відновлення функції, та потребують вторинних ортопедичних реконструктивних втручань, таких як сухожильно-м'язові транспозиції.



Рис. 6. Ушкодження серединного нерва та дефект м'язів згиначів.

Типи вогнепальних ушкоджень нервів

Інтраопераційно можна виділити три основних типи ушкоджень периферичних нервів кінцівок при бойовій травмі:

- **Компресія нерву фіброзно переродженими оточуючими тканинами** (рис. 7 а) – характеризується втратою функції цільових м'язів, наявністю гіперпатій в зоні іннервації нерву (підвищена чутливість, навіть легкий дотик описується пацієнтами як такий що «пече вогнем», або як біль), постійний чи при подразненні біль «пекучого» характеру.
- **Фіброзна фіксація нерву до оточуючих тканин** (рис. 7 б) – як правило це часткові пошкодження периферичних нервів що можуть варіюватись від ушкодження епіневрію до пошкодження частини фасцикул. Характеризується втратою або ослабленням функції цільових м'язів, втратою або зниженням чутливості в зоні іннервації, та болем при подразненні чи рухах в суміжних суглобах.
- **Повне анатомічне ушкодження нерву** (рис. 7 в) для якого притаманна втрата функції цільових м'язів, повна втрата чутливості в зоні іннервації, та біль при подразненні невроми – по типу болючих парастезій, або «прострілу електричним струмом».

Особливості діагностики вогнепальних ушкоджень нервів

Клінічна діагностика вогнепальних ушкоджень периферичних нервів кінцівок має цілий ряд особливостей, оскільки вони, як правило, протікають на фоні важкої поліструктурної травми (нерідко у комбінації з вогнепальними переломами кісток, ураженнями магістральних судин чи пошкодженнями м'язів і сухожильків), компартмент синдрому чи ішемічної контрактури. Важливою ознакою ураження периферичного нерва є порушення функції цільових м'язів; при цьому важливо перевіряти функцію одразу декількох м'язів

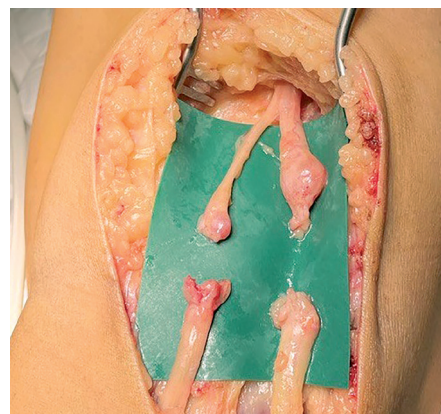
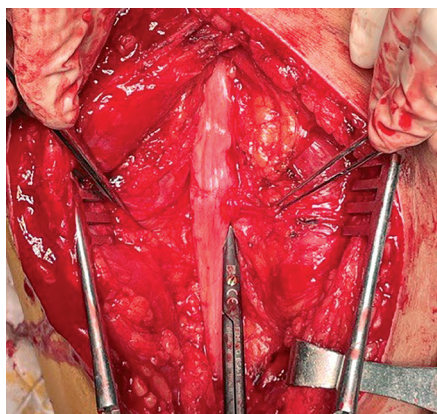
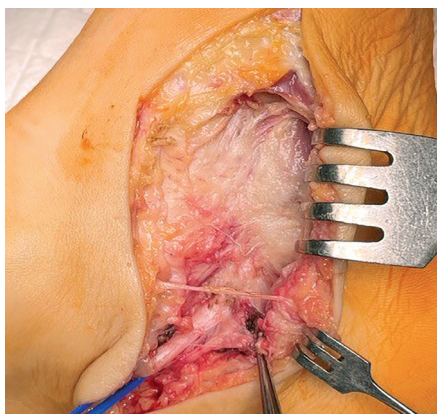


Рис. 7. Типи ушкоджень периферичних нервів при бойовій травмі

(дистальніше від місця поранення), що іннервуються ураженим нервом, з метою виключення можливості хибнопозитивних результатів унаслідок ушкодження самих м'язів чи їхніх сухожилків. Порухення чутливості в зоні іннервації відповідного нерва за типом анестезії може свідчити про його ушкодження, в той час як гіперестезії чи болючі парастезії – про компресію нерва рубцевими тканинами чи постійне подразнення нервового стовбура осколками або кістковими фрагментами. Також варто зазначити, що порушення функції периферичного нерва може бути пов'язане з відсутністю кісткової стабільності сегмента. Підвищений ризик анатомічного ушкодження периферичних нервів виникає у разі комбінації клінічної картини з вогнепальним переломом кісток або ушкодженням магістральних судин.

Враховуючи важкість поліструктурних поранень та особливості вогнепальної травми, що супроводжується значною ішемією оточуючих тканин, клінічний діагноз ушкодження периферичного нерва має бути підтверджений додатковими методами.

Ультразвукова діагностика (рис. 8) на даний момент є найбільш ефективним методом діагностики вогнепальних уражень периферичних нервів кінцівок. Оскільки УЗД дає можливість візуалізувати не лише безпосередньо сам нерв та визначити цілісність (а за наявності дефекту – його величину), структуру, співвідношення з осколками, але й оцінити стан параневрального простору (формування щільного фіброзу навколо нерва) та структур (визначити характер кровотоку по магістральних судинах, ушкодження м'язів і сухожилків, переломи кісток).

Рентгенографія та КТ дають змогу оцінити кісткові структури та наявність уламків у проєкціях судинно-нервових пучків.

MPT має доволі обмежені покази, оскільки більшість таких поранень характеризується наявністю сторонніх тіл (осколків), що зазвичай мають магнітну природу. Проте за відсутності магнітних сторонніх тіл MPT дає змогу візуалізувати

ураження периферичних нервів у важкодоступних для УЗД зонах.

Електронейроміографія (стимуляційна та, особливо, голкова) відіграє важливу роль в контролі відновлення функції цільових м'язів. В той же час, покази до використання електронейроміографії з метою саме діагностики характеру ушкодження периферичного нерва в ранній період – є відносними. Електронейроміографія є методом дослідження функції периферичного нерва. А проводити її доцільно не раніше ніж через 3 тижні після поранення.

Стимуляційна ЕНМГ дозволяє визначити можливість і швидкість проведення імпульсу по нерві. Використання стимуляційної електронейроміографії доцільне у разі поступово прогресуючої компресії нерва.

Голкова ЕМГ дозволяє визначити функціональний стан м'язів. Використання голкової електронейроміографії доцільне у разі травми та для контролю реіннервації.

Оптимальні терміни відновлення

Час грає критичну роль в хірургії периферичних нервів, оскільки заваження травми (збільшення терміну денервації м'язів) призводить до незворотних змін не лише в цільових скелетних м'язах (руйнація синапсів за рахунок міграції чи апоптозу термінальних Шванівських клітин, атрофії міоцитів, та фіброзно-жирового заміщення м'яза), але і у дистальному сегменті периферичного нерва (звуження діаметру стрічок Бюнгера, редукція мікроциркуляторного русла дистального сегмента та його фіброзування). При вогнепальних пораненнях периферичних нервів час від моменту поранення відіграє ще більшу роль, оскільки з'являється ще одне обмеження – неефективність відновлення нерва в гострому періоді. Rolfe Birch та співавтори порівняли результати відновлення периферичних нервів кінцівок у гострому та віддаленому періодах після вогнепальної травми й визначили, що кращі функціональні результати були в групі постраждалих, яким відновлення нерва

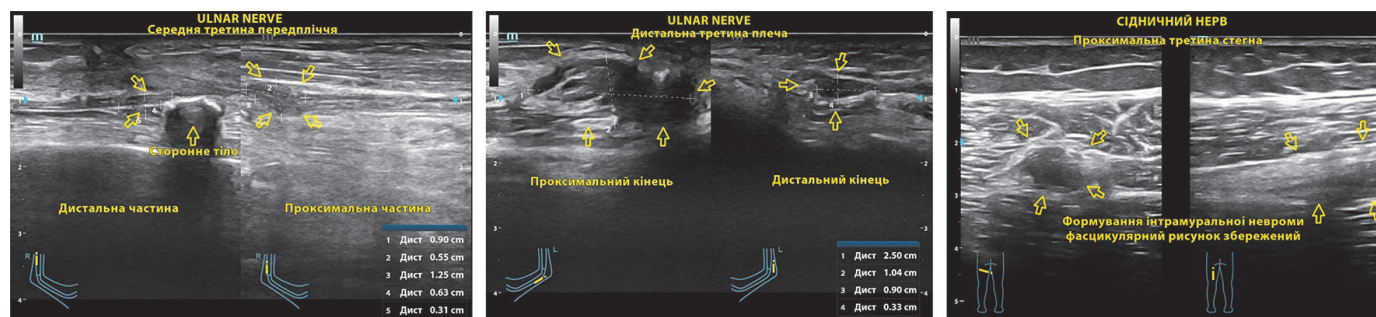


Рис. 8. УЗД периферичних нервів при бойовій травмі.

виконували у віддаленому періоді [14, 15]. Це пояснюється порушеннями в мікроциркуляторному руслі периферичного нерва (рис. 9), спричиненими первинними та вторинними ударними хвилями, а також дією тимчасової пульсуючої порожнини. На жаль макроскопічно виявити ці порушення в гострий період – неможливо. Тож шов або пластика нерва до стабілізації мікроциркуляторного русла може призвести до відновлення нерва в зоні потенційної ішемії, а це, в свою чергу, призведе до фіброзування зони шва, неможливості проростання аксонів та неефективного відновлення. Ці дослідження були підтверджені й іншими авторами [16, 17, 18, 19].

Нами було проведено гістологічне дослідження невром та гліом периферичних нервів після їх вогнепального uszkodження у 51 пацієнта. Середній час від моменту травми склав $5,4 \pm 0,4$ місяці. Ми спробували визначити дистантність рубцевих змін в досліджуваних зразках нерву. Дослідження виявило, що середня прогресія рубця по нервовому волокну може складати до 4-5 см (сумарні дані проксимальної та дистальної кукси), та складала $3,75 \pm 0,55$ см для кульових, та $4,35 \pm 0,8$ см для осколкових поранень.

Найкращим оптимальним терміном відновлення периферичних нервів при їх вогнепальних пораненнях є період від 3 тижнів до 3 місяців після поранення.

Відновлення нервів у більш пізні терміни можливе, проте його ефективність з часом буде прогресивно зменшуватися, що пов'язане з настанням незворотних змін у цільових скелетних м'язах. А зважаючи на змішаний — денерваційно-ішемічний характер ураження скелетних м'язів, притаманний вогнепальній травмі, — терміни можливої ефективної реіннервації м'яза можуть ще більше скорочуватися (табл. 2).

В той же час варто зазначити, що uszkodження периферичних нервів «вторинними раничими снарядами» (кістковими уламками) поза основним рановим каналом, або пошкодження осколками чи кулею з низькою кінетичною енергією, або компресія нерва між кістковими фрагментами — не

буде викликати настільки значних змін мікроциркуляторного русла. А отже підходи до їх лікування будуть відповідати класичним методам лікування травматичних уражень периферичних нервів.

Ще одним винятком можна вважати проксимальні, так звані «високі», uszkodження периферичних нервів (на рівні плечового сплетення, плечового суглоба, кульшового суглоба) за умови одночасного uszkodження магістральних кровоносних судин. У такому випадку, на нашу думку, доцільним буде одночасне відновлення цілісності магістральних кровоносних судин і нервових структур. Повторні хірургічні втручання на фіброзно-перероджених тканинах у зоні після відновлення магістральних судин супроводжуються високим ризиком інтраопераційних ускладнень.

Крім того, відновлення периферичних нервів потребує наявності наступних **обов'язкових умов:**

1. Остаточна кісткова стабільність. За наявності супутніх вогнепальних переломів кісток — остаточний погружний остеосинтез накладними пластинами має бути виконаний до відновлення цілісності периферичного нерва.

NB! В деяких випадках етап остаточного металоостеосинтезу вогнепальних переломів можна поєднувати з відновленням нервів. Проте остеосинтез завжди має виконуватись спочатку.

2. Відповідні оточуючі тканини. Закриття дефектів м'яких тканин в ділянках де передбачається відновлення периферичних нервів має виконуватись повношаровими клаптями з підшкірною жировою клітковиною (ротаційні, невільні, острівцеві чи мікрохірургічні). Закриття дефекту шкіри в ділянці uszkodженого нерва вільними розщепленими шкірними трансплантами є неприпустимим, тому що це призводить до ще більшого фіброзу, вторинного рубцевого здавлення нерва, та неможливості елевації цього виду клаптів для виконання подальших реконструкцій.

NB! В деяких випадках етап пластики дефекту м'яких тканин клаптями можна поєднувати з відновленням нервів. В такому випадку відновлення нерва варто виконувати в першу чергу.

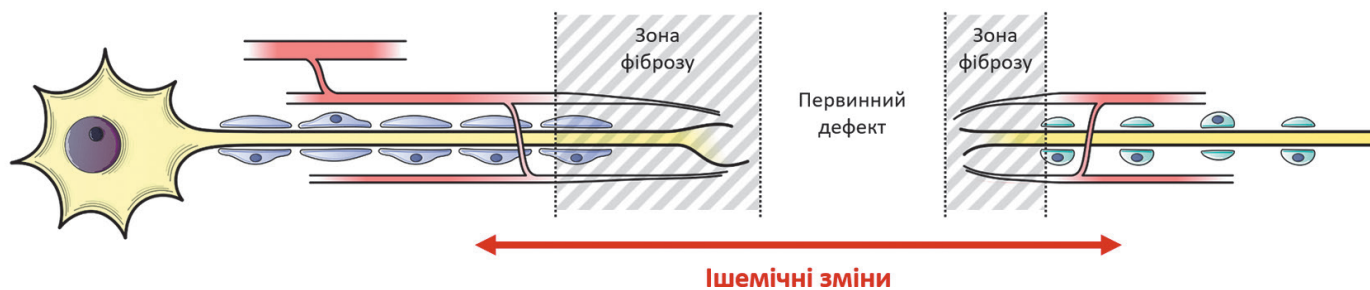


Рис. 9. Розповсюдження ішемічних змін, та фіброзування країв нервів при вогнепальній травмі.

3. **Ерадикація інфекційного процесу.** Відновлення нерва доцільне лише за умов відсутності інфекції в рані.

ОСОБЛИВОСТІ ЛІКУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНИХ УРАЖЕНЬ ПЕРИФЕРИЧНИХ НЕРВІВ КІНЦІВОК

Підходи до лікування вогнепальних ушкоджень периферичних нервів кінцівок також дещо відрізняються від класичних підходів у разі гострої травми, або компресійно-ішемічної нейропатії.

1. **При ПХО рани розширювати доступ або виконувати додаткові доступи для візуалізації нерва – не доцільно.** За наявності клінічної картини ураження периферичних нервів, якщо нерв при виконанні ПХО не візуалізується безпосередньо в рані, розширювати доступ чи робити додаткові доступи з метою ревізії нерва – не доцільно. Оскільки клінічна картина може бути викликана порушенням мікроциркуляторного русла, а додаткове хірургічне втручання може лише поглибити ці зміни. Окрім того, варто пам'ятати, що терміни відновлення при вогнепальних ураженнях нервів збільшуються у зв'язку зі змінами у мікроциркуляторному руслі нерва.
2. **При ПХО рани, якщо нерв цілий, – вкрити його здоровими тканинами.** Якщо нерв розташований у рані, але анатомічна цілісність його збережена, його варто вкрити оточуючими м'якими тканинами (м'язами чи жировою кліт-

ковиною, але в жодному разі не накривати нерв фрагментами сухожилків, фасцій чи вільною шкірою, оскільки ці тканини погано кровопостачаються та схильні до значного фіброзування) для запобігання ішемії та з метою зменшення його травматизації під час подальших перев'язок.

3. **При ПХО рани за наявності дефекту нерва – промаркувати нерв.** Якщо нерв ушкоджено – необхідно накласти адаптуючий шов (краще два) на кінці нерва (виключно за його зовнішню оболонку – епіневрій) яскравою не біодергадуючою ниткою (проте без значного натягу країв нерва) з метою профілактики збільшення дефекту та маркування кінців для подальших реконструкцій (рис. 10).
4. **При проксимальних ураженнях – доцільні первинні дистальні невротизації.** У разі проксимальних уражень нервів доцільним буде розглянути первинні дистальні невротизації або методики SETS (Supercharge End-To-Side – невротизація по типу «кінець-в-бік») з метою раннього відновлення дистальних, більш чутливих до денервації м'язів (рис. 11). Особливо у разі вогнепальних уражень (від середньої третини передпліччя та проксимальніше) ліктьового нерву (доменом іннервації якого є власні м'язи кисті) – рекомендовано виконувати SETS невротизацію рухової фасцикули ліктьового нерву гілочкою переднього міжкісткового нерву до м'яза квадратного пронатора.

Таблиця №2

Терміни відновлення периферичних нервів після вогнепальних поранень	
ЧАС ВІД МОМЕНТУ ПОРАНЕННЯ	РЕКОМЕНДОВАНЕ ХІРУРГІЧНЕ ВТРУЧАННЯ
До 3 тижнів:	
Відновлення нерву не рекомендоване через неможливість визначення глибини змін мікроциркуляторного русла	Маркування країв нерву. У разі проксимальних поранень – первинні дистальні невротизації.
Від 3 тижнів до 3 місяців:	
Оптимальні терміни для відновлення периферичних нервів після вогнепальної травми	Аутонейропластика периферичного нерву
Від 3 до 6 місяців:	
Ефективність відновлення функції м'язів задовільна	Аутонейропластика периферичного нерву
Від 6 до 9 місяців:	
Ефективність відновлення функції м'язів низька або сумнівна	Аутонейропластика + дистальні невротизації
Від 9 до 12 місяців:	
Відновлення нерву варто проводити з метою відновлення захисної чутливості	Дистальні невротизації для відновлення функції. Аутонейропластика нерву для відновлення чутливості.
Більше ніж 12 місяців:	
Відновлення нерву – недоцільне , варто проводити з метою відновлення захисної чутливості	Сухожильно-м'язові транспозиції для відновлення функції. Аутонейропластика для відновлення чутливості.

5. **Відновлення нерва доцільно проводити лише за умов відсутності інфекційного процесу, відновлення скелетної стабільності, адекватних покривних тканин** та не раніше ніж через 28 діб від моменту травми (що пов'язано зі стабілізацією мікроциркуляторного русла нерва та оточуючих тканин) і за можливості не пізніше 3 місяців з моменту поранення.
6. **Потреба у відновленні параневральної жирової клітковини.** За можливості відновлення периферичного нерва має супроводжуватись також відновленням мезоневрію. Використання не-вільних жирових клаптів на судинній ніжці (гіпотенарний жировий клапоть, адипо-фасціальний

променеви́й клапоть) може значно покращити результати відновлення периферичних нервів шляхом профілактики вторинного рубцювання нерва, а також покращення мікроциркуляції. Окремо слід зазначити про значний потенціал технології ліпофілінгу (рис. 12) для відновлення параневральної жирової муфти.

7. **У разі надвеликих дефектів нервів (дефект нерва перевищує 10 см) пріоритет у виборі тактики лікування варто надавати первинним невротизаціям (рис. 13) або ортопедичним реконструкціям.** Відновлення нерва в такому випадку можливо проводити лише з метою відновлення захисної чутливості.

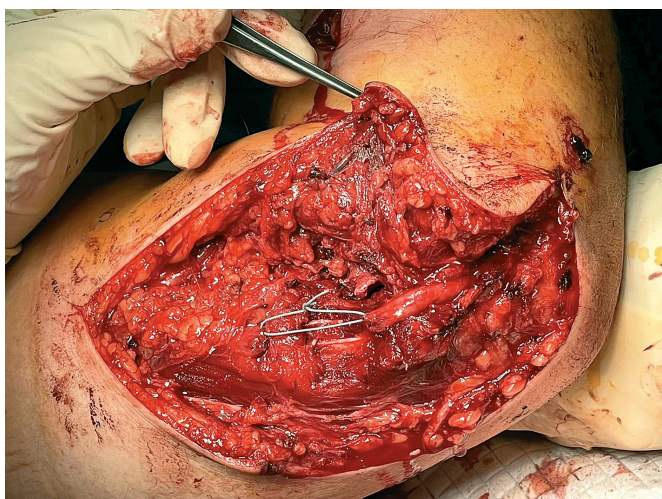


Рис. 10. Накладання епіневрального шва на кінці нерва для його маркування та профілактики збільшення дефекту.

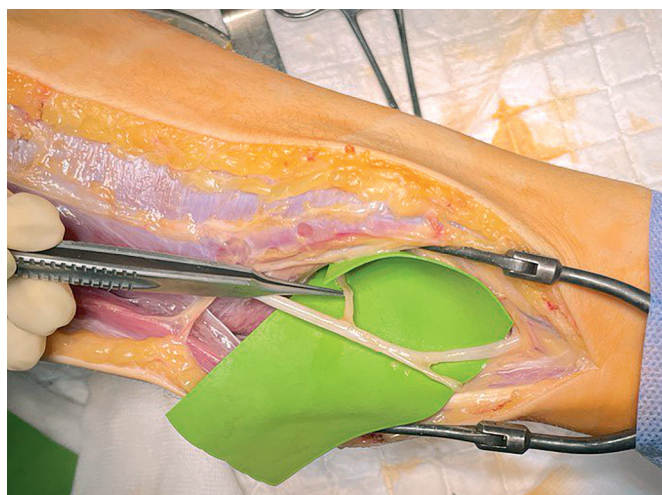


Рис. 11. Невротизація рухової фаскули ліктьового нерва гілочкою переднього міжкісткового нерва до м'яза квадратного пронатора за методикою SETS виконана при проксимальному ушкодженні ліктьового нерва.

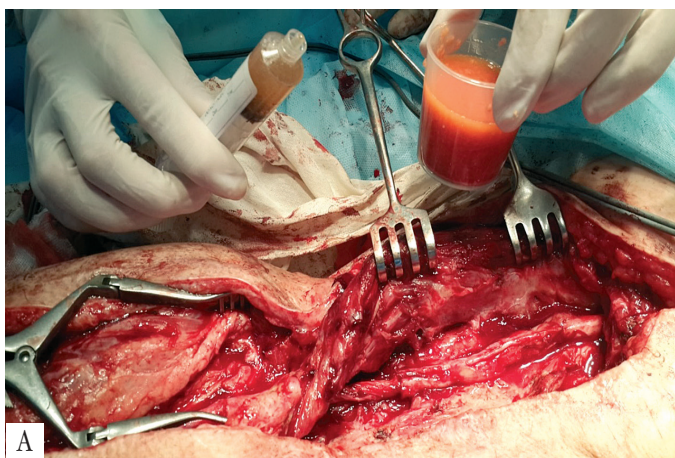


Рис. 12. а) Ліпофілінг після відновлення сідничного нерва з метою реконструкції параневральної жирової клітковини; б) збереження відновленої параневральної жирової клітковини через 8 місяців після ліпофілінгу.

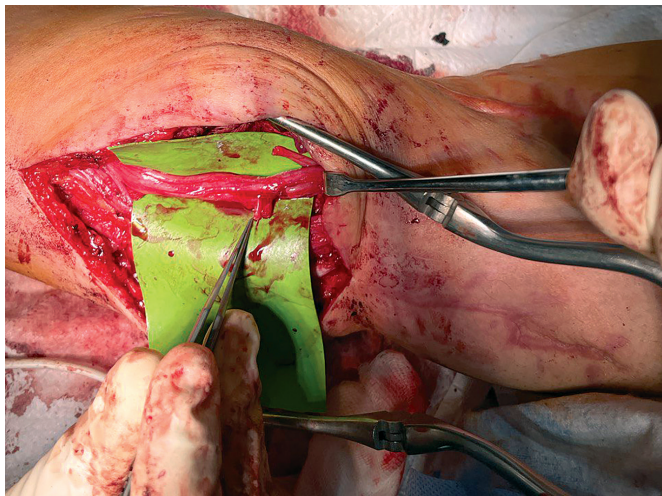


Рис. 13. Етап оперативного втручання – невротизації рухливих фасцикул серединного нерва гілочкою м'язово-шкірного нерва до плечевого м'яза (BrAIN невротизація) при проксимальному ушкодженні серединного нерва з дефектом 16 см.

АЛГОРИТМ ЛІКУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНИХ УРАЖЕНЬ ПЕРИФЕРИЧНИХ НЕРВІВ КІНЦІВОК

Аналізуючи всі наведені вище особливості та підходи до лікування вогнепальних травм периферичних нервів кінцівок, нами був розроблений та впроваджений наступний алгоритм лікування (рис. 14). Алгоритм базується на давності травми (гостра травма, або застаріле ушкодження зважаючи на терміни від моменту травми розглянуті вище), динаміці відновлення функції нерва, величині дефекту нерва (можливість виконання первинного шва нерва без натягу на його кінці, дефект нерва до 5 см, дефект від 5 до 10 см, та надвеликі дефекти нервів що перевищують 10 см), та ураженні мезоневрію (жирова клітковина що оточує нерв).

Виконуючи відновлення периферичних нервів, особливо при їх вогнепальних ураженнях, важливо пам'ятати наступне:

1. **Шов нерва має виконуватися без натягу на його краях** (краї нерва мають утримуватися один біля одного одним швом розміром 9/0). **СУВОРО ЗАБОРОНЕНО НАДАВАТИ ВИМУШЕНЕ ПОЛОЖЕННЯ (ЗГИНАННЯ ЧИ РОЗГИНАННЯ) В СУМІЖНИХ СУГЛОБАХ!**
2. Довжина ауто трансплантатів має перевищувати величину дефекту нерва на 20–30% (зазвичай близько 1 см).
3. Заміщення дефекту варто проводити максимально можливою кількістю ауто трансплантатів (товщина зони пластики має на 30% перевищувати товщину нерва).

4. **Нерв після відновлення має розташовуватися в добре васкуляризованих тканинах.** Розміщення нерва в рубцево-переродженому ложі призведе до його вторинного рубцювання та неефективного відновлення.

5. Не варто нехтувати реконструкцією мезоневрію шляхом використання невідільних жирових клаптів або ліпофілінгу.

Виключеннями з лікувального алгоритму є:

Вогнепальні ушкодження плечевого сплетення з пошкодженням магістральних судин (підключична артерія, плечева артерія) – відновлення структур плечевого сплетення рекомендовано виконувати одночасно з відновленням артеріального кровотоку.

Вогнепальні ушкодження маломілкового нерва – раціональніше виконувати первинну ортопедичну реконструкцію (сухожильну транспозицію), оскільки аутонейропластика при таких пораненнях дає несприятливі прогностичні результати.

Аналіз результатів

Нами було проведено аналіз результатів лікування пацієнтів яким виконувались оперативні втручання на нервах (невроліз, шов або пластика нерва) з приводу їх вогнепальних уражень у період з 24 лютого 2022 року по 1 червня 2025 року. На опитування відгукнулись 296 (62.7%) респондентів. Оцінка результатів лікування проводилась шляхом телефонного опитування та збору відеодемонстрацій функції кінцівки. В залежності від отриманих результатів пацієнтів було розподілено на три групи (табл. 3): відмінне відновлення (відновлення сили м'язів та чутливості), задовільне відновлення (ефективне відновлення м'язів, проте зі зниженою силою, та зниження чутливості), не задовільне відновлення (не ефективне відновлення сили м'язів, відсутність чутливості).

Як видно з наведеної таблиці найбільшу кількість незадовільних відновлень було отримано після шва нерву.

Проблема шва нерву при вогнепальній травмі

Близько 53,1% вогнепальних уражень периферичних нервів – з наявністю первинного дефекту. На момент оперативного втручання, середній розмір дефекту нерву складав $4,88 \pm 3,22$ см. Причиною негативних результатів при спробі виконання шва нерву є:

1. Недостатня резекція країв нерву
 2. Шов нерву зі згинанням в суміжних суглобах
- Недостатня резекція країв нерву (рис. 15)**

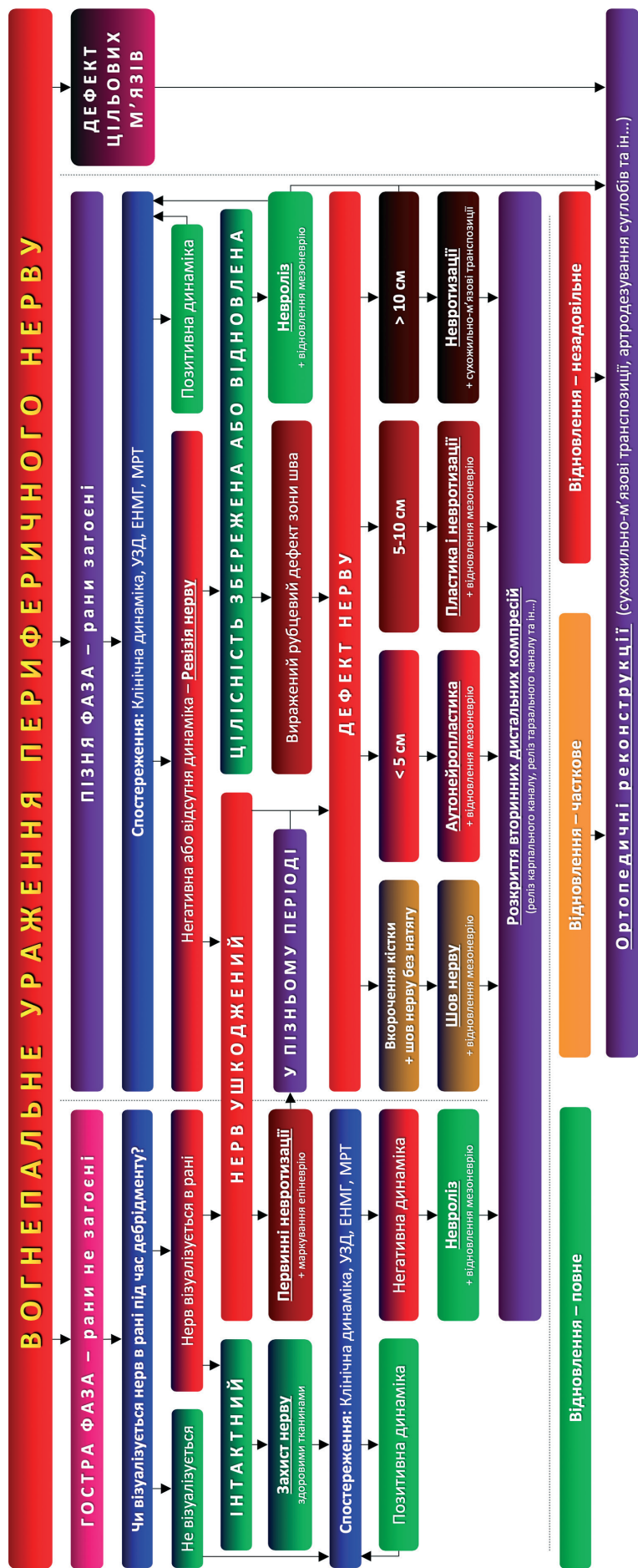
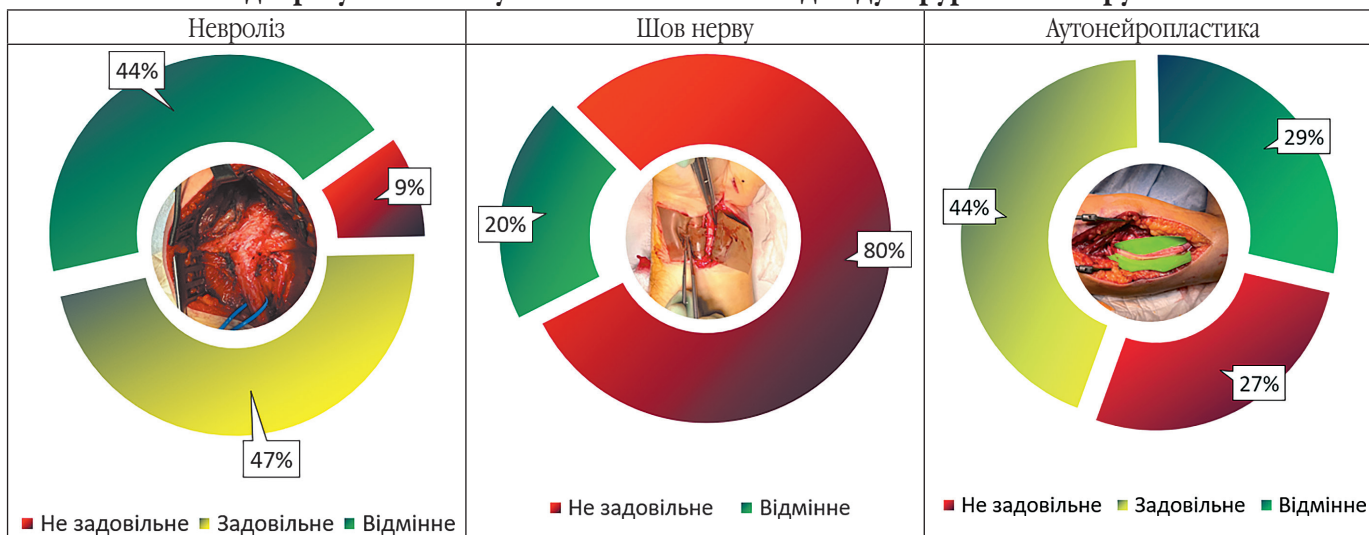


Рис. 14. Лікувальний алгоритм при вогнепальних ураженнях периферичних нервів кінцівок.

Таблиця №3

Розподіл результатів лікування в залежності від виду хірургічного втручання.



з метою мінімізувати дефект та накласти шов – є грубою помилкою. Недостатня резекція призводить до збереження фіброзної тканини що не дає можливості прорости аксонам в дистальний кінець нерву.

При шві або пластиці нерва необхідно уникати натягу нерва. Експериментально доведено що 6% натяг на кінці нерва на 70% погіршує його кровопостачання, а вже 12% натяг – викликає повне перекриття мікроциркуляторного русла нервового волокна (рис. 16).

Вимушене положення суглобів при шві нерва – не вирішує питання дії на нерв тракційних сил (рис. 17).

Втрата цільових м'язів

У разі первинного дефекту цільових м'язів або їхнього значного ішемічного ураження (важкий ступінь ішемічної контрактури – фіброзно-жирове заміщення м'яза) у поєднанні з ушкодженням нерва відновлення нерва з метою відновлення рухової функції є недоцільним, оскільки відсутній цільовий орган-ефектор. Але допустимо відновлення чутливих гілок нерва для відновлення захисної чутливості та трофіки кисті і пальців.

В такому випадку доцільними будуть первинні ортопедичні реконструкції: сухожильно-м'язові транспозиції, артродезування суглобів, пересадки активних мікрохірургічних клаптів.

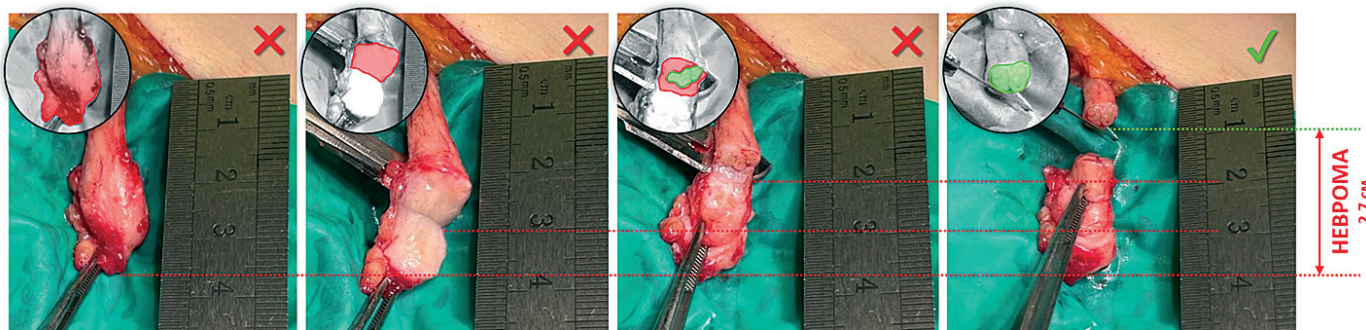


Рис. 15. При резекції країв нерва необхідно побачити «зернисту» фасцикулярну будову нерва, без ознак рубцевої тканини.

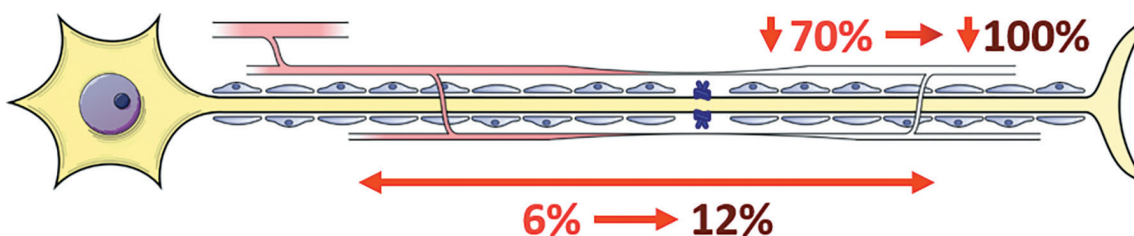


Рис. 16. Схематичне зображення як натяг мобілізованих країв нерва впливає на порушення мікроциркуляції.

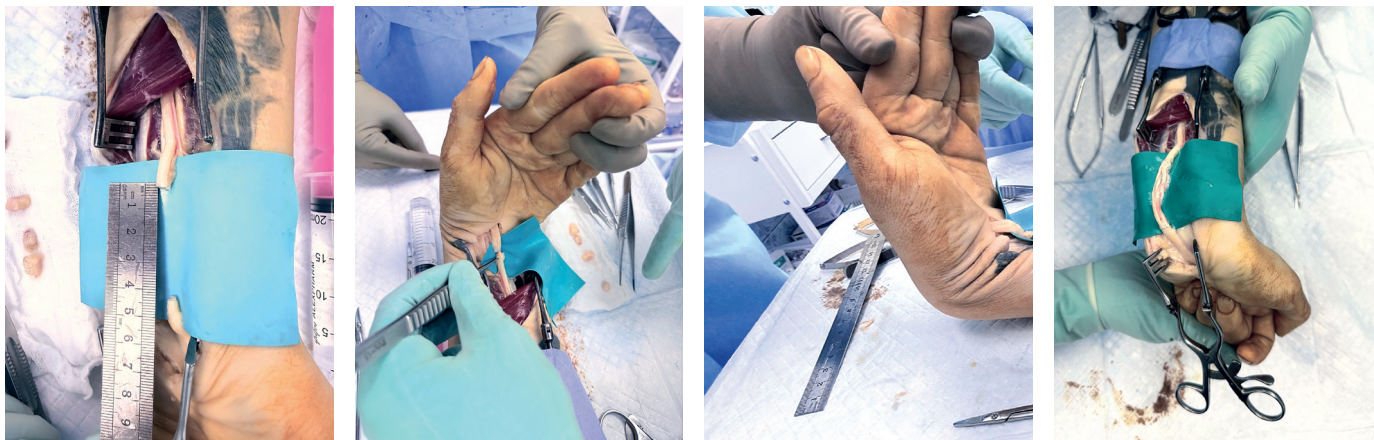


Рис. 17. а) Дефект серединного нерву на рівні зап'ястка складає близько 4 см; б) задля того щоб нівелювати цей дефект і накласти шов нерву – зап'ясток необхідно тривалий час утримувати в положенні максимального згинання; в) в той час як правильна аутонейропластика цього дефекту дозволяє одразу використовувати повний об'єм рухів

Серед найбільш поширених сухожильно-м'язових транспозицій виділяють:

- **Транспозиція Merdle de Aubigne або за Jones** – транспозиція сухожилка м'яза круглого пронатора на сухожилок короткого променевого розгинача кисті, сухожилка довгого долонного м'яза на сухожилок довгого відвідного м'яза 1-го пальця та сухожилка ліктьового згинача зап'ястка на сухожилки розгиначів пальців кисті – при ушкодженнях м'язів розгиначів, або застарілому ушкодженні променевого нерва.
- **Транспозиція сухожилка довгого малогомілкового м'яза через міжкісткову мембрану на сухожилки розгиначів пальців стопи** – при ушкодженнях м'язів розгиначів стопи та пальців або застарілому ушкодженні малогомілкового нерва.

Заключення

1. Особливостями вогнепальної травми периферичних нервів кінцівок є: **значні первинні дефекти нервів спричинені не лише безпосередньою травмою але й дистантними ішемічними змінами мікроциркуляторного русла, фіброзування параневральних тканин** що може призводити до компресії нерва або формування «точок фіксації», ішемічне ураження нерва за рахунок дії значних тракційних сил та порушення мікроциркуляції, **змішані** варіанти ушкодження нервів, **багаторівневі ушкодження** одного й того самого нерву, **дисрупція нейро-м'язових синапсів**, та **комбіновані ішемічно-денерваційні ураження цільових м'язів або ж їх дефекти**.
2. При вогнепальних ураженнях периферичних нервів кінцівок розвивається порушення кро-

вопостачання не лише нерва (що веде до його ішемії), а й параневральних тканин – що призводить до фіброзного переродження мезоневрію та його вторинної компресії.

3. При лікуванні пацієнтів з вогнепальними пораненнями кінцівок варто звернути увагу на можливість багаторівневих і змішаних варіантів ураження периферичних нервів, що призводить до невідповідності клінічної картини відновлення м'язів рівню ураження.
4. **Перед відновленням периферичних нервів обов'язково має бути досягнуто: ерадикація інфекції, остаточна кісткова стабільність, закриття дефектів тканин повношаровими клаптями з підшкірною жировою клітковиною.** Використання вільних розщеплених шкірних клаптів – суворо заборонено.
5. При вогнепальних ушкодженнях периферичних нервів кінцівок **оптимальним часом для відновлення нерва вважають період від 3 тижнів до 3 місяців з моменту поранення.** Оскільки до 3 тижнів неможливо визначити остаточні зміни мікроциркуляторного русла та прогресію рубцевої тканини дистантно від місця безпосереднього ушкодження, а після 3 місяців – прогресивно знижується регенераторний потенціал цільових м'язів.
6. **Хірургічне відновлення периферичних нервів має виконуватися без натягу кінців нерва.** Суворо заборонено надавати вимушене положення суміжних суглобів кінцівки з метою зменшення дефекту нерва. Натяг на мобілізовані кінці нерва вже на 6% мобілізованих тканин на 70% погіршує його кровопостачання, а вже 12% натяг – викликає повне перекриття мікроциркуляторного русла нервового волокна.
7. При надвеликих (більше 10 см) проксимальних

дефектах нервів доцільним є використання первинних дистальних невротизацій або ортопедичних реконструкцій.

8. У разі первинного дефекту цільових м'язів або їх важкого ішемічного ураження – відновлення периферичних нервів є недоцільним або провадиться для відновлення захисної чутливості.

References

- Mathieu L, Goncalves M, Murison JC, Pfister G, Oberlin C, Belkheyar Z. Ballistic peripheral nerve injuries: basic concepts, controversies, and proposal for a management strategy. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022; 48(5): 3529-3539. DOI: 10.1007/s00068-022-01929-8.
- Pannell WC, Heckmann N, Alluri RK, Sivasundaram L, Stevanovic M, Ghiassi A. Predictors of Nerve Injury After Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *Hand*. 2017; 12(5): 501–506. DOI: 10.1177/1558944716675294.
- Akhavan-Sigari R, Mielke D, Farhadi A, Rohde V. Study of Radial Nerve Injury Caused By Gunshot Wounds and Explosive Injuries among Iraqi Soldiers. *Open Access Maced J Med Sci*. 2018; 6(9): 1622–1626. DOI: 10.3889/oamjms.2018.346.
- Omid R, Stone MA, Zalavras CG, Marecek GS. Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019; 27(7): e301-e310. DOI: 10.5435/JAAOS-D-17-00676.
- Rochkind S, Strauss I, Shlitner Z, Alon M, Reider E, Graif M. Clinical aspects of ballistic peripheral nerve injury: shrapnel versus gunshot. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014; 156(8): 1567-1575. DOI: 10.1007/s00701-014-2139-0.
- Iordache SD, Gorski A, Nahas M, Feintuch L, Rahamimov N, Rutenberg TF. Treatment of Peripheral Nerve Injuries in Syria's War Victims: Experience from a Northern Israeli Hospital. *Isr Med Assoc J*. 2021; 23(5): 279-285. DOI: PMID: 34024043.
- Topuz AK, Eroğlu A, Atabey C, Cetinkal A. Surgical treatment outcomes in peripheral nerve lesions due to gunshot injuries: assessment of 28 cases. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2013; 19(3): 235-240. DOI: 10.5505/tjtes.2013.02073.
- Straszewski AJ, Schultz K, Dickherber JL, Dahm JS, Wolf JM, Strelzow JA. Gunshot-Related Upper Extremity Nerve Injuries at a Level 1 Trauma Center. *J Hand Surg Am*. 2022; 47(1): 88.e1-88.e6. DOI: 10.1016/j.jhssa.2021.03.020.
- Secer HI, Daneyemez M, Tehli O, Gonul E, Izci Y. The clinical, electrophysiologic, and surgical characteristics of peripheral nerve injuries caused by gunshot wounds in adults: a 40-year experience. *Surg Neurol*. 2008; 69(2): 143-152. DOI: 10.1016/j.surneu.2007.01.032.
- Rivera JC, Glebus GP, Cho MS. Disability following combat-sustained nerve injury of the upper limb. *The Bone & Joint Journal*. 2014; 96-B(2): 254-258. DOI: 10.1302/0301-620X.96B2.31798.
- Popov VA, Vorob'ev VV, Pitenin II. Microcirculatory changes in the tissues surrounding a gunshot wound. *Biull Eksp Biol Med*. 1990; 109(4): 336-339.
- Moriscot , Miyabara EH, Langeani B, Belli A, Egginton S, Bowen ST. Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. *NPJ Regen Med*. 2021; 6(1): 17. DOI: 10.1038/s41536-021-00127-1.
- Briusov PG, Kuznetsov NM, Dolishniĭ VN. Dynamic microvascular changes in gunshot wounds. *Voen Med Zh*. 1991;(7): 4-6.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, Eardley WGP, Ramasamy A, Brown K, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part II: Outcomes. *J Bone Joint Surg Br*. 2012; 94(4): 529-535. DOI: 10.1302/0301-620X.94B4.28488.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, Eardley WGP, Ramasamy A, Brown K, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part I--Epidemiology. *J Bone Joint Surg Br*. 2012; 94(4): 523-528. DOI: 10.1302/0301-620X.94B4.28483.
- WHITE JC. Timing of nerve suture after a gunshot wound. *Surgery*. 1960;(48): 946-951.
- Oberlin C, Rantissi M. Gunshot injuries to the nerves. *Chir Main*. 2011; 30(3): 176-182. DOI: 10.1016/j.main.2011.04.010.
- Secer HI, Daneyemez M, Gonul E, Izci Y. Surgical repair of ulnar nerve lesions caused by gunshot and shrapnel: results in 407 lesions. *J Neurosurg*. 2007; 107(4): 776-783. DOI: 10.3171/JNS-07/10/0776.
- Jones PE, Meyer MR, Faillace WJ, Landau ME, Smith JK, McKay PL, et al. Combat Injury of the Sciatic Nerve - An Institutional Experience. *Mil Med*. 2018; 183(9-10): e434-e441. DOI: 10.1093/milmed/usy030.

Gunshot Injuries of the Peripheral Nerves of the Extremities: Features of Diagnosis and Treatment (Methodological Recommendations)

Strafun S.S.¹, Lysak A.S.¹ ✉, Kurinnyi I.M.¹, Haiovych V.V.¹, Kulyk Yu.A.¹

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Summary. Gunshot injuries of the peripheral nerves of the extremities are a part of severe polystructural combat trauma and are characterized by specific features of the injury mechanism, diagnosis, and reconstructive treatment. The main types and characteristics of gunshot injuries to peripheral nerves, methods of clinical and instrumental diagnosis, optimal timing and principles of surgical repair, as well as approaches to reconstructive treatment of the consequences of trauma are presented.

Key words: gunshot injury; peripheral nerves; combat-related extremity trauma; diagnosis; surgical treatment; reconstructive surgery.

ПАМ'ЯТНІ ДАТИ

90 років професійного розвитку: ювілейний пленум Української асоціації ортопедів-травматологів



15 травня 2026 року в Києві на базі ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» відбувся ювілейний пленум, присвячений 90-річчю заснування Всеукраїнської громадської організації «Українська асоціація ортопедів-травматологів». Захід об'єднав науковців, лікарів-практиків, викладачів профільних кафедр і представників спеціалізованих медичних закладів із різних регіонів України. Ювілейний пленум став важливою подією для вітчизняної ортопедії та травматології, поєднавши історичну пам'ять, багаторічний професійний досвід і бачення подальшого розвитку галузі.

Історія професійного об'єднання українських ортопедів-травматологів бере початок у 1936 році, коли під час Першого з'їзду ортопедів-травматологів України в Харкові було створено Республіканське товариство ортопедів-травматологів. Ця подія стала важливою віхою у становленні галузі, сприяла об'єднанню фахівців, систематизації клінічного досвіду, розвитку наукових досліджень та формуванню спільних підходів до лікування травм і захворювань опорно-рухової системи.

Упродовж наступних десятиліть українська ор-

топедія та травматологія пройшла значний шлях розвитку. Створювалися спеціалізовані клінічні центри, науково-дослідні установи та профільні кафедри, удосконалювалися методи діагностики, хірургічного лікування й медичної реабілітації. Значного розвитку набули лікування складних переломів, реконструктивно-відновна хірургія, ендопротезування суглобів, вертебрологія, дитяча ортопедія, протезування та ортезування.

Пленуми, з'їзди й наукові конференції традиційно відіграють важливу роль у розвитку галузі. Вони забезпечують професійний діалог між науковцями та клініцистами, дають змогу представляти результати досліджень, обговорювати складні клінічні випадки, порівнювати різні методи лікування та поширювати сучасні технології. Ювілейний пленум став продовженням цієї багаторічної традиції та водночас нагодою згадати основні етапи становлення ортопедо-травматологічної служби України.

Особливого значення ця подія набуває в сучасних умовах, коли українська система охорони здоров'я щоденно стикається з наслідками повномасштабної війни. Ортопеди-травматологи лікують

пацієнтів із тяжкими вогнепальними, мінно-вибуховими та поєднаними ушкодженнями, значними дефектами кісток і м'яких тканин, ушкодженнями судин і нервів, інфекційними ускладненнями та тривалими порушеннями функції кінцівок. Таке лікування часто потребує багатоетапних реконструктивних операцій, участі фахівців різного профілю та тривалої комплексної реабілітації. Саме тому обмін клінічним досвідом, аналіз результатів лікування та впровадження ефективних методик сьогодні мають надзвичайно важливе значення.

Сучасна ортопедія та травматологія є високо-технологічною галуззю, розвиток якої пов'язаний із цифровим плануванням, тривимірним моделюванням, застосуванням нових імплантатів, малоінвазивних методик та індивідуалізованих підходів до лікування. Водночас основною метою залишається не лише відновлення анатомічної цілісності, а й повернення пацієнтові функції, рухливості, здатності до самостійного життя та професійної діяльності.



Важливою умовою подальшого розвитку галузі є поєднання наукових досліджень із щоденною клінічною практикою. Нові технології та методи лікування мають оцінюватися з урахуванням їхньої ефективності, безпеки, кількості ускладнень, тривалості відновлення та якості життя пацієнтів. Професійні заходи створюють простір для відкритого обговорення результатів і критичного оцінювання нових підходів, сприяючи розвитку доказової медицини.

Не менш важливим залишається залучення молодих лікарів і науковців. Участь у пленумах і конференціях дає їм можливість переймати досвід старших колег, формувати клінічне мислення, представляти результати власних досліджень і долучатися до професійної дискусії. Саме поєднання досвіду попередніх поколінь із новими знаннями та технологіями є основою подальшого розвитку української ортопедії та травматології.

Дев'яносторічний ювілей став нагодою не лише згадати пройдений шлях, а й замислитися над майбутнім галузі. Сучасні виклики потребують подальшого вдосконалення спеціалізованої допомоги, розвитку системи реабілітації, проведення якісних клінічних досліджень, підготовки фахівців і забезпечення доступності сучасного лікування для пацієнтів у різних регіонах України.



Ювілейний пленум засвідчив нерозривний зв'язок між історичним досвідом і сучасним розвитком ортопедії та травматології. За дев'яносто років змінилися діагностичні можливості, хірургічні технології та підходи до відновлення пацієнтів, однак незмінним залишилося головне завдання — допомогти людині відновити рух, функцію та якість життя.

Редакція науково-практичного журналу TERRA ORTHOPAEDICA вітає фахівців галузі з визначною ювілейною датою та бажає нових наукових здобутків, професійної стійкості, успішного впровадження сучасних методів лікування і подальшого розвитку української ортопедії та травматології.

УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ В ЖУРНАЛІ «TERRA ORTHOPAEDICA»

Шановні автори!

Будь ласка, ознайомтеся з детально викладеними вимогами до оформлення статей для публікації в журналі, які складені з урахуванням вимог Наказу № 112 («Про публікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук») і вимог до видань, включених до «Переліку наукових фахових видань України» згідно з Наказом № 1021 від 07.10.2015 р. Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Усі матеріали повинні бути оформлені відповідно до таких вимог:

1. Рукопис.

1.1. Формат тексту. Рукопис надсилається до редакції в електронному вигляді в форматі MS Word (розширення .doc, .docx, .rtf), гарнітура Times New Roman, кегль 12, інтервал 1,5, поля 2 см по обидві сторони. Виділення в тексті можна проводити тільки курсивом, але не підкресленням. З тексту необхідно видалити всі повторювані пропуски і зайві розриви рядків (в автоматичному режимі через сервіс Microsoft Word «Знайти і замінити»).

1.2. Обсяг тексту рукопису, включаючи список літератури, таблиці, ілюстрації, підписи до них, повинен складати для оригінальних статей 10-12 сторінок формату А4 (до 5000 слів), огляду літератури – 15-18 сторінок, повідомлень про спостереження з практики – 4-6 сторінок, рецензій – 4 сторінки.

Увага! Питання про публікацію в журналі великої за обсягом інформації вирішується індивідуально, якщо, на думку редколегії, вона становить особливий інтерес для читачів.

1.3. Крім наукових статей, журнал публікує матеріали з історії медицини, біографічні нариси і ювілеї, некрологи, дискусійні статті з різних проблем спеціальності, статті про з'їзди, конференції, статті по обміну досвідом, рекламні матеріали, рецензії та ін.

1.4. Мова публікації. До публікації в журналі приймаються рукописи українською або англійською мовами. Метадані статті публікуються двома мовами (українською, англійською). При наборі тексту не перекладайте його дослівно з латиницею важливо відповідно встановлювати її на клавіатурі.

Наприклад, неприпустимо замінювати латинську букву «i» українською літерою «і», незважаючи на візуальну ідентичність.

2. До обов'язкових структурних елементів статті відносяться:

- титульна сторінка;
- резюме;
- ключові слова;
- текст статті (включаючи таблиці, малюнки);
- додаткова інформація;
- література.

2.1. Титульний лист повинен містити подану українською, та англійською мовами наступну інформацію: УДК статті; назва статті; автори – прізвища та ініціали; афіліація авторів. Назва має повноцінно відображати предмет і тему статті, не бути надмірно короткою, але і не містити більше 100 символів. Назва пишеться рядковими літерами, крім великої літери першого слова та власних назв.

2.2. Резюме (реферат) складається двома мовами (українською, англійською). Авторське резюме до статті є основним джерелом інформації у вітчизняних і зарубіжних інформаційних системах і наукометричних базах даних, в яких індексується журнал. Обсяг резюме має становити близько 250 слів або 2000 тисячі знаків. Резюме повинно бути структурованим і включати обов'язкові рубрики: «Актуальність»; «Мета дослідження»; «Матеріали і методи»; «Результати»; «Заключення». Обсяг розділу «Результати» повинен становити не менше 50% від загального обсягу. В тексті рукопису автори зазначають що дослідження відповідає Гельсінській декларації або стандартам біоетики. Резюме оглядів, лекцій, дискусійних статей складаються у довільній формі.

Текст повинен бути зв'язним, з використанням слів «отже», «більше», «наприклад», «у результаті» тощо. Реферат англійською повинен бути складений грамотно з допомогою електронного перекладача! В англійському резюме слід використовувати активні форми дієслова. Резюме не повинне містити аббревіатур, за винятком загальноприйнятих (наприклад, ДНК), виносок, посилань на літературні джерела.

2.3. Ключові слова (Keywords). Необхідно вказати 3-6 слів або словосполучень, відповідних змісту роботи, які сприятимуть індексуванню статті

в пошукових системах. У ключові слова оглядових статей слід включати слово «огляд». Ключові слова повинні бути ідентичні українською та англійською мовами, їх слід писати через крапку з комою.

2.4. Таблиці мають бути виконані гарнітурою Times New Roman, 10 кеглем, без службових символів усередині. Публікації, що містять таблиці, виконані за допомогою табулятора, розглядатися не будуть. Таблиці повинні бути побудовані наочно, мати назву, їх заголовок має точно відповідати змісту граф. У тексті необхідно вказати місце таблиці та її порядковий номер.

2.5. Текст статті. Структура повного тексту рукопису, присвяченого опису результатів оригінальних досліджень, повинна відповідати загальноприйнятим шаблонам і містити **обов'язкові розділи**: «Вступ»; «Мета»; «Матеріал і методи»; «Результати»; «Обговорення»; «Обмеження», «Творчий внесок авторів» «Заключення».

2.6. Декларація про використання штучного інтелекту (ШІ).

- Автори повинні розкривати факт використання ШІ (Copilot, ChatGPT тощо) в процесі підготовки рукопису та описання задач, для яких він був застосований.
- Автори відповідають за перевірку точності, повноти та неупередженості всіх результатів, створених ШІ, включно з перевіркою джерел. Посилання, створені ШІ, можуть бути неправильними або вигаданими.
- Автори не повинні вказувати або цитувати ШІ як автора чи співавтору рукопису, оскільки авторство передбачає обов'язки, які можуть бути покладені тільки на людей.
- Відповідальність за зміст рукопису, достовірність даних, унікальність (оригінальність) та дотримання етики несе автор.
- Використання інструментів ШІ має бути деклароване шляхом додавання заяви в кінці рукопису під час його подання до журналу. Заява буде розміщена в опублікованій роботі перед списком літератури. Авторам рекомендується заповнити декларацію GAIDeT (Generative Delegation Taxonomy), доступну за посиланням <https://panbibliotekar.github.io/gaidet-declaration/index-uk.html>. Згенеровану декларацію слід подати разом із рукописом.

2.7. Пристатейний список літератури – «Література». Оптимальна кількість цитованих робіт в оригінальних статтях і лекціях становить 15-30 джерел, в оглядах – 30-60 джерел. **Бажано цитувати оригінальні роботи, опубліковані протягом останніх 5-7 років у зарубіжних**

періодичних виданнях. Також намагайтеся звести до мінімуму посилання на тези конференцій, монографії. У список літератури не включаються неопубліковані роботи, офіційні документи, рукописи дисертацій, підручники і довідники. Повинна бути представлена додаткова інформація про статті – DOI, PubMed ID і ін. Якщо в списку менше половини джерел мають індекси DOI, стаття не може бути опублікована в міжнародному науковому журналі. Посилання повинні перевірятися перед комплектацією списку використаних джерел через сайт <http://www.crossref.org/guestquery> або <https://scholar.google.com.ua/>.

Кожне джерело слід поміщати з нового рядка під порядковим номером, який вказується в тексті статті арабськими цифрами в квадратних дужках.

Джерела з кирилицею повинні бути написані англійською мовою або латиницею, якщо немає офіційної. Приклад: **Ivanov AA, Petrov RK. Arthrodesis of the ankle joint. TERRA ORTHOPAEDICA. 2019;4:34-39. Doi:0000000000000000. (in Ukrainian, or English, or Serbian etc.).**

У списку всі роботи перераховуються в порядку цитування, а не в алфавітному порядку. Список літератури має бути оформлений відповідно до стилю Ванкувер.

Автор несе відповідальність за правильність даних, наведених у списку літератури.

2.8. Відправка рукопису. До розгляду приймаються рукописи, раніше ніде не опубліковані і не спрямовані для публікації в інші видання. Стаття відправляється на електронну адресу редакції у вигляді єдиного файлу, що містить усі необхідні елементи (титольний лист, резюме, ключові слова, текстова частина, таблиці, список використаної літератури, відомості про авторів). Окремими файлами в цьому ж листі висилаються супровідні документи і копії ілюстрацій (малюнків, схем, діаграм) у форматах тієї програми, в якій вони були створені. Якщо ілюстрації в статті представлені у вигляді фотографій або растрових зображень, необхідно подати їх копію в форматі *JPG або *TIF, оригінальним розміром, з роздільною здатністю 300 точок на дюйм. Фізичний розмір у сантиметрах повинен бути достатнім для однозначного сприйняття і легкого прочитання змісту ілюстрації. Колірна палітра RGB або CMYK, без компресії. Ілюстрації повинні бути контрастними і чіткими.

Супровідна документація. До оригінальної статті додаються: підтвердження того, що дослідження було

проведено у відповідній установі; підтвердження того, що всі автори ознайомлені з фінальною версією рукопису. Ці документи в електронному (відсканованому) вигляді надсилаються на електронну адресу редакції разом зі статтею, яка подається до публікації.

На окремі сторінки подають інформацію двома мовами (українська, англійська): прізвище, ім'я, по батькові кожного автора; науковий ступінь та звання, посада, місце роботи з офіційною адресою установи, e-mail, телефон, реєстраційний номер ORCID Science (якщо є). Вказати автора для листування.

3. Усі статті обов'язково рецензуються. Стаття може бути повернена автору для виправлення або скорочення.

4. Плагіат і вторинні публікації. До публікації в журналі не приймаються рукописи з недобросовісним текстовим запозиченням і привласненням результатів досліджень, які не належать авторам цього матеріалу. Щоб перевірити статтю на оригінальність, можна скористатися програмою Advego plagiatus. Редакція зберігає за собою право перевірки поданих рукописів на наявність плагіату. Текстова схожість в об'ємі понад 20% вважається неприйнятною.

Статті, що раніше були опубліковані або направлені в інші журнали чи збірники, не приймаються.

Стаття має бути ретельно відредагована і вивірена автором. Перед відправкою рукопису ретельно перевірте і переконайтеся, що усі вищезгадані вимоги виконані.

Автори несуть відповідальність за наукове та літературне редагування поданого матеріалу, цитат і посилань, але редакція залишає за собою право на власне редагування статті (наукового і літературного характеру, а також на скорочення статті, що не перекручує її зміст) чи відмову авторові у публікації, якщо поданий матеріал не відповідає за формою або змістом вищезгаданим вимогам. Ма-

теріали, що не відповідають наведеним стандартам публікацій у журналі «TERRA ORTHOPAEDICA», не розглядаються та не повертаються. Дискети, диски, рукописи, рисунки, фотографії та інші матеріали, надіслані в редакцію, не повертаються.

Статті, автори яких є передплатниками журналу, публікуються позачергово (при наданні копії квитанції про передплату).

5. Публікація у журналі

Подача та рецензування статей є безкоштовними.

Оплата здійснюється лише після проходження рецензування та прийняття статті до публікації. Реквізити надсилаються відповідальному автору електронною поштою. Ви можете здійснити оплату будь-яким зручним способом: у відділенні банку, через термінал, або за допомогою електронних платіжних систем (Приват24, LiqPay, Portmone, iPay тощо).

Вартість публікації складає 3000 грн за статтю, при наявності кольорових ілюстрацій – 3500 грн.

У разі несплати протягом 7 робочих днів з моменту отримання реквізитів, стаття виключається з поточного номеру журналу. Після здійснення оплати вона може бути включена до поточного або одного з наступних випусків.

Від оплати за публікацію статей звільняються аспіранти бюджетної форми підготовки (здобувачі ступеня доктора філософії), за умови, що стаття виконана одноосібно (без співавторів). Звільнення від оплати здійснюється в межах квоти до 5% від загальної кількості статей у кожному випуску журналу. У разі перевищення зазначеної квоти переваги надається рукописам, які раніше пройшли формальну перевірку та відповідають умовам журналу.

Матеріали для публікації надсилайте за посиланням: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSefTJTq7m7nWHaigKz8mLodbejc4wvaI8BB_scKWrlwsaMAQ/viewform

PUBLICATION GUIDELINES FOR THE JOURNAL «TERRA ORTHOPAEDICA»

Dear Authors!

Please familiarize yourself with the detailed requirements for formatting articles for publication in the journal, which have been developed in accordance with Order No. 112 («On the Publication of Dissertation Results for the Scientific Degrees of Doctor and Candidate of Sciences») and the requirements for journals included in the «List of Scientific Professional Publications of Ukraine» under Order No. 1021 of the Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine dated October 7, 2015.

All materials must be prepared according to the following requirements:

1. Manuscript

1.1. Text Format. The manuscript should be submitted electronically in MS Word format (.doc, .docx, .rtf), using Times New Roman font, 12 pt size, 1.5 line spacing, and 2 cm margins on both sides. Italics should be used for emphasis—underlining is not permitted. All extra spaces and unnecessary line breaks should be removed (use Microsoft Word's «Find and Replace» tool for this purpose).

1.2. The length of the manuscript text—including the reference list, tables, figures, and their captions—should be 10–12 A4 pages (up to 5,000 words) for original research articles, 15–18 pages for literature reviews, 4–6 pages for case reports from practice, and 4 pages for brief reviews.

Note: The publication of longer articles is decided on an individual basis if the editorial board considers it of special interest to readers.

1.3. In addition to scientific articles, the journal also publishes materials on the history of medicine, biographical essays and anniversaries, obituaries, discussion articles on specialty-related topics, reports from congresses and conferences, articles on the exchange of experience, advertising materials, reviews, etc.

1.4. Language of Publication. Manuscripts are accepted for publication in the journal in either Ukrainian or English. All article metadata must be presented in both languages. Do not transliterate the text using Latin characters letter by letter when typing; it is important to correctly set the appropriate keyboard layout.

For example, it is unacceptable to replace the Latin letter «i» with the Ukrainian letter «і», despite their visual identity.

2. Mandatory Structural Elements of the Article include:

- Title page;
- Summary;
- Keywords;
- Main text (including tables and figures);
- Additional information;
- References.

2.1. The Title Page must include the following information in both Ukrainian and English: the UDC of the article, the title of the article, authors (last names and initials), and author affiliations. The title should clearly reflect the subject and theme of the article, not be overly short, but also not exceed 100 characters. The title is written in lowercase letters, except for the first letter of the first word and proper nouns.

2.2. Summary. The summary must be provided in both Ukrainian and English. The author's summary serves as the primary source of information for domestic and international information systems and scientometric databases where the journal is indexed. The length of the summary should be approximately 250 words or 2,000 characters. The summary must be structured and include the mandatory sections: «Background,» «Objective,» «Materials and Methods,» «Results,» and «Conclusions.» The «Results» section should comprise at least 50% of the total length. In the manuscript text, the authors state that the study complies with the Declaration of Helsinki or bioethical standards. Summaries for review articles, lectures, and discussion papers may be written in a free form.

The text should be coherent and include linking words such as «therefore,» «furthermore,» «for example,» «as a result,» etc. The English summary should be written properly with the help of an electronic translator. Use active verb constructions in the English version of the summary. The summary should not contain abbreviations (except for commonly accepted ones like DNA), footnotes, or references to literature sources.

2.3. Keywords. Provide 3–6 keywords or phrases that reflect the article's content, which will help in indexing the article in search engines. Review

articles must include the term «review» as a keyword. Keywords must be identical in both languages and separated by semicolons.

2.4. Tables should be created using Times New Roman, 10 pt font, without any service symbols inside. Tables that are formatted using the tab key will not be accepted. Tables should be constructed clearly, have a title, and column headings must accurately correspond to their content. The location of the table and its sequential number must be indicated in the text.

2.5. Main Text of the Article. The structure of the full manuscript describing the results of original research must follow generally accepted templates and include the following required sections: «Introduction», «Objective», «Materials and Methods», «Results», «Discussion», «Limitations», «Authors' Contributions», and «Conclusions».

2.6. Declaration on the Use of Artificial Intelligence (AI)

- Authors must disclose the use of AI tools, such as Copilot, ChatGPT, etc., during the preparation of the manuscript and describe the tasks for which they were used.
- Authors are responsible for verifying the accuracy, completeness, and impartiality of all AI-generated results, including the verification of sources. References generated by AI may be incorrect or fabricated.
- Authors must not list or cite AI as an author or co-author of the manuscript, as authorship entails responsibilities that can only be assigned to humans.
- The author is responsible for the content of the manuscript, the reliability of the data, uniqueness/originality, and compliance with ethical standards.
- The use of AI tools must be declared by adding a statement at the end of the manuscript when submitting it to the journal. The statement will be included in the published article before the reference list. Authors are encouraged to complete the GAIDeT Declaration (Generative Delegation Taxonomy), available at the provided link. The generated declaration should be submitted together with the manuscript.

2.7. References. The optimal number of references for original articles and lectures is 15–30 sources, and 30–60 sources for reviews. ***It is recommended to cite original works published in international journals within the last 5–7 years. References to conference abstracts and monographs should be minimized. The reference list should not include unpublished works, official documents, dissertation manuscripts, textbooks, or***

reference books. Additional information about the articles must be provided – DOI, PubMed ID, etc. If less than half of the references have DOI identifiers, the article cannot be published in an international scientific journal. References should be verified using <http://www.crossref.org/guestquery> or <https://scholar.google.com.ua/> before finalizing the list.

Each reference must appear on a new line, numbered sequentially, with citations in the text corresponding to these numbers in square brackets.

References in Cyrillic must be duplicated with an English version; provide the official name of the publication in Latin script or a transliterated one if the official version is unavailable. Example: **Ivanov AA, Petrov RK. Arthrodesis of the ankle joint. *TERRA ORTHOPAEDICA*. 2019;4:34–39. Doi:0000000000000000. (in Ukrainian, or English, or Serbian, etc.)**

The reference list must be arranged in the order of citation, not alphabetically, and must follow the Vancouver style.

The author is responsible for the accuracy of all cited sources.

2.8. Manuscript Submission. Only original manuscripts that have not been published elsewhere or submitted to other journals are accepted. The article should be emailed to the editorial office as a single file that includes all required components (title page, summary, keywords, article text, tables, reference list, and information about authors). Accompanying documents and copies of illustrations (figures, schemes, diagrams) must be sent as separate files in the same email, in the formats of the programs in which they were created. If the illustrations in the article are presented as photographs or raster images, a copy must be submitted in *.JPG or *.TIF format at original size and 300 dpi resolution. The physical size in centimeters must be sufficient for unambiguous perception and easy reading of the illustration's content. The color palette should be RGB or CMYK, without compression. Illustrations must be contrasting and clear.

Accompanying Documents. The original article must be accompanied by: confirmation that the study was conducted at the relevant institution; confirmation that all authors have reviewed the final version of the manuscript. These documents should be submitted as scanned files in the same email as the article.

On a separate page, provide the following information in both Ukrainian and English: last name, first name, and patronymic of each author; scientific degree and title, job title and place of employment with

the official address of the institution, e-mail, phone number, and ORCID Science registration number (if available). Also, indicate the corresponding author.

3. All articles undergo mandatory peer review. The article may be returned to the author for revision or shortening.

4. Plagiarism and Secondary Publications.

Manuscripts containing plagiarism or appropriation of research results that do not belong to the authors of this material are not accepted for publication in the journal. Authors can use the Advego Plagiatus software to check originality. The editorial office reserves the right to check submitted manuscripts for plagiarism. Text similarity greater than 20% is considered unacceptable.

Articles that have been previously published or submitted to other journals or collections are not accepted.

The article must be thoroughly edited and proofread by the author. Before sending the manuscript, carefully check and make sure that all of the above requirements are met.

Authors are responsible for the scientific and literary editing of the submitted material, citations, and references. However, the editorial board reserves the right to perform its own scientific and literary editing and to shorten the text without altering its content, or to reject the article if the submitted material does not meet the above-mentioned requirements in form or content. Materials that do not comply with the publication standards of the journal «*TERRA ORTHOPAEDICA*» will not be reviewed or returned. Disks, manuscripts, figures, photographs,

and other materials submitted to the editorial office will not be returned.

Articles by authors who are journal subscribers are prioritized for publication (upon proof of subscription).

5. Publication

Submission and peer review of articles are free of charge.

Payment is made only after the peer review is completed and the article is accepted for publication. Payment details will be sent to the corresponding author by email. Payment may be made in any convenient way: at a bank branch, through a terminal, or using electronic payment systems such as Privat24, LiqPay, Portmone, iPay, etc.

The publication fee is 3000 UAH per article; if there are color illustrations, the fee is 3500 UAH.

If payment is not received within 7 business days, the article will be removed from the current issue. After payment, the article will be included in the current or one of the following issues.

Publicly-funded PhD candidates who are the only authors of their articles (no co-authors involved) are exempted from publication fees. This exemption is applied within the quota of 5% of the total number of articles published in each volume of the journal. Having exceeded this quota, the journal shall prefer manuscripts which have passed the formal review earlier and meet the journal's requirements.

Submit materials for publication at the following link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSefTJTq7m7nWHaignKz8mLodbejc4wvaI8BB_scKWrlwsaMAQ/viewform

Адреса редакції: 01601, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.
Тел.: (044) 486-42-49, 486-60-65, тел./факс: (044) 486-66-28, e-mail: terraorthopaedica@gmail.com.
Засновник та його адреса: ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України»,
01601, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.
Видається 4 рази на рік. Мова видання: українська, англійська.
Сфера розповсюдження — загальнодержавна.
Мед. коректор — Грабар Н. М. Технічний секретар — Євлантьєва Т. А.
Переклад англійською — Кравченко О. М.
Підписано до друку: 07.04.2026 р. Наклад 1000 прим. Ціна договірна.
Верстка та друк: ТОВ «Про формат», (067) 235-22-56.