

Зміст

ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

Хорошун Е. М., Бондаренко С. Є., Клапчук Ю. В., Негодуйко В. В., Петренко Б. В., Голопич В. Т., Нетецький О. В. Особливості хірургічного лікування поєднаних вогнепальних поранень кульшового суглоба.....	5
Попсуйшапка О. К., Литвишко В. О., Малик Р. В., Долуда Я. А., Міхановський Д. О. Руйнування кістки й оточуючих тканин у разі вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок (клініко-рентгенологічна класифікація). Перше повідомлення.....	17
Гур'єв С. О., Гаріян С. В., Кушнір В. А., Цибульський О. С. Застосування хірургічних технологій лікування постраждалих з дефектами довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми. Повідомлення перше.....	25
Грицай М. П., Колов Г. Б., Половий А. С., Видерко Р. В., Гордій А. С., Сабадощ В. І., Лисак А. С. Аналіз застосування методики Masquelet при лікуванні критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом.....	31
Лурін І. А., Бур'янов О. А., Ярмоліук Ю. О., Матвійчук Б. В. Біомеханічне дослідження комбінованої системи фіксації стегнової кістки в разі вогнепального перелому.....	39
Анкін М. Л., Ладика В. О., Ахмад Ф. М. Аналіз поширеності та факторів ризику розвитку венозних тромбоемболічних ускладнень у пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна.....	46
Kostrub O. O., Blonskyi R. I., Klymniuk L. O., Khytruk K. M., Khytruk S. V. Radiographic features of knee osteoarthritis in the lateral view depending on joint line obliquity.....	53
Головаха М. Л., Білих Є. О., Безверхий А. А. Сучасні концепції діагностики ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба.....	63
Омельченко Т. М., Левицький Є. А. Прогностичні чинники під час лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів.....	72
Гриценко А. М., Хмизов С. О., Шевченко О. Г., Гарбузняк І. М., Єрмак Т. А., Златник Р. В. Аналіз результатів хірургічного лікування пацієнтів з наслідками акушерського паралічу Дюшенна-Ерба.....	78
Лизогуб К. І., Морозенко Д. В. Вплив глибини анестезії на інцидентність ранніх післяопераційних ускладнень під час операцій у напівсидячому положенні.....	87
Мезенцев А. О., Петренко Д. Є., Демченко Д. О. Результати хірургічного лікування дегенеративного поперекового сколіозу в дорослих.....	92

Contents

ORIGINAL ARTICLES

Horoshun E. M., Bondarenko S. Ye., Klapchuk Yu. V., Nehoduiko V. V., Petrenko B. V., Golopych V. T., Netetskiy O. V. Features of surgical treatment of combined gunshot wounds of the hip joint.....	5
Popsuishapka O. K., Lytyvshko V. O., Malyk R. M., Doluda Ya. A., Mikhanovskiy D. O. Destruction of bone and surrounding tissues in case of gunshot fractures of long bones of the extremities (clinical and radiological classification). First report.....	17
Guryev S., Hariyan S., Kushnir V., Tsybulsky O. Application of surgical technologies for the treatment of victims with long bone defects due to modern combat trauma.....	25
Gritsai M. P., Kolov G. B., Polovyi A. S., Viderko R. V., Gordi A. S., Sabadosh V. I., Lysak A. S. Analysis of the application of the Masculé technique in the treatment of critical tibial defects after gunshot wounds complicated by osteomyelitis.....	31
Lurin I. A., Burianov O. A., Yarmoliuk Yu. O., Matviichuk B. V. Biomechanical study of a combined fixation system for gunshot femoral fractures.....	39
Ankin M. L., Ladyka V. O., Akhmad F. M. Analysis of the prevalence and risk factors for venous thromboembolic complications in patients with proximal femoral fractures.....	46
Kostrub O. O., Blonskyi R. I., Klymniuk L. O., Khytruk K. M., Khytruk S. V. Radiographic features of knee osteoarthritis in the lateral view depending on joint line obliquity.....	53
Golovakha M. L., Bilykh Ye. O., Bezverkhyy A. A. Modern concepts of diagnostics of posterolateral corner knee injuries.....	63
Omelchenko T. M., Levytskyi Ye. A. Prognostic factors in the treatment of focal osteochondral lesions of the knee and ankle.....	72
Hrytsenko A. M., Khmyzov S. O., Shevchenko O. G., Harbuzniak I. M., Yermak T. A., Zlatnik R. V. Analysis of the results of surgical treatment of patients with the consequences of obstetric Duchenne-Erb paralysis.....	78
Lyzohub K. I., Morozenko D. V. The effect of depth of anesthesia on the incidence of early postoperative complications during surgery in the beach chair position.....	87
Mezentsev A. O., Petrenko D. E., Demchenko D. O. Results of surgical treatment of degenerative lumbar scoliosis in adults.....	92

Романенко К. К., Ашукіна Н. О.,

Мальцева В. Є.

Дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkово-гомількового суглоба шурів після моделювання варусної позасуглобової деформації стегнової кістки..... 99

Штробля В. В., Луценко Р. В.

Визначення безпечності й ефективності карбокситерапії в моделях остеоартриту й запалення сухожилків *in vivo*..... 108

Федотова І. Ф., Карпінська О. Д.,

Лизогуб М. В., Тяжелов О. А.,

Корж І. В., Козлов О. П.

Дослідження ефективності використання джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет»..... 115

Показник статей, що опубліковані в 2025 році в журналі «Ортопедія, травматологія та протезування»..... 125

Romanenko K. K., Ashukina N. O.,

Maltseva V. Ye.

Degenerative changes in rat ankle cartilage induced by varus extra-articular femoral deformation..... 99

Shtroblia V. V., Lutsenko R. V.

Determination of the safety and effectiveness of carboxytherapy in *in vivo* models of osteoarthritis and tendon inflammation..... 108

Fedotova I. F., Karpinska O. D.,

Lyzohub M. V., Tyazhelov O. A.,

Korzh I. V., Kozlov O. P.

Research into the effectiveness of using a tourniquet to stop bleeding «SICH-Tourniquet»..... 115

The index of articles, published in 2025 year in journal «Orthopaedics, traumatology and prosthetics»..... 125

ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

УДК 617.581:616.718.4-001.45](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-5987202545-16>**Особливості хірургічного лікування поєднаних вогнепальних поранень кульшового суглоба****Е. М. Хорошун^{2,3}, С. Є. Бондаренко¹, Ю. В. Клапчук^{2,3}, В. В. Негодуйко^{2,3},
Б. В. Петренко², В. Т. Голопич², О. В. Нетецький²**¹ ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків² Військово-медичний клінічний центр Північного регіону КМС ЗС України, Харків³ Харківський національний медичний університет, Україна

A retrospective analysis of surgical treatment is given 7 patients with combined gunshot wounds pelvis and hip joint. Objective. Analyze the results and determine the features of treatment of victims with gunshot wounds to the pelvis and hip joint. Methods. Patients with combined gunshot wounds to the pelvis and hip joint were distributed according to age, the nature of the fracture of the bone, current of the pelvis and proximal thigh, the nature of injuries to the internal organs of the abdominal cavity and pelvis, main nerves, the duration of the total hip arthroplasty (THA), the presence of infectious complications during treatment with the release of pathogen, the period of observation and the assessment on the scale Harris Hip Score (HHS). Analysis of combined firearms wounds of the pelvis and hip joint were carried out comprehensively with the involvement of a multidisciplinary team of specialists (abdominal and vascular surgeons, traumatologist, urologist, proctologist). Results. On the basis of statistical analysis, it was found that among 7 patients with average age 41.1 years, THA was completed in 5/7 (71 %). Medium term to THA (among those who underwent arthroplasty) was 17.0 months. Infectious complications were observed in 57 % of patients: Klebsiella pneumoniae and Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa. In case of detected infection or questionable sterility, a two-stage treatment strategy is needed, that has better performance infection control after eradication of infection. Conclusions. In our opinion, the treatment algorithms in the case of gunshot wounds joint injuries of the hip joint will make it possible to reduce the level of infectious complications and improve the reproduction of results of treatment in this category of victims. Keywords. Gunshot wound, hip joint, pelvis, hip arthroplasty, level of medical care

Наведено ретроспективний аналіз хірургічного лікування 7 пацієнтів із поєднаними вогнепальними пораненнями таза та кульшового суглоба. Мета. Проаналізувати результати й визначити особливості лікування постраждалих із вогнепальними поєднаними пораненнями таза та кульшового суглоба. Методи. Пацієнти із поєднаним вогнепальними пораненнями таза та кульшового суглоба були розподілені згідно з віком, характером перелому кісток таза та проксимального відділу стегна, характером ушкоджень внутрішніх органів черевної порожнини та малого таза, магістральних нервів, терміном проведення ендопротезування кульшового суглоба (ТЕКС), наявністю інфекційних ускладнень протягом лікування з виділенням збудника, терміном спостереження й оцінкою за шкалою Harris Hip Score (HHS). Дослідження поєднаних вогнепальних поранень таза та кульшового суглоба проводилося комплексно зі залученням мультидисциплінарної команди спеціалістів (абдомінальний і судинний хірурги, травматолог, уролог, проктолог). Результати. На основі статистичного аналізу встановлено, що серед 7 пацієнтів із середнім віком 41,1 рік, ТЕКС виконано в 5/7 (71 %). Середній термін до ТЕКС (серед тих, кому виконано ендопротезування) склав 17,0 міс. Інфекційні ускладнення спостерігалися у 57 % випадках, серед яких переважали: Klebsiella pneumoniae та Pseudomonas aeruginosa. У разі виявленої інфекції або сумнівної стерильності необхідна двоетапна стратегія лікування після ерадикації інфекції, яка має кращі показники її контролю. Висновки. На нашу думку, використання наведених алгоритмів лікування в разі вогнепальних поєднаних поранень кульшового суглоба дасть можливість зменшити рівень інфекційних ускладнень і покращити результати лікування в цієї категорії постраждалих.

Ключові слова. Вогнепальне поранення, кульшовий суглоб, таз, ендопротезування кульшового суглоба, рівень медичної допомоги

Вступ

Вогнепальні поранення (gunshot wounds, GSW) суглобів трактують як складну комбіновану травму, яка поєднує пряме механічне руйнування хряща та субхондральної кістки, масивне ушкодження м'яких тканин і високу ймовірність контамінації рани — це визначає окрему клінічну нозологію з власними принципами менеджменту [1, 2].

Зокрема, вогнепальні поранення таза є унікальним викликом для хірургів-ортопедів через високу частоту супутніх ушкоджень органів черевної порожнини, сечостатевої системи та кульшових суглобів [3, 4].

Клінічно важливим аспектом є те, що поранення, які проникають у суглобову порожнину, підвищують ризик септичного артрити та подальшого посттравматичного остеоартрити. Отже лікування повинно бути спрямоване не лише на відновлення анатомії, а й на контроль контамінації [5, 6]. Смерть протягом перших 24 годин після травми здебільшого є наслідком гострої крововтрати і супутніх травм [7].

Інфекційні ускладнення (рановий інфекційний процес, септичний артрит, остеомієліт) є одними з основних детермінант довгострокових результатів за вогнепального поранення суглоба. Ризик корелює з рівнем контамінації, наявністю сторонніх тіл, часом до первинної санації та якістю м'якотканинного покриття [1, 8].

Здебільшого пацієнти з трансабдомінальним пораненням кульшового суглоба (80 %) мали ускладнення інфекційного характеру з поганими функціональними результатами [9].

Під час військових конфліктів усе частіше домінують мультирезистентні грам-негативні патогени — *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* і карбапенем-резистентні ентеробактерії. Ризики інфікування зростають у разі високої енергії поранення, збереження сторонніх тіл (фрагменти кулі), довгої затримки хірургічної санації та за умов ушкодження кишківника [10].

Вогнепальні поєднані поранення кульшового суглоба є актуальною темою сьогодення через складність діагностики та лікування цієї патології, високий відсоток інфекційних ускладнень і значну кількість незадовільних результатів, що вимагає пошуку нових методів діагностики та лікування.

Мета: проаналізувати результати й визначити особливості лікування постраждалих із вогнепальними поєднаними пораненнями таза та куль-

шового суглоба в умовах повномасштабної війни з рф.

Матеріал і методи

Проведено ретроспективний аналіз хірургічного лікування 7 пацієнтів із поєднаними вогнепальними пораненнями кульшового суглоба, які були госпіталізовані в заклади МОУ, МОЗ України.

Роботу виконано у Військово-медичному клінічному центрі Північного регіону. Дослідження схвалене локальним комітетом із біоетики (протокол № 4/05 від 17.09.2025 р.) відповідної установи залежно до правки ICH GCP, Гельсінської декларації прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі залучені пацієнти були ознайомлені з планом та умовами проведення дослідження та підписали інформовану згоду.

Критерії включення: поєднане вогнепальне проникаюче поранення кульшового суглоба з переломом стінок кульшової западини та головки стегнової кістки із терміном спостереження 6 та більше місяців.

Критерії виключення: ізольоване вогнепальне непроникаюче поранення м'яких тканин ділянки кульшового суглоба, а також постраждалі, які через тяжкість поранення та розвиток ускладнень померли через 72 год після надходження на III рівень надання медичної допомоги.

Усі хворі отримали поранення за період повномасштабної війни України із рф і проходили хірургічне лікування в медичних закладах Збройних сил МОУ та МОЗ України.

Оцінювання й аналіз поєднаних вогнепальних поранень таза та кульшового суглоба проводилися комплексно зі залученням мультидисциплінарної команди спеціалістів (амбдомінальний і судинний хірурги, травматолог, уролог, проктолог).

У разі нестабільної гемодинаміки пораненого виконувалося його обстеження в умовах відділення невідкладної медичної допомоги, де є можливість виконати цифрову рентгенографію мобільним апаратом uDR 370i (Китай), ультразвукову діагностику за Fast-протоколом апаратом Venue Go (США) та стабілізувати гемодинамічні показники. Після стабілізації стану пацієнта виконували КТ голови, органів грудної клітини та черевної порожнини, таза на комп'ютерному томографі Revolution (США) (64 зрізи з контрастуванням та без).

За підозри на ушкодження магістральних судин проводили КТ-ангіографію [11]. У випадку неконтрольованої кровотечі з магістральних

судин таза, сідничної ділянки за умов дефектів м'яких тканин, органів малого таза для стабілізації гемодинаміки використана реанімаційна ендovasкулярна балонна оклюзія аорти (ROBOA), яка не потребує торакотомії, тобто є малоінвазивною процедурою, що забезпечує дистальну зупинку кровотечі, збільшує серцеве післянавантаження і, таким чином, підтримує коронарний та церебральний перфузійний тиск до досягнення безпосереднього гемостазу.

У разі підозри на ушкодження прямої кишки здійснювався огляд проктологом, ректосигмоколоноскопія; нирок, сечоводів, сечового міхура та сечівника — УЗД нирок, трихфазна екскреторна КТ-урографія, цистографія та цистоскопія.

Після стабілізації стану й обстеження постраждалого першочергово проводилися оперативні втручання на органах черевної порожнини та малого таза зі стабілізацією його кісток і кульшового суглоба стрижневими апаратами зовнішньої фіксації (АЗФ) відповідно до принципів «*damage control surgery*» [12].

Результати та їх обговорення

Виконано розподіл постраждалих із вогнепальними поєднаними проникаючими пораненнями кульшового суглоба згідно з такими показниками: вік, характер перелому кісток таза та проксимального відділу стегна, характер ушкодження внутрішніх органів черевної порожнини та малого таза, магістральних нервів, термін проведення тотального ендопротезування кульшового суглоба (ТЕКС), наявність інфекційних ускладнень протягом лікування з виділенням збудника, термін спостереження й оцінка за шкалою Harris Hip Score (HHS) (табл. 1).

Усі пацієнти мали поєднаний характер ушкодження внутрішніх органів черевної порожнини, малого таза, статевих органів у комбінації з травмуванням структур, які формують кульшовий суглоб.

Особлива увага надавалась контролю часу проведення операції, бо його подовження за поєднаної травми призводить до погіршення результатів лікування внаслідок розвитку коагулопатії та поліорганної недостатності.

Під час встановлення стрижневих АЗФ у разі вогнепальних переломів проксимального відділу стегнової кістки, а також за нестабільних переломів таза використовували стрижні діаметром 5–6 мм, які загвинчували по два в крила клубових кісток із формуванням жорсткої компресії. Ураховуючи парез кишківника та здуття живо-

та, поперечна штанга має бути достатньої висоти над поверхнею шкіри або розміщуватися за типом «палатка». За умов ушкодження прямої кишки, виведення сигмостоми має бути дещо вище традиційного розташування для профілактики інфікування ділянки введення стрижнів, про що потрібно завжди наголошувати хірургам.

За умов вогнепальних переломів проксимального відділу стегнової кістки та цілісності кульшової западини доцільно проводити надацетабулярне введення стрижнів із подальшою фіксацією до дистального уламку стегнової кістки. Слід відмітити, що таке введення стрижнів рекомендовано проводити під обов'язковим ЕОП контролем. Первинна хірургічна обробка (ПХО) ран за вогнепальних поранень є основним заходом, який попереджує розвиток ранової інфекції [3], а рекомендований час її проведення має складати до 6–8 год після ураження для профілактики переходу рани з контамінованої в інфіковану. Своєчасний та адекватний дебридмент (видалення нежиттєздатних тканин із багаторазовим ретельним промиванням) є одним із ключових заходів лікування вогнепальних поранень. Відповідно до настанов із клінічної практики Joint Trauma System War Wounds: Debridement and Irrigation (CPG ID:31) для невеликих ран використовується 1–3 літри фізіологічного розчину, для помірних — 4–8, обширних і сильно забруднених — 9 або більше [13].

Для лікування вогнепальних поранень із наявністю дефекту м'яких тканин застосовували вакуумні пов'язки (NPWT) до досягнення раннього закриття, які рекомендовано замінювати кожні 2–4 доби залежно від потреби пацієнта в серійних дебридментах. Кожна заміна вакуумної пов'язки повинна здійснюватися за стерильних умов в операційній. На нашу думку, не слід використовувати NPWT тривало, як метод вирощування грануляцій. Це є грубою помилкою, яка призводить до збільшення тривалості лікування та ризику інфікування рани анаеробними бактеріями. Крім того, за коагулопатії застосування NPWT може посилити кровотечу з рани, тому їхнє застосування в цьому випадку заборонене.

На разі ми у своїй практиці лікування вогнепальних переломів кісток таза та кульшового суглоба в гемодинамічно нестабільних постраждалих використовуємо «Новий клінічний протокол лікування переломів кісток таза (бойові поранення)» (рис. 1), затверджений наказом Міністерства охорони здоров'я України від 16 липня 2024 року № 1237, який є перекладом JOINT TRAUMA

Таблиця 1

Аналіз постраждалих

№ з/п	Дата поранення	Характер вогнепального ушкодження		Термін ТЕКС після поранення, міс.	Інфекційні ускладнення та збудник	Термін після поранення, міс.	Harris Hip Score (HHS)
		таз і проксимальний відділ стегна	черевна порожнина та малий таз, статеві органи та нерви				
1	04.06.2022	Багатоуламковий переломом шийки та головки правої стегнової кістки; багатоуламковий перелом правої кульшової западини зі зміщенням уламків	Тонка кишка	21	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Candida krusei</i> , <i>A. baumannii</i>	33	48
2	17.09.2022	Перелом кульшової ділянки верхньої третини правого стегна зі зміщенням уламків і крайовим переломом кульшової западини	Пряма кишка з розвитком флегмони параректоїдальної клітковини	25	<i>Acinetobacter spp.</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	31	80
3	27.12.2022	Багатоуламковий переломом головки та шийки лівої стегнової кістки з переломом дна кульшової западини	Лівий сідничний нерв	23	«Негативний посів». Клінічних ознак інфекції не виявлено	28	36
4	27.04.2023	Перелом лівої кульшової западини з наявністю стороннього тіла (металевого осколку) в лівому здухвино-крижовому зчленуванні	Забій позаочеревинного відділу сигмоподібної кишки	9	«Негативний посів». Клінічних ознак інфекції не виявлено	24	84
5	24.07.2023	Перелом головки та верхньої третини правої стегнової кістки, правої клубової кістки	Пряма кишка (із наявністю металевого осколка). Каловий перитоніт. Посттравматичний середній правобічний гемопневмоторакс	Не виконували	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>	21	32
6	08.07.24	Багатоуламковий перелом лобкової та сідничної кісток з переломовивихом головки стегнової кістки, із масивними дефектами кісткової та м'яких тканин. Дотичне поранення м'яких тканин правого стегна	Травматичний відрив статевого члена. Дотичне поранення калитки зліва з ушкодженням обох яєчок	7	«Негативний посів». Клінічних ознак інфекції не виявлено	«Негативний посів». Наявні клінічні ознаки інфекції	34
7	23.09.24	Багатоуламковий перелом кульшової западини, сідничної кістки, лобкової кістки справа та крайовий перелом головки правої стегнової кістки з наявністю стороннього тіла	Статевий член і висячий відділ уретри з вторинним ушкодженням правого сідничного нерва	Не виконували	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i>	7	38

SYSTEM Настанови з клінічної практики (JTS CPG) Pelvic Fracture Care (CPG ID: 34) Лікування переломів кісток таза (ідентифікатор CPG: 34) [14].

Доведено, що впровадження стандартизованих клінічних алгоритмів лікування пацієнтів із переломами кісток таза істотно підвищує ймовірність швидкої стабілізації стану поранених [10, 15, 16].

Оцінювання функції кульшового суглоба є ключовим етапом у клінічній практиці травматології та ортопедії. Серед найбільш відомих шкал виділяють: Harris Hip Score (HHS), Oxford Hip Score (OHS), WOMAC, HOOS та SF-36 (рис. 2, табл. 2)

Harris Hip Score (HHS) залишається «золотим стандартом» у класичних хірургічних дослідженнях завдяки поєднанню об'єктивних

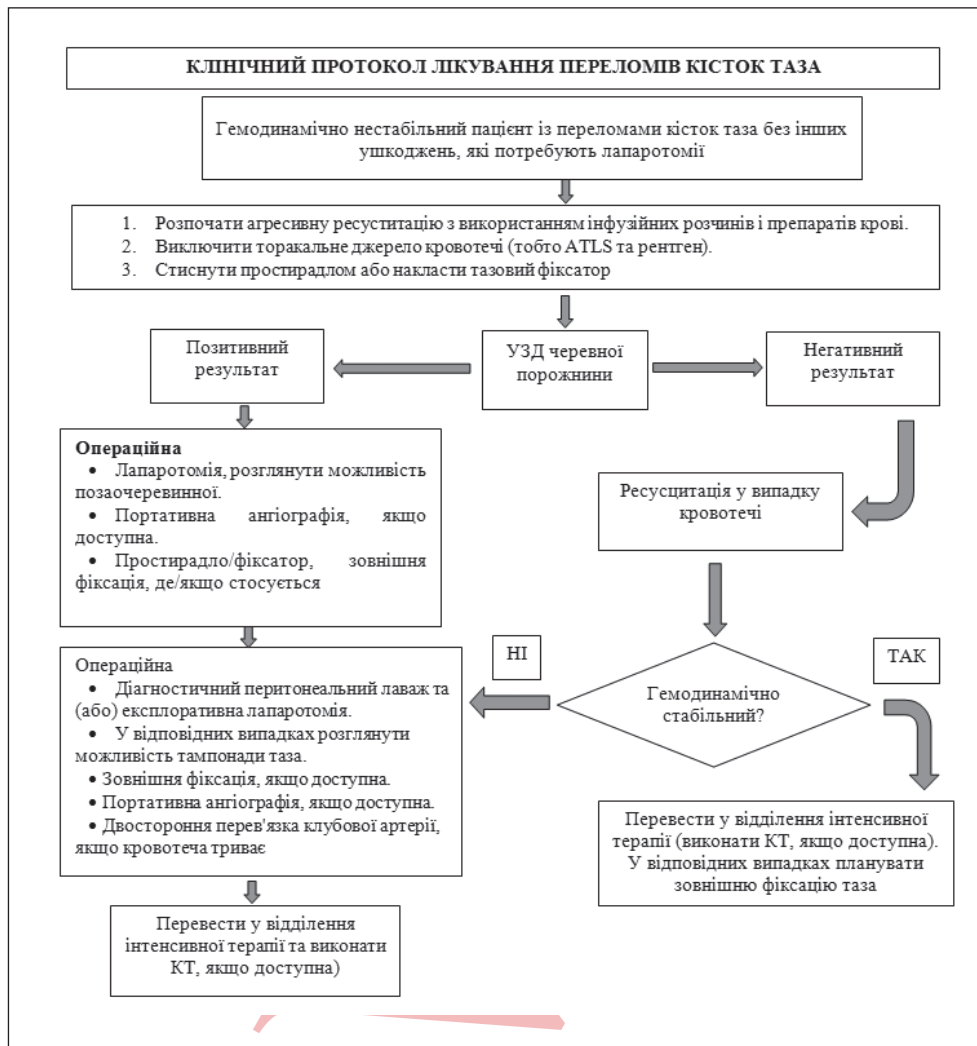


Рис. 1. Новий клінічний протокол лікування переломів кісток тазу (бойові поранення)



Рис. 2. Рівень поширеності шкал оцінювання функцій кульшового суглоба

і суб'єктивних показників. Вона проста та включає 10 пунктів, які охоплюють чотири класифікації: біль, функція, відсутність деформації та обсяг рухів у кульшовому суглобі. Тому саме ця шкала була обрана для аналізу функцій кульшового суглоба в постраждалих після вогнепальних

поєднаних його поранень. OHS, WOMAC і HOOS більше орієнтовані на сприйняття пацієнта, тоді як SF-36 використовується для загальної оцінки якості життя.

Клінічний випадок № 1

Постраждалий, 45 років, надійшов на лікування до клініки ушкоджень із приводу вогнепального поєданого наскрізного кульового трансабдомінального поранення правого кульшового суглоба з багатоуламковим переломом шийки та головки правої стегнової кістки, багатоуламковим переломом кульшової западини, тіла та крила правої клубової кістки зі зміщенням кісткових уламків і формуванням кісткового дефекту, ураженням тонкої кишки, формуванням масивної заочеревинної гематоми малого тазу. Гіповолемічний шок III ст.

Першочергово пацієнта госпіталізовано у відділення невідкладної медичної допомоги, де проведено УЗД черевної порожнини та малого

таза, виявлено вільну рідину в черевній порожнині та здійснено рентгенографію кісток таза зі захопленням обох кульшових суглобів — перелом шийки та головки правої стегнової кістки, багатоуламковий перелом кульшової западини, тіла та крила правої клубової кістки зі зміщенням кісткових уламків (рис. 3, а). Після стабілізації стану хворого та ПХО ран виконано лапаротомію, ушивання вогнепальних дефектів тонкої кишки, ревізії та дренування заочеревинної гематоми справа, санацію та дренування черевної порожнини. Стабілізовано перелом кісток таза та проксимального відділу стегна стрижневим АЗФ «таз – стегно» відповідно до принципів damage control surgery. Після операції постраждалий знаходився у відділенні анестезії, реанімації та інтенсивної терапії (ВАРІТ). Потім виконано КТ для уточнення характеру перелому кісток таза та проксимального відділу правої стегнової кістки із 3D-моделюванням (рис. 3, б, в) та контрольні КТ через 3 міс. (рис. 4).

Через 7 міс. стан хворого погіршився. Скарги на больовий синдром у ділянці правої кульшового суглоба та підвищення температури тіла. Під час мікробіологічного дослідження методом ПЛР виявлено *Kl. pneum.*, *Candida krusei*. та *A. baumannii*. Після обстеження встановлено діагноз: гострий сепсис, септицемія (*Kl. pneum.*, *Candida krusei*, *A. baumannii*).

Надалі проводилися повторні хірургічні обробки з накладанням первинно-відтермінованих швів. На етапах лікування монтаж антибактеріального цементного спейсера не виконували. Через рік після поранення проведено ендопротезування правої кульшового суглоба з використанням титанового ацетабулярного custom made implant. Контрольна КТ таза, яку виконано через 3 міс. після операції та загальний вигляд ділянки правої кульшового суглоба наведена на рис. 4, а, б.

Стан після ТЕКС. Посттравматична невропатія правої великогомілкового та малогомілкового нервів із вираженим парезом правої стопи. З приводу чого хворий отримував лінелід 600 мг 2 рази в/в на добу, тазобактам 4,5 г на 100 мл 0,9 % розчині натрію хлориду 3 р/д, із переходом на тігацил 50 мг 2 р/д та варіконазол 200 мг 2 р/д — протягом 21 дня. Загальний термін антибіотикотерапії склав 6 тижнів. На фоні проведеного лікування стан хворого покращився. Клінічний результат оцінено через 33 міс. після поранення та 21 міс. після остаточної операції з використанням ННС. Згідно з підрахунком сумарна кількість балів у цього пацієнта склала 48 балів, що відповідає поганому клінічному результату.

Клінічний випадок № 2

Постраждалий, 45 років, із поєднаним вогнепальним пораненням проксимального відділу правої стегна й органів малого таза з переломом

Таблиця 2

Порівняльний аналіз шкал оцінювання функцій кульшового суглоба

Шкала	Оцінювання/класифікація	Суб'єкт-об'єкт	К-ть балів/запитань	Основне застосування	Переваги	Недоліки
Harris Hip Score (HHS)	Біль, функція (хода, сходи, взуття), діапазон рухів, деформація	Поєднання: лікар + пацієнт	100 балів	Клінічне обстеження, ендопротезування, травми	Об'єктивні параметри, класична і відома шкала	Менш чутлива до суб'єктивних відчуттів пацієнта, є «стеля» в результатах
Oxford Hip Score (OHS)	Біль і функція в повсякденному житті	Пацієнт (самозаповнення)	12 запитань (0–48 балів)	Якість життя після ендопротезування	Проста, зручна, валідована	Суб'єктивна, без клінічного об'єктивного компонента
WOMAC	Біль, функція, скутість	Пацієнт	24 питання	Остеоартроз, клінічні дослідження	Добре адаптована для артрозу	Не специфічна лише для кульшового суглоба
HOOS	Біль, симптоми, функція, спорт/рекреація, якість життя	Пацієнт	40 запитань	Розширений варіант WOMAC для кульшового суглоба	Ширше охоплення доменів	Довга анкета, складніша у використанні
SF-36	Якість життя (8 доменів, включно з фізичним та психічним здоров'ям)	Пацієнт	36 запитань	Загальна оцінка здоров'я	Комплексна оцінка, мультидисциплінарна	Не специфічна для кульшового суглоба

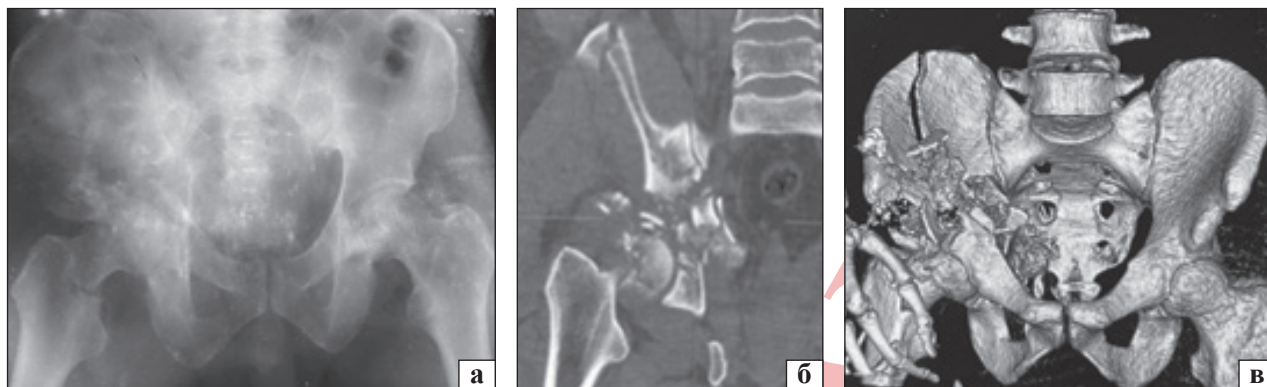


Рис. 3. Фотовідбитки хворого (клінічний випадок № 1): а — рентгенограма кісток таза, б та в — КТ кісток таза з - моделюванням, багатоуламковий перелом шийки та головки правої стегнової кістки, багатоуламковий перелом правої кульшової западини, тіла та крила правої клубової кістки зі зміщенням кісткових уламків і формуванням кісткового дефекту

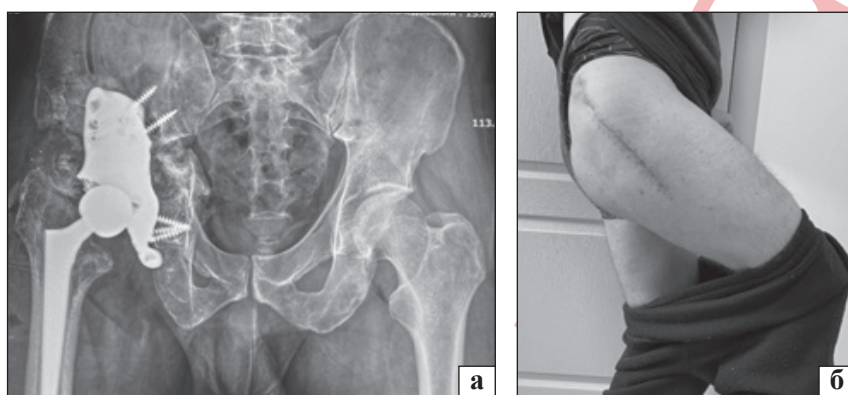


Рис. 4. Фотовідбитки рентгенівського знімку та правого кульшового суглоба хворого (клінічний випадок № 1): а — контрольна КТ кісток таза з кульшовими суглобами через 3 міс., ендопротез кульшового суглоба та титанового ацетабулярного; б — загальний вигляд проксимального відділу стегна після операції з активним згинанням у кульшовому суглобі

кульшової западини та проникаючим ураженням верхньоампулярного відділу прямої кишки та наявністю стороннього тіла кулі в лівій сідничній ділянці. Хворому виконано: ПХО ран, за принципом damage control підвісну сигмостомію за Майдле з дренуванням параректальної клітковини за Мак Уортером із фіксацією правого кульшового суглоба та кісток таза стрижневим АЗФ «таз – стегно». Післяопераційний період ускладнився розвитком флегмони параректальної клітковини. Під час бактеріологічного дослідження виявлено: *Acinetobacter spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, із приводу чого пацієнт отримував колістин і тігациклін. У подальшому, після ерадикації інфекційного процесу, проведено закриття сигмостоми та відновлення прохідності прямої кишки. Через 31 міс. після поранення хворому проведено ТЕКС. Через 6 міс. після ТЕКС згідно з ННС нараховано 80 балів, що відповідає доброму результату.

Клінічний випадок № 3

Поранений, 34 роки, госпіталізований із вогнепальним наскрізним пораненням ділянки лівого кульшового суглоба з переломом головки та шийки стегнової кістки й уламковим переломом дна

кульшової западини зі зміщенням, крім того було ушкодження сідничного нерва. Після проведеної ПХО ділянки поранення для фіксації кульшового суглоба встановлено стрижневий АЗФ «таз – стегно» за принципом damage control. Після загоєння ран проведено демонтаж АЗФ і фіксацію лівого кульшового суглоба кокситною пов'язкою. Ендопротезування в цей період не здійснили, бо був ризик інфекційних ускладнень, а через 23 міс. проведено ТЕКС. Через 27 міс. зберігається невропатія сідничного нерва та контрактура лівого колінного суглоба, що значно порушує опорну функцію нижньої кінцівки. Через 6 міс. після ТЕКС згідно з ННС 36 балів, що відповідає поганому результату лікування.

Клінічний випадок № 4

Постраждалий, 47 років, із поєднаним вогнепальним осколковим проникаючим пораненням живота і забоєм позаочеревинного відділу сигмоподібної кишки, перелом лівої здухвинної кістки та кульшової западини з наявністю стороннього тіла (металевого осколка) в лівому здухвинокризовому зчленуванні. Здійнювали: ПХО ран, лапароцентез із подальшою міопластикою лівої бокової стінки живота за принципом damage

control. Через 9 міс. після поранення проведено ТЕКС. Згідно з ННС через 24 міс. після ТЕКС нараховано 84 бали, що відповідає доброму результату лікування.

Клінічний випадок № 5

Військовий, 46 років, мав поєднане вогнепальне осколкове поранення таза з вогнепальним переломом головки та верхньої третини правої стегнової кістки, переломом правої клубової кістки з ушкодженням прямої кишки з формуванням заочеревинної гематоми справа та каловим перитонітом. В ургентному порядку проводилася лапаротомія, обтураційна резекція товстої кишки, ушивання прямої кишки, тампонування черевної порожнини, фіксація кульшового суглоба та кісток таза стрижневим АЗФ «таз – стегно» за принципом damage control. У подальшому хворий був переведений до лікувальних закладів західної України. Через 3 тижні АЗФ демонтовано. Через 4 міс. виконано монтаж антибактеріального цементного спейсера через розвиток інфекційного ускладнення ділянки кульшового суглоба (*Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella*). Унаслідок тривалого ліжкового режиму (10 міс.) у хворого виник пролежень крижової ділянки. Лише через 2 роки проведено реконструкцію — відновлення сполучення між сигмоподібною та прямою кишкою із виведенням ілеостоми. Планується остаточна реконструкція на тонкій кишці. На фоні оперативних втручань у постраждалого виникла злукова хвороба та через тривалий ліжковий режим і неповноцінну реабілітацію розвинулася розгинальна контрактура колінного суглоба. Через 2 роки після поранення згідно з ННС нараховано 32 бали, що відповідає поганому результату лікування. ТЕКС не проводилося.

Клінічний випадок № 6

Постраждалий, 30 років, із поєднаним вогнепальним осколковим пораненням таза та кінцівок із багатоуламковим переломом лобкової та сідничної кісток із переломовивихом головки стегнової кістки, масивними дефектами кісткової і м'яких тканин із травматичною ампутацією статевого пруття, пораненням калитки зліва з ушкодженням обох яєчок. Виконано: ПХО ран лівої пахової та сідничної ділянок, резекція висячої частини статевого члена, двобічна орхектомія, накладання епіцистостоми; фіксація уламків верхньої третини стегнової кістки стрижневим АЗФ «таз – стегно» за принципом damage control. Через 9 міс. після поранення здійснено ТЕКС. У хворого зберігається проблема зі сечовиділенням через хронічний простатит, відсутність частини

статевого члена та яєчок. Згідно з ННС через 7 міс. після ТЕКС нараховано 34 бали, що відповідає поганому результату лікування.

Клінічний випадок № 7

Військовий, 37 років, госпіталізований із поєднаним вогнепальним пораненням таза та кінцівок із тотальним розривом висячого відділу уретри, багатоуламковим переломом кульшової западини, сідничної й лобкової кісток справа та крайовим переломом головки стегнової кістки та наявністю стороннього тіла. Виконано: ПХО ран, лапаротомія, цистостомія, ревізія сечового міхура, ушивання рани висячого відділу уретри на катетері, епіцистостомія з дрениванням паравезикального простору та малого таза, фіксація уламків кісток таза, головки правої стегнової кістки стрижневим АЗФ «таз – стегно» за принципом damage control. Згодом у хворого розвинувся хронічний посттравматичний остеомієліт головки стегнової кістки, ускладнений флегмоною ділянки правого кульшового суглоба та промежини. Через 3 міс. після поранення проведено розкриття та дренивання флегмони ділянки правого кульшового суглоба та промежини. Після ревізії ділянки кульшового суглоба, дебридменту та монтажу антибактеріального цементного спейсера з гентаміцином і ванкомицином у хворого розвинулися ускладнення ділянки правого кульшового суглоба (*Klebsiella pneumoniae* та *Staphylococcus epidermidis*). Лише після видалення спейсера, повторних хірургічних обробок і призначення комбінації лізеноліду 600 мг та со-trimoxazole (бісептол 480 мг) протягом 6 тижнів купірували інфекційний процес. Згідно з ННС через 12 міс. після поранення нараховано 38 бали, що відповідає поганому результату лікування. ТЕКС не проводилося.

На основі статистичного аналізу встановлено, що серед 7 пацієнтів із середнім віком 41,1 рік, ТЕКС виконано у 5/7 (71 %). Середній термін до ТЕКС: $\approx 17,0$ міс. Виявлені інфекційні ускладнення у 4 із 7 (57 %). Найчастіші збудники: *Klebsiella pneumoniae* (3), *Pseudomonas aeruginosa* (2); також були *Acinetobacter* / *A. baumannii*, *Staph. epidermidis*, *Candida krusei*. ННС серед усіх: 50,3; серед інфікованих — 49,5, серед неінфікованих — 51,3. На підставі отриманих даних стало відомо, що високий відсоток інфекцій (57 %) та домінування грамнегативної флори (*Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*) потребує зміни тактики лікування, зокрема ранньої мікробіологічної діагностики, агресивної санації рани й таргетної антибіотикотерапії. Через забруднення (фекальне, уrogenітальне чи сторонні тіла: кулі, осколки)

та масивні дефекти в деяких випадках доцільна відтермінована реконструкція чи ТЕКС із поетапним підходом, що відповідає сучасним рекомендаціям для посттравматичних і забруднених випадків.

Згідно з даними літератури в разі встановленої інфекції або сумнівної стерильності необхідна двоетапна стратегія (видалення з інтенсивною санацією з використанням антибактеріального цементного спейсера та подальша реконструкція чи ТЕКС після ерадикації інфекції), яка має кращі показники контролю інфекції в низці досліджень.

У всіх 4 пацієнтів під час дослідження з'ясовано наявність грам-негативних збудників. У двох із них застосовано спейсери з антибіотиками. Попри використання антибіотикспейсера, повної ерадикації інфекції досягти не вдалося, тому ендопротезування було відкладено через персистенцію мікрофлори.

Ураховуючи великий відсоток незадовільних результатів лікування, виникала потреба у формуванні попереднього алгоритму лікування за вогнепальних поєднаних поранень кульшового суглоба на основі власних досліджень і даних літературних джерел [17–21].

I. Початкові заходи (гострий період):

1. ABC (resuscitation), гемостаз, контроль шоку — damage control principles. Якщо кровотеча з таза — розгляд емболізації чи реконструкції судин;

2. Швидка багатoproфільна оцінка (травматолог, абдомінальний хірург, уролог, інфекціоніст);

3. Рання та документована мікробіологічна діагностика, стартова антибіотикотерапія з урахуванням ризику грам-негативних мультирезистентних бактерій за бойових поранень.

II. Хірургічна тактика в гострому періоді:

1. Радикальна хірургічна обробка, некректомія, видалення сторонніх тіл;

2. Контроль джерел забруднення (тонка та товста, пряма кишка, уретра/урогеніталії);

3. Первинна стабілізація таза (зовнішня фіксація згідно з damage control orthopedics).

4. Використання антибактеріальних спейсерів або VAC-терапії за дефектів м'яких тканин і кісткової структури.

III. Планування реконструкції чи ТЕКС:

1. За відсутності інфекції та стабільних м'яких тканинах — відтерміноване ТЕКС (після ≥ 6 міс.);

2. За наявності інфекції або високого ризику — двоетапний підхід (санація, антибіотикоспейсер $\rightarrow$ ТЕКС);

3. У випадку грам-негативної флори (*Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*) та мультирезистентної флори обов'язкова консультація інфекціоніста й імунолога зі застосуванням резервних антибіотиків на основі чутливості з урахуванням можливої наявності біоплівки на імплантатах.

IV. Ортопедичні технічні рекомендації щодо ТЕКС після вогнепального поранення кульшового суглоба:

1. Готовність до великих кісткових дефектів: використовувати модулі для відновлення ацетабулярних дефектів (антипротрузійні кільця, структурні ауто/алотрансплантати та в разі великого дефекту — аддитивні технології);

2. За неврологічних ушкоджень (сідничний нерв) — реалістичні очікування щодо функції; розглянути спеціальні протези/обмежувачі для зменшення вивихів в умовах слабких м'язів;

3. Планування імплантації за участю реабілітолога — індивідуальна програма відновлення.

V. Післяопераційний контроль:

1. Регулярний клінічний та лабораторний моніторинг: С-реактивний білок, ШОЕ, прокальцитонін;

2. Аспірація в разі підозри на інфекцію й обов'язкове бактеріологічне дослідження;

3. Таргетна антибіотикотерапія на основі результатів посівів із обов'язковою консультацією інфекціоніста й імунолога;

4. Індивідуальна реабілітаційна програма.

Обговорення

Вогнепальні поєднані поранення таза та кульшового суглоба є важкими поліструктурними ураженнями, результат лікування яких буде залежати від своєчасної, послідовної та адекватної медичної допомоги на усіх рівнях; ступеня ушкодження внутрішніх органів черевної порожнини та малого таза, особливо тонкої та товстої кишки; характеру перелому кісткових структур, які беруть участь у формуванні кульшового суглоба.

Пацієнти з переломами кісток таза з порушенням гемодинаміки — складний виклик для травматологічної бригади, оскільки гострі уламки кісток, які виникають унаслідок травм тазового кільця, можуть розірвати навколишні м'які тканини і спричинити сильну кровотечу. Найпоширенішими джерелами кровотечі є поверхні переломів і заочеревинне венозне сплетення; рідше трапляються ушкодження сідничної артерії [22].

Також до групи ризику належать порожнисті вісцеральні органи черевної порожнини і таза, нервовий корінець L_v та поперекове сплетення.

Переломи кісток таза часто поєднуються з іншими небезпечними для життя травмами. Показники смертності серед цивільного населення коливаються в межах 6–35 %, причому вищі пов'язані з відкритими переломами [7, 23, 24].

Для високошвидкісних вогнепальних поранень (> 2000 футів/с) характерний більш руйнівний вплив на опорно-руховий апарат, що вимагає агресивніших стратегій хірургічного втручання, подібно до відкритих переломів, отриманих від тупої травм [25–28].

Не дивлячись на те, що поранення кульшового суглоба й таза спостерігаються нечасто, їхні діагностика та лікування залишаються складними, особливо в разі сліпих поєднаних поранень, коли вхідний отвір розміщений не в проєкції ушкодженого суглоба, а в іншій анатомічній ділянці [10].

Найскладнішими у лікуванні є трансабдомінальні вогнепальні поранення кульшового суглоба та таза, бо вони супроводжуються контамінацією (забрудненням) вказаних ділянок кишковим вмістом, що вимагає екстреного хірургічного втручання за судинних, вісцеральних та уrogenітальних ушкоджень після досягнення гемодинамічної стабільності [11, 29–31].

У літературі існує консенсус щодо видалення внутрішньосуглобових куль, які контактують із синовіальною рідиною, щоб уникнути механічного руйнування суглоба, свинцевої артропатії, плумбізму (системної свинцевої токсичності) та інфекції [20].

Кулі, металеві осколки, які знаходяться внутрішньокістково без контакту з синовіальною рідиною не потребують видалення, але ризик інфікування цієї категорії вогнепальних поранень вищий як порівняти з вогнепальними переломами кінцівок [32–34].

У разі вогнепальних поранень живота, сидниць або стегон має бути висока підозра на транстазову траєкторію. Тут слід підкреслити, що шлях кулі може бути нелінійним із непередбачуваною траєкторією через її нестабільність, рикошет і осколки [20, 35].

Р. Н. Navsaria та співавт. визначили показання до лапаротомії: перитонеальні ознаки, нестабільність гемодинаміки, ректальна кровотеча або неможливість виконати достовірне клінічне обстеження. Вони запропонували рутинну комп'ютерну томографію лише для макрорегістратури. Відсоток неоперативного лікування транспельвікальних поранень становив 26,4 % із мінімальним 24-годинним ретельним спосте-

реженням. Частота терапевтичних лапаротомій у них склала 97,7 % [16].

Згідно з даними зарубіжних джерел до основних рекомендацій у разі вогнепальних транстазових поранень кульшового суглоба слід віднести: обов'язкові повторні інтра- та післяопераційні забори матеріалу для визначення культур мікробів та їхньої чутливості до хіміопрепаратів, ранні видалення сторонніх фрагментів (за можливості) та радикальна санація ран, використання молекулярних методів (mNGS) може допомогти в разі негативних культур або полімікробних інфекцій, проведення емпіричної терапії за локальними даними про резистентність; у військових випадках потрібно враховувати високу частоту мультирезистентних грамнегативних штамів [6, 32, 39, 40–43].

Такі поранення відзначаються високим відсотком незадовільних результатів лікування через розвиток ускладнень інфекційного характеру, відсутністю адекватної хірургічної обробки; ураховуючи глибинне розміщення кульшового суглоба — розвиток контрактур суміжних суглобів через відсутність вчасної й адекватної реабілітації; розвитком ускладнень із боку органів черевної порожнини та малого таза, таких як злукова хвороба, формуванням кишкових і нориць сечового міхура в разі його ушкодження; пролежнями і тромбозом вен нижніх кінцівок через тривалий ліжковий режим і відсутність профілактичних заходів, косметичними і функціональними змінами з боку статевих органів.

Застосування ТЕКС у пацієнтів із вогнепальними пораненнями кульшового суглоба має бути суворо індивідуалізованим, оскільки високий ризик інфекційних ускладнень не дозволяє отримати прогнозовано добрі результати. Необхідно зосередитися на санації, контрольованій стабілізації, поетапному підході та відтермінованій реконструкції.

Ця категорія поранених має проходити лікування в багатопрофільних лікувальних закладах МОУ та МОЗ України, де є весь комплекс діагностично-лікувального обладнання, хірурги з високим професійним рівнем і досвідом лікування тяжкої бойової поєднаної травми, можливість своєчасної медичної та соціальної реабілітації.

Висновки

Поєднані вогнепальні поранення кульшового суглоба зі супутнім ушкодженням внутрішніх органів черевної порожнини та малого таза є складними як у діагностичному, так і лікуваль-

ному аспекті, характеризуються високим ризиком розвитку ускладнень і значним погіршенням якості життя в майбутньому.

На основі статистичного аналізу встановлено, що серед 7 пацієнтів із середнім віком 41,1 рік, ТЕКС виконано у 5/7 (71 %). Середній термін до ТЕКС склав 17 місяців. Інфекційні ускладнення спостерігалися у 57 % постраждалих, серед яких переважала контамінація *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aeruginosa*.

Проведення ТЕКС у цієї категорії постраждалих потребує вкрай обережного підходу. Отримані результати свідчать про необхідність подальших клінічних досліджень для визначення оптимальних критеріїв показань до ТЕКС після бойових поранень кульшового суглоба.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Можна очікувати, що використання наведеного попереднього алгоритму лікування за вогнепальних поєднаних поранень кульшового суглоба може потенційно знизити рівень інфекційних ускладнень, але потребує підтвердження подальшими клінічними дослідженнями.

Інформація про фінансування. Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від виробників медичних пристроїв, які були залучені до нашого дослідження.

Внесок авторів. Хорошун Е. М., Бондаренко С. Є., Негодуйко В. В. — обґрунтували доцільність дослідження, розробили його методику. Клапчук Ю. В. — провів дослідження, проаналізував результати та написав 80 % статті. Петренко Б. В., Голопич В. Т., Нетецький О. В. — виконали дослідження, математичні розрахунки, написали відповідну частину тексту.

Список літератури

- Becker, V. V., Brien, W. W., M., P., & J., W. (1990). Gunshot injuries to the hip and abdomen. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 30(11), 1324–1329. <https://doi.org/10.1097/00005373-199011000-00003>
- Gunshot injuries resulting in arthroplasty: A literature review and case report resulting in a Megaprosthesis. (2024). *Annals of Case Reports*, 9(3). <https://doi.org/10.29011/2574-7754.101855>
- Atlas of combat surgical trauma (experience of anti-terrorist operation / joint forces operation). (2021). Kharkiv: Collegium.
- Almirah, A., Mahyoub, A., Al-Gabaly, W., Haidar, H., Alhamadi, W., Mothanna, Z., & Ahmed, F. (2024). Treatment outcomes of total hip arthroplasty following hip joint gunshot and shell fragment injuries: Insights from a single-center retrospective study in Yemen. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.71648>
- Antoni, A., & Maqungo, S. (2023). Current concepts review: Management of civilian transpelvic gunshot fractures. *Injury*, 54(12), 111086. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111086>
- Taheriazam, A., & Saeidinia, A. (2023). Two-stage revision of infected hip prosthesis after post-operative antibiotic therapy: An observational study. *Medicine*, 102(6), e32878. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000032878>
- Dheenadhayalan, J., Nagashree, V., Devendra, A., Velmurugesan, P. S., & Rajasekaran, S. (2023). Management of open fractures: A narrative review. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 44, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2023.102246>
- Kalairajah, Y., Azurza, K., Hulme, C., Molloy, S., & Drabu, K. J. (2005). Health outcome measures in the evaluation of total hip Arthroplasties — A comparison between the Harris hip score and the Oxford hip score. *The journal of arthroplasty*, 20(8), 1037–1041. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2005.04.017>
- Pohleman, T., Bosch, U., Haas, N., & Tschernhe, H. (1992). Standardized techniques for internal stabilization of the pelvic ring. *Journal of orthopaedic trauma*, 6(4), 484. <https://doi.org/10.1097/00005131-199212000-00030>
- Hanna, T. N., Shuaib, W., Han, T., Mehta, A., & Khosa, F. (2015). Firearms, bullets, and wound ballistics: An imaging primer. *Injury*, 46(7), 1186–1196. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.01.034>
- Atlas of radiological diagnostics of gunshot wounds: atlas. (2024). Vinnytsia: TVORY.
- Fischer, M., Nonnenmacher, L., Reichert, J. C., Bohnert, J. A., Idelevich, E. A., Doğan, E., Becker, K., & Wassilew, G. I. (2024). Case report: Hip arthroplasty after fracture-related joint infection caused by extensively drug-resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Frontiers in surgery*, 11. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1363298>
- Clinical practice guidelines joint trauma system war wounds: debridement and irrigation (CPG ID:31). (2024).
- Joint Trauma System Pelvic Fracture Care Clinical Practice Guidelines (CPG ID: 34). (2024).
- Davis, J. M., Stinner, D. J., Bailey, J. R., Aden, J. K., & Hsu, J. R. (2012). Factors associated with mortality in combat-related pelvic fractures. *Journal of the American academy of orthopaedic surgeons*, 20, S7–S12. <https://doi.org/10.5435/jaaos-20-08-s7>
- Navsaria, P. H., Edu, S., & Nicol, A. J. (2011). Nonoperative management of pelvic gunshot wounds. *The American journal of surgery*, 201(6), 784–788. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2010.03.014>
- Alqazzaz, A., Bush, A. N., Zhuang, T., Dehghani, B., Gibon, E., & Nelson, C. L. (2024). Acute total hip arthroplasty following acetabular fracture is associated with a high risk of revision, dislocation, and Periprosthetic fracture. *The journal of arthroplasty*, 39(9), S270–S274.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.04.046>
- Poole, G. V., Ward, E. F., Muakkassa, F. F., Hsu, H. S., Griswold, J. A., & Rhodes, R. S. (1991). Pelvic fracture from major blunt trauma outcome is determined by associated injuries. *Annals of surgery*, 213(6), 532–539. <https://doi.org/10.1097/00000658-199106000-00002>
- Das, A., Tripathy, S. K., Mohapatra, I., Poddar, N., Pattnaik, D., S. S., & Panigrahi, K. (2025). Microbiological profile and outcome of surgical site infections following orthopedic surgeries in a tertiary care hospital. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.76874>
- Qin, Y., Liu, Z., Li, L., Yang, Y., Huang, X., Liang, W., & Lin, L. (2024). Comparative reinfection rate of one-stage versus two-stage revision in the management of periprosthetic joint infection following total hip arthroplasty: A meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-024-08199-y>
- Sop, J. L., Sop, A. Open Fracture Management. (2025).. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- McLean, J. M., Cappelletto, J., Clarnette, J., Hill, C. L., Gill, T., Mandziak, D., & Leith, J. (2016). Normal population reference values for the Oxford and Harris hip scores — Electronic data collection and its implications for clinical practice. *HIP International*, 27(4), 389–396. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000465>
- Croce, M. A., Magnotti, L. J., Savage, S. A., Wood, G. W., & Fabian, T. C. (2007). Emergent pelvic fixation in patients with exsanguinating pelvic fractures. *Journal of the American college of surgeons*, 204(5), 935–939. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2007.01.059>
- Sodagari, F., Katz, D. S., Menias, C. O., Moshiri, M., Pellerito, J. S., Mustafa, A., & Revzin, M. V. (2020). Imaging evaluation of Abdominopelvic gunshot trauma. *RadioGraphics*, 40(6), 1766–1788. <https://doi.org/10.1148/rg.2020200018>
- Pathomorphosis of gunshot wounds of soft tissues. (2018). Under the general editorship of Tsymbalyuk, V. I., Khomenko, I. P., Lurin, I. A., Usenko, O.Yu., Boyka, V. V. Kharkiv: Kolegium.

26. Bartlett, C. S. (2003). Clinical update: Gunshot wound ballistics. *Clinical orthopaedics and related research*, 408, 28–57. <https://doi.org/10.1097/00003086-200303000-00005>
27. Barach, E., Tomlanovich, M., & Nowak, R. (1986). Ballistics: A Pathophysiologic examination of the wounding mechanisms of firearms: Part I. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 26(3), 225–235. <https://doi.org/10.1097/00005373-198603000-00003>
28. Bartkiw, M. J., Sethi, A., Coniglione, F., Holland, D., Hoard, D., Colen, R., Tyburski, J. G., & Vaidya, R. (2010). Civilian gunshot wounds of the hip and pelvis. *Journal of orthopaedic trauma*, 24(10), 645–652. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e3181cf03ea>
29. Treatment of the wounded with combat injuries of the abdomen (based on the experience of the ATO/JFO): monograph. (2022). Kherson: Oldi+.
30. Guidelines for military field surgery. (2024). Kyiv: «Lyudmila Publishing House».
31. Lopez, P. P. (2007). Unstable pelvic fractures: The use of angiography in controlling arterial hemorrhage. *Journal of trauma: injury, infection & critical care*, 62(6), S30–S31. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e3180654086>
32. Bartlett, C. S., Helfet, D. L., Hausman, M. R., & Strauss, E. (2000). Ballistics and gunshot wounds: Effects on musculoskeletal tissues. *Journal of the American academy of orthopaedic surgeons*, 8(1), 21–36. <https://doi.org/10.5435/00124635-200001000-00003>
33. Baum, G. R., Baum, J. T., Hayward, D., & MacKay, B. J. (2022). Gunshot wounds: Ballistics, pathology, and treatment recommendations, with a focus on retained bullets. *Orthopedic research and reviews*, 14, 293–317. <https://doi.org/10.2147/orr.s378278>
34. Miller, P. R., Moore, P. S., Mansell, E., Meredith, J. W., & Chang, M. C. (2003). External fixation or Arteriogram in bleeding pelvic fracture: Initial therapy guided by markers of arterial hemorrhage. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 54(3), 437–443. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000053397.33827.dd>
35. Hanson, T. M., Nierenberg, D. W., LaRoche, H. B., Mead, K. C., & Ames, J. B. (2021). Symptomatic lead toxicity and joint pain because of migration of shotgun pellets into the hip 12 years after injury. *JBJS case connector*, 11(2). <https://doi.org/10.2106/jbjs.cc.20.00751>
36. Tisnovsky, I., Katz, S. D., Pincay, J. I., Garcia Reinoso, L., Redfern, J. A., Pascal, S. C., Wham, B. C., Naziri, Q., & Suneja, N. (2021). Management of gunshot wound-related hip injuries: A systematic review of the current literature. *Journal of orthopaedics*, 23, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.12.029>
37. Smith, W., Williams, A., Agudelo, J., Shannon, M., Morgan, S., Stahel, P., & Moore, E. (2007). Early predictors of mortality in Hemodynamically unstable pelvis fractures. *Journal of orthopaedic trauma*, 21(1), 31–37. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e31802ea951>
38. Hoogbeem, T. J., De Bie, R. A., Den Broeder, A. A., & Van den Ende, C. H. (2012). The Dutch lower extremity functional scale was highly reliable, valid and responsive in individuals with hip/knee osteoarthritis: A validation study. *BMC musculoskeletal disorders*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-117>
39. Agolini, S. F., Shah, K., Jaffe, J., Newcomb, J., Rhodes, M., & Reed, J. F. (1997). Arterial Embolization is a rapid and effective technique for controlling pelvic fracture hemorrhage. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 43(3), 395–399. <https://doi.org/10.1097/00005373-199709000-00001>
40. Ghali, A. N., Venugopal, V., Montgomery, N., Cornaghi, M., Ghilzai, U., Batiste, A., Mitchell, S., & Dawson, J. (2023). Infectious profiles in civilian gunshot associated long bone fractures. *International orthopaedics*, 48(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05870-2>
41. Ibrahim, Y., Jamal, S., & Akhtar, K. (2021). The evidence base for 2017 BOAST-4 guidance on open fracture management: Are we due an update? *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 17, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.03.020>
42. Miley, E. N., Casanova, M. P., Pickering, M. A., Cheatham, S. W., Larkins, L. W., Cady, A. C., & Baker, R. T. (2024). Psychometric analysis of the hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS). *Healthcare*, 12(17), 1789. <https://doi.org/10.3390/healthcare12171789>
43. Ramasamy, B., Abrahams, J. M., Bunting, A. C., Costi, K., Clothier, R. J., Solomon, L. B., & Callary, S. A. (2025). Total hip arthroplasty for acute acetabular fractures through the replace-in-situ philosophy. *The bone & joint journal*, 107-B(8), 784–792. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.107b8.bjj-2024-1232.r1>

Стаття надійшла до редакції 26.08.2025	Отримано після рецензування 27.10.2025	Прийнято до друку 30.10.2025
---	---	---------------------------------

FEATURES OF SURGICAL TREATMENT OF COMBINED GUNSHOT WOUNDS OF THE HIP JOINT

E. M. Horoshun ^{2,3}, S. Ye. Bondarenko ¹, Yu. V. Klapchuk ^{2,3}, V. V. Nehoduiko ^{2,3},
B. V. Petrenko ², V. T. Golopych ², O. V. Netetskiy ²

¹ Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

² Military Medical Clinical Center of the Northern Region of the MFC of the AF of Ukraine, Kharkiv

³ Kharkiv National Medical University, Ukraine

✉ Eduard Horoshun, MD, PhD: ehoroshun@i.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1258-1319>

✉ Stanislav Bondarenko, MD, DMSci: bondarenke@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2463-5919>

✉ Yurii Klapchuk, MD, PhD: klapchuks@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1903-959X>

✉ Volodymyr Nehoduiko, MD, DMSci: vol-ramzes13@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4540-5207>

✉ Bogdan Petrenko: drfedk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-9349-5141>

✉ Vladyslav Golopych: vladgolopych@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-2772-4572>

✉ Oleksandr Netetskiy, MD: netetskiy.02@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-0274-3261>

УДК 616.717/.718-001.5-073.7(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025417-24>

Руйнування кістки й оточуючих тканин у разі вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок (клініко-рентгенологічна класифікація). Перше повідомлення

О. К. Попсуйшапка¹, В. О. Литвишко³, Р. В. Малик¹,
Я. А. Долуда², Д. О. Міхановський²

¹ Харківський національний медичний університет. Україна

² ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

³ КНП «Чугуївська центральна лікарня ім. М. І. Кононенка». Україна

Objective. To determine the nature of the destruction of the bone and surrounding tissues in gunshot fractures of the long bones of the extremities and to create their clinical and radiological classification. *Material and methods.* 123 cases with gunshot fractures of the long bones of the extremities (127 fractures) were studied. The number of intermediate fragments, the magnitude of their transverse displacement, the length of the bone destruction zone, the shape and size of the soft tissue wound were studied. During the operation, the state of the anatomical connection of the fragments with the periosteum and muscles was assessed. Based on known data on the mass and speed of traumatic agents, calculations of their energy that occur during the action of a bullet and a hit by a moving car were made. *Results.* 97 % of the victims had multifragment fractures, among them 50 % had 2–3 intermediate fragments, 30 % — 4–6 and 22 % — 7 or more, or a primary bone defect was formed. Based on the number of formed intermediate fragments, the magnitude of their transverse displacement and the presence (or absence) of anatomical connection with living tissues, we distinguished three types of gunshot fracture: 1 — with slight or moderate transverse displacement of the intermediate and main fragments (within the diameter of the bone and with preservation of the longitudinal orientation); 2 — with significant transverse displacement of one or more intermediate fragments (in the direction of the projectile movement) with loss of anatomical connection with the periosteum and formation of a parietal defect of the bone and a wound of medium or large size; 3 — with excessive transverse displacement of all intermediate fragments (in the direction of the projectile movement) with loss of their anatomical connection with the periosteum and formation of a complete transverse defect of the bone. It was found that in the majority (66%) of gunshot fractures, despite the presence of a soft tissue wound, the intermediate and main fragments retain an anatomical connection with the periosteum and muscles, and this is of great importance in choosing treatment tactics. *Keywords.* Gunshot fractures, morphology, classification.

Мета. З'ясувати характер руйнування кістки й оточуючих її тканин за вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок і створити їх клініко-рентгенологічну класифікацію. *Методи.* Досліджено 123 особи з вогнепальними переломами довгих кісток кінцівок (127 переломів). Вивчали кількість проміжних уламків, величину їхнього поперечного зміщення, протяжність зони руйнування кістки, форму та розміри рани м'яких тканин. Під час операції оцінювали стан анатомічного зв'язку уламків з окістями і м'язами. На підставі відомих даних про масу і швидкість травмуючих агентів проведено розрахунки їхньої енергії за умов дії кулі чи удару автомобілем, який рухається. *Результати.* У 97 % постраждалих були багатоуламкові переломи, серед них 50 % мали 2–3 проміжні уламки, 30 — 4–6 і 22 % — 7 і більше проміжних уламків, або утворився первинний дефект кістки. На підставі кількості утворених проміжних уламків, величини їх поперечного переміщення та наявності (або відсутності) анатомічного зв'язку з живими тканинами нами виділено три типи вогнепальних переломів: 1 — із незначним або помірним поперечним переміщенням проміжних і основних уламків (у межах поперечника кістки і зі збереженням повздожньої орієнтації); 2 — зі значним поперечним переміщенням одного або декількох проміжних уламків (за напрямом руху снаряда) зі втратою анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням пристінкового дефекту кістки і рани середніх або великих розмірів; 3 — із надмірним поперечним переміщенням усіх проміжних уламків (за напрямом руху снаряда) з втратою ними анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням повного поперечного дефекту кістки. *Висновки.* Виявлено, що за більшості (66 %) вогнепальних переломів, не дивлячись на наявність рани м'яких тканин, проміжні й основні уламки зберігають анатомічний зв'язок з окістями і м'язами, це має важливе значення вибору тактики лікування.

Ключові слова. Вогнепальні переломи, морфологія, класифікація

Вступ

Переломи, які виникли від снаряду зі запасом кінетичної енергії відрізняються від тих, що ми звикли бачити в мирний час і також пов'язані з дією високоенергетичного носія. Із досвіду останніх років видно, що руйнування довгих кісток кулею або осколком відбуваються у вигляді таких переломів: багатоуламкових (26 %), роздроблених (69 %), а також із утворенням первинного дефекту кістки (5 %) [1]. Наш попередній аналіз вогнепальних переломів показав, що вони за формою площини зламу та кількістю уламків наближалися до типів В (40 %) і С (47 %) [2] відповідно до класифікації АО (Fracture and Dislocation Classification Compendium) [3]. Але деякі варіанти вогнепального руйнування кістки не враховані, наприклад, перелом, який сполучається з наявністю кісткового дефекту.

У наукових статтях щодо лікування вогнепальних переломів користуються класифікацією відкритих переломів Gustilo-Anderson, яка була запропонована в 1976 році [4] і надалі уточнена в 1984 [5]. Стосовно зв'язку між характером площини зламу кістки й обсягом руйнування м'яких тканин, автори класифікації вказують, що для I і II типів відкритого перелому притаманна одна поперечна або коса площина, а для III — декілька площин й утворення проміжних уламків. Слід зазначити, що ця класифікація базується на досвіді лікування відкритих переломів мирного часу і серед них за частотою переважають переломи з однією площиною зламу.

Морфологія вогнепального перелому нерозривно пов'язана з руйнуванням навколишніх м'яких тканин і все це необхідно розглядати й оцінювати як одне ціле. Із нашої точки зору, маючи однотипний механогенез і схожі риси руйнування, вони потребують окремої класифікації, яка б поділяла їх за рівнем тяжкості, прогнозом загоєння, а також була підставою для вибору методики лікування.

Мета: з'ясувати характер руйнування кістки й оточуючих її тканин за вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок і створити їхню клініко-рентгенологічну класифікацію.

Матеріал і методи

Роботу виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я, усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень (протокол № 256 від 17.11.2025 ДУ «Інститут патології хребта та суг-

лобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»). Всі постраждалі підписали інформовану згоду.

Дослідження засновано на досвіді лікування 123 постраждалих із вогнепальними переломами довгих кісток кінцівок у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (93 особи) і КНП «Чугуївська центральна лікарня ім. М. І. Кононенка» (30 випадків). За локалізацією ураженого сегмента вони розподілялися таким чином: гомілка 38 (34 %), стегно 30 (24 %), плече 30 (24 %), передпліччя 25 (18 %). Серед них у 4 випадках було уражено два сегменти в різних комбінаціях (усього 127). Ці хворі надходили до нас в ургентному порядку прямо з місця травми (36) або через 3–12 діб після поранення для продовження лікування уже з зовнішнім апаратом.

Клінічне оцінювання форми та розмірів ранового каналу або дефекту

Серед усієї різноманітності вогнепальних ран ми вважаємо за раціональне виділити три варіанти.

Тунельна форма каналу з наступними ознаками:

- протяжність каналу перевищує або відповідає розмірам шкіряної рани;
- обсяг дефекту м'яких тканин не великий, зникає вглибині за рахунок злипання стінок, а краї шкіряної рани можна звести швами;
- може бути як сліпим, так і наскрізним.

Секторальна форма дефекту, який розповсюджується або лише на м'які тканини, або на м'які тканини і на зруйновану кістку. Для нього характерно:

- можливість візуального контролю майже всієї ранової поверхні;
- виникає дефіцит тканин і труднощі зі зведенням країв рани.

Можлива комбінація обох варіантів, коли вхідна тунельна частина ранового каналу переходить у секторальну (*тунельно-секторальна форма*).

Під час первинного обстеження вогнепального перелому виміряти і скласти уявлення про обсяг зони руйнування м'яких тканин не завжди є можливим, особливо коли канал має тунельну форму. Основний об'єктивний параметр — розмір шкіряної рани, який ми пропонуємо градуювати як малий (до 3 см), середній (4–10) і великий (більше 10), беручи за основу її найбільшу повздовжню величину.

Характер руйнування кістки та переміщення уламків за даними рентгенографії

Оскільки переважно більшість складали уламкові переломи, які можна було віднести до типів В і С, ми звертали увагу на такі ознаки:

1. Кількість проміжних уламків, їхню форму та розмір;

2. Величину максимального поперечного переміщення основних уламків (рис. 3) один відносно іншого. Її виміряли за умов зафіксованих зовнішнім апаратом уламків і виражали у відсотках до поперечного розміру кістки;

3. Величину максимального поперечного переміщення проміжних уламків (рис. 3) відносно поверхні основних також подавали у відносних одиницях. Звертали увагу на наявність ротаційного переміщення уламків, що могло бути ознакою їхнього відділення від м'яких тканин. Якщо мало місце поперечне переміщення проміжного або основного уламка до поперечника кістки, його вважали незначним або помірним, більше повного поперечника — значним, за межу поверхні сегмента — надмірним.

4. Протяжність зони руйнування кістки (рис. 1) визначали також у відсотках по відношенню до довжини сегмента.

Додаткову інформацію про обсяг внутрішнього руйнування м'яких тканин і стан анатомічного зв'язку проміжних уламків з окістям і м'язами ми отримували під час проведення первинної хірургічної обробки рани. Виконуючи маніпуляції щодо видалення металевих снарядів, візуально і пальпаторно намагалися з'ясувати розміри руйнації м'язів, а також перевіряли стан проміжних уламків, які знаходилися далеко за межами свого природного місця. Варто зазначити, що можливість огляду руйнацій за тунельного ранового каналу обмежена і тому покладалися на його пальпаторне обстеження. За необхідності, коли треба було видалити металеві предмети, рановий канал раціонально розширювали й візуально оцінювали стан тканин.

Матеріали дослідження статистично оброблені з використанням методів параметричного та непараметричного аналізу в електронних таблицях Microsoft Office Excel 2016. Статистичний аналіз проводився зі застосуванням програми STATISTICA 10.0. У разі опису кількісних показників розраховували результати вимірювань за допомогою методів описової статистики — середнє (M) та його стандартне відхилення (SD), мінімальне та максимальне значення. Для порівняння незалежних сукупностей у випадках невеликої кількості спостережень і відсутності ознак нормального розподілу даних використовувалися U -критерій Манна-Уїтні. Із метою вивчення зв'язку між явищами, наведеними кількісними даними, розподіл яких відрізнявся від нормаль-

ного, застосовувався непараметричний метод — розрахунок коефіцієнта рангової кореляції Спірмена [6].

Результати та їх обговорення

Аналіз виявив такий розподіл вогнепальних переломів за кількістю уламків:

- без проміжних (перелом з однією площиною) — 4 (3 %);
- 1–3 проміжних — 63 (49,6 %);
- 4–6 проміжних — 38 (30 %);
- 7 і більше проміжних — 11 (8,7 %);
- наявність первинного дефекту ділянки кістки — 11 (8,7 %).

Виявлено, що переважну більшість складають багатоуламкові переломи (97 %). Причому серед них 49,6 % — ті, які мали 1–3 проміжних уламки, зі зростанням кількості уламків частота відповідних переломів зменшувалася. Важливо також відмітити, що за 8,7 % переломів мало місце утворення дефекту ділянки кістки, якому передувало стан із великою кількістю проміжних уламків, переміщених за напрямком руху снаряда з руйнуванням м'яких тканин. У 2-х постраждалих вони були втрачені на попередніх етапах, у решти 9 — видалені під час виконання повторних хірургічних обробок рани.

Характерним для багатоуламкових вогнепальних переломів довгих кісток було те, що руйнування відбувалося через утворення тріщин і розколів, орієнтованих переважно в повздовжньому напрямку і тому проміжні уламки мали видовжену форму. Це можна пояснити тим, що формування тріщин відбувається по міжкостеонній речовині [7], а остеони в довгих кістках, як відомо, орієнтовані в повздовжньому напрямку. За протяжністю зони руйнування кістки переломи розподілялися наступним чином: 54 % вогнепальних склали 25 % довжини сегмента, 43 % були в межах 26–50, і 3 % мали протяжність більше ніж 50 % довжини сегмента. Отже ми бачимо, що значна протяжність руйнування кістки пов'язана з утворенням переважно їх повздовжніх розколів.

Величина переміщення основних уламків

Після з'єднання основних уламків зовнішнім апаратом у переважній більшості переломів (76 %) відбулося їхнє поперечне зміщення, яке не перевищувало поперечний розмір кістки на цьому рівні, у решти (24 %) воно виходило за межі поперечника. Це було саме те положення, яке досягалося під час первинної хірургічної обробки ран(и) та фіксації уламків зовнішнім стрижневим апаратом. Як правило, зіставлення уламків

проводилося шляхом тракції сегмента з відновленням його анатомічної осі. Таке положення основних уламків оцінювалося як допустиме.

Величина і напрямок переміщення проміжних уламків і характер руйнування м'яких тканин

Їхнє переміщення було різним, тому ми виділили три клінічні групи вогнепальних переломів.

Перша — проміжні й основні уламки зберігають по ширині помірне зміщення, утворюючи розширення ушкодженої частини кістки приблизно до 50 % (рис. 1). При цьому проміжні уламки зберігали повздовжню орієнтацію і були без значних ротаційних переміщень. Переважна більшість цих переломів поєднувалася зі сліпою або наскрізною раною м'яких тканин тунельної форми малого або середнього розміру — 80 випадків (63 %). До цієї групи були віднесені також вогнепальні переломи з однією площиною зламу 4 (3 %), із незначним або помірним поперечним зміщенням уламків.

Друга — частина проміжних уламків (або один із них) переміщалися по ширині на значну або надмірну величину, яка перевищувала повний поперечник кістки, опиняючись за її межами. Вони втрачали повздовжню орієнтацію або розверталися навкруги своєї повздовжньої та поперечної осей. Указані рентгенологічні ознаки свідчили про можливе відшарування окістя від переміщених таким чином проміжних уламків (рис. 2). За характером і розміром ран (середній або великий) можна побачити, що напрямок переміщення уламків відповідав руху снаряда. Стан життєздатності проміжних уламків оцінювали під час хірургічної обробки рани. Якщо він був відокремленим від м'яких тканин і навкруги утворювався некроз, його видаляли, що призводило до утворення пристіночного дефекту. Але інша частина проміжних уламків своєю зовнішньою поверхнею лишалася з'єднаною з окістям і м'язами, утворювала своєрідну перемичку між основними уламками. Такий варіант руйнування кістки зафіксовано в 32 випадках (25 %).

Третю склали 11 (8,7 %) переломів, коли всі або більшість проміжних уламків опинялися за межами сегмента, були відокремлені від м'яких тканин, що спричинювало утворення тотального дефекту ділянки кістки (рис. 3). У разі останніх двох варіантів перелом супроводжувався раною м'яких тканин, яка мала тунельно-секторальну або секторальну форму середніх і великих розмірів. Для загального уявлення цих типів вогнепальних переломів наводимо їхнє схематичне зображення (рис. 4).

Цифрові показники величини поперечного зміщення проміжних уламків у постраждалих першої і другої груп обчислені за допомогою непараметричного U-критерію Манна-Уїтні. У першій групі ($n = 80$) в середньому $(27,1 \pm 14,6) \%$ (1–56), а в другій ($n = 32$) — $(78,2 \pm 14,0) \%$ (57–100). Спостерігається статистично достовірна різниця між групами за цим показником ($U = 0$, $Z = -6,32$; $p = 0$, $p < 0,05$), що є очікуваним явищем, оскільки нами проведено попередній упереджений розподіл за групами.

Кількість проміжних фрагментів у 1 групі ($n = 80$) склала в середньому $(2,9 \pm 2,2)$ шт. (0–9), а в 2 ($n = 32$) — $(4,4 \pm 2,5)$ шт. (0–9). Спостерігається статистично достовірна різниця між групами за цим показником, яка обчислена за допомогою непараметричного U-критерію Манна-Уїтні ($U = 286,5$; $Z = -2,26$; $p = 0,02$; $p < 0,05$).

Зафіксовано помірний прямий кореляційний зв'язок між величиною максимального поперечного зміщення проміжних уламків і розміром рани сумарно в обох групах ($r = 0,44$; $p < 0,05$).

Величина протяжності руйнування кістки в 1 групі ($n = 80$) склала в середньому $(24,2 \pm 9,5) \%$ (6–44), а в 2 ($n = 32$) — $(30,2 \pm 9,6) \%$ (13–48) і в 3 $(20,5 \pm 7,6) \%$ (6–32). Спостерігається відсутність статистично достовірної різниці між групами за цим показником (U-критерій Манна-Уїтні $U = 248,00$; $Z = -1,92$; $p = 0,05$; $p > 0,05$). Це значення не є критерієм для поділу на групи, але у всіх випадках воно впливає на вибір способу з'єднання основних уламків.

Виявлено помірний прямий кореляційний зв'язок між протяжністю руйнування кістки та кількістю проміжних її фрагментів сумарно в усіх групах ($r = 0,37$; $p < 0,05$).

Виявлено, що за характером руйнування кістки вогнепальні переломи суттєво відрізняються від переломів мирного часу, і, зокрема, тих, які виникають від дії високоенергетичних носіїв (транспортних засобів із відповідною швидкістю руху). Для останніх є характерним поперечний одноплощинний або перелом з утворенням одного проміжного уламка трикутної форми (так званий «бампер-перелом»).

Спробуємо на підставі відомих фактів з'ясувати особливості механогенезу руйнування кістки за вогнепального перелому. Спочатку розрахуємо і порівняємо кінетичну енергію, яку несуть кулі від поширених видів стрілецької



Рис. 1. Фотовідбитки пораненої кінцівки та рентгенограм постраждалого Ц., 45 років, який отримав вогнепальний перелом середньої третини лівої гомілки з помірним поперечним переміщенням проміжних уламків і сліпою тунельною раню середніх розмірів. Перша клінічна група



Рис. 2. Фотовідбитки кінцівки та рентгенограм пораненого Г., 25 років, якому під час первинної хірургічної обробки видалено декілька змішених нежиттєздатних проміжних уламків у напрямку вихідної рани, яку закрили після очищення шляхом зведення країв. Через 2 міс. над проміжними уламками, що залишилися, утворився періостальний кістковий регенерат (показаний стрілкою). Друга клінічна група



Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограм і вигляду гомілки пораненого А., 45 років, який отримав вогнепальний перелом великогомілкової кістки з надмірним переміщенням проміжних уламків у напрямку руху кулі (визначення поперечного переміщення основних і проміжних уламків показані стрілками), 7 проміжних уламків були відшаровані від м'яких тканин і видалені під час первинної обробки рани, у результаті чого утворився повний дефект кістки — 9,5 см. Рана визначена як тунельно-секторальна і в подальшому її вихідна частина була закрита шкіряним клаптом на ніжці. Вхідна рана розширена через компартмен-синдром, потім зашита. Третя клінічна група

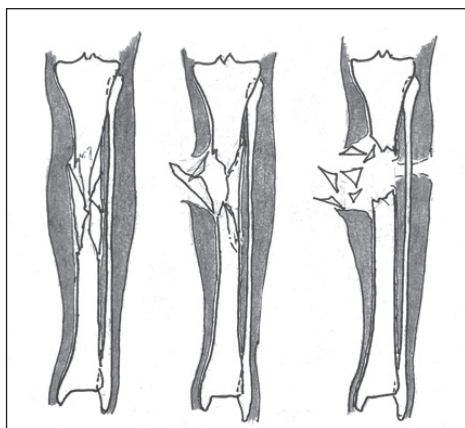
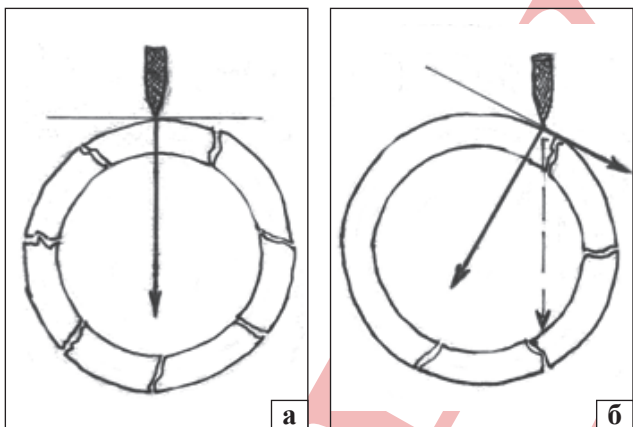
зброї [8] і легковий автомобіль, який рухається, за відомою формулою $E = mv^2/2$ (табл.).

Розрахунки показують, що легковий автомобіль масою 1300 кг за швидкості 60 км/год несе кінетичної енергії в 7–12 разів більше ніж куля стрілецької зброї з початковою швидкістю 800–954 м/сек. Цей факт дає підставу припустити, що сама по собі величина кінетичної енергії не є причиною багатоуламковості під час руйнування кістки. Як ми бачимо, куля або металевий осколок здебільшого руйнує кістку шляхом утворення великої кількості тріщин по вздовжнього напрямку, які далі розширюються, призводять до фрагментації її ділянки. У теорії механіки руйнування [9] це найпоширеніший крихкий вид руйнування, «результат лавиноподібного зростання мікротріщин (зі швидкостями до 1/3 швидкості звуку), коли пружна деформація досягає такої величини, що руйнуються міжатомарні зв'язки...». Існує ще квазікрихке руйнування, для якого характерна певна зона пластичного деформування матеріалу перед тим, як у ньому з'явиться тріщина. За даними [7, 10] компактна кістка людини руйнується за крихким варіантом. Автори звертають увагу, що характер цього процесу залежить від швидкості деформування матеріалу за малої швидкості деформування процес руйнування можна розглядати як в'язкий, а в разі великої він виражено крихкий. Отже ми можемо припустити, що за умов вогнепального перелому під дією високої швидкості снаряда відбувається високошвидкісне напруження і деформування кістки, яке призводить до крихкого руйнування з формуванням багатьох уламків. До речі, автори цієї теорії відмічають пряму залежність між величиною затраченої енергії і кількістю утворених тріщин (зламів) [9].

Таблиця

Кінетична енергія автомобіля, який рухається, і кулі із різних зразків стрілецької зброї

Джерело кінетичної енергії	Калібр зброї (мм)	Маса носія кінетичної енергії (гр)	Швидкість (м/сек)	Кількість енергії (Дж)
Автомобіль	—	1 300 000	16,6 (60 км/год)	17 911 400
АК 47	7,62	7,9	800	2 528 000
АК 74	5,45	3,4	914	1 420 173
М 193	5,56	3,6	954	1 638 208

**Рис. 4.** Схематичне зображення типів вогнепальних переломів**Рис. 5.** Схематичне зображення розподілу дії силового імпульсу кулі за центральної дії (а) та в разі дії під кутом (б)

Із позиції механіки важливо розділяти процеси руйнації кістки і наступного руйнування м'яких тканин. J. J. Amato зі співавт. [11] та G. R. Baum зі співавт. [12] експериментально і клінічно встановили, що під час дії на кістку снаряда з великою швидкістю утворені уламки отримують кінетичну енергію і руйнують м'які тканини як вторинні снаряди. Але це можливо тоді, коли уламки отримують достатній запас енергії для руйнування окістя, м'язів із фасціальними футлярами, апоневрозів і шкіри. Треба розуміти, що такі утворення, на відміну від кістки, мають інші фізико-механічні властивості і можуть переносити ті самі силові

навантаження, але з іншими наслідками. На відміну від крихкої кістки, окістя, маючи у своєму складі потужний фіброзний шар із повздовжньо розташованим колагеном і еластином, демонструє в'язко-пружну поведінку і може витримати напруження на розрив до 26,67 МПа [13]. Це означає, що воно може в певних межах пластично-пружно деформуватися, поглинаючи енергію, яку несуть уламки, не отримуючи від цього суттєвих руйнацій. Зазначимо, що в 63 % випадків (перша клінічна група) проміжні уламки, які утворилися під час вогнепального перелому, не зазнають значних переміщень, що може свідчити про збереження окістно-м'язового футляра навкруги ділянки зруйнованої кістки (можливо з окремими його надривами). Можна припустити, що зазначена частина переломів відбувалася за умов не максимально можливої дії кінетичної енергії снаряда за низки обставин: наскрізне проходження сегмента з дотичним контактом із кісткою або не дуже велика його швидкість. Отже за такого варіанта вогнепальних переломів руйнування м'яких тканин було меншим, оскільки воно спричинене переважно снарядом.

Другий і третій варіанти вогнепального перелому мали ознаки суттєвого руйнування ділянки окістно-м'язового футляра з утворенням часткового або повного дефекту стінок діяфіза що було результатом дії більшої кінетичної енергії, якої було достатньо щоб роздробити ділянку кістки, відшарувати утворені уламки від окістя та перемістити їх на значну відстань. Важливо розуміти, що на руйнування кістки може бути витрачена лише частина енергії снаряда, що буває за наскрізних поранень. Ми припускаємо, що ефект передавання енергії снаряда кістці залежить від кута спрямованості силового імпульсу по відношенню до поверхні кістки. Із механіки відомо, що під час дії сили на нахилену поверхню відбувається її розподіл за правилом паралелограма — одна частина діє перпендикулярно поверхні, інша — паралельно нахиленій поверхні. Оскільки довгі кістки мають на поперечному перетині округлу або трикутну форму, є висока вірогід-

ність, що сили снаряда діють під кутом із появою тангенціального вектора, який зміщує епіцентр руйнації кістки і прилеглих тканин у відповідний бік. Таким чином, можна пояснити асиметрію руйнування з утворенням часткового дефекту. У випадку, коли сила снаряда велика і спрямована перпендикулярно поверхні кістки (направлена до центру кістки), може відбутися тотальна її руйнація з утворенням повного поперечного дефекту (рис. 5).

Із нашої точки зору, між виділеними клінічними типами вогнепальних переломів існують суттєві відмінності, які необхідно враховувати для прогнозування процесу загоєння вогнепального перелому і вибору раціональної тактики його лікування.

У разі першого типу зберігається задовільне осьове положення уламків після закритої репозиції та фіксації основних уламків зовнішнім апаратом. Збереження анатомічного зв'язку більшої частини окістно-м'язового футляра з основними й проміжними уламками є головною передумовою для формування періостального кісткового регенерату, що здатний перекрити всю зону руйнування кістки за умов подальшого апаратного лікування.

Другий тип відрізняється від попереднього наявністю значно більшого обсягу зруйнованих м'яких тканин і часткового (пристіночного) дефекту кістки, що потребує додаткових лікувальних заходів для очищення та закриття рани, а також різних дій, спрямованих на досягнення кісткового зрощення основних уламків.

Третій тип вогнепального перелому відрізняється від попередніх утворенням повного кісткового дефекту різного розміру і потребує іншої лікувальної тактики у вигляді реконструктивно-відновлювальних операцій або ампутації.

Висновки

Для вогнепального перелому спричиненого кулею або осколком є характерним наявність певної зони руйнування кістки з утворенням проміжних уламків, які залежно від кількості переданої кінетичної енергії можуть переміщатися з відповідним відшаруванням від оточуючих м'яких тканин.

Вогнепальні переломи діафізарної частини довгих кісток кінцівок залежно від величини переміщення проміжних уламків та наявності або відсутності їх анатомічного зв'язку з м'якими тканинами доцільно розділити на наступні три типи:

– I — із незначним або помірним поперечним переміщенням проміжних і основних уламків (у межах поперечника кістки і зі збереженням повздовжньої орієнтації), які зберігають анатомічний зв'язок з окістно-м'язовим футляром і не виходять за його межі. При цьому рана(и) м'яких тканин не потребує тривалого лікування (може бути закрита вторинним швом);

– II — зі значним поперечним переміщенням одного або декількох проміжних уламків (за напрямком руху снаряда) з втратою анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням пристіночного дефекту кістки і рани середніх або великих розмірів;

– III — із надмірним поперечним переміщеннями усіх проміжних уламків (за напрямком руху снаряда) з втратою ними анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням повного поперечного дефекту кістки.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Планується друге повідомлення, в якому буде проведено аналіз результатів лікування на підставі запропонованої класифікації.

Інформація про фінансування. Автори заявляють про відсутність фінансових інтересів під час написання статті.

Внесок авторів. Попсуйшак О. К. — запропонував методики дослідження та класифікаційні ознаки, проводив аналіз матеріалу, написання статті; Литвишко В. О. — здійснив клінічні дослідження форми та розмірів рани й аналізував рентгенологічний матеріал; Малик Р. В. — статистичний аналіз, створив електронну анкету для реєстрації ознак вогнепального перелому; Долуда Я. А. — інформаційний пошук і створення ілюстрацій; Міхановський Д. О. — клінічні дослідження, аналіз розмірів ран, брав участь у створенні класифікації, робив розрахунок кінетичної енергії.

Список літератури

1. Classification of gunshot wounds of skull and cerebrum. Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://redcross.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/Classification-of-gunshot-wounds-of-skull-and-cerebrum.pdf
2. Korzh, M., Popsuishapka, O., Lytvishko, V., Shevchenko, I., Doluda, Y., Gubskiy, S., Hrytsenko, A., Mikhanovskiy, D., Marushchak, O., Tokhtamyshev, M., & Arutunan, Z. (2024). Problematic issues of the treatment of diaphyseal gunshot fractures of long bones of extremities. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 109–120. <https://doi.org/10.15674/0030-598720234109-120>
3. Meinberg, E., Agel, J., Roberts, C., Karam, M., & Kellam, J. (2018). Fracture and dislocation classification compendium—2018. *Journal of orthopaedic trauma*, 32(1), S1–S10. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001063>
4. Gustilo, R., & Anderson, J. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones. *The journal of bone & joint surgery*, 58(4), 453–458. <https://doi.org/10.2106/00004623-197658040-00004>
5. Gustilo, R. B., Mendoza, R. M., & Williams, D. N. (1984). Problems in the management of type III (Severe) open fractures. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 24(8), 742–746. <https://doi.org/10.1097/00005373-198408000-00009>

6. Peacock, J., & Peacock, P. (2011). Oxford handbook of medical statistics. Oxford University Press.
7. Knets, G. O., Pfafrod, Y. Zh., & Saulgosis, I. V. (1980). Deformation and destruction of hard biological tissues. Riga: «Zinatne». [in russian]
8. Mahoney, P. F., Ryan, J. M., Brooks, A. J., & Schwab, C. W. (2005). Ballistik Trauma. A Pracical Guide. Springer, 2nd ed.
9. Dolgov, O. M. (2019). Fracture Mechanics: Textbook. Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University «Dnipro Polytechnic». Dnipro: NTU «Dnipro Polytechnic». [in Ukrainian]
10. Strength problems in biomechanics. (1988). Ed. by I. F. Obratsov. Moscow: «Higher School». [in russian]
11. Amato, J. J., Syracuse, D., Seaver, P. R., & Rich, N. (1989). Bone as a secondary missile. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 29(5), 609–612. <https://doi.org/10.1097/00005373-198905000-00013>
12. Baum, G. R., Baum, J. T., Hayward, D., & MacKay, B. J. (2022). Gunshot wounds: Ballistics, pathology, and treatment recommendations, with a focus on retained bullets. *Orthopedic research and reviews*, 14, 293–317. <https://doi.org/10.2147/orr.s378278>
13. Evans, S. F. (2012). Top down bottom up approaches to elucidating multiscale periosteal mechanobiology: Tissue level and cell scale studies. Department of biomedical engineering case western reserve university.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2025	Отримано після рецензування 11.03.2025	Прийнято до друку 10.10.2025
---	---	---------------------------------

DESTRUCTION OF BONE AND SURROUNDING TISSUES IN CASE OF GUNSHOT FRACTURES OF LONG BONES OF THE EXTREMITIES (CLINICAL AND RADIOLOGICAL CLASSIFICATION). *FIRST REPORT*

O. K. Popsuishapka ¹, V. O. Lytyvshko ³, R. M. Malyk ¹, Ya. A. Doluda ², D. O. Mikhanovskiy ²

¹ National Medical University, Kharkiv. Ukraine

² Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

³ MNE «Chuguyev Central Hospital named after M. I. Kononenko». Ukraine

✉ Olexii Popsuishapka, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: alexecorn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-003-1893-2511>

✉ Valerii Lytyvshko, MD, DMSci in Traumatology and Orthopaedics: lvaort@gmail.ua

✉ Roman Malyk, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dr.roman.malyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9070-4834>

✉ Yaroslav Doluda, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dr.doluda@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0001-7428-0584>

✉ Dmytro Mikhanovskiy, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dmitriy.mikhanovskiy@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-003-1893-2511>

УДК 616.717/.718-001.45-089(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025425-30>

Застосування хірургічних технологій лікування постраждалих з дефектами довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми. Повідомлення перше

С. О. Гур'єв ¹, С. В. Гаріян ², В. А. Кушнір ¹, О. С. Цибульський ²

¹ ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України», Київ

² КЗ «Тернопільська обласна клінічна лікарня». Україна

Modern combat operations cause severe injuries to humans due to the impact of new, more intense means of destruction. Objective. To determine the general structure of the application of medical technologies for the surgical treatment of victims with defects of long bones due to modern combat trauma. Materials and methods. The study is of a cohort nature, conducted in accordance with the requirements and criteria of evidence-based medicine with the level of evidence II b Oxford. The study array consisted of 115 cases of long bone defects in victims with combat trauma. This study was conducted in compliance with the requirements of the Declaration of Helsinki, approved by the Bioethics Commission of the State Research Institute «Ukrainian Scientific and Practical Center of Emergency Medical Care and Disaster Medicine of the Ministry of Health of Ukraine». Results. The study found that in the general population of victims with long bone defects due to combat trauma, the following technologies were most often used: retrograde bone transport 29.35 %, Masquelet technology 27.17 %, antegrade bone transport 21.74 %. It was also found that only Masquelet technology is used in the surgical treatment of long bone defects of all limb segments. The choice of technology for the treatment of long bone defects probably depends on the limb segment. All of the listed technologies were used on the distal segment of the lower limb, but to varying degrees. Conclusions. In the treatment of long bone defects due to modern combat trauma, technologies are diverse, including both the latest and classic approaches. Masquelet technology is the method of choice for surgical treatment of victims of modern combat trauma with bone defects of the long bones of the upper limb and the proximal segment of the lower limb. Antegrade transport technology is the method of choice for the distal segment of the lower limb. The use of a specific technology for surgical treatment of bone defects due to modern combat trauma evidently depends on the characteristics of the affected segment. Further careful research is needed to reliably explain this fact. Keywords. Long bones, defects, sizes, surgical treatment, technologies.

Особливістю сучасних бойових дій є застосування новітніх інтенсивніших засобів ураження і, як наслідок — тяжкіші ушкодження людини. Мета. Визначити загальну структуру застосування медичних технологій хірургічного лікування постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми. Методи. Робота має когортний характер, проведений відповідно до вимог і критеріїв доказової медицини зі забезпеченням рівня доказовості II b Oxford. Масив дослідження склав 115 випадків дефектів довгих кісток у постраждалих із бойовою травмою. Результати. Виявлено, що в пацієнтів із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми в загальному масиві найчастіше застосовувались такі технології: антеградний кістковий транспорт — 29,35 %, Masquelet — 27,17 %, ретроградний кістковий транспорт — 21,74 %. Доведено, що лише технологія Masquelet застосовується для хірургічного лікування дефектів довгих кісток усіх сегментів кінцівок. Вибір методики лікування таких дефектів вірогідно залежить від сегмента кінцівок. На дистальному сегменті нижньої кінцівки застосовувалися в різній мірі всі перелічені способи. Висновки. Існують різноманітні методики лікування дефектів довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми — як новітні, так і класичні. Технологія Masquelet є методом вибору хірургічного втручання постраждалих унаслідок сучасної бойової травми з дефектами довгих кісток верхньої кінцівки та проксимального сегмента нижньої кінцівки. Спосіб антеградного транспорту використовується в разі ураження дистального сегмента нижньої кінцівки. Застосування конкретної методики оперативного втручання в разі кісткових дефектів здебільшого залежить від зони ураження. Для достовірного пояснення цього факту потрібні подальші ретельні дослідження.

Ключові слова. Довгі кістки, дефекти, розміри, хірургічне лікування, технології

Вступ

Сучасні бойові дії, які відбуваються на теренах України, викликають тяжкі ушкодження людини внаслідок впливу новітніх більш інтенсивних засобів ураження. На сьогодні аналіз ушкоджень довів, що 50–65 % приходить на кінцівки [1, 2], причому супроводжуються значними травмуваннями як кісток, так і м'яких тканин. Це обумовлює підвищену загрозу виникнення дефектів довгих кісток первинного та вторинного характеру [3, 4].

На жаль, ефективність лікування постраждалих із дефектами довгих кісток, отриманими внаслідок бойових дій в Україні, як і в усьому світі, не можна вважати задовільною через відсутність єдиної системи використання хірургічних способів лікування. Розмаїття характеру й обсягу дефектів потребує певної стандартизації у використанні цих методів лікування. Для формування такої системи вкрай необхідним є вивчення й аналіз застосування методик хірургічного втручання у постраждалих із дефектами довгих кісток [5–8].

Усе перераховане обумовлює необхідність, актуальність і характер цього дослідження. Ця публікація є першим повідомленням за результатами наших спостережень і стосується лише загальної характеристики використання хірургічних технологій лікування постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми.

Мета: визначити загальну структуру застосування медичних технологій хірургічного лікування постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми.

Матеріал і методи

Дослідження має когортний характер, проведене відповідно до вимог і критеріїв доказової медицини зі забезпеченням рівня доказовості Pb Oxford. Воно складається зі 115 випадків дефектів довгих кісток у постраждалих із бойовою травмою, обраних методом беззворотної рандомізації зі загального масиву 5 000 випадків.

Здійснено аналіз історій хвороб пацієнтів за ознаками застосування методик хірургічного лікування дефектів. За таких умов оцінювання коректності й доцільності того чи іншого способу визнавалося адекватним за замовчуванням.

У результаті первинного вивчення фактичного матеріалу дослідження виявлено, що фактично використовувалися наступні технології хірургічного лікування: Masquelet, антеградний кістковий транспорт, ретроградний кістковий транспорт, «антеградний + ретроградний кістковий транс-

порт», біфокальне подовження кінцівки, трифокальне подовження кінцівки, кісткова пластика, корекція довжини, гостре вкорочення.

Здійснено параметричний (ранговий) та непараметричний (поліхоричний) аналіз дослідження фактичного матеріалу зі застосуванням елементів фрактального аналізу. Обробка матеріалу проводилася з використанням комп'ютерних технологій.

Роботу проведено відповідно до вимог і критеріїв доказової медицини з дотриманням вимог Гельсінської декларації та законів України, схвалено комісією з біоетики ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України», протокол № 4 від 12.11.2025 р. Усі хворі надали інформовану згоду.

Результати

Відповідно до мети нашого дослідження проведено загальний аналіз застосування технологій хірургічного лікування великих дефектів кісток у загальному масиві (табл. 1).

Виявлено, що під час спостереження в постраждалих із дефектами довгих кісток здебільшого застосовувалась технологія антеградного кісткового транспорту (29,35 %) — перше рангове місце, друге — Masquelet (27,17 %), третє — ретроградний кістковий транспорт (21,74 %). Найменшу питому вагу (останнє, сьоме рангове місце) посідають біфокальне подовження кінцівки та гостре вкорочення — по 1,09 %. Співвідношення максимального до мінімального показників становить 26,93, що вказує на високу дисипацію розподілу й опосередковано на вірогідність цих результатів.

Для більш ретельного вивчення проблеми застосування технологій оперативного втручання проведено розподіл масиву постраждалих із дефектами довгих кісток у групах ушкодженої ділянки кінцівок за способами лікування (табл. 2).

У результаті аналізу даних, наведених у таблиці 2, встановлено наступне: по-перше, відсутнє співпадіння рангових місць застосування технологій хірургічного лікування у групах анатомічних сегментів кінцівок; по-друге, за умов дефектів проксимальних сегментів кінцівок найчастіше використовується Masquelet. На проксимальному відділі верхньої кінцівки вона застосовується вдвічі частіше, ніж на нижній.

У дистальних відділах сегмента кінцівок має місце суттєва різниця між верхньою та нижньою кінцівкою. У першому випадку (передпліччя) засто-

Таблиця 1

Аналіз застосування різноманітних способів оперативного втручання стосовно лікування дефектів довгих кісток

Технологія	Питома вага (%)	Ранг
Masquelet	27,17	2
Антеградний кістковий транспорт	29,35	1
Ретроградний кістковий транспорт	21,74	3
Антеградний + ретроградний кістковий транспорт	3,26	6
Біфокальне подовження кінцівки	1,09	8
Трифокальне подовження кінцівки	2,17	7
Кісткова пластика	4,35	5
Корекція довжини	9,78	4
Гостре вкорочення	1,09	8

Таблиця 2

Вивчення масиву постраждалих у групах сегмента ушкодження за втручання

Технологія	Плеche	Ранг	Передпліччя	Ранг	Стегно	Ранг	Гомілка	Ранг	Усього
	питома вага (%)		питома вага (%)		питома вага (%)		питома вага (%)		питома вага (%)
Masquelet	80,00	1	71,42	1	38,89	1	14,52	3	27,17
Антеградний кістковий транспорт	0	3	14,29	2	16,67	3	37,09	1	29,35
Ретроградний кістковий транспорт	0	3	0	3	27,77	2	25,80	2	21,74
Антеградний + ретроградний кістковий транспорт	0	3	0	3	0	4	4,84	5	3,26
Біфокальне подовження кінцівки	0	3	0	3	0	4	1,61	7	1,09
Трифокальне подовження кінцівки	0	3	0	3	0	4	3,22	6	2,17
Кісткова пластика	20,00	2	0	3	0	4	3,22	6	4,35
Корекція довжини	0	3	14,29	2	16,67	3	8,06	4	9,78
Гостре вкорочення	0	3	0	3	0	4	1,61	7	1,09

совували Masquelet, причому в обсязі, близькому до використання в проксимальному відділі кінцівки. Також у разі дефектів проксимального відділу верхньої кінцівки використовували кісткову пластику.

Під час хірургічного лікування кісткових дефектів дистального відділу верхньої кінцівки крім Masquelet також застосовували на рівні технології антеградного кісткового транспорту та корекції довжини (по 14,29 %).

Під час лікування кісткових дефектів проксимального сегмента нижньої кінцівки звертають на себе увагу два факти: удвічі менше за обсягом застосування Masquelet і різноманітність використання інших технологій, а саме — ретроградного й антеградного кісткового транспорту, корекції довжини.

За умов дефектів дистального відділу нижньої кінцівки здебільшого застосовується кістковий транспорт (антеградний — 37,09 та ретроград-

ний — 25,80 %). Технологія Masquelet використовувалась значно менше, лише в 14,52 % випадків, корекція довжини — у 8,06 %. Також були задіяні такі методики: біфокальне та трифокальне подовження кінцівки та, що є особливо цікавим, гостре укорочення кінцівки.

Підбиваючи підсумки, можна зауважити, що під час хірургічного лікування дефектів кісток верхньої та нижньої кінцівок технології застосовувалися в різному обсязі.

Із метою ретельнішого вивчення частоти використання різних технологій хірургічного лікування в постраждалих із дефектами довгих кісток нами проведено розподіл пацієнтів за групами за ознакою ушкодженого сегмента кінцівки (табл. 3).

Виявлено, що лише Masquelet було використано під час операцій щодо дефектів довгих кісток усіх сегментів кінцівок. Найчастіше цей спосіб застосовується в разі дефектів дистального

відділу нижньої кінцівки (36,00 %), найменше — на плечовій кістці (16,00 %). Для стегнової кістки питома вага становить 28,00 %, передпліччя — 20,00 %.

Лікувальна технологія антеградного кісткового транспорту найчастіше використовувалася за дефектів кісток гомілки — у 85,19 % випадків, найменше в разі переломів кісток передпліччя — 3,70 %. Цей спосіб під час лікування постраждалих із дефектом плечової кістки в статистично значущому обсязі не зустрічався.

Ретроградний кістковий транспорт застосовували лише за дефектів довгих кісток нижньої кінцівки: у 75,00 % — гомілка і у 25,00 % — стегно. На сегментах верхньої кінцівки в статистично значущому обсязі її не проводили.

Такі технології хірургічного лікування, як біфокальне або трифокальне подовження кінцівки, антеградний + ретроградний кістковий транспорт і гостре вкорочення використовувалися лише за дефектів кісток гомілки (100 % за питомою вагою).

Корекція довжини найчастіше застосовувалася за кісткових дефектів дистального відділу нижньої кінцівки — 55,56 %), стегно — у 33,33 і лише у 11,11 % — передпліччя. Тобто ця методика у 88,89 % використовувалася на сегментах нижніх кінцівок.

Кісткова пластика в 25,00 % за питомою вагою використовувалася за дефектів плечової кістки та у 75,00 % у разі великих дефектів гомілки.

Тобто технологія Masquelet є універсальнішою та може проводитися в разі великих дефектів різних сегментів кінцівок, у той час коли більшість інших методик має значно вужчу застосовуваність лише на певних ділянках.

Після проведеного поліхоричного аналізу показників таблиці 3, у постраждалих із дефектами

довгих кісток за ознакою ушкодженого сегмента кінцівки та лікувальною технікою існує позитивний ($\phi^2 = 0,3381$), дуже сильний ($C = 0,5027$) та вірогідний зв'язок ($\chi^2 = 31,11$), а зазначені дані знаходяться в межах поля вірогідності.

Отже, можна визначити, що застосування технологій хірургічного лікування дефектів довгих кісток вірогідно залежить як від ознаки кінцівки «верхня-нижня», так і від ознаки сегмента «дистальний-проксимальний».

Обговорення

Результати цього дослідження вказують на наявність різноманітності технологій, які застосовуються під час оперативного втручання в постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок сучасних бойових ушкоджень. Причому використовуються як сучасні технології типу Masquelet, так і класичні способи типу кісткового транспорту.

Порівняння з даними світової літератури вказує, що за кордоном у разі бойових ушкоджень Masquelet використовується частіше [9, 10]. Проте таке порівняння не можна визнати за коректне внаслідок того, що обсяг і характер уражень кінцівок за сучасних бойових дій в Україні є унікальним, особливо це стосується умов надання медичної допомоги.

Перевагою нашого дослідження є ретельне вивчення застосування технологій, залежно від локалізації кісткових дефектів за сегментами кінцівок. Такі роботи в невеликому обсязі проводилися і за кордоном, проте стосувалися лише конкретних способів хірургічного лікування [11, 12].

У відкритих і доступних огляду й аналізу джерелах наукової інформації нами не знайдено даних про застосування технологій хірургічного

Таблиця 3

Розподіл масиву постраждалих у групах за способом лікування за ознакою ушкодженого сегмента

Технологія	Плече	Передпліччя	Стегно	Гомілка	Загалом
	питома вага (%)				
Masquelet	16,00	20,00	28,00	36,00	100
Антеградний кістковий транспорт	0	3,70	11,11	85,19	100
Ретроградний кістковий транспорт	0	0	25,00	75,00	100,
Антеградний + ретроградний кістковий транспорт	0	0	0	100,00	100
Біфокальне подовження кінцівки	0	0	0	100,00	100
Трифокальне подовження кінцівки	0	0	0	100,00	100
Кісткова пластика	25,00	0	0	75,00	100
Корекція довжини	0	11,11	33,33	55,56	100
Гостре вкорочення	0	0	0	100,00	100

лікування дефектів довгих кісток унаслідок сучасних бойових дій за ознаками сегментів у статистично значущому обсязі [13–15]. Наші дослідження довели, що вибір застосування визначеного способу втручання в разі кісткових дефектів унаслідок бойової травми вірогідно залежить від сегмента ураження. Водночас необхідно зауважити, що лише Masquelet використовували для лікування дефектів усіх сегментів кінцівок. Також встановлено переважне застосування техніки Masquelet за наявності дефектів верхньої кінцівки. Виявлено, що цей спосіб використовували переважно на проксимальних сегментах як верхньої, так і нижньої кінцівок.

Застосування кісткового транспорту практично не відбувалося на проксимальному відділі верхньої кінцівки, а ретроградного — на верхніх кінцівках.

Також для лікуванні дефектів не застосовувалися технології біфокального та трифокального подовження, гострого вкорочення кістки, але відносно широко використовувалася кісткова пластика на проксимальному сегменті верхньої кінцівки. З іншого боку, методом вибору хірургічного лікування дефектів кісток верхньої кінцівки та проксимального сегмента нижньої є Masquelet, а дистального сегмента нижньої — антеградний кістковий транспорт. Варто зауважити, що лише для лікування кісткових дефектів дистального сегмента нижньої кінцівки застосовано всі технології хірургічного втручання. Аналіз відкритих джерел не дозволив вірогідно пояснити ці факти. Тобто це потребує детального ретельного дослідження, результати якого буде повідомлено в наших наступних наукових публікаціях.

Висновки

У лікуванні дефектів довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми технології є різноманітними і включають як новітні, так і класичні підходи.

Технологія Masquelet є найбільш застосованим методом хірургічного лікування постраждалих унаслідок сучасної бойової травми з дефектами довгих кісток верхньої кінцівки та проксимального сегмента нижньої кінцівки, антеградного транспорту — у разі дистального сегмента нижньої кінцівки.

Застосування конкретної технології хірургічного лікування кісткових дефектів унаслідок сучасної бойової травми вірогідно залежить від ознаки сегмента ураження. Для достовірного пояснення цього факту потрібні подальші ретельні дослідження.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях планується провести аналіз застосування конкретної технології хірургічного лікування кісткових дефектів унаслідок сучасної бойової травми, залежно від розміру дефекту.

Інформація про фінансування. Жодної вигоди в будь-якій формі не було і не буде отримано.

Внесок авторів. Гур'єв С. О. — обґрунтування напрямку та мети дослідження, загальне керівництво; Кушнір В. А. — аналіз матеріалів дослідження, формування списку літератури; Гаріян С. В. — написання основного тексту дослідження, висновки; Цибульський О. С. — збір матеріалів дослідження.

Список літератури

1. Trutyak, I., Los, D., Medzyn, V., Trunkvalter, V., & Zukovsky, V. (2022). Treatment of combat surgical trauma of the limbs in the conditions of modern war. Proceeding of the Shevchenko Scientific Society. *Medical sciences*, 69(2). <https://doi.org/10.25040/ntsh2022.02.16>
2. Khomenko, I. P., Korol, S. O., Khalik, S. V., Shapovalov, V. Y., Yenin, R. V., Herasimenko, O. S., & Tertyshnyi, S. V. (2021). Clinical and epidemiological analysis of the structure of combat surgical injury during antiterrorist operation / Joint forces operation. *Ukrainian journal of military medicine*, 2(2), 5–13. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2\(2\)-005](https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2(2)-005)
3. Finco, M. G., Kim, S., Ngo, W., & Menegaz, R. A. (2022). A review of musculoskeletal adaptations in individuals following major lower-limb amputation. *Journal musculoskeletal neuronal interact*. 22(2):269–283.
4. Janak, J., Kotwal, R. S., Howard, J. T., Gurney, J., Eastridge, B. J., Holcomb, J. B., Shackelford, S. A., De Lorenzo, R. A., Stewart, I. J., & Mazuchowski, E. L. (2024). Advancing combat casualty care statistics and other battlefield care metrics. *Journal of special operations medicine*, 24(2), 11. <https://doi.org/10.55460/xbjf-aqpx>
5. Wang, C., Ma, T., Li, Z., Wang, Q., Li, Z., Zhang, K., & Huang, Q. (2023). A modified hybrid transport technique combined with a retrograde tibiototalcalcaneal arthrodesis nail for the management of distal tibial periarticular osteomyelitis and associated defects. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03744-2>
6. Fu, J., Wang, X., Wang, S., Chen, Z., Shen, J., Li, Z., & Xie, Z. (2023). Induced membrane technique combined with a retrograde intramedullary nail for the treatment of infected bone defects of the ankle. *Scientific reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34014-0>
7. Yang, N., Ma, T., Liu, L., Xu, Y., Li, Z., Zhang, K., Wang, Q., & Huang, Q. (2023). Shortening/re-lengthening and nailing versus bone transport for the treatment of segmental femoral bone defects. *Scientific reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40588-6>
8. Buryanov, O., Kvasha, V., Kuprii, V., Sobolevskiy, Y., Chornyi, V., Hliba, H., & Rohozynskiy, V. (2024). Modern technologies for bone defect replacement (Literature review). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 79–88. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024179-88>
9. Gindraux, F., Rondot, T., De Billy, B., Zwetyenga, N., Fricain, J., Pagnon, A., & Obert, L. (2017). Similarities between induced membrane and amniotic membrane: Novelty for bone repair. *Placenta*, 59, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.06.340>
10. Villarreal-Villarreal, G. A., Simental-Mendía, M., Alonso, A. A., Vilchez-Cavazos, F., Acosta-Olivo, C. A., & Peña-Martínez, V. M.

- (2023). Comparison of anterior iliac crest versus proximal tibia autologous bone Graft harvesting: A systematic review and meta-analysis. *The journal of foot and ankle surgery*, 62(2), 388–397. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2022.10.004>
11. Shi, L. L., Garg, R., Jawa, A., Wang, Q., Chai, Y., Zeng, B., & Jupiter, J. B. (2020). BONY hypertrophy in vascularized fibular grafts. *HAND*, 17(1), 106–113. <https://doi.org/10.1177/1558944719895784>
 12. Hamiti, Y., Abudureyimu, P., Lyu, G., Yusufu, A., & Yushan, M. (2024). Trifocal versus Pentafoal bone transport in segmental tibial defects: A matched comparative analysis for posttraumatic osteomyelitis treatment. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07507-w>
 13. Wallace, S. J., & Rozbruch, S. R. (2023). Trifocal tandem tibial bone transport and knee stabilization using the Ilizarov method. *Limb lengthening and reconstruction surgery case atlas*, 1–7. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02767-8_458-1
 14. Carter, J. T., Craft, M., Dabash, S., Thabet, A. M., & Abdelgawad, A. (2021). Bifocal femoral lengthening with intramedullary magnetic lengthening nail following osteotomy propagation. *Journal of limb lengthening & reconstruction*, 7(2), 139–141. https://doi.org/10.4103/jllr.jllr_9_21
 15. Yushan, M., Hamiti, Y., Yalikun, A., Lu, C., & Yusufu, A. (2022). Bifocal femoral lengthening assisted by preoperative 3-dimensional design in the restoration of posttraumatic limb length discrepancy. *BMC Surgery*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12893-022-01697-7>

Стаття надійшла до редакції 14.11.2025	Отримано після рецензування 20.11.2025	Прийнято до друку 04.12.2025
---	---	---------------------------------

APPLICATION OF SURGICAL TECHNOLOGIES FOR THE TREATMENT OF VICTIMS WITH LONG BONE DEFECTS DUE TO MODERN COMBAT TRAUMA

S. Guryev ¹, S. Hariyan ², V. Kushnir ¹, O. Tsybulsky ²

¹ SI «Ukrainian Scientific and Practical Center for Emergency Care and Disaster Medicine of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv

² MI «Ternopil Regional Clinical Hospital». Ukraine

✉ Serhiy Guryev, MD, Prof.: gurevsergej1959@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0191-945X>

✉ Serhiy Hariyan, MD, PhD: drhariyan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-2662-5756>

✉ Vitalii Kushnir, MD, DMSci: kv78@i.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4569-7246>

✉ Oleksandr Tsybulsky: tsybulsky.oleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-5310-3621>

УДК 616.718.5-001.45-018.46-002:617.584-089.844](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025431-38>

Аналіз застосування методики Masquelet при лікуванні критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом

М. П. Грицай¹, Г. Б. Колов¹, А. С. Половий²,
Р. В. Видерко¹, А. С. Гордій¹, В. І. Сабадош¹, А. С. Лисак²

¹ ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

² ДУ «Головний медичний клінічний центр Міністерства внутрішніх справ України», Київ

*Despite significant progress in the development of medicine, post-traumatic osteomyelitis remains one of the biggest problems in the treatment of patients in the orthopedic and traumatology specialty. The Masquelet technique has been most often used in the treatment of chronic osteomyelitis in recent years. Given the high relevance of this problem in foreign and domestic literature, we decided to analyze our own results of treatment of patients after gunshot, shrapnel or mine-explosive wounds of the lower extremities, namely with the presence of critical tibial defects complicated by osteomyelitis under the conditions of using the Masquelet technique. Purpose. To analyze the results of application and determine the clinical and laboratory dependencies of the Masquelet technique in the case of replacement of critical tibial defects after gunshot wounds complicated by osteomyelitis. Methods. The study analyzed 153 patients with critical tibial defects after gunshot wounds complicated by osteomyelitis. Results. With the correct use of the Masquelet technology, bone graft reconstruction was achieved in all patients, the average period was (168.08 ± 62.0) days. Among the shortcomings, it is worth noting the significant dependence of the consolidation period on the condition of the soft tissues, as well as on the pathological pathogen (the presence of *Klebsiella pneumoniae* or *Pseudomonas aureginos* in the wound). The terms of consolidation and reconstruction of the bone graft were significantly extended due to these factors. However, the issue of replacing critical bone defects of the tibia after gunshot wounds complicated by osteomyelitis requires further study and comparison of existing techniques. Keywords. Tibia, Masquelet, osteomyelitis, critical bone defect, infection.*

*Незважаючи на значний прогрес у розвитку медицини, посттравматичний остеомієліт залишається однією з найбільших проблем під час лікування пацієнтів в ортопедо-травматологічній спеціальності. Методика Masquelet в останні роки найчастіше використовується під час лікування хронічного остеомієліту. Зважаючи на високу актуальність цієї проблеми в закордонній та вітчизняній літературі, ми вирішили провести аналіз власних результатів лікування пацієнтів після вогнепальних, осколкових чи мінно-вибухових поранень нижніх кінцівок, а саме з наявністю критичних дефектів великогомілкової кістки, ускладнених остеомієлітом за умов використання методики Masquelet. Мета. Проаналізувати результати застосування та визначити клініко-лабораторні залежності Masquelet-техніки у разі заміщення критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень ускладнених остеомієлітом. Методи. У дослідженні проаналізовано 153 пацієнти з критичними дефектами великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом. Результати. За правильного використання технології Masquelet перебудови кісткового трансплантата вдалось досягнути у всіх пацієнтів, середній термін складав $(168,08 \pm 62,0)$ днів. Серед недоліків варто зауважити значну залежність термінів консолідації від стану м'яких тканин, а також від патологічного збудника (присутність у рані *Klebsiella pneumoniae* або *Pseudomonas aureginos*). Терміни консолідації та перебудови кісткового трансплантата значно подовжувались через ці фактори. Проте питання заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом, потребує подальшого вивчення та порівняння існуючих методик.*

Ключові слова. Великоомілкова кістка, Masquelet, остеомієліт, критичний кістковий дефект, інфекція

Вступ

Незважаючи на значний прогрес у розвитку медицини, посттравматичний остеомієліт залишається однією з найбільших проблем під час лікування пацієнтів в ортопедо-травматологічній спеціальності. Особливо гостро стало питання лікування хворих з остеомієлітом після початку повномасштабних військових дій на території України. Кількість постраждалих із критичними кістковими дефектами значно збільшилась. Відповідно, застосування різних технік для їхнього заміщення набуло ще більшої актуальності. Серед них: транспорт за Ілізаровим, техніка Masquelet, перенесення малоомілкової кістки й індивідуальні титанові 3Д-імпланти.

Щодо аналізу методик лікування поранених із критичними дефектами кісток у разі сучасних бойових дій, публікації поодинокі, а з узагальненнями, прогнозами й аналізом узагалі обмаль. У мультицентровому дослідженні ускладнень після вогнепальних поранень серед цивільного населення в США, інфекційні ускладнення виникали у 9,3 % пацієнтів. [1] Згідно з даними відділу статистики Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» із лютого 2022 по червень 2023 року вогнепальні переломи з дефектами кісткової тканини склали 76 % серед усіх випадків (кісткові дефекти більше 6 см — 25 %), остеомієліт зареєстрований у 14 % [2–4].

Значне збільшення кількості хворих на остеомієліт, асоційований із дефектами кісток гомілки, призвело до того, що лікарі почали впроваджувати не лише нові методи лікування, але й набувати досвіду в методиках, які давно використовуються в спеціалізованих центрах. Техніка Ілізарова знов стала актуальною та поширеною і на сьогодні в багатьох випадках є безальтернативним способом лікування. Методика Masquelet в останні роки є однією з найчастіше застосовуваних процедур під час лікування хронічного остеомієліту [1]. Вона складається з двох хірургічних етапів: на першому, після проведення секвестрнекректомії, дефект кістки заповнюється кістковим цементом, який попередньо насичений антибіотиком для забезпечення місцевого протимікробного впливу та сприяє формуванню реактивної мембрани «стороннього тіла» протягом 6–8 тижнів; на другому, після контролю інфекції, спейсер видаляється і проводиться реконструкція кістки шляхом кісткової пластики відповідного дефекту.

Зважаючи на високу актуальність цієї проблеми в закордонній та вітчизняній літературі, ми вирішили провести аналіз власних результатів лікування пацієнтів після вогнепальних, осколкових чи мінно-вибухових поранень нижніх кінцівок, а саме з наявністю критичних дефектів великогомілкової кістки, ускладнених остеомієлітом, за використання методики Masquelet.

Мета: проаналізувати результати використання та визначити клініко-лабораторні залежності методики Masquelet під час заміщення критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом.

Матеріал і методи

У період із 2014 по 2025 р. у відділенні кістково-гнійної хірургії ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» проліковано 153 пацієнти з критичними дефектами великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом. Дослідження схвалене комітетом із біоетики (протокол № 6 від 14.07.2025 р.) відповідної установи згідно з Гельсінською декларацією прав людини та біомедицини, а також чинним законодавством України. Усі залучені пацієнти підписали інформовану згоду.

Критеріями включення до нашого дослідження стали:

- 1) поранення нижньої кінцівки внаслідок бойових дій: кульове, осколкове або мінно-вибухове;
- 2) критичний дефект великогомілкової кістки. За критичний дефект прийнято сегментарний дефект кістки, що більш ніж у 2 рази перевищує її діаметр, отже розглянуто випадки з мінімальним сегментарним дефектом у 4 см;
- 3) наявність остеомієліту великогомілкової кістки, підтвердженого клінічними, рентгенологічними та мікробіологічними дослідженнями;
- 4) випадки, де застосована методика Masquelet з метою заміщення критичного дефекту великогомілкової кістки.

Критеріями виключення були:

- 1) інші, окрім бойової, травми нижньої кінцівки, що призвели до утворення критичних дефектів великогомілкової кістки;
- 2) відсутність клініко-лабораторного підтвердження остеомієлітичного процесу в пацієнта;
- 3) порушення техніки виконання Masquelet на різних етапах лікування;
- 4) незавершені випадки лікування або неможливість відслідкувати віддалені результати.

Після застосування критеріїв включення та виключення нами сформовано групу, яка складається з 39 пацієнтів (37 чоловіків, 2 жінки), середній вік — $(39,28 \pm 10,16)$ років (від 19 до 65), ретроспективний аналіз результатів лікування якої був здійснений. Середня давність травми у хворих складала $(215,95 \pm 114,83)$ днів (від 50 до 480). До госпіталізації у відділення пацієнтам проведено від 2 до 17 хірургічних втручань.

Усі особи прооперовані відповідно до методики Masquelet, технологія якої полягає в наступному: метою першого етапу втручання є створення біологічного середовища, вільного від некрозу або інфікованої тканини шляхом повного видалення всіх нежиттєздатних кісткових і м'яких тканин. Неналежна санація негативно впливає на якість сформованої мембрани і підвищує ризик інфекційних ускладнень. Видалення склерозованої кістки досягається, коли отримана адекватна кісткова кровоточивість, що забезпечує життєздатність решти кістки та розпізнається клінічно за наявності точкової кровоточивості всередині медулярного каналу («симптом паприки», у вітчизняній літературі ознака «кров'яної роси»). Після належної обробки, поліметилметакрилат (ПММА) імплантують у дефект. Цементний спейсер повинен входити приблизно на сантиметр в інтрамедулярний канал і виступати по колу над кірковим шаром проксимального та дистального фрагментів, щоб охопити оголені кінці кісток приблизно на 2 см, подібно до морфології капсули суглоба. Під час полімеризації спейсера виникає екзотермічна реакція, через що спейсер слід огороджувати мокрою губкою чи серветкою, для уникнення теплового некрозу навколишніх тканин. Часто до порошку спеціалізованого кісткового цементу додають антибіотики для підвищення відсотка ерадикації інфекції в зоні хірургічного втручання. Спейсери з ПММА, наповнені відносно низькими концентраціями ванкоміцину (1–4 г на одну дозу цементу), не перешкоджають проліферативній, остеогенній та ангіогенній здатності індукованих мембран і навіть підвищують їх. У той самий час, спейсери, насичені відносно високою концентрацією ванкоміцину (6–10 г на одну дозу цементу), мали негативний вплив на життєздатність і проліферацію остеобластів, ангіогенез [5]. Після завершення першої операції необхідний певний період часу, щоб викликати місцевий каскад реакції на чужорідне тіло в утворення аутологічної «індукованої» стороннім тілом мембрани навколо спейсера з ПММА [6].

Виявлено, що остеогенна здатність мембрани досягає максимуму, а потім зменшується: експресія СЕФР (судинний ендотеліальний фактор росту) різко знижується через місяць, тоді як експресія КМБ-2 (кістковий морфогенетичний білок-2) досягає піку через 4–6 тижнів. Ці дані вказують на те, що ідеальний час для виконання другого етапу становить від 4 до 6 тижнів після першого етапу. Проте через різноманітність травм у клінічних умовах не завжди можна передбачити час наступного етапу, оскільки загоєння рани вважається необхідною умовою для його виконання. Порушене середовище м'яких тканин також може затримувати формування мембрани з неможливістю переходу до завершальної операції. Проте клінічно визнаний консенсус полягає в тому, що 4–8 тижнів є ідеальним часом для очікування між двома етапами процедури [7]. Слід відмітити роль стабільності у фіксації кісткових уламків на першому етапі оперативного втручання. Утворення мембрани можливе лише за умови досягнення абсолютної стабільності, а також є ключовим фактором в ерадикації інфекції, оскільки нестабільний цементний спейсер через травматизацію м'яких тканин може спричинити рецидив інфекційного процесу.

На другому хірургічному етапі мембрану ідентифікують і обережно надрізають, забезпечуючи доступ поздовжнім розрізом, щоб уникнути порушення її васкуляризації. Цементний спейсер видаляється частинами за допомогою остеотомів, щоб уникнути пошкодження мембрани. Після чого проводять забір спонгіозного ауто трансплантата й імплантують його всередину мембрани для заповнення дефекту. Кістковий трансплантат має бути щільно упакований, а мембрана закрита над трансплантатом швом. На другому етапі для стабілізації використовується остаточна фіксація кісткових фрагментів, бо жорстке кріплення сприяє васкуляризації трансплантата, а за умов нестабільного відсоток незрощень і лізису трансплантата збільшується [8].

Якщо кісткового аутогенного трансплантата недостатньо для заповнення дефектів, можна додати алогенні кісткові трансплантати або синтетичні сполуки (частинки трикальційфосфату, біоскло й ін.) для збільшення об'єму. Ідеальне співвідношення між аутогенними й алогенними кістковими трансплантатами все ще залишається предметом суперечок. Проте загалом оптимальним вважається 70 % аутогенної кістки і 30 розширювачів об'єму (алогенні кісткові трансплантати, синтетичні, тощо) [9]. Слід урахувати, що

зі збільшенням кількості так званих розширювачів об'єму зростає і відсоток незрощень та рецидивів інфекції.

Усім пацієнтам із нашої вибірки проведено реконструкцію критичних кісткових дефектів згідно з принципами методики, описаної вище. Усі хворі проходили огляди з рентгенологічним контролем консолідації кісткового трансплантата через 6–8 тижнів, 3 та 6 міс., у подальшому раз на 3 міс. із моменту другого етапу втручання. Зрощення підтверджено клінічно (відсутність больового синдрому за осьового навантаження) та рентгенологічно (наявність ознак консолідації кісткового трансплантата). Середня тривалість консолідації кісткового трансплантата в разі заміщення критичного дефекту великогомілкової кістки складала ($168,08 \pm 62,0$) днів (від 100 до 370). Але водночас ми відмітили знижену щільність кістки, яка утворилась, що спостерігається від 1 до 4 років після закінчення лікування. Тому обмеження у фізичних навантаженнях залишається на тривалий час, як відповідно і заборона планового видалення фіксаторів з ураженого сегмента в пацієнтів із критичними кістковими дефектами.

Результати

Залежно від збудника інфекційного процесу в ділянці кісткового дефекту, який був виявлений під час мікробіологічного дослідження, пацієнти були розподілені на наступні групи: *Klebsiella pneumoniae* — 7 (17,95 %), *Pseudomonas aureginosa* — 7 (17,95 %), *Staphylococcus aureus* — 18 (46,15 %), *Acinetobacter spp.* — 2 (5,13 %), *Escherichia coli* — 4 (10,26 %), та *Proteus mirabilis* у 1 хворого (2,56 %) (рис. 1).

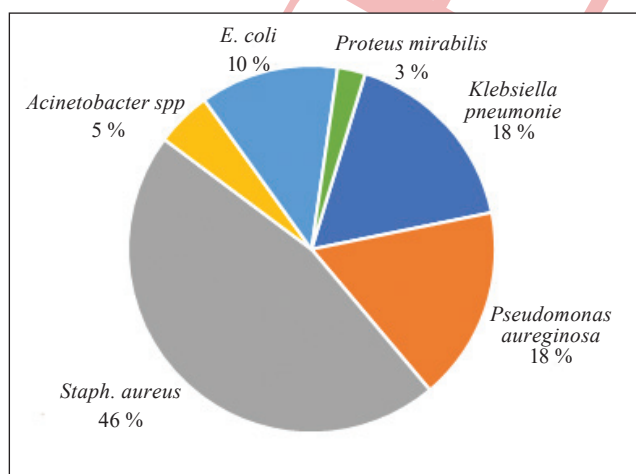


Рис. 1. Розподіл групи хворих за збудниками патологічного процесу

Класифікація кісткових дефектів

D1 — неповний дефект (задіяні максимум три з чотирьох кіркових шарів):

- А) до 25 % втрати кіркового шару;
- В) втрата кіркового шару кістки від 25 до < 75 %;
- С) > 75 до 99 % втрати кіркового шару.

D2 — субкритичний дефект до 2 см (розрізняють за формою кінців кісткових уламків):

- А) два косих кінця кісткових уламків;
- В) один косий, інший поперечний кінець;
- С) два поперечних кінця уламків, тобто сегментарний дефект.

D3 — сегментарний дефект критичного розміру (> 2 см)

- А) від 2 < 4 см;
- В) від 4 < 8 см;
- С) ≥ 8 см.

Згідно з класифікацією дефектів кісток, яка розроблена асоціацією ортопедичної травми в 2021 році, виявлено, що всі пацієнти в нашому дослідженні належали до D3В та D3С групи [10]. Не зважаючи на те, що в класифікації група D3А відноситься до критичних, у нашій практиці ми оптимізували цю класифікацію, оскільки дефекти до 3–4 см можливо вилікувати одноетапно та в більшості випадків вони не потребують багатоетапного хірургічного втручання, а також не відповідають визначенню критичного кісткового дефекту (сегментарний дефект, що в 2–2,5 рази перевищує діаметр ушкодженої кістки) [11].

Залежно від розмірів критичного кісткового дефекту великогомілкової кістки пацієнти були розділені на наступні групи: дефект від 4 до 6 см — 18 пацієнтів (46,15 %), від 6 до 9 см — 13 (33,33 %) та 9 см і більше — 8 випадків (20,51 %).

Ми також провели аналіз характеру ушкодження м'яких тканин гомілки в цих пацієнтів, зокрема нами визначено наявність дефекту шкірних покривів, ураження м'язів гомілки, а також судинно-нервові порушення. Таким чином, задовільний стан шкірних покривів був у 24 осіб (61,54 %), значна рубцева трансформація — у 7 (17,95 %), а дефект, який потребував попереднього ортопластичного заміщення — у 8 випадках (20,51 %).

Ушкодження магістральних судин гомілки та відповідна перебудова кровообігу за колатеральним типом відзначалась у 12 пацієнтів (30,77 %). У 5 випадках (12,82 %) діагностовано ушкодження малогомілкового, а у 2 (5,13 %) — великогомілкового нервів. Ішемічна контрактура скелетних м'язів гомілки відмічалась у 17 хворих (43,59 %),

у той самий час дефект м'язової тканини діагностовано у 5 пацієнтів (12,82 %).

Під час дослідження кореляційних зв'язків було встановлено помірну зворотну залежність ($\rho = -0,26$) між тривалістю зрощення і давністю травми, тобто за більш раннього застосування Masquelet — зрощення відбувалося пізніше. Відмічено помірну пряму кореляційну залежність ($\rho = 0,36$) між тривалістю зрощення та кількістю хірургічних втручань до застосування Masquelet — за більшої кількості втручань, що передували першій операції зрощення відбувалося швидше. Також спостерігалась сильна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,8$) між тривалістю зрощення та розміром дефекту: великий — повільніше, перебудова трансплантата теж займала більший проміжок часу. Давність травми обумовлювала значну кількість хірургічних втручань, що свідчить про помірну зворотну кореляційну залежність ($\rho = -0,23$). Також встановлено, що за більшої кількості втручань, які передували Masquelet-техніці (розмір дефекту більший) існує помірна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,34$) між кількістю операцій до застосування техніки Masquelet і розміром дефекту кістки.

У дослідженні також простежували відповідні кореляційні зв'язки між термінами консолідації кісткового трансплантата й ураженням м'яких тканин: помірна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,36$) між тривалістю зрощення та наявністю дефекту шкірних покривів та/або м'язів; ушкодження магістральних артерій (за наявності хоча б одного з перелічених чинників) — зрощення відбувалось повільніше. Також відмічено помірну зворотню кореляційну залежність ($\rho = -0,41$) між тривалістю зрощення та збереженням іннервації кінцівки (під час ушкодження малогомілкового та великогомілкового нервів) — відбувалось повільніше.

Виявили помірну пряму кореляційну залежність між кількістю оперативних втручань і ушкодженням магістральних артерій ($\rho = 0,39$) та дефектом м'язової тканини ($\rho = 0,25$). Ураження магістральних артерій супроводжувалось значною ішемією оточуючих м'яких тканин, що вимагало більшої кількості втручань — дебридментів, як і за дефектів м'язової тканини. Рецидиви інфекційного процесу в нашому дослідженні спостерігались у 6 пацієнтів (15,4 %), що потребувало проведення додаткових оперативних втручань — повторної санації та респейсерування. Після другого етапу лікування критичний лізіс трансплантата, який потребував повторної кісткової пластики, зафіксовано в 3 хворих (7,7 %).

Із приводу розміру кісткових дефектів авторами було відмічено наступне: спостерігалась помірна пряма кореляційна залежність між цією характеристикою та наявністю ураження шкірних покривів, ушкодженням магістральних артерій, м'язів і нервів — у разі їхнього великого обсягу вони поєднувались із дефектами шкірних покривів ($\rho = 0,38$), із травмою магістральних артерій ($\rho = 0,25$), м'язів ($\rho = 0,55$) та нервів гомілки ($\rho = 0,55$).

Визначаючи залежності між різними патологічними збудниками та тривалістю консолідації кісткового трансплантата, а також ураженням тканин гомілки, було встановлено: помірну пряму кореляційну залежність між тривалістю зрощення та збудником, який виявлено під час бактеріологічного дослідження: за наявності *Klebsiella pneumoniae* ($\rho = 0,26$) та *Pseudomonas aureginosa* ($\rho = 0,25$) — повільно; а також помірну зворотню кореляційну залежність ($\rho = -0,24$) між тривалістю зрощення та виявленням *Staphylococcus aureus* — швидко.

У разі *Klebsiella pneumoniae* спостерігали помірну пряму кореляційну залежність між дефектом кісткової тканини ($\rho = 0,36$), шкірних покривів ($\rho = 0,26$), та м'язової тканини ($\rho = 0,42$). Також було відмічено помірну пряму кореляційну залежність ($\rho = 0,40$) між більшою кількістю хірургічних втручань до операції за Masquelet за умов виявлення *Pseudomonas aureginosa* в бактеріологічному дослідженні.

Оскільки *Staphylococcus aureus* найпоширеніший збудник серед всієї групи та складає 46 %, його наявність нами було прийнято за контрольну для порівняння термінів консолідації кісткового трансплантата.

У дослідженні встановлено достовірну ($p < 0,05$) різницю між тривалістю консолідації в групах пацієнтів у яких під час мікробіологічного аналізу виявили *Klebsiella pneumoniae* чи *Pseudomonas aureginosa* та *Staphylococcus aureus*, із більш тривалими термінами консолідації в групі *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa*. Водночас достовірної різниці тривалості консолідації між групами хворих, у яких діагностували *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa* не було ($p = 0,45$). Також не зафіксовано достовірної різниці в тривалості консолідації між групами пацієнтів, у яких виявили *Staphylococcus aureus* та інші збудники (окрім *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa*).

Наведемо приклади з контрольними рентгенограмами одразу після оперативних втручань

двоетапної процедури за методикою Masquelet та через 9 міс. після другого етапу (рис. 2–4).

Обговорення

Зважаючи на наявність кореляційної залежності між тривалістю зрощення, давністю травми та кількістю хірургічних втручань, які були проведені до операції за Masquelet, можна стверджувати, що ця технологія передбачає радикальний хірургічний дебридмент. Адже саме якісне виконання санації під час першого етапу лікування є ключем до успіху використання цієї методики, особливо за агресивної антибіотикорезистентної мікрофлори.

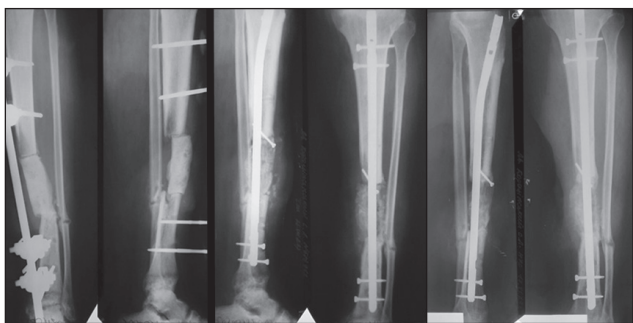


Рис. 2. Клінічний випадок № 1. Пацієнт К, 35 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 9 см



Рис. 3. Клінічний випадок № 2. Пацієнт В, 42 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 5 см

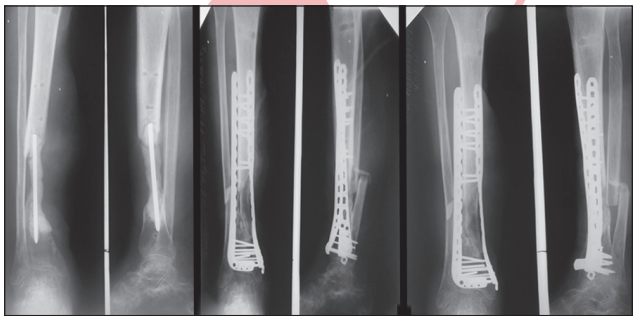


Рис. 4. Клінічний випадок № 3. Пацієнт Н, 29 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 7 см

G. D. Chloros і співавт. стверджують, що в разі випадку інфікування радикальна санація кістки є життєво важливою, а цементний спейсер допомагає створити та підтримувати асептичне середовище до другого етапу лікування [12].

Також ключове значення має наявність ушкодження магістральних артерій і ступінь трофічних порушень, які супроводжуються більшою ішемією оточуючих м'яких тканин і ставлять під сумнів життєздатність певних її структур, що в результаті вимагає більшої кількості втручань (дебридментів і пластики зі заміщенням дефекту м'яких тканин) для повного очищення рани від патологічно змінених тканин та, як наслідок, елімінації інфекційного процесу та загоєння м'яких тканин.

Тобто, якщо порівнювати з транспортом кістки за Ілізаровим, де одномоментна санація не є критичною, то видалення усіх нежиттєздатних тканин, патологічних грануляцій та секвестрованих уламків кісток є обов'язковим на етапі санації під час застосування технології Masquelet. Проведення якісного дебридменту дозволяє зменшити кількість оперативних втручань та час лікування пацієнтів із критичними кістковими дефектами.

Ключем для успішного виконання другого етапу й отримання позитивного результату є створення «мембрани стороннього тіла» навколо цементантибіотикового спейсера. Адекватне утворення мембрани можливе виключно за умов ремісії інфекційного процесу, що забезпечується першим етапом лікування.

Техніка Masquelet вимагає хорошого стану шкіри навколо ділянки кісткового дефекту [13]. Т. Dugan та співавт. наголошують, що реконструкцію кістки можна виконувати лише після повного загоєння будь-якого ушкодження м'яких тканин [14]. Адже за наявності дефекту шкіри чи/або м'язів, ураженні магістральних артерій, мало-гомілкового та великогомілкового нервів зрощення відбувалось значно повільніше. За наявності шкірних і м'язових дефектів варто розглянути варіанти їх заміщення або обрати іншу методику лікування.

Окремою проблемою є мультирезистентна флора, яка потребує особливого підходу до лікування. Наведені дані також дають нам можливість припустити, що поліструктурні поранення зі значними дефектами тканин частіше поєднувались із виявленням такого збудника як *Klebsiella pneumoniae*. Наявність його та *Pseudomonas aureginosa* в рані порушує процеси репаративного остеогенезу, що проявляється

у вигляді тривалішого зрощення за використання технології Masquelet. Крім того, у разі виявлення *Pseudomonas aureginosa* для ерадикації збудника виникає потреба в більшій кількості хірургічних втручань, що спричинює зростання концентрації антибіотиків у цементних спейсерах на підготовчих етапах.

Висновки

У нашому ретроспективному дослідженні методика Masquelet продемонструвала себе як надійний метод заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень ускладнених остеомієлітом. За правильного використання технології — перебування кісткового трансплантата вдалось досягнути у всіх пацієнтів, середній термін загоєння складав $(168,08 \pm 62,0)$ днів. Щільність регенерату, за нашими спостереженнями, досягає аналогічного здоровій кістці мінімум за рік після другого етапу лікування, проте в деяких випадках локальний остеопороз може спостерігатись ще кілька років.

Перевагами методу є його ефективність, яка не залежить від комплаєнсу з пацієнтом, що до прикладу є неможливим за використання методики Ілізарова; та досягнення консолідації навіть за надвеликих дефектів великогомілкової кістки, що перевищують 9 см.

Серед недоліків варто зауважити значну залежність термінів консолідації від стану м'яких тканин, бо за наявності дефектів шкірних покривів, м'язів і судинно-нервових пучків вони значно подовжувались. Також терміни обумовлюються наявністю в рані патологічного збудника. *Klebsiella pneumoniae* або *Pseudomonas aureginosa* достовірно ($p < 0,05$) збільшують терміни консолідації та перебудови кісткового трансплантата.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Питання заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом, потребує подальшого вивчення та порівняння існуючих методик. Основним недоліком нашої роботи був її ретроспективний характер, що обмежувало більш детальне обстеження пацієнтів на етапах лікування. У подальшому потрібно проведення проспективних досліджень.

Інформація про фінансування. Автори заявляють про відсутність фінансової підтримки під час отримання результатів і написання цієї статті.

Внесок авторів. Грицай М. П. — концептуалізація, методологія, планування дослідження; Колов Г. Б. — загальне редагування, контроль достовірності, остаточне узгодження; Половий А. С. — збір даних, написання оригінального тексту статті; Видерко Р. В. — підготовка ілюстрацій; Гордій А. С. — доповнення матеріалів; Сабаш В. І. — підготовка ілюстрацій, доповнення матеріалів,

Лисак А. С. — аналіз даних, формальний (статистичний) аналіз, інтерпретація результатів.

Список літератури

1. Zhang, H., Zhao, X., Yang, X., Zhang, X., Chen, X., Zhou, T., Xu, X., Song, M., Luo, S., Xie, Z., Xu, Y., & Shi, J. (2023). Comparison of internal and external fixation after debridement in the Masquelet technique for Cierny-Mader type IV tibial post-traumatic osteomyelitis. *Injury*, 54(2), 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.11.030>
2. Kazmirschuk, A., Yarmoliuk, Y., Lurin, I., Gybalo, R., Burianov, O., Derkach, S., & Karpenko, K. (2022). Ukraine's Experience with Management of Combat Casualties Using NATO's Four-Tier "Changing as Needed" Healthcare System. *World journal of surgery*, 46(12), 2858–2862. <https://doi.org/10.1007/s00268-022-06718-3>
3. Burianov, O., Yarmoliuk, Y., Derkach, S., Gritsai, M., Klapchuk, Y., Los, D., Omelchenko, T., & Kolov, G. (2023). Criteria for predicting risks in the case of replacing an external fixator with an internal fixator during the treatment of gunshot fractures of the extremities. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 5–9. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202315-9>
4. Lurin, I., Burianov, O., Yarmoliuk, Y., Klapchuk, Y., Derkach, S., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2024). Management of severe defects of humerus in combat patients injured in Russo-Ukrainian war. *Injury*, 55(2), 111280. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111280>
5. Xie, J., Wang, W., Fan, X., Li, H., Wang, H., Liao, R., Hu, Y., & Zeng, M. (2022). Masquelet technique: Effects of vancomycin concentration on quality of the induced membrane. *Injury*, 53(3), 868–877. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.11.003>
6. Gouron R. (2016). Surgical technique and indications of the induced membrane procedure in children. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 102(1 Suppl), S133–S139. <https://doi.org/10.1016/j.otrsr.2015.06.027>
7. Ahmed, H., Shakshak, M., & Trompeter, A. (2025). A review of the Masquelet technique in the treatment of lower limb critical-size bone defects. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 107(6), 383–389. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2023.0022>
8. Wang, P., Wu, Y., Rui, Y., Wang, J., Liu, J., & Ma, Y. (2021). Masquelet technique for reconstructing bone defects in open lower limb fracture: Analysis of the relationship between bone defect and bone graft. *Injury*, 52(4), 988–995. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.12.009>
9. Alford, A. I., Nicolaou, D., Hake, M., & McBride-Gagyi, S. (2021). Masquelet's induced membrane technique: Review of current concepts and future directions. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 39(4), 707–718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
10. Tetsworth, K. D., Burnand, H. G., Hohmann, E., & Glatt, V. (2021). Classification of Bone Defects: An Extension of the Orthopaedic Trauma Association Open Fracture Classification. *Journal of orthopaedic trauma*, 35(2), 71–76. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001896>
11. Tennyson, M., Krzak, A. M., Krkovic, M., & Abdulkarim, A. (2021). Cambridge Protocol for Management of Segmental Bone Loss. *Journal of orthopaedic case reports*, 11(1), 45–50. <https://doi.org/10.13107/jocr.2021.v11.i01.1958>
12. Chloros, G. D., Kanakaris, N. K., Harwood, P. J., & Giannoudis, P. V. (2022). Induced membrane technique for acute bone loss and nonunion management of the tibia. *OTA international : the open access journal of orthopaedic trauma*, 5(2 Suppl), e170. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000170>
13. Wang, Z., Zou, C., Zhan, X., Li, X., Ghen, G., & Gao, J. (2024). Application of double plate fixation combined with Masquelet

technique for large segmental bone defects of distal tibia: a retrospective study and literature review. *BMC surgery*, 24(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02396-1>

14. Dugan, T. R., Hubert, M. G., Siska, P. A., Pape, H. C., &

Tarkin, I. S. (2013). Open supracondylar femur fractures with bone loss in the polytraumatized patient — Timing is everything!. *Injury*, 44(12), 1826–1831. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.03.018>

Стаття надійшла до редакції 07.08.2025	Отримано після рецензування 31.10.2025	Прийнято до друку 14.11.2025
---	---	---------------------------------

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE MASCLÉ TECHNIQUE IN THE TREATMENT OF CRITICAL TIBIAL DEFECTS AFTER GUNSHOT WOUNDS COMPLICATED BY OSTEOMYELITIS

M. P. Gritsai ¹, G. B. Kolov ¹, A. S. Polovyi ², R. V. Viderko ¹, A. S. Gordi ¹, V. I. Sabadosh ¹, A. S. Lysak ²

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

² SI «Main Medical Clinical Centre of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine», Kyiv

✉ Mykola Gritsai, MD, Prof.: mgrytsai02@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1608-7879>

✉ Gennadii Kolov, MD, DMSci: Gennadiikolob@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4191-1997>

✉ Andrii Polovyi: andru.polovoy@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0007-9849-8968>

✉ Roman Viderko, PhD: doc471400@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3427-8700>

✉ Andrii Gordi: asgordiy@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5909-3297>

✉ Vasyl Sabadosh: sabadoshv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3214-3298>

✉ Andrii Lysak, PhD: dr.andrew.lysak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9042-8884>

УДК 616.72-002-085.276-092.9(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025439-45>

Біомеханічне дослідження комбінованої системи фіксації стегнової кістки в разі вогнепального перелому

І. А. Лурін ^{1,2}, О. А. Бур'янов ³, Ю. О. Ярмолюк ^{3,4}, Б. В. Матвійчук ^{3,5}

¹ Національна академія медичних наук України, Київ

² ДНУ «Центр інноваційних технологій охорони здоров'я» Державного управління справами, Київ. Україна

³ Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, Київ. Україна

⁴ Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь», Київ. Україна

⁵ Військово-медичний клінічний лікувально-реабілітаційний центр, Ірпінь. Україна

Gunshot injuries of the femur in combat settings are associated with high-energy trauma and unstable diaphyseal fractures (81.4 %), which require fixation methods with increased demands for mechanical rigidity. Objective. To investigate the stress-strain state of a computer model of the femur with a comminuted fracture fixed with an intramedullary spacer and an external fixation device using pins of 5 mm and 6 mm in diameter. Methods. A three-dimensional model of a diaphyseal comminuted femoral fracture and two models of combined fixation («external fixator + intramedullary spacer») with four pins of 5 mm and 6 mm diameter were created. Biomechanical analysis was performed using the finite element method. The evaluated parameters included displacement, stress, and strain under a static load of 400 N. Results. Numerical analysis of the stress-strain state demonstrated that both studied constructs with 5-mm and 6-mm pins provide sufficient fixation stiffness. Increasing the pin diameter to 6 mm resulted in reduced maximal displacements and peak stresses, indicating a biomechanical advantage of the «bone – intramedullary spacer + external fixator with 6-mm pins» system. Conclusions. The conducted numerical stress-strain analysis showed that despite adequate stability provided by both fixation systems, the «bone + intramedullary spacer + external fixator with 6-mm pins» construct has a biomechanical advantage over the construct with 5-mm pins in terms of maximal displacement, stress, and strain values. Keywords. Gunshot fracture, femur, external fixation device, intramedullary spacer, finite element method, biomechanical modeling.

Вогнепальні ушкодження стегнової кістки в умовах бойових дій характеризуються високоенергетичними травмами та нестабільними діафізарними переломами (81,4 %), які потребують методів фіксації з підвищеними вимогами до механічної жорсткості. Мета. Дослідити напружено-деформований стан комп'ютерної моделі стегнової кістки з багатоуламковим переломом, фіксованої інтрамедулярним спейсером і апаратом зовнішньої фіксації зі стрижнями діаметрами 5 та 6 мм. Методи. Створено тривимірну модель діафізарного багатоуламкового перелому стегнової кістки та дві моделі комбінованої фіксації «АЗФ + інтрамедулярний спейсер» із використанням чотирьох стрижнів діаметрами 5 та 6 мм. Біомеханічний аналіз виконано методом скінченних елементів. Оцінювали показники напружено-деформованого стану — переміщення, напруження та деформація — за умов прикладання статичної сили 400 Н. Результати. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану показав, що обидві досліджувані конструкції зі стрижнями параметрами 5 і 6 мм забезпечують достатню жорсткість фіксації. Збільшення діаметрів стрижнів до 6 мм супроводжується зниженням максимальних переміщень і пікових напружень, що свідчить про біомеханічну перевагу системи «кістка + інтрамедулярний спейсер + АЗФ зі стрижнями діаметром 6 мм». Висновки. Проведений чисельний аналіз напружено-деформованого стану продемонстрував, що попри достатню стабільність обох систем фіксації стегнової кістки, «кістка + інтрамедулярний спейсер + АЗФ зі стрижнями діаметром 6 мм» має біомеханічну перевагу над системою «кістка + інтрамедулярний спейсер + АЗФ зі стрижнями 5 мм» за показниками максимальних переміщень, напружень і деформацій.

Ключові слова. Вогнепальний перелом, стегнова кістка, апарат зовнішньої фіксації, інтрамедулярний спейсер, метод скінченних елементів, біомеханічне моделювання

Вступ

Вогнепальні поранення кінцівок становлять 62,6–70,0 % у структурі сучасної бойової хірургічної травми, значна частина з них припадає на нижні кінцівки [1, 2]. Частка вогнепальних ушкоджень стегна досягає 13,6–28,3 %, а переломи стегнової кістки складають 7,0–22,3 % серед усіх поранень [2, 3]. Їхній тяжкий характер, зумовлений дією високої кінетичної енергії вражаючого елемента, призводить до формування великих кісткових дефектів, чималої кількості уламків і значного руйнування м'яких тканин [3, 4]. Діафізарні ураження становлять 81,4 % [5]. У 79,5 % поранених виявляють дефекти кісткової тканини [1, 6], а у 84,5 % — розвивається травматичний шок, який додатково утруднює тактику лікування та підвищує ризики ранніх ускладнень [2, 7].

Традиційні методи фіксації не завжди забезпечують необхідну стабільність у разі великих кісткових дефектів і багатоуламкових ушкоджень. У таких ситуаціях виникає потреба в комбінованих способах технології консолідації, зокрема в поєднанні апарата зовнішньої фіксації (АЗФ) з інтрамедулярними конструкціями й антибактеріальними цементними спейсерами [8, 9]. Оптимальні конфігурації цих систем, їхня жорсткість, стійкість до навантаження та здатність забезпечувати контрольоване положення уламків залишаються невизначеними, а наявні клінічні дані — розрізненими й обмеженими.

Через це все більшого значення набувають біомеханічні дослідження, які дають змогу створювати моделі тяжких вогнепальних ушкоджень, оцінювати різні варіанти комбінованої фіксації й аналізувати їхню поведінку під навантаженнями. Результати таких експериментів є важливими для практичної медицини, оскільки дозволяють зменшити ризики вторинних зміщень, нестабільності конструкцій, локальних перевантажень і розвитку інфекційних ускладнень, а також сприяють оптимізації хірургічної тактики в разі вогнепальних переломів.

У публікації [8] авторами доведено біомеханічну перевагу системи АЗФ із 6 стрижнями діаметром 5 мм та інтрамедулярним спейсером (ІМС) над конструкцією з фіксацією виключно АЗФ за вогнепального перелому стегнової кістки (ВПСК). Проте актуальним залишається питання визначення оптимальної кількості та діаметра стрижнів конструкції АЗФ у комбінації з ІМС для забезпечення достатньої стабільності уламків.

Одним зі способів підвищення стабільності фіксації кісткових уламків є збільшення діаметра стрижнів АЗФ. Біомеханічні дослідження свідчать, що такий підхід сприяє зменшенню переміщення уламків і зростанню жорсткості системи фіксації. У роботах [10, 11] продемонстровано, що оптимальним для фіксації ВПСК є АЗФ, який складається з балки та чотирьох стрижнів діаметром 6 мм, проведених у різних площинах. Проте використання стрижнів більшого діаметра супроводжується більшою травматизацією кісткової та м'яких тканин, є технічно складнішим і може продовжувати тривалість оперативного втручання.

На сьогодні кількість публікацій щодо вивчення біомеханічних властивостей стегнової кістки за комбінованого варіанта фіксації залишається обмеженою, що підкреслює актуальність подальших досліджень для розробки індивідуальних підходів до вибору тактики хірургічного лікування пацієнтів із ВПСК.

Таким чином, наукова проблематика оптимізації комбінованої фіксації за ВПСК має високу актуальність як для фундаментальних біомеханічних досліджень, так і для сучасної травматології та військової хірургії. Ця робота є продовженням власних досліджень стосовно вивчення поведінки системи «кістка + АЗФ + ІМС» в цієї категорії поранених.

Мета: дослідити напружено-деформований стан комп'ютерної моделі стегнової кістки з багатоуламковим переломом, фіксованою інтрамедулярним спейсером і апаратом зовнішньої фіксації зі стрижнями діаметром 5 і 6 мм.

Матеріал і методи

Спільно з фахівцями лабораторії біомедичної інженерії ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» побудовано скінченно-елементну модель стегнової кістки з вогнепальним багатоуламковим переломом у середній третині (7 проміжних уламків, які мали частковий контакт між собою). У діафізарній частині мінімальний діаметр кістки склав 33,0 мм, ширина кістково-мозкового каналу 15,0 мм. У зонах переходу діафізу в метафіз діаметри збільшувались відповідно до анатомічних особливостей стегнової кістки. М'якотканинні структури стегна в створеній моделі не враховувались.

Проаналізовано фіксацію стегнової кістки в комбінації ІМС і стрижневого АЗФ. Досліджено такі моделі: 1 — із двома стрижнями діаметром 5,0 мм проксимально та двома дистально, які зафіксовані на одній балці; 2 — аналогічна конфігу-

рація зі стрижнями 6,0 мм. Відстань від стегнової кістки до опорної балки АЗФ із діаметром 10 мм становила 100 мм.

ІМС складається з каркаса товщиною 5 мм, який виготовлений із хірургічної сталі (AISI 316) та вкритий кістковим цементом (поліметилметакрилат). Сумарна товщина спейсера становить 10 мм. На проксимальному кінці розміщено металеву петлю, яка дає можливість імплантації, видалення фіксатора [8, 9].

Проксимальний кінець спейсера розташований у ділянці великого вертлюга стегнової кістки, дистальний — на 20 мм вище від суглобової поверхні. Стрижні АЗФ діаметрами 5,0 і 6,0 мм проведені бікірково, у зонах розширення кістково-мозкового каналу, повз траєкторію проходження спейсера.

Під час моделювання матеріал вважали однорідним та ізотропним. Механічні характеристики матеріалів обрано за даними технічної літератури [12–15]. Для аналізу використано фізико-механічні параметри: E — модуль пружності (модуль Юнга), ν — коефіцієнт Пуассона (табл. 1).

Макет анатомічної стегнової кістки отримано шляхом перетворення комп'ютерної томограми в твердотільну модель із використанням програмного середовища IntelliSpace Portal та імпортовано до програми Solidworks 23. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували в програмному середовищі SimSolid.

Для аналізу напружено-деформованого стану біомеханічних моделей використовували метод скінченних елементів. Було задано такі граничні умови: дистальна суглобова поверхня стегнової кістки жорстко зафіксована; до головки кістки було статично прикладено силу 400 Н, що відповідає 40 кг (половині маси тіла військовослужбовця чоловічої статі); створено трикулярну сітку з Гаусовими точками. За досліджувані ефекти обрано переміщення, напруження та деформацію. У програмі SimSolid було вирішено систему лінійних рівнянь рівноваги скінченно-елементної моделі з визначенням переміщення в кожному вузлі.

Величини напружень порівнювали в контрольних точках, а саме: верхній третині стегнової кістки, зоні вогнепального перелому, нижній третині, ділянках входження стрижнів АЗФ у кістку, трьох точках на ІМС та в середині балки для обох варіантів фіксації стегнової кістки (рис. 1). Проаналізовано максимальні значення напружень у цих анатомічних ділянках та елементах конструкції.

Результати

На першому етапі дослідження вивчено напружено-деформований стан моделі стегнової кістки з вогнепальним переломом, фіксованим ІМС та АЗФ зі стрижнями діаметром 5,0 мм. Під час аналізу показника «переміщення» встановлено, що максимальне зміщення досягло 4,5 мм у зоні проксимального епіметафіза стегнової кістки, де визначено зсув проксимального уламка, тоді як дистальний залишався стабільним. У зоні вогнепального перелому максимальне переміщення становило 1,9 мм. Дистальний фрагмент демонстрував жорстку фіксацію з величиною зміщення до 0,3 мм. У ділянці верхньої частини балки та на проксимальному стрижні АЗФ відповідний показник становив 3,7 мм (рис. 2, а).

Вивчаючи показник «деформація» виявили, що пікове значення становило 0,052 % у зоні вогнепального перелому. У верхній та нижній третинах стегнової кістки значення перебували в діапазоні 0,011–0,052 %. Найбільші значення локалізовані в середній третині ІМС — 0,117 %. На стрижнях АЗФ деформація становила 0,032 % у ділянках входження в кістку (рис. 3, а).

Під час оцінювання показника «напруження» встановлено, що найбільше значення фіксувалося в середній частині ІМС у зоні вогнепального перелому та становило 50,3 МПа. На нижньому та на двох верхніх стрижнях у ділянці входження в кістку воно перебувало в межах 44,6–48,7 МПа. У стегновій кістці максимальний рівень напруження в зоні перелому становив до 22,6 МПа (рис. 4, а, в).

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості використаних матеріалів

Матеріал	Модуль Юнга, E , МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν	Межа плинності, R^H , МПа
Кірковий шар кістки	183 50	0,30	170
Спонгіозний шар кістки	500	0,28	10
Хірургічна сталь AISI 316	200 000	0,30	505
Кістковий цемент	1,82	0,18	70

На другому етапі роботи досліджено напружено-деформований стан моделі стегнової кістки, фіксованої ІМС та АЗФ зі стрижнями діаметром 6,0 мм.

Проаналізовано показник «переміщення» і виявлено, що найбільше зміщення досягало 3,0 мм у верхній частині моделі. У зоні вогне-

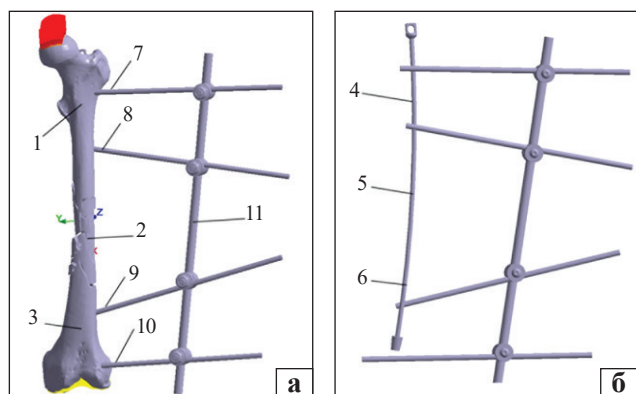


Рис. 1. Досліджувані моделі: а — стегнова кістка зі системою фіксації, де червона зона — місце прикладання сили, зона жовтого кольору — поверхня закріплення; б — системи фіксації кістки. 1–11 — контрольні точки для вимірювання напружень

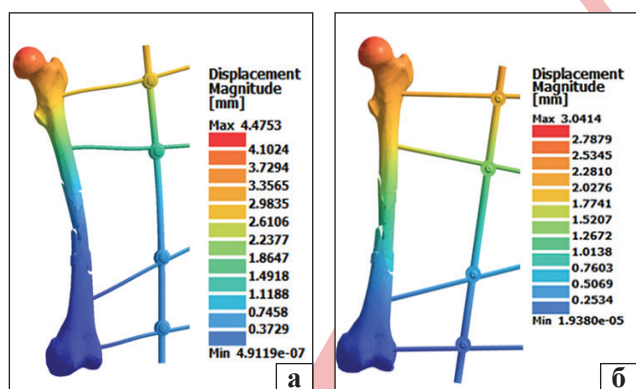


Рис. 2. Розподіл переміщень у моделі стегнової кістки зі стрижнями з такими діаметрами: а — 5 мм; б — 6 мм

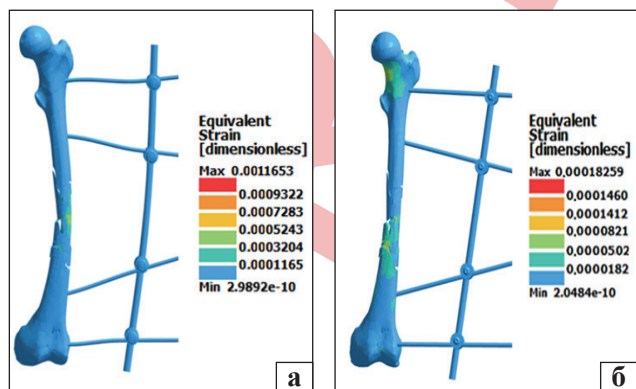


Рис. 3. Розподіл деформації в моделі зі стрижнями діаметрами: а — 5 мм; б — 6 мм

пального перелому переміщення уламків становило до 1,5 мм. Зміщення балки та верхнього стрижня у верхній ділянці конструкції АЗФ складало 2,5 мм (рис. 2, б).

Під час вивчення показника «деформація» встановлено, що максимальні значення досягли 0,018 % і спостерігалися в середніх частинах трьох нижніх стрижнів АЗФ, балки та у верхній ділянці каркаса ІМС. У зоні вогнепального перелому та в місцях входження стрижнів у кістку

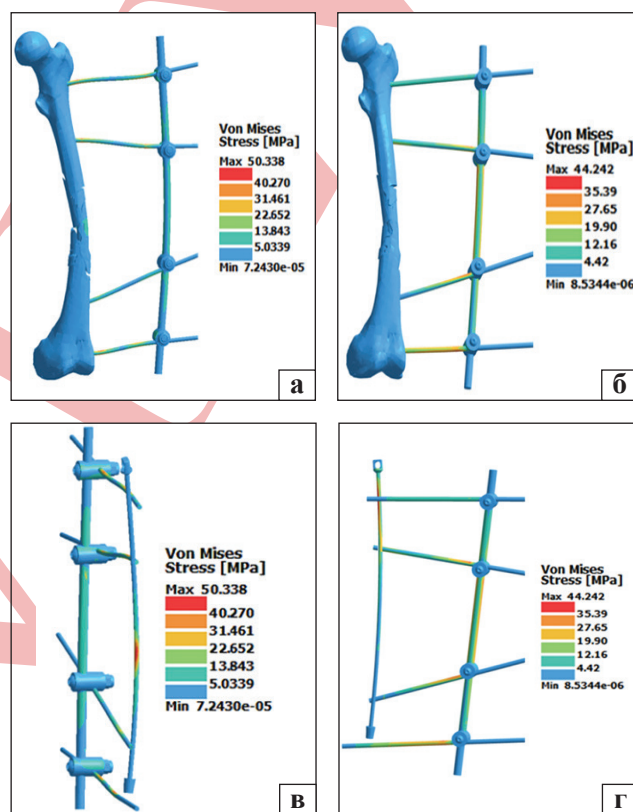


Рис. 4. Розподіл напружень у моделі зі стрижнями діаметрами: а, в — 5 мм; б, г — 6 мм (в і г — фіксуючі елементи винесено за межі стегнової кістки)

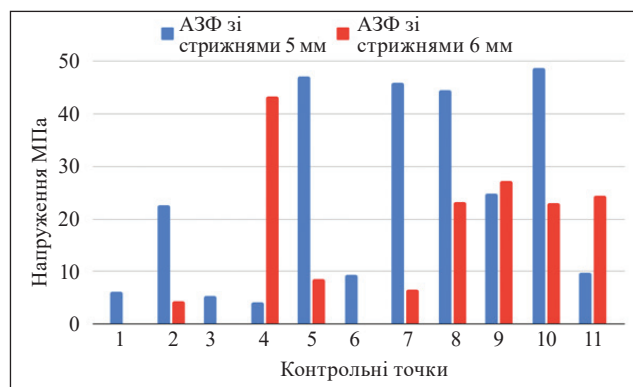


Рис. 5. Порівняння напружень у контрольних точках системи «стегнова кістка + ІМС + АЗФ» зі стрижнями діаметрами 5 і 6 мм

деформація становила 0,014 %, пікових значень не виявлено (рис. 3, б).

Наступним кроком досліджено значення «напруження». На трьох нижніх стрижнях АЗФ максимальний його показник становив 44,2 МПа, у верхній частині ІМС — 43,4 МПа, у центральній ділянці балки — 35,4 МПа (рис. 4, б, г). Критичних пікових значень не виявлено. Напруження в стегновій кістці в зоні вогнепального перелому, у верхньому та нижньому фрагментах, складало до 4,4 МПа.

На основі отриманих даних виконано порівняльний аналіз значень напружень у контрольних точках для двох варіантів фіксації стегнової кістки — ІМС та АЗФ з чотирма стрижнями діаметрами 5,0 і 6,0 мм (рис. 5).

Максимальні значення досліджуваних показників за різних параметрів системи комбінованої фіксації стегнової кістки наведено в таблиці 3. Межа міцності, гранична допустима деформація для кістки та сталі подані відповідно до даних технічної літератури [12–15].

Обговорення

Отримані результати напружено-деформованого стану стегнової кістки за вогнепальних діафізарних переломів показали, що комбінована фіксація ІМС та АЗФ забезпечує достатню стабільність в обох досліджуваних варіантах.

На основі проведеного аналізу встановлено, що за умов фіксації кісткових уламків обома досліджуваними конструкціями показники напруження та деформації знаходяться в межах нормальних значень і не перевищують поріг міцності та граничну допустиму деформацію (табл. 3). Порівняння моделей продемонструвало, що збільшення діаметра стрижнів з 5,0 до 6,0 мм забезпечило помірне зниження пікового напруження в контрольних точках і зменшення відносної деформації,

проте обидві досліджувані системи зберігали достатню загальну жорсткість.

У моделі зі стрижнями діаметром 5 мм переміщення кісткових уламків у зоні перелому становили 1,9 мм, для стрижнів АЗФ — 3,0 мм, для інтрамедулярного спейсера — 1,9 мм. Для другої моделі (стрижні діаметром 6 мм) ці показники були дещо нижчими — 1,5; 2,3 і 1,5 мм відповідно. Різниця в переміщеннях становить 0,4–0,7 мм, що, на думку авторів, не є клінічно значущою відмінністю.

Розподіл напружень виявив біомеханічну перевагу для системи «кістка + ІМС + АЗФ зі стрижнями діаметром 6 мм». На кісткових уламках в зоні перелому напруження в разі АЗФ зі стрижнями діаметром 5 мм становили 22,6 МПа, за умов 6 мм — 4,4 МПа, тоді як на стрижнях їхня величина була 45,9 та 27,3 МПа відповідно. Пікові напруження в спейсері практично не відрізнялися між моделями — 47,2 та 43,4 МПа. Ці показники залишаються далекими від критичних значень для матеріалів конструкції (505 МПа) та кістки (170 МПа), що свідчить про відсутність ризику їхньої подальшої деформації та руйнування.

Аналогічна картина спостерігалась і під час аналізу деформацій. У першій моделі деформація кістки становила 0,052 %, стрижнів — 0,032 %, ІМС — 0,117 %, тоді як у другому варіанті відповідні показники були 0,014, 0,018 та 0,018 %. Незважаючи на відмінності в цих значеннях, деформації для всіх елементів залишалися в межах еластичності матеріалів, не свідчили про загрозу втрати стабільності конструкції (гранична допустима деформація для кісткової тканини 0,25 %, для сталі 0,2 % (табл. 3)).

Виконано порівняння отриманих результатів із даними попереднього моделювання [8], під час якого порівнювали системи «кістка + АЗФ із 6 стрижнями діаметром 5 мм» та «кістка + ІМС + АЗФ із 6 стрижнями діаметром 5 мм».

Таблиця 3

Порівняння фізико-механічних характеристик за умов фіксації стегнової кістки стрижневим АЗФ та ІМС

Конфігурація АЗФ у комбінації з ІМС		Переміщення в зоні перелому, мм	Напруження, МПа	Деформація, %
4 стрижні з діаметром 5 мм	кістка	1,9	22,6	0,052
	стрижні АЗФ	3,0	45,9	0,032
	ІМС	1,9	47,2	0,117
4 стрижні з діаметром 6 мм	кістка	1,5	4,4	0,014
	стрижні АЗФ	2,3	27,3	0,018
	ІМС	1,5	43,4	0,018
Граничні значення	кістка	—	170,0	0,250
	сталь (стрижні АЗФ, ІМС)	—	505,0	0,200

Встановлено, що у моделі з 6 стрижнями переміщення кісткових уламків та ІМС становили 1,4 мм, стрижнів — 0,3 мм, що свідчить про високу стабільність конструкції за рахунок збільшення кількості точок фіксації. Попри це, напруження в елементах системи залишалися співставними з показниками, отриманими в моделях із 4 стрижнями. У кістці та стрижнях напруження становили 13,1 МПа, тоді як у спейсері досягали 26,5 МПа — значення нижче, ніж у варіантах із 4 стрижнями. Це свідчить про більш рівномірний розподіл навантажень за варіанта АЗФ із 6 стрижнями, але не супроводжується суттєвим зменшенням переміщення.

У публікаціях [16–19] було досліджено методику постановки інтрамедулярного імплантата, вкритого цементною мантією в разі інфекції ділянки перелому довгих кісток. Металевими каркасами для покриття найчастіше слугували: інтрамедулярні блоковані, неблоковані й еластичні стрижні, 2–4 шпиці Ілізарова. Методика забезпечувала ерадикацію інфекції та стабілізацію перелома. Проте були відмічені ускладнення у вигляді руйнування цементної мантії, лам металевого імплантата, деформації та міграції конструкції, ушкодження інтрамедулярного каналу кістки.

Інтрамедулярний спейсер не рекомендується використовувати без АЗФ, оскільки він не забезпечує осьової та ротаційної стабільності уламків. Матеріал спейсера не здатний утримувати довжину кістки та протидіяти скручуванню, тому без АЗФ така конструкція є механічно нестабільною.

Позиціонування ІМС із діаметром 10 мм по центру кістково-мозкового каналу ускладнює техніку встановлення стрижнів АЗФ, які рекомендовано проводити бікірково, повз траєкторію проходження спейсера. Тому використання стрижнів меншого діаметра має переваги: є технічно простішим, зменшує тривалість і травматичність оперативного втручання.

Наше дослідження має певні обмеження, ураховуючи той факт, що метод кінцевих елементів моделює ідеалізовану поведінку кісткових уламків та елементів фіксуючої системи й не дає можливість у повному обсязі врахувати вплив м'яких тканин на показники, які розглядалися. Тому важливою є клінічна перевірка результатів, які створюють підґрунтя для використання комбінованого методу фіксації з інтрамедулярним спейсером як ефективного способу лікування діафізарних переломів.

Отримані дані можуть бути використані для оптимізації схем фіксації вогнепальних перело-

мів стегнової кістки та вдосконалення клінічних протоколів лікування.

Висновки

Проведений чисельний аналіз напружено-деформованого стану продемонстрував, що система «кістка + інтрамедулярний спейсер + АЗФ зі стрижнями діаметром 6 мм» має біомеханічну перевагу над системою «кістка + інтрамедулярний спейсер + АЗФ зі стрижнями діаметром 5 мм» за показниками максимальних переміщень, напружень і деформацій. У той самий час, отримані значення досліджуваних показників не досягли граничних для кісткової тканини та фіксуючих елементів, що свідчить про достатню стабільність обох варіантів комбінованої фіксації і дозволяє використовувати їх залежно від конкретної клінічної ситуації.

Подяка. Автори вдячні фахівцям лабораторії біомедичної інженерії ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» за технічну підтримку в проведенні дослідження.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення клінічної ефективності запропонованої комбінованої методики фіксації кісткових уламків стегнової кістки шляхом проспективного аналізу результатів лікування пацієнтів із вогнепальними переломами. Необхідним є порівняння частоти ускладнень, термінів консолидації та функціональних результатів лікування за умов застосування стрижнів різного діаметра.

Інформація про фінансування. Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Лурін І. А. — критичний огляд статті, остаточне її схвалення; Бур'янов О. А. — аналіз результатів, остаточне схвалення статті; Ярмолюк Ю. О. — проектування та моделювання, статистичний аналіз, критичний огляд статті; Матвійчук Б. В. — огляд та аналіз пов'язаних робіт, проектування та моделювання, написання статті.

Список літератури

1. Khomenko, I. P., Korol, S. O., Matviichuk, B. V., & Ustinova, L. A. (2019). Surgical tactics of treatment of the wounded persons with the gun-shot injuries of the hip on all levels of medical support. *Klinicheskaia khirurgiia*, 86(5), 22–26. <https://doi.org/10.26779/2522-1396.2019.05.22> (in Ukrainian)
2. Kazmirchuk, A. P., Buryanov, O. A., Yarmolyuk, Y. O., & Matviichuk, B. V. (2025). Tactics of surgical treatment of gunshot diaphysis fractures of the femur: review of literature sources. *Current aspects of military medicine*, 32(1), 47–59. <https://doi.org/10.32751/2310-4910-2025-32-1-04> (in Ukrainian).
3. Khomenko, I. P., Lurin, I. A., Korol, S. O., Shapovalov, V. Yu., & Matviichuk, B. V. (2020). Conceptual principles of the wounded combatants' evacuation, suffering military surgical trauma on the medical support levels. *Clinical surgery*, 87(5–6), 60–65. <https://doi.org/10.26779/2522-1396.2020.5-6.60> (in Ukrainian)
4. Johnson, D. J., Versteeg, G. H., & Middleton, J. A. (2021). Epidemiology and risk factors for loss to follow-up following operatively treated femur ballistic fractures. *Injury*, 52(8), 2403–2406. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.06.012>
5. Makhubalo, O., Burger, M., & Jakoet, S. (2023). Early outcomes

- of surgically managed civilian gunshot femur fractures at a level one trauma unit in Cape Town, South Africa: A retrospective review. *European journal of trauma and emergency surgery*, 49, 859–865. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02138-z>
6. Tisnovsky, I., Katz, S. D., & Pincay, J. I. (2021). Management of gunshot wound-related hip injuries: A systematic review of the current literature. *Journal of orthopaedics*, 23, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.12.029>
 7. Maqungo, S., Fegredo, D., Brkljac, M., & Laubscher, M. (2020). Gunshot wounds to the hip. *Journal of orthopaedics*, 22, 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.09.018>
 8. Lurin, I., Burianov, O., Yarmoliuk, Y., & Matviichuk, B. (2025). Analysis of the stress-deformed state of the femur with gunshot fracture with various methods of its fixation. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3), 5–11. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202535-11>
 9. Kazmirchuk, A. P., Buryanov, O. A., Yarmoliuk, Y. O., Yalovenko, V. A., & Matviichuk, B. V. (2025). The use of intramedullary spacers for the prevention and treatment of infectious complications in victims with gunshot-related femoral fractures. *Current Aspects of Military Medicine*, 32(2), 10–22. <https://doi.org/10.32751/2310-4910-2025-32-2-01> (in Ukrainian).
 10. Korzh, M. O., Popsuishapka, O. K., Lytvysko, V. O., Shevchenko, I. V., Doluda, Y. A. (2023). Problematic issues of the treatment of diaphyseal gunshot fractures of long bones of extremities. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, (4), 109–120. <https://doi.org/10.15674/0030-598720234109-120>
 11. Popsuishapka, O. K., Subbota, I. A. (2025). Features of deformation of the “debris — external core apparatus” model in case of using structures with different structural geometry. *Orthopedics, traumatology and prosthetics*, (1), 65–74. <http://doi.org/10.15674/0030-59872025165-74>
 12. Maganaris, C. N., & Paul, J. P. (1999). In vivo human tendon mechanical properties. *The journal of physiology*, 521(1), 307–313. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1999.00307.x>
 13. Hvid, I., Christensen, P., Søndergaard, J., Christensen, P. B., & Larsen, C. G. (1983). Compressive strength of tibial cancellous Bone: Instron® and Osteopenetrometer measurements in an autopsy material. *Acta orthopaedica scandinavica*, 54(6), 819–825. <https://doi.org/10.3109/17453678308992915>
 14. Cowin, S. C. (2001). *Bone mechanics handbook*. CRC Press.
 15. Scherer, J., Hure, J., Madec, R., Bourdais, F. L., Van Brutzel, L., Sao-Joao, S., Kermouche, G., Besson, J., & Tanguy, B. (2024). Tensile and micro-compression behaviour of AISI 316L austenitic stainless steel single crystals at 20 °C and 300 °C: Experiments, modelling and simulations. *Materials science and engineering: A*, 900, 146471. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.146471>.
 16. Powell, K. P., Hammouda, A. I., Hlukha, L. P., Rivera, J. C., & Patel, M. (2022). Motorized intramedullary nail lengthening in the older population. *Journal of clinical medicine*, 11(17), 5248. <https://doi.org/10.3390/jcm11175242>
 17. Conway, J. D., Elhessy, A. H., Galiboglu, S., Patel, N., & Geshef, M. G. (2022). Efficacy of infection eradication in antibiotic cement-coated intramedullary nails for fracture-related infections, nonunions, and fusions. *Antibiotics*, 11(6), 709. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060709>
 18. Tanasienko, P., & Kolov, H. (2023). Analysis of the treatment of patients with infectious complications after osteosynthesis. *Experimental and Clinical Medicine*, 92(2), 14–21. <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.2.tak>
 19. Ismat, A., Walter, N., Baertl, S., Mika, J., Lang, S., Kerschbaum, M., Alt, V., & Rupp, M. (2021). Antibiotic cement coating in orthopedic surgery: a systematic review of reported clinical techniques. *Journal of orthopaedics and traumatology*, 22(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00614-7>

Стаття надійшла до редакції 01.11.2025	Отримано після рецензування 24.11.2025	Прийнято до друку 27.11.2025
---	---	---------------------------------

BIOMECHANICAL STUDY OF A COMBINED FIXATION SYSTEM FOR GUNSHOT FEMORAL FRACTURES

I. A. Lurin ^{1,2}, O. A. Burianov ³, Yu. O. Yarmoliuk ^{3,4}, B. V. Matviichuk ^{3,5}

¹ National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv

² SI «Main Medical Clinical Centre of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine», Kyiv

³ Bogomolets National Medical University, Kyiv

⁴ National Military Medical Clinical Center «Main Military Clinical hospital», Kyiv

⁵ Military Medical Clinical Treatment and Rehabilitation Center, Irpin

✉ Igor Lurin, MD, Prof.: lurinnam@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-6280-1725>

✉ Olexandr Burianov, MD, Prof.: kaftraum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2174-1882>

✉ Yurii Yarmoliuk, MD, Prof.: Yuol707@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9583-1231>

✉ Bohdan Matviichuk, MD; godtaken.bm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3770-3984>

УДК 616.718.4-001.5:616-005.6/.7](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025446-52>

Аналіз поширеності та факторів ризику розвитку венозних тромбоемболічних ускладнень у пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна

М. Л. Анкін, В. О. Ладика, Ф. М. Ахмад

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

Due to the increasing incidence of PFA fractures and the associated morbidity and disability, the treatment and rehabilitation of patients with this pathology is a global problem of modern traumatology and orthopedics. Objective. To determine the incidence of venous thromboembolic complications in the setting of proximal femoral fractures, the presence of additional risk factors, and the possibility of using the Caprini score to identify surgical patients at "extremely high risk" of venous thromboembolism (VTE). Methods. The examination and treatment results of 153 (58 men, 95 women) patients aged 23 to 94 years (average 69.95 ± 15.83 years) with proximal femoral fracture were studied. Results. The incidence of acute venous thromboembolic complications among patients with proximal femoral fractures is 13.7 %. The vast majority (98 %) of patients in this category have additional risk factors for VTE development, in addition to femoral fracture. A Caprini score of 10 points is associated with an increase in the risk of VTE development in patients with proximal femoral fractures by 11.7 times (95 % CI [1.25–109.3]), 11 points — by 23.7 times (95 % CI [2.25–250.2]), 12 points — by 45.1 times (95 % CI [4.42–461.0]), 13 and more points — by 79 times (95 % CI [8.95–697.4]) compared with the presence of 5–8 points. Conclusions. The Caprini score was found to identify patients at "extremely high risk" of developing VTE. The cut-off level of the Caprini score > 10 points allowed identifying patients at "extremely high risk" of thrombosis (AUROC 0.845; 95 % CI 0.769–0.922). Keywords. Proximal femoral fracture, venous thrombosis, risk factors, Caprini score.

Через зростання частоти переломів ПФС й асоційованої з цим захворюваності й інвалідності, лікування та реабілітація пацієнтів із цією патологією є глобальною проблемою сучасної травматології та ортопедії. Мета. Визначити частоту розвитку венозних тромбоемболічних ускладнень у пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна (ПФС), наявність додаткових факторів ризику та можливості використання шкали Caprini для ідентифікації хірургічних хворих із «вкрай високим ризиком» розвитку венозної тромбоемболії (ВТЕ). Методи. Досліджено результати обстеження та лікування 153 (58 чоловіків, 95 жінок) пацієнтів віком від 23 до 94 років (у середньому $69,95 \pm 15,83$) із переломом ПФС. Результати. Частота гострих венозних тромбоемболічних ускладнень серед хворих із переломами ПФС становить 13,7 %. Переважна більшість (98 %) пацієнти цієї категорії мають додаткові фактори ризику розвитку ВТЕ, крім перелому стегнової кістки. Оцінка за шкалою Caprini 10 балів асоціюється із збільшенням ризику розвитку ВТЕ у хворих із переломами проксимального відділу стегна в 11,7 разів (95 % ДІ [1,25–109,3]), 11 балів — у 23,7 рази (95 % ДІ [2,25–250,2]), 12 балів — у 45,1 рази (95 % ДІ [4,42–461,0]), 13 і більше балів — у 79 разів (95 % ДІ [8,95–697,4]) порівняно з наявністю 5–8 балів. Висновки. Виявлено, що оцінка за шкалою Caprini дозволяє виявити пацієнтів «у край високого ризику» (extremely high risk) розвитку ВТЕ. Граничний рівень (cut-off) кількісної оцінки ризику за шкалою Caprini > 10 балів дозволяє виявити хворих «у край високого ризику» тромбозів (AUROC 0,845; 95 % ДІ 0,769–0,922).

Ключові слова. Перелом проксимального відділу стегна, венозний тромбоз, фактори ризику, шкала Caprini

© Анкін М. Л., Ладика В. О., Ахмад Ф. М., 2025

Вступ

Згідно з прогностичними даними данського національного реєстру кількість пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна (ПВС) збільшиться в 2,5 рази за період 2010–2040 років, а також значно зросте кількість потерпілих у вікових групах старших 60, 70 та особливо 80 та 90 років. Така тенденція багато в чому пов'язана зі старінням населення [1]. У інших звітах також було з'ясовано зростання загальної кількості переломів ПВС [2, 3], навіть якщо повідомлялося про стабільність або зниження скоригованої за віком захворюваності [4]. Через зростання частоти переломів ПВС й асоційованої з цим захворюваності й інвалідності, лікування та реабілітація пацієнтів із цією патологією є глобальною проблемою сучасної травматології та ортопедії. Крім того, щорічна велика кількість нових випадків переломів (понад 10 мільйонів) створює значне фізичне, психологічне та фінансове навантаження на хворих, їхні родини, а також суттєво обтяжує систему охорони здоров'я загалом [5, 6].

Венозна тромбоемболія (ВТЕ) є серйозним ускладненням перелому ПВС через поєднання факторів, пов'язаних як із травмою, так і з іммобілізацією пацієнта. Так, з одного боку, травматичне ушкодження, особливо в разі складних переломів, часто супроводжується ураженням кровоносних судин навколо місця перелому. Останнє створює умови для утворення тромбів у місці травми. Не можна забувати й про те, що будь-який травматичний стрес для організму може викликати активацію процесів згортання крові, що також призводить до збільшення ризику розвитку ВТЕ, особливо в поєднанні з ушкодженням судин і порушенням кровотоку. З іншого боку, іммобілізація після травми, особливо це стосується проксимальних відділів кінцівки, призводить до сповільнення кровотоку у венах, що також збільшує ймовірність утворення тромбів [7, 8]. Наразі особливо гостро постає проблема, коли пацієнт змушений перебувати в стаціонарі понад три доби в очікуванні відтермінованого оперативного втручання з приводу перелому ПВС через низку об'єктивних чинників. Подовження часу від моменту травми до хірургічного втручання суттєво підвищує ризик розвитку тромбозу, збільшуючи його ймовірність у кілька разів [9].

Згідно з даними систематичного огляду та метааналізу Y. Hu і співавт. [8] загальна об'єднана поширеність передопераційного тромбозу глибоких вен (ТГВ) стегна становила 24,1 % (95 % ДІ:

[19,3–28,8]). В одному з досліджень повідомлялося про вдвічі вищу поширеність передопераційного ТГВ — 52,5 % у пацієнтів із переломом ПВС [10], тоді як в іншій публікації ця частота становила лише 5,3 % після перелому шийки стегна у хворих похилого віку. На підставі цього автори зробили висновок, що рутинна венозна тромбопрофілактика в такій групі пацієнтів є недоцільною [11].

Розвиток ТГВ кінцівок збільшує тривалість госпіталізації та витрати на охорону здоров'я [12]. Крім того, він може бути причиною тромбоемболії легеневої артерії та подальшого посттромботичного синдрому, котрі негативно впливають на якість життя пацієнта і є причиною госпітальної смертності [8]. Так, згідно з існуючими даними [12], близько 50 % хворих із проксимальним венозним тромбозом мають безсимптомну тромбоемболію легеневої артерії, а 80 % випадків із тромбоемболією — безсимптомний ТГВ нижніх кінцівок. Важливо усвідомлювати, що розвиток венозної тромбоемболії (ВТЕ) у передопераційний період може зумовити відтермінування хірургічного втручання, зміщуючи його з оптимального часу проведення та, відповідно, негативно впливаючи на кінцеві результати лікування [8]. Застосування антикоагулянтної терапії в пацієнтів із переломом стегнової кістки сприяє зниженню частоти передопераційної ВТЕ та смертельних ускладнень [13].

Таким чином, огляд доступної літератури свідчить про обмеженість і значну суперечливість наявної інформації щодо передопераційної ВТЕ в осіб із переломами ПВС. Тому було сплановано та проведено це дослідження.

Мета: зменшити кількість випадків тромбозу глибоких вен у пацієнтів із переломом проксимального відділу стегна шляхом визначення ефективності застосування шкали Caprini для ідентифікації осіб із травматологічним хірургічним профілем, які належать до групи «украй високого ризику» розвитку венозної тромбоемболії.

Ми поставили такі основні завдання:

1. Визначити частоту передопераційного ТГВ нижніх кінцівок у пацієнтів із переломами ПВС;
2. Виявити додаткові чинники ризику розвитку ВТЕ в зазначеній категорії;
3. Дослідити окремі індивідуальні фактори ризику, а також ефект їхньої кумуляції та визначити чи придатний стандартний підхід щодо тромбопрофілактики, наприклад із використанням шкали Caprini для оцінки небезпеки розвитку ВТЕ.

Матеріал і методи

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації та конвенції Ради Європи про права людини і біомедицину. Матеріали статті розглянуто й ухвалено комітетом із біоетики Національного університету охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика (протокол № 9 від 22.11.2023 р.). Усі пацієнти дали поінформовану згоду на участь у спостереженні.

Основу склали дослідження результатів обстеження та лікування 153 осіб віком від 23 до 94 років (у середньому ($M \pm \sigma$) — $69,95 \pm 15,83$) із переломом ПБС, які знаходилися на стаціонарному лікуванні у відділенні травматології та ортопедії КНП «Київська міська клінічна лікарня № 8» протягом 2023 року. Серед них було 58 (37,9 %) чоловіків і 95 (62,1 %) жінок.

Критерії включення: вік 18 років і старше, наявність перелому ПБС, надана пацієнтом інформована згода на участь у дослідженні.

Критерії виключення: вік менше 18 років, необхідність застосування лікувальних доз прямих антикоагулянтів, тромбоцитопенія, коагулопатія, геморагічний синдром (не пов'язані зі синдромом дисемінованого внутрішньосудинного згортання крові), захворювання крові, декомпенсована патологія серцево-судинної та дихальної систем (серцева недостатність III ступеня за NYHA і вище, значні порушення ритму серця, дихальна недостатність III ступеня), гострий та хронічний гепатит В або С, виражена ниркова або печінкова недостатність, злоякісні новоутворення, вагітність, відмова пацієнта від участі в дослідженні.

Падіння було найпоширенішою причиною перелому ПБС в проаналізованій вибірці — 145 із 153 пацієнтів (94,8 %). Рідше причинами травми виступали бойові дії — 6 випадків (3,9 %) та дорожньо-транспортні пригоди — 2 (1,3 %).

Оперативне втручання проведене 76 пацієнтам (49,7 %) із 153 учасників дослідження. Серед них: у 41 випадку виконано ендпротезування кульшового суглоба, у 33 — металоостеосинтез (МОС), та у 2 — накладання апарата зовнішньої фіксації з одночасним застосуванням VAC-систем (Vacuum-Assisted Closure). Решта 77 осіб через відмову від хірургічного втручання лікувалися консервативно (скелетне витягнення).

Стандартне обстеження включало збір скарг та анамнезу, огляд, пальпацію, визначення обсягу руху в суглобах, оцінку стану венозного русла нижніх кінцівок згідно з класифікацією хронічних захворювань вен нижніх кінцівок: больовий

синдром, за його наявності — характер і ступінь болю, присутність периферичних набряків, стан шкірних покривів, функціональні проби, рівень рухової активності пацієнта. Усім хворим напередодні оперативного втручання проводили ультразвукове дослідження вен нижніх кінцівок із використанням компресійної проби та кольорового доплера.

Оцінку ризику розвитку венозного тромбоемболізму здійснювали за валідизованою україномовною шкалою Caprini (англ. Caprini risk score, Caprini Risk Assessment Model), котра включає перелік факторів ризику розвитку венозних тромбоемболічних ускладнень у пацієнтів хірургічного профілю, кожному з яких присвоєний бал — від 1 до 5. Згідно з отриманою сумою балів за цією шкалою визначається ризик розвитку тромбозів як:

- дуже низький (менше 0,5 %) — 0;
- низький (близько 1,5 %) — 1–2;
- помірний (близько 3 %) — 3–4;
- високий (близько 6 %) — 5 і більше.

Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням електронних таблиць Excel та пакету ліцензованої програми IBM «Statistical Package of Social Science (SPSS) Statistics» версії 20.0.0 для Windows. Описову статистику подано у вигляді середнього значення з відповідним стандартним відхиленням ($M \pm \sigma$). Для аналізу статистичної значущості відмінностей між частотами застосовували χ^2 -критерій Пірсона. Крім того, розраховували співвідношення шансів (Odds Ratio, OR) для виявлення сили асоціації між досліджуваними чинниками.

Співвідношення шансів (CШ, Odds Ratio) обчислювали як частку від ділення частоти настання подій у порівнюваних групах. Для кожного показника CШ визначали 95 % довірчий інтервал (ДІ). Результат вважався статистично значущим, якщо довірчий інтервал не включав значення 1.

Вивчення зв'язку між досліджуваними змінними проводили за допомогою кореляційного аналізу з обчисленням коефіцієнта кореляції Пірсона (r), достовірність якого перевіряли за допомогою t -критерію. Для проведення багатофакторного аналізу застосовували метод біноміальної логістичної регресії. Прогностичну здатність моделі для оцінки ризику виникнення ВТЕ вивчали за допомогою ROC-аналізу. Статистично значущим вважали результат за значення $p < 0,05$ (довірчий рівень — 95 %).

Таблиця 1

Поширеність індивідуальних факторів ризику розвитку венозної тромбоемболії

Вік (роки)	Кількість пацієнтів (n = 153)	
	абс.	%
Перелом ПБС	153	100,0
Вік ≥ 40 років	143	93,5
Попередня велика операція в анамнезі	41	26,8
Набряк нижніх кінцівок	35	22,9
ВТЕ в сімейному анамнезі	29	19,0
Тяжке легеневе захворювання, у т. ч., пневмонія (< 1 місяців), порушення функції легень	27	17,7
Варикозне розширення вен нижніх кінцівок	24	15,7
Ожиріння ($IMT > 30 \text{ кг/м}^2$)	23	15,0
ВТЕ в анамнезі	21	13,7
Ліжковий режим > 72 год	21	13,7
Запальні захворювання кишківника в анамнезі	11	7,2
Тромбофілія	10	6,5
Гостре порушення мозкового кровообігу (< 1 міс.)	9	5,9
Злоякісні новоутворення в анамнезі	4	2,6
ВТЕ в анамнезі	3	2,0
Катетеризація центральної вени	2	2,1
Суто для жінок (n = 95):		
≥ 3 самовільних викидні;	6	6,3
завмерлі вагітності/мертвородження;	4	4,2
передчасні пологи з токсемією під час вагітності чи затримка росту плода ЗГТ	7	7,4
	9	9,5

Результати

В аналізованій когорті пацієнтів частота гострих венозних тромбоемболічних ускладнень у разі переломів ПБС становила 13,7 % (21 із 153 випадків), переважну більшість з яких (95,2 %) складав ТГВ нижньої кінцівки. Водночас у половині випадків (50,0 %) виявлено тромботичну оклюзію вен гомілки.

Особи з переломом ПБС відносяться до групи високого ризику розвитку ВТЕ, оскільки згідно зі шкалою Сарпіні перелом стегна оцінюється 5-ма балами, а ≥ 5 балів за цією шкалою страфікує ризик тромбозів як високий.

Встановлено, що окрім самого перелому, котрий оцінюється 5-ма балами згідно зі шкалою Сарпіні, переважна більшість пацієнтів із переломами ПБС (98 %) мають численні та різноманітні додаткові фактори ризику розвитку ВТЕ (у середньому $(2,66 \pm 1,48)$ чинники на особу). Інформацію щодо них наведено в таблиці 1.

Аналіз додаткових факторів ризику шкали Сарпіні з'ясував наявність прямої кореляції між їхньою кількістю та частотою гострих венозних тромбозів ($r = 0,504$; $p < 0,001$). Дані рисунку 1 демонструють, що ризик розвитку гострого ве-

нозного тромбозу зростає зі збільшенням кількості додаткових факторів ризику. Так, за наявності 3-х додаткових чинників частота венозної тромбоемболії в досліджуваній когорті становила 10,3 %, 4-х — 28,6; 5-ти — 50; 6-ти — 85,7; 7-ми — 100 %.

Для аналізу частоти верифікації гострого венозного тромбозу залежно від оцінки за шкалою Сарпіні досліджувані пацієнти були розділені на наступні групи: I — 80 осіб із оцінкою 5–9 балів; II — 31 випадків із 10; III — 13 мали по 11; IV група — 11 із оцінкою 12 і V — 18 із 13 і більше балів.

Встановлено, що в I групі гострий ВТЕ розвинувся в 1 із 80 випадків; у II — у 4 із 31; у III — у 3 із 13; у IV — у 4 із 11; у V — у 9 із 18, що становило (у %) 1,3; 12,9; 23,1; 36,4 та 50,0 відповідно ($p < 0,001$) (рис. 2).

З'ясовано, що підвищення оцінки за шкалою Сарпіні достовірно асоціюється зі зростанням ризику розвитку ВТЕ в пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна. Зокрема, оцінка в 10 балів збільшує ризик розвитку венозної тромбоемболії у 11,7 раза (95 % ДІ: [1,25–109,3]; $p = 0,008$), 11 балів — у 23,7 раза (95 % ДІ: [2,25–250,2]; $p < 0,001$), 12 балів — у 45,1 раза (95 %

ДІ: [4,42–461,0]; $p = 0,008$), а 13 і більше балів — у 79 разів (95 % ДІ: [8,95–697,4]; $p < 0,001$), як порівняти з пацієнтами, які мали оцінку 5–8 балів.

Результати ROC-аналізу підтвердили високу прогностичну здатність шкали Caprini щодо розвитку ВТЕ: площа під кривою (AUC) становила 0,845 (95 % ДІ: [0,769–0,922]; $p < 0,001$).

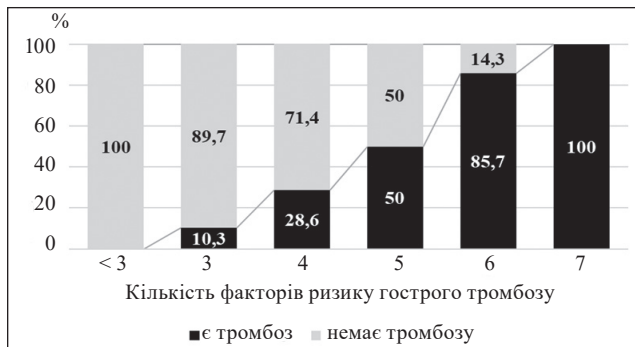


Рис. 1. Частота верифікації гострої венозної тромбоемболії в пацієнтів ($n = 153$) із наявністю додаткових факторів ризику

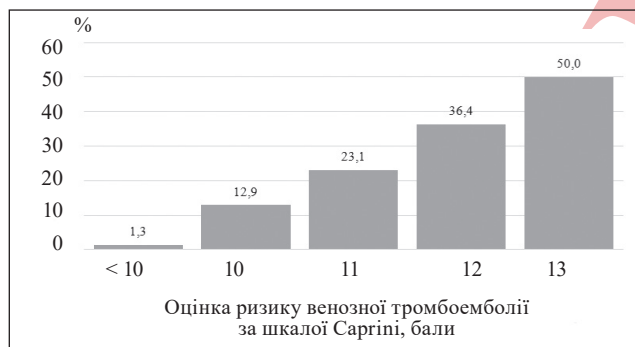


Рис. 2. Частота верифікації гострої венозної тромбоемболії в пацієнтів ($n = 153$) із різним числом балів шкали Caprini

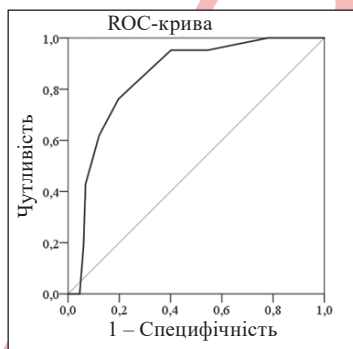


Рис. 3. ROC-крива, яка характеризує зв'язок вірогідності розвитку ВТЕ в пацієнтів із переломами ПБС з оцінкою його ризику за шкалою Caprini

Під час аналізу координат ROC-кривої точкою розподілу (cut-off), котра достовірно передбачає розвиток ВТЕ в пацієнтів із переломами ПБС в групі високого ризику, є 10,5 балів за шкалою Caprini (чутливість 76,2 %, специфічність 80,3 %) (табл. 2).

Отже, критерієм, що достовірно збільшує ризик розвитку ВТЕ в осіб із переломами ПБС групи високого ризику на тлі проведення фармакологічної тромбопрофілактики стандартною профілактичною дозою, є наявність у хворого 11 і більше балів за шкалою Caprini. Так, у пацієнтів, які мають менше 11 балів за шкалою Caprini, частота ВТЕ в нашому дослідженні склала 5/111 випадків (4,5 %) проти 16/42 випадків (38,1 %) з 11 і більше балами за цієї шкалою (СШ 13,1; 95 % ДІ [4,38–38,9], $p < 0,001$).

Обговорення

ВТЕ, зокрема, ТГВ, є частим ускладненням у пацієнтів із переломами ПБС [8]. У переважній більшості наукових публікацій повідомлялося про поширеність післяопераційного ТГВ у пацієнтів цієї категорії [7, 14]. Водночас існує недостатньо даних щодо частоти та локалізації передопераційного ТГВ у хворих із переломами довгих трубчастих кісток (включаючи стегнову, великогомілкову та малогомілкову) нижніх кінцівок. Слід також визнати, що існуючі клінічні настанови не розрізняють передопераційний та післяопераційний тромбоз із точки зору скринінгових і діагностичних стратегій. При цьому профілактиці та лікуванню післяопераційних ВТЕ приділяється набагато більше уваги, ніж передопераційному тромбозу [8].

Отримані нами дані свідчать, що поширеність цього ускладнення в пацієнтів із переломами ПБС склала 13,7 % із переважанням (95,2 %) ТГВ нижньої кінцівки, що є вдвічі нижче, ніж загальна об'єднана розповсюдженість передопераційного ТГВ — 24,1 % (95 % ДІ 19,3–28,8 %) у систематичному огляді та метааналізі 2023 року [8], що, ймовірно, залежить від популяційних особливостей, зокрема, відмінностей у початковому ризику. Водночас існують дослідження, котрі продемонстрували частоту ТГВ (16,3 %), подібну до виявленого нами показника [15].

Таблиця 2

Результати ROC-аналізу для кількості балів за шкалою Caprini, як прогностичного критерію розвитку ВТЕ

Показник	AUROC	p	95 % ДІ	Точка «cut-off»	Чутливість %	Специфічність %
Оцінка за шкалою Caprini	0,845	< 0,001	0,769–0,922	> 10 балів	56,3	55,6

Як і інші автори, вважаємо, що доволі високий поширеності передопераційного ТГВ слід приділяти більше уваги, оскільки це ускладнення тісно пов'язане з негативними наслідками лікування. Надзвичайно важливо, що передопераційний тромбоз може бути причиною затримки хірургічного лікування. Що ще серйозніше, якщо тромб не виявити вчасно до операції, ортопедичне втручання може стати причиною фрагментації тромбу з ризиком розвитку тромбоемболії легеневої артерії та інших несприятливих наслідків [16].

Існуючі дослідження за участю пацієнтів із переломом нижніх кінцівок неодноразово демонстрували статистично значущі відмінності між групами хворих із ТГВ і без такого за наявності різноманітних факторів ризику — вік, наявність цукрового діабету та гіпертонії, місце перелому, рівень D-димеру в плазмі крові до операції тощо [17]. Згідно з нашими даними, переважна більшість (98 %) випадків з переломами ПБС мають численні та різноманітні додаткові фактори ризику розвитку ВТЕ, крім перелому стегнової кістки (у середньому $2,66 \pm 1,48$ на пацієнта). Це свідчить про те, що стандартний підхід, наприклад із використанням шкали Caprini, для визначення небезпеки розвитку ВТЕ не враховує окремі індивідуальні фактори ризику, а також ефект їхньої кумуляції. Тоді як нами встановлена наявність прямої кореляції між кількістю додаткових факторів ризику та частотою гострих венозних тромбозів ($r = 0,504$; $p < 0,001$). На нашу думку, це свідчить про необхідність оптимізації аналізу ризику ВТЕ в пацієнтів із переломами ПБС, а також, ймовірно, важливість персоналізації їх передопераційної тромбопрофілактики.

Отримані нами дані дозволяють віднести пацієнтів із переломами ПБС, які мають оцінку за шкалою Caprini 11 і більше балів, до групи «украй високого ризику» (extremely high risk) розвитку ВТЕ, де фармакологічна тромбопрофілактика стандартною профілактичною дозою ймовірно буде недостатньо ефективною.

Таким чином, наші результати підтвердили дані сучасних світових досліджень щодо валідності шкали Caprini для оцінки ризику тромбоемболічних ускладнень у хірургічних пацієнтів. Проте, вони також демонструють можливість більш точного виявлення небезпеки розвитку ВТЕ у хворих із переломами ПБС, котрі й так відносяться до групи високого ризику тромбоутворення. Виявлення серед них таких, які будуть мати найменші ризики розвитку ВТЕ,

буде вимагати модифікації фармакологічної тромбопрофілактики.

Висновки

Загальна частота гострих венозних тромбоемболічних ускладнень серед пацієнтів із переломами ПБС становить 13,7 % з переважанням (95,2 %) тромбозу глибоких вен нижньої кінцівки.

Переважає більшість (98 %) хворих із переломами ПБС мають численні та різноманітні додаткові фактори ризику розвитку венозної тромбоемболії (в середньому $2,66 \pm 1,48$ на пацієнта).

За допомогою ROC-аналізу доведено, що граничний рівень (cut-off) > 10 балів шкали Caprini дозволяє прогнозувати «украй високий ризик» тромбозів (AUROC 0,845; 95 % ДІ 0,769–0,922). Вважаємо, що наявність 11 і більше балів шкали Caprini потребує персоналізації тромбопрофілактики в пацієнтів із переломом ПБС.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом нашого подальшого дослідження вважаємо розробку, вивчення ефективності та безпеки персоналізованої передопераційної тромбопрофілактики в пацієнтів із переломами ПБС.

Інформація про фінансування. Жодних вигід у будь-якій формі отримано не буде.

Внесок авторів. Анкін М. Л. — постановка мети й завдання дослідження; Лади́ка В. О. — обробка первинного матеріалу, редагування статті; Ахмад Ф. М. — написання рукопису, збір даних.

Список літератури

1. Sing, C. W., Lin, T. C., Bartholomew, S., Bell, J. S., Bennett, C., ..., & Wong I. C. K. (2023) Global Epidemiology of Hip Fractures: Secular Trends in Incidence Rate, Post-Fracture Treatment, and All-Cause Mortality. *Journal of bone and mineral research*, 38(8), 1064–1075. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4821>
2. Feng, J., Zhang, C., Li, B., Zhan, S., Wang, S., & Song, C. (2023). Global burden of hip fracture: The global burden of disease study. *Osteoporosis international*, 35(1), 41–52. <https://doi.org/10.1007/s00198-023-06907-3>
3. Hagino, H., Osaki, M., Okuda, R., Enokida, S., & Nagashima, H. (2020). Recent trends in the incidence of hip fracture in Tottori prefecture, Japan: Changes over 32 years. *Archives of osteoporosis*, 15(1). <https://doi.org/10.1007/s11657-020-00823-3>
4. Gazgalis, A., Simmons, S., Doucet, M., Gorroochurn, P., Cooper, H. J., & Herndon, C. L. (2024). Higher comorbidities are correlated with readmission following arthroplasty for femoral neck fracture. *Arthroplasty today*, 30, 101494. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2024.101494>
5. GBD 2019 Fracture Collaborators. (2021). Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet healthy longev*, 2(9), e580–e592. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(21\)00172-0](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(21)00172-0)
6. Meyer, A. C., Hedström, M., & Modig, K. (2020). The Swedish hip fracture register and national patient register were valuable for research on hip fractures: Comparison of two registers. *Journal of clinical epidemiology*, 125, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2020.05.011>

- doi.org/10.1016/j.jclinepi.2020.06.003
7. Ruan, Y., Wang, F., Du, X., Sun, S. (2023). Rehabilitation nursing after lower limb fracture: Preventing deep vein thrombosis and enhancing quality of life. *Medicine (Baltimore)*, 102(47), e36180. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000036180>
 8. Hu, Y., Zhu, L., Tian, X., & Duan, F. (2023). Prevalence of preoperative deep vein thrombosis in long bone fractures of lower limbs: A systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedics and traumatology*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s10195-023-00699-2>
 9. Kalashnikov, A. V., Lazarenko, Y. V., & Kalashnikov, O. V. (2023). Fractures of the proximal femur: social significance and tactics of surgical treatment (review of literature sources). *Trauma*, 24(1), 79–85. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.1.24.2023.936>
 10. Zhang, J., Zhao, K., Li, J., Meng, H., Zhu, Y., & Zhang, Y. (2020). Age over 65 years and high levels of C-reactive protein are associated with the risk of preoperative deep vein thrombosis following closed distal femur fractures: A prospective cohort study. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02089-4>
 11. Chan, Y., Chiu, K., Cheng, S., & Ho, P. (2004). The incidence of deep vein thrombosis in elderly Chinese suffering hip fracture is low without prophylaxis: A prospective study using serial duplex ultrasound. *Journal of orthopaedic surgery*, 12(2), 178–183. <https://doi.org/10.1177/230949900401200208>
 12. Hong, G., Zhong, H., Illescas, A., Reisinger, L., Cozowicz, C., Poeran, J., Liu, J., & Memtsoudis, S. G. (2024). Trends in hip fracture surgery in the United States from 2016 to 2021: Patient characteristics, clinical management, and outcomes. *British journal of anaesthesia*, 133(5), 955–964. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.07.022>
 13. Niu, S., Li, J., Zhao, Y., Ding, D., Jiang, G., Song, Z. (2021). Preoperative deep venous thrombosis (DVT) after femoral neck fracture in the elderly, the incidence, timing, location and related risk factors. *BMC Musculoskelet Disord*, 22(1), 264. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04145-4>
 14. Li, L. (2025). Early rehabilitation nursing prevents postoperative DVT and promotes limb function recovery in patients with traumatic fracture. *American journal of translational research*, 17(4), 2665–2677. <https://doi.org/10.62347/wlts7477>
 15. Liu, D., Zhu, Y., Chen, W., Li, J., Zhao, K., Zhang, J., Meng, H., & Zhang, Y. (2020). Relationship between the inflammation/immune indexes and deep venous thrombosis (DVT) incidence rate following tibial plateau fractures. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01765-9>
 16. Wang, T., Guo, J., Long, Y., Yin, Y., & Hou, Z. (2022). Risk factors for preoperative deep venous thrombosis in hip fracture patients: A meta-analysis. *Journal of orthopaedics and traumatology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s10195-022-00639-6>
 17. Chang, W., Wang, B., Li, Q., Zhang, Y., & Xie, W. (2021). Study on the risk factors of preoperative deep vein thrombosis (DVT) in patients with lower extremity fracture. *Clinical and applied thrombosis/hemostasis*, 27. <https://doi.org/10.1177/10760296211002900>

Стаття надійшла до редакції 22.07.2025	Отримано після рецензування 09.11.2025	Прийнято до друку 12.11.2025
---	---	---------------------------------

ANALYSIS OF THE PREVALENCE AND RISK FACTORS FOR VENOUS THROMBOEMBOLIC COMPLICATIONS IN PATIENTS WITH PROXIMAL FEMORAL FRACTURES

M. L. Ankin, V. O. Ladyka, F. M. Akhmad

Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv, Ukraine

✉ Mykola Ankin, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: m.ankin@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9795-0931>

✉ Viktoriia Ladyka, MD, PhD: Ladika084@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3796-428X>

✉ Fadi Akhmad, MD: rinkon6666@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-5448-1247>

УДК 616.728.3-002.77-073.7(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025453-62>

Radiographic features of knee osteoarthritis in the lateral view depending on joint line obliquity

O. O. Kostrub¹, R. I. Blonskyi¹, L. O. Kylymniuk², K. M. Khytruk³, S. V. Khytruk⁴

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

² Medical Center «Angels Clinic», Vinnytsia. Ukraine

³ National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia. Ukraine

⁴ Vinnytsia Regional Clinical Hospital named after M. I. Pirogov. Ukraine

Objective. To evaluate the radiographic features of sagittal knee joint morphology in osteoarthritis, taking into account the joint line obliquity determined using an original method (mJLO). **Methods.** 62 lateral knee radiographs of 45 patients with medial knee osteoarthritis were analyzed. The following radiographic parameters were assessed: posterior distal femoral angle (PDFA); posterior condylar offset ratio (PCOR); posterior tibial slope (PTS); tuberosity-modified tibial slope (TMTS); and tibial tuberosity inflection angle (TTIA). The mJLO was calculated as $aMPTA + aLDFA + 6^\circ$. Values of mJLO $< 177^\circ$ were defined as apex distal (AD), 177° – 183° as apex neutral (AN), and $> 183^\circ$ as apex proximal (AP). Statistical significance was defined as $p \leq 0.05$. **Results.** AD was found in 43 patients (69.35 %), AN in 16 (25.81 %), and AP in 3 (4.84 %). Higher mJLO values and more proximal joint line orientation were associated with lower PDFA ($\tau = -0.25$, $p = 0.004$) and PCOR ($\tau = -0.22$, $p = 0.01$). Patients with PDFA $> 88^\circ$ had significantly higher odds of AD (OR = 3.63; CI: 1.20–12.33; $p = 0.02$), as did those with PTS $> 8^\circ$ (OR = 5.22; CI: 1.65–19.40; $p = 0.004$). Conversely, AD was less likely in patients with PDFA $< 78^\circ$ (OR = 0.08; CI: 0.01–0.34; $p = 0.0005$) and PTS 3° – 8° (OR = 0.25; CI: 0.07–0.76; $p = 0.01$). Patients with PTS $> 8^\circ$ had a lower odds of AN (OR = 0.28; CI: 0.07–0.90; $p = 0.03$). Significantly higher odds of AP were observed in individuals with PDFA $< 78^\circ$ (OR = 49.00; CI: 4.17–6846.81; $p = 0.001$) and PCOR < 0.44 (OR = 11.67; CI: 1.06–1596.60; $p = 0.04$), whereas PCOR > 0.44 decreased the likelihood of this obliquity type (OR = 0.09; CI: 0.0006–0.94; $p = 0.04$). **Conclusions.** Significant differences in sagittal knee joint morphology parameters in osteoarthritis were demonstrated depending on the mJLO.

Мета. Оцінити рентгенологічні особливості сагітальної морфології колінних суглобів за остеоартриту з урахуванням нахилу суглобової лінії, визначеного за авторською методикою (mJLO). **Методи.** Проаналізовано 62 рентгенограми колінних суглобів, виконані в боковій проєкції, 45 хворих із медіальним гонартрозом. Серед рентгенографічних критеріїв, вивчали: задній дистальний кут стегнової кістки (PDFA); індекс заднього виросткового зсуву (PCOR); задній нахил плато великогомілкової кістки (PTS); горбистісно-модифікований тібіальний нахил (TMTS); кут інфлексії горбистості великогомілкової кістки (TTIA). Розраховували mJLO за формулою: $aMPTA + aLDFA + 6^\circ$. Значення mJLO $< 177^\circ$ визначали як дистальний нахил лінії суглоба (AD), mJLO 177° – 183° — як нейтральний (AN), mJLO $> 183^\circ$ — як проксимальний (AP). Значущими вважали відмінності за $p \leq 0,05$. **Результати.** Встановлено AD у 43 (69,35 %) хворих, AN — у 16 (25,81 %), AP — у 3 (4,84 %). Зростання mJLO асоційовано зі зменшенням PDFA ($\tau = -0,25$, $p = 0,004$) та PCOR ($\tau = -0,22$, $p = 0,01$). Вищі шанси AD встановлено за PDFA $> 88^\circ$ (OR = 3,63; CI: 1,20–12,33; $p = 0,02$), PTS $> 8^\circ$ (OR = 5,22; CI: 1,65–19,40; $p = 0,004$). Нижчу ймовірність AD доведено за показників PDFA $< 78^\circ$ (OR = 0,08; CI: 0,01–0,34; $p = 0,0005$), PTS 3° – 8° (OR = 0,25; CI: 0,07–0,76; $p = 0,01$). У обстежених зі значеннями PTS $> 8^\circ$ доведено нижчий ризик AN (OR = 0,28; CI: 0,07–0,90; $p = 0,03$). Вищі шанси AP встановлено за PDFA $< 78^\circ$ (OR = 49,00; CI: 4,17–6846,81; $p = 0,001$), PCOR $< 0,44$ (OR = 11,67; CI: 1,06–1596,60; $p = 0,04$), тоді як наявність PCOR $> 0,44$ знижує ймовірність вказаного типу нахилу (OR = 0,09; CI: 0,0006–0,94; $p = 0,04$). **Висновки.** Доведено значущу відмінність досліджуваних параметрів сагітальної морфології колінних суглобів за остеоартриту залежно від mJLO. **Ключові слова.** Остеоартрит, колінний суглоб, персоналізація, дегенеративно-дистрофічні захворювання суглобів, морфологія.

Keywords. Osteoarthritis, knee joint, personalization, degenerative joint diseases, morphology

Introduction

Osteoarthritis (OA) is a chronic, progressive degenerative joint disease characterized by a spectrum of pathological changes, including degeneration of the articular cartilage, remodeling of the subchondral bone, formation of osteophytes, development of synovitis, and involvement of periarticular structures [1, 2].

Knee OA accounts for about 85 % of the total burden of degenerative joint diseases [3]. More than 250 million people worldwide suffer from knee OA, and according to Y. Lv et al., the number of patients is estimated at 374.7 million [1, 4, 5]. In recent years, a clear upward trend in the prevalence of OA has been observed, which is associated with global population aging and a rising frequency of comorbid conditions [2]. Epidemiological data indicate that between 2005 and 2015, the prevalence of knee OA increased by 32.7 %, and between 1992 and 2021 — by 124.51 % [4, 5].

The knee joint is characterized by complex anatomy and pronounced interindividual morphological variability [6]. In the surgical treatment of knee OA, the concept of kinematic alignment in total knee arthroplasty, which aims to reproduce the natural alignment of the lower limb axis, is gaining popularity. Its application allows restoration of the native spatial relationships and reduction of tissue trauma compared with mechanical alignment [7]. However, most studies on personalized knee arthroplasty have focused on evaluating structural changes in the coronal plane, while sagittal parameters have been investigated in less detail.

One of the most studied sagittal morphological parameters is the posterior tibial slope (PTS). It is known that PTS serves as an informative indicator for evaluating the condition of the tibial articular surface. High interindividual variability of this parameter depending on sex, ethnicity, measurement technique, and disease course has been confirmed by several studies [7–9]. Differences between medial (MPTS) and lateral (LPTS) PTS values within the same joint have also been established [6, 8, 9]. For instance, in a study by M. Meier et al., analysis of Computed Tomography scans from 234 patients with knee OA demonstrated variability in MPTS values ranging from -4.3° to 16.8° , and LPTS from -2.9° to 17.2° , with a mean intraindividual difference of $2.6^\circ \pm 2.0^\circ$ (up to 9.5°) [8]. The difference between MPTS $8.4^\circ \pm 4.0^\circ$ and LPTS $9.2^\circ \pm 3.6^\circ$ in patients with knee OA was also confirmed by A. Siddiqi et al. Moreover, their study demonstrated that, compared with healthy

individuals, patients with knee OA had lower MPTS values ($8.4^\circ \pm 4.0^\circ$ vs. $9.2^\circ \pm 4.0^\circ$) and higher LPTS values ($9.2^\circ \pm 3.6^\circ$ vs. $7.2^\circ \pm 3.3^\circ$), highlighting the need for a personalized approach to arthroplasty [9].

An important component of knee joint morphology assessment is the joint line obliquity (JLO). In the Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) system, developed by S. J. MacDessi et al., JLO is one of the two key parameters for joint phenotyping, calculated as the sum of the mechanical lateral distal femoral angle (LDFA) and the mechanical medial proximal tibial angle (MPTA) [10]. In addition, JLO is also defined as a radiographic angle formed between the line tangent to the tibial plateau and a horizontal line parallel to the ground. The radiographic JLO angle makes it possible to characterize the functional inclination of the joint plane under axial loading of the lower limb [11]. In the context of personalized orthopedics, JLO is considered one of the key factors influencing the restoration of optimal axial balance of the lower limb.

Despite significant progress in the study of coronal parameters of the knee joint, the variability of its sagittal morphology in OA, taking into account the JLO, remains insufficiently investigated, highlighting the need for further research.

The null hypothesis of the study is that there are no differences in the sagittal morphology parameters of the knee joints in medial OA when accounting for the JLO.

Objective: to evaluate the radiographic features of sagittal knee joint morphology in medial osteoarthritis, taking into account the joint line obliquity as determined by the authors' original method joint line obliquity.

Material and Methods

In the present observational cross-sectional study, the results of radiographic examinations of 62 knee joints affected by medial OA in 45 patients who underwent inpatient treatment at the Traumatology Department of the Vinnytsia City Clinical Emergency Hospital during the period 2017–2025 were analyzed. The mean age of patients was (63.84 ± 8.21) years ($n = 45$), with a mean age of (63.40 ± 8.79) years ($n = 62$) across the groups. The study group included 17 (37.78 %) men and 28 (62.22 %) women. Unilateral knee OA was recorded in 28 (62.22 %) patients, whereas bilateral involvement was observed in 17 (37.78 %).

Inclusion criteria: primary medial knee OA stage II–III according to the Kellgren-Lawrence classification; secondary medial knee OA, including cases following spontaneous osteonecrosis of the medial femoral con-

dyle; satisfactory condition of the lateral compartment of the knee joint (intact meniscus and full-thickness articular cartilage); integrity of the knee ligamentous structures; ability to achieve full extension of the knee joint or presence of flexion contracture $< 10^\circ$.

Exclusion criteria: bicompartamental knee OA (Kellgren–Lawrence grades I–IV); secondary post-traumatic OA after tibial plateau fracture; previous surgical interventions in the proximal tibia (except arthroscopic meniscectomy); presence of flexion contracture $> 10^\circ$; instability of the knee ligaments; secondary OA associated with dysplastic bone changes, metabolic disorders, or other diseases (ochronosis, Gaucher's disease, Paget's disease, osteopetrosis); active or latent infection.

For the analysis, lateral radiographs of the knee joints obtained at 30° of flexion were used. In contrast, standard (short) anteroposterior radiographs of the knee joints under weight-bearing conditions were used to assess the mJLO.

Among the radiographic criteria assessed in the sagittal plane were:

- *Posterior Distal Femoral Angle (PDFA)* — the angle formed between the anatomical axis of the femur and the distal femoral joint orientation line. Reference values for the PDFA were considered to be in the range of 79° – 87° [12].

- *Posterior Condylar Offset Ratio (PCOR)* — calculated as the ratio of the distance between two vertical lines, one drawn along the posterior cortical surface of the femur and the other passing through the most prominent point of the posterior condylar surface, to the distance measured from the anterior cortical surface of the femur to the most prominent point of the posterior condylar surface. The reference value of the index was defined as 0.44.

- *Posterior Tibial Slope (PTS)* — the angle between a line tangential to the proximal tibial joint surface and a line perpendicular to the anatomical axis of the tibial shaft. Reference values for PTS were considered within the range of 3° – 8° [13].

In addition to the commonly accepted parameters, sagittal morphometric indices of the proximal tibia specifically developed for this study were evaluated:

- *Tuberosity-Modified Tibial Slope (TMTS)* — the angle between a horizontal line drawn along the proximal articular surface of the tibia and an oblique line passing through the most prominent points of the tibial tuberosity and the posterior margin of the tibial plateau.

- *Tibial Tuberosity Inflection Angle (TTIA)* — the angle formed between two lines drawn along the anterior cortical surface of the tibia in proximal

and distal directions, intersecting at the most prominent point of the tibial tuberosity.

The present study utilized a common clinical database with our previous publication [13]; however, the subjects of analysis and the approach to patient grouping differed. Morphological assessment was performed using distinct original methods developed by the authors to provide a comprehensive investigation of the pathology.

The assessment of knee JLO was performed according to the authors' method, developed based on the principles of the CPAK system as a prototype. The modified JLO (mJLO) was calculated using the formula: $mJLO = aMPTA + aLDFA + 6^\circ$, where 6° was considered a correction factor reflecting the valgus deviation of the anatomical axis relative to the mechanical axis [14]. The obtained values were interpreted according to the recommendations of the original method. An mJLO value of $< 177^\circ$ was defined as apex distal (AD); values within 177° – 183° were considered apex neutral (AN); and values $> 183^\circ$ were defined as apex proximal (AP) [10]. For internal validation, assessment of measurement repeatability, and evaluation of the stability of patient distribution among the AD, AN, and AP groups when using the mJLO, a sensitivity analysis of the model was performed. In this analysis, the correction coefficient was varied by $\pm 1^\circ$ (without shifting the threshold boundaries for AD, AN, and AP), followed by recalculation of the mJLO and subsequent comparison between the groups. A high degree of correlation between morphological knee parameters measured on standard anteroposterior radiographs and those obtained from full-length radiographs was demonstrated in the study by M. Unal et al. [15], which provided the rationale for adopting the CPAK model as a prototype.

The primary hypothesis was to determine differences in sagittal knee morphology in medial osteoarthritis depending on the mJLO. Secondary parameters, such as PDFA, PCOR, PTS, TMTS, and TTIA, were analyzed separately as secondary measures without adjustment for multiple comparisons, since the study was not designed to assess a cumulative effect or hierarchy of parameters.

The relationship between the investigated sagittal morphology parameters and the femorotibial angle (FTA) was also considered. The FTA was determined in the coronal plane as the angle between the anatomical axes of the femur and the tibia [14]. Additionally, the prognostic value of the defined parameters for the identification of the knee JLO in OA was analyzed.

Morphometric measurements were performed by two independent observers. To assess interobserver agreement, the intraclass correlation coefficient (ICC)

was calculated using a two-way mixed-effects model with absolute agreement. The established ICC values were > 0.85 , indicating the reliability of the obtained measurement results.

The study was conducted in accordance with the ethical principles of the World Medical Association (WMA) Declaration of Helsinki– Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects (Seventh Revision, adopted at the 64th WMA General Assembly) [16], the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine [17], as well as current national ethical standards [18] and approved by the bioethics committee of the Medical Center «Angels Clinic», Vinnytsia (protocol No. 7 dated 19.09.2025). All participants were informed about their involvement in the study, and written informed consent was obtained. Personal data of the examined patients were anonymized to ensure confidentiality.

Statistical analysis of numerical data was performed using StatSoft STATISTICA 13 and the RStudio environment. For evaluation and analysis of quantitative data, descriptive statistical methods were applied. Quantitative variables were presented as mean $\pm$ standard deviation ($M \pm SD$), and categorical variables were expressed as absolute numbers (n) and corresponding percentages (%). For comparison between independent groups, the nonparametric Kruskal–Wallis test was used, and associations between variables were assessed using Kendall's rank correlation coefficient (τ). The prognostic value of sagittal morphology parameters in determining joint line obliquity was evaluated using a binary logistic regression model, calculating odds ratios (OR) with 95 % confidence intervals (CI). To minimize potential estimation bias associated with group imbalance and the presence of rare events in the model, Firth's penalized likelihood estimation method was applied. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

Results

When evaluating the mJLO value, in the majority of examined patients, AD was identified in 43 (69.35 %), AN in 16 (25.81 %), and AP in 3 (4.84 %). The mean mJLO in the study group was $174.89^\circ \pm 5.41^\circ$. The average mJLO in individuals with AD was $172.40^\circ \pm 4.05^\circ$, in patients with AN — $179.25^\circ \pm 1.81^\circ$ and $187.33^\circ \pm 2.52^\circ$ in patients with AP; the difference was statistically significant ($p < 0.00001$). With variation of the correction coefficient by $\pm 1^\circ$, the distribution of patients among the AD, AN, and AP groups remained nearly unchanged and statistically nonsignificant, confirming

the stability of applying the mJLO formula to short radiographic images.

Analyzing the position of the anatomical axis of the lower limb, it was found that the mean FTA angle in patients with AD was $175.88^\circ \pm 4.72^\circ$, corresponding to a varus deviation of the lower limb axis; in individuals with AN — a neutral position of the axis ($179.97^\circ \pm 6.68^\circ$); and the highest values, corresponding to valgus deviation of the lower limb axis, were observed in individuals with AP — $185.00^\circ \pm 3.00^\circ$. The difference was statistically significant ($p = 0.009$). The mean FTA angle in patients of the study group was $177.38^\circ \pm 5.73^\circ$. A weak positive correlation was found between the FTA angle and mJLO values ($\tau = +0.22$, $p = 0.01$), indicating higher FTA values and, accordingly, a valgus position of the lower limb axis in patients with a more proximal position of the joint line.

When evaluating the morphological parameters of the distal femur, the highest PDFA values were found in the group of patients with AD, the lowest in those with AP, while patients with AN demonstrated intermediate values. The difference was statistically significant ($p = 0.004$) (table 1). In addition, a weak negative correlation was established between the PDFA and mJLO values ($\tau = -0.25$, $p = 0.004$), indicating significantly lower angle values in patients with a more proximal orientation of the joint line. The mean PDFA in patients of the study group was $84.98^\circ \pm 5.62^\circ$.

PDFA values $< 78^\circ$ were recorded in 10 (16.13 %) patients, including all individuals with AP, 31.25 % with AN, and 4.65 % with AD. The difference was statistically significant ($p < 0.00001$). PDFA values of 79° – 87° were observed in 22 (35.48 %) patients, including 37.21 % of those with AD and 37.50 % with AN. In AP patients, values of the angle corresponding to the reference range were not observed; the difference was not statistically significant ($p = 0.43$). PDFA values $> 88^\circ$ were found in the majority of patients — 30 (48.39 %). Increased PDFA values were observed in the vast majority of AD patients (figure 1) and in 31.25 % of those with AN, while in patients with AP such values were not recorded; the difference was statistically significant ($p = 0.04$).

When analyzing the PCOR values, the highest indices were recorded in patients with AD, whereas the lowest were observed in those with AP; patients with AN demonstrated intermediate values. The difference was statistically significant ($p = 0.03$). The mean PCOR in the cohort was 0.44 ± 0.08 . Significantly higher PCOR values were associated with lower mJLO values and, consequently, a more distal orientation of the knee joint line ($\tau = -0.22$, $p = 0.01$).

A PCOR value of < 0.44 was established in 25 (40.32 %) patients of the group, including all patients with AP, 50.00 % of those with AN, and 32.56 % of the examined individuals with AD; the difference in frequency indices was statistically significant ($p = 0.048$). It should be noted that a PCOR ratio of 0.44, which is defined as the reference value, was not observed in any case. In the majority of patients — 37 (59.68 %) PCOR values > 0.44 were recorded. These were identified in most of the examined individuals with AD, as well as in 50.00 % of patients with AN, while such values were not observed in patients with AP; the difference was statistically significant ($p = 0.048$).

When analyzing the morphological parameters of the proximal tibia in the sagittal plane, the mean PTS angle was found to be $9.00^\circ \pm 4.18^\circ$. The highest values of this angle were detected in patients with AD, whereas in individuals with AN and AP the mean PTS values corresponded to the reference range (table 2). Comparison of PTS angle values between groups formed according to the position of the knee joint orientation line demonstrated a statistically significant difference ($p = 0.04$). However,

no reliable correlation was found between the PTS angle values and the mJLO ($\tau = -0.15$, $p = 0.09$).

A PTS value of $< 3^\circ$ was identified in 1 (1.61 %) patient of the group, who had AN; such values were not observed in the groups of patients with AD or AP, and the difference in frequencies was not statistically significant ($p = 0.24$). PTS values within the range of $3^\circ - 8^\circ$ were found in 31 (50.00 %) patients of the group. In particular, angle values corresponding to the reference range were observed in all examined individuals with AP (Figure 2), the vast majority of patients with AN, and in 39.53 % of those with AD; the difference was statistically significant ($p = 0.03$). PTS values $> 8^\circ$ were recorded in 30 (48.39 %) individuals of the group. Elevated angle values were observed in the majority of patients with AD, as well as in 25.00 % of those with AN, while such values were not registered in the AP group; the difference was statistically significant ($p = 0.01$).

The mean TMTS angle was $36.48^\circ \pm 6.28^\circ$. The highest values of this angle were detected in patients with AP, the lowest in those with AD, while intermediate values were recorded in the AN group (Figure 3). Comparison of TMTS angle values among

Characteristics of the morphological parameters of the distal femur

Table 1

Parameter	mJLO			p
	AD (n = 43)	AN (n = 16)	AP (n = 3)	
PDFA	$86.53^\circ \pm 4.21^\circ$	$83.00^\circ \pm 6.37^\circ$	$73.33^\circ \pm 1.53^\circ$	0.004*
$< 78^\circ$	2 (4.65 %)	5 (31.25 %)	3 (100.00 %)	$< 0.00001^*$
$79^\circ - 87^\circ$	16 (37.21 %)	6 (37.50 %)	0	0.430
$> 88^\circ$	25 (58.14 %)	5 (31.25 %)	0	0.040*
PCOR	0.45 ± 0.07	0.42 ± 0.11	0.34 ± 0.02	0.030*
< 0.44	14 (32.56 %)	8 (50.00 %)	3 (100.00 %)	0.048*
0.44	0	0	0	1.000
> 0.44	29 (67.44 %)	8 (50.00 %)	0	0.048*

Note: * — A statistically significant difference was observed at $p \leq 0.05$.

Characteristics of the morphological parameters of the proximal tibia

Table 2

Parameter	mJLO			p
	AD (n = 72)	AN (n = 25)	AP (n = 3)	
PTS	9.67 ± 3.87	7.81 ± 4.89	5.67 ± 1.53	0.04*
$< 3^\circ$	0	1 (6.25 %)	0	0.24
$3^\circ - 8^\circ$	17 (39.53 %)	11 (68.75 %)	3 (100.00 %)	0.03*
$> 8^\circ$	26 (60.47 %)	4 (25.00 %)	0	0.01*
TMTS	35.41 ± 4.98	37.13 ± 7.66	48.33 ± 1.53	0.02*
TTIA	$159.64^\circ \pm 7.32^\circ$	$161.63^\circ \pm 4.81^\circ$	$167.67^\circ \pm 3.51^\circ$	0.08

Note: * — A statistically significant difference was observed at $p \leq 0.05$.

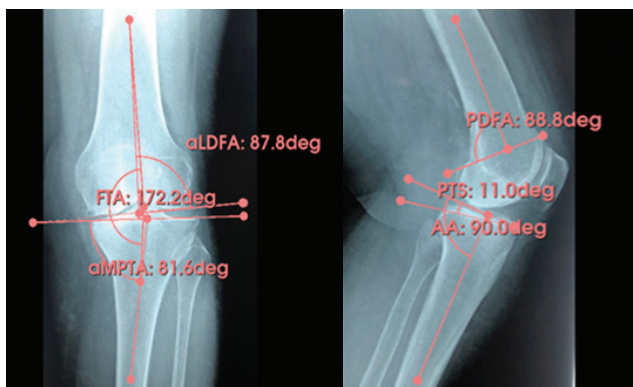


Fig. 1. Anteroposterior and lateral X-ray demonstrating medial compartment osteoarthritis of the left knee, grade 3. $mJLO = 87.8^\circ + 81.6^\circ + 6^\circ = 175.4^\circ$, indicating AD. FTA = 172.2° ; PDFFA = 88.8° ; PTS = 11.0° ; AA (additional angle) = 90°

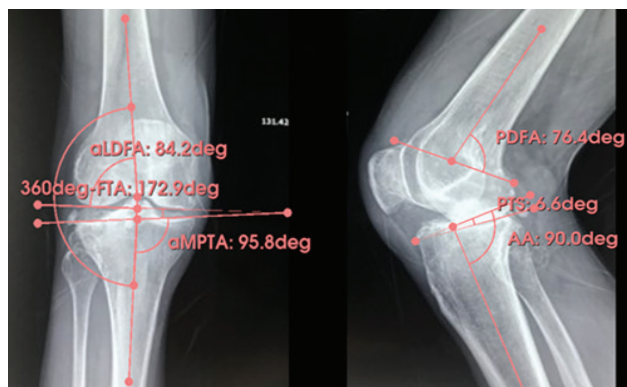


Fig. 2. Anteroposterior and lateral X-rays demonstrating medial compartment osteoarthritis of the right knee, grade 3. $mJLO = 84.2^\circ + 95.8^\circ + 6^\circ = 186.0^\circ$, indicating AP. FTA = 187.1° ; PDFFA = 76.4° ; PTS = 6.6° ; AA (additional angle) = 90°

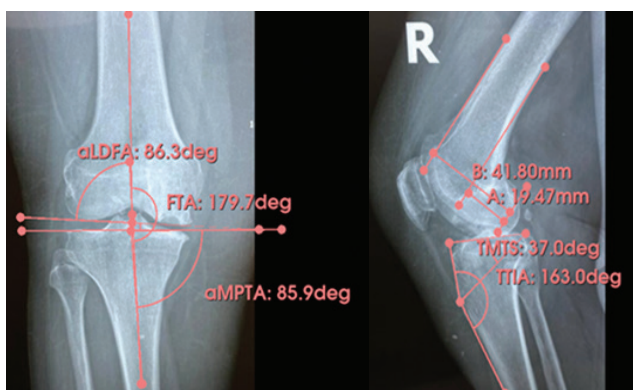


Fig. 3. Anteroposterior and lateral X-ray demonstrating medial compartment osteoarthritis of the right knee medial osteoarthritis of the right knee, grade 2. $mJLO = 86.3^\circ + 85.9^\circ + 6^\circ = 178.2^\circ$, indicating AN. FTA = 179.7° ; PCOR = A : B = $19.47 : 41.80 = 0.47$; TMTS = 37.0° ; TTIA = 163.0°

groups formed according to the position of the joint orientation line demonstrated a statistically significant difference ($p = 0.02$). No significant correlation was found between the TMTS angle values and the mJLO ($\tau = +0.13$, $p = 0.13$).

Evaluating TTIA values, the mean angle was $160.54^\circ \pm 6.81^\circ$. The highest mean values of this angle were recorded in patients with AP, the lowest in individuals with AD, while intermediate values were found in those with AN. The differences in TTIA angle values among the groups were not statistically significant ($p = 0.08$). No significant correlation was established between TTIA values and the mJLO ($\tau = +0.12$, $p = 0.16$).

Assessing the prognostic value of sagittal morphology parameters of the distal femur in determining mJLO variant, we found significantly higher odds of AD in patients with PDFFA $> 88^\circ$ (OR = 3.63; CI: 1.20–12.33; $p = 0.02$) (table 3). Conversely, individuals with PDFFA $< 78^\circ$ demonstrated a lower likelihood of AD (OR = 0.08; CI:

0.01–0.34; $p = 0.0005$) and higher odds of AP (OR = 49.00; CI: 4.17–6846.81; $p = 0.001$).

It is noteworthy that PCOR < 0.44 was associated with higher odds of AP (OR = 11.67; CI: 1.06–1596.60; $p = 0.04$), whereas individuals with PCOR > 0.44 demonstrated a lower likelihood of this obliquity type (OR = 0.09; CI: 0.0006–0.94; $p = 0.04$).

The presence of PTS angle values within the reference range was associated with significantly lower odds of AD (OR = 0.25; CI: 0.07–0.76; $p = 0.01$). In patients with PTS values $> 8^\circ$, significantly higher odds of AD were observed (OR = 5.22; CI: 1.65–19.40; $p = 0.004$) and a lower risk of AN (OR = 0.28; CI: 0.07–0.90; $p = 0.03$).

Discussion

The obtained results indicate a high variability of the sagittal morphology parameters of the knee joints in OA, depending on the orientation of the joint line. According to the author's method of mJLO assessment, AD was recorded in the majority of examined cases — 69.35 %, AN — in 25.81 %, and AP — in 4.84 %. The stability of intergroup differences in mJLO was preserved when the correction coefficient of $+6^\circ$ was varied within $\pm 1^\circ$, indicating high robustness of the calculated parameters, internal consistency of the method, and the correctness of the applied formula, even under conditions of minor measurement error and without direct validation on full-length radiographs. A substantial predominance of AD of the knee joint, calculated using the CPAK method, in OA has been confirmed by the results of numerous studies [19–22].

In particular, according to the findings of the original multicenter study by S. J. MacDessi et al., which analyzed orthoradiographs of 500 patients from European and Australian populations with knee OA, AD was identified in 67 %, AN — in 31.8 %, and AP — in 2.6 % [10].

Table 3

Predictive value of the morphological parameters of the distal femur

Parameter	mJLO		
	AD	AN	AP
PDFA			
< 78°	OR = 0.08 CI (0.01–0.34) p = 0.0005	OR = 3.61 CI (0.92–14.40) p = 0.07	OR = 49.00 CI (4.17–6846.81) p = 0.001
79°–87°	OR = 1.25 CI (0.42–3.99) p = 0.70	OR = 1.14 CI (0.35–3.57) p = 0.82	OR = 0.24 CI (0.002–2.62) p = 0.28
> 88°	OR = 3.63 CI (1.20–12.33) p = 0.02	OR = 0.40 CI (0.12–1.25) p = 0.12	OR = 0.14 CI (0.001–1.52) p = 0.15
PCOR			
< 0.44	OR = 0.36 CI (0.12–1.06) p = 0.06	OR = 1.69 CI (0.55–5.25) p = 0.36	OR = 11.67 CI (1.06–1596.60) p = 0.04
> 0.44	OR = 2.75 CI (0.94–8.41) p = 0.06	OR = 0.59 CI (0.19–1.83) p = 0.36	OR = 0.09 CI (0.0006–0.94) p = 0.04

Note: * — CI not available.

Table 4

Predictive value of the morphological parameters of the proximal tibia

Parameter	mJLO		
	AD	AN	AP
PTS			
< 3°	OR = 0.14 CI (0.001–2.78) p = 0.20	OR = 9.00 CI (0.46–1341.77) p = 0.15	OR = 5.57 CI (0.04–128.15) p = 0.38
3°–8°	OR = 0.25 CI (0.07–0.76) p = 0.01	OR = 2.70 CI (0.87–9.29) p = 0.09	OR = 7.74 CI (0.71–1057.63) p = 0.10
> 8°	OR = 5.22 CI (1.65–19.40) p = 0.004	OR = 0.28 CI (0.07–0.90) p = 0.03	OR = 0.14 CI (0.001–1.52) p = 0.11

Note: * — CI not available.

A similar distribution was reported by S. Agarwal et al., who presented the results of a retrospective analysis of orthoradiographic data of 134 patients (33 men, 101 women; mean age — 70 years) with knee OA. In accordance with the CPAK method, the researchers recorded AD in 66.41 %, AN — in 32.08 %, and AP — in 1.48 % [23].

In a retrospective study by S. E. Kim et al., data from 164 patients with knee OA predominantly affecting the medial compartment were analyzed. The authors established that the mean JLO, according to the CPAK method, was $175.8^\circ \pm 2.9^\circ$ (range: 167.4° – 185.7°). AD was observed in 67.1 %, AN — in 32.4 %, and AP — in 0.6 % [24].

When analyzing the morphological parameters of the distal femur determined in the sagittal plane, we established an increase in PDFA values in patients with AD, which was primarily due to the downward displacement of the horizontal axis drawn through the femoral condyles. In patients with AP, a decrease in PDFA values was observed as a result of the upward displacement of the axis passing through the condyles. In patients with degenerative-dystrophic diseases of the knee joint and AN, no general trend of displacement of the horizontal axis through the condyles was identified; in the majority of examined individuals — 37.50 %, the PDFA values corresponded to the reference range. A weak inverse correlation between PDFA and mJLO was established, confirming that a more

proximal position of the joint line is associated with lower PDFA values. In addition, it was demonstrated that $\text{PDFA} > 88^\circ$ was associated with significantly higher odds of developing AD, whereas $\text{PDFA} < 78^\circ$ reduced the likelihood of this obliquity type and was linked to higher odds of AP.

When analyzing PCOR values, the highest indicators were observed in the AD group, whereas the lowest values were recorded in individuals with AP. A weak inverse correlation with mJLO indicated a tendency for PCOR to decrease with a more proximal obliquity of the joint line. In the majority of patients with AD (67.44 %) and in every second patient with AN, PCOR values > 0.44 were identified, which indicated a higher risk of anterior cruciate ligament injury in these groups. In all patients with AP and in half of the individuals with AN, PCOR values < 0.44 were recorded, which are associated with limitations of knee flexion. Notably, $\text{PCOR} < 0.44$ was associated with a higher likelihood of AP, whereas $\text{PCOR} > 0.44$ reduced the odds of developing this obliquity type.

With regard to the proximal tibia, the highest PTS values were recorded in individuals with AD, whereas the lowest values were observed in those with AP. Although the correlation with mJLO was statistically insignificant, the analysis of prognostic value demonstrated that PTS in the range of 3° – 8° decreases the probability of AD. The presence of $\text{PTS} > 8^\circ$ was associated with a higher risk of AD and a lower likelihood of AN.

Comparable mean PTS values (8.6° – 9.1°) were reported by L. Xin et al. in a cohort study of patients with knee OA [25], whereas in the work of S. K. Saidapur et al., this parameter was higher — $11.5^\circ \pm 1.34^\circ$ in patients with early knee OA in the Indian population [26]. The high interethnic variability of PTS values has been confirmed by numerous population-based studies. The mean angle was reported as 9.90° in Americans, 13.30° in Chinese, 4° – 7° in Germans, 11° in Japanese, 5.8° – 6.6° in the Saudi Arabian population, and 7° in the East African population [27, 28].

Other parameters of sagittal morphology, in particular TMTS and TTIA, demonstrated more selective associations with mJLO.

Summarizing our findings, in patients with AD the leading morphological factors of changes in knee OA are the downward deviation of the axis drawn through the femoral condyles and the associated increase in PDFA and PCOR values, as well as the downward displacement of the axis drawn through the tibial condyles, which results in a decrease in TMTS values and an increase in PTS values. All these transformations indicate a higher risk of anterior cruciate ligament injury in patients with AD. In addition, the anterior dis-

placement of the tibial diaphyseal axis in patients with AD, confirmed by low TTIA values, creates conditions that may lead to excessive tension of the anterior cruciate ligament and its injury.

The importance of PTS as a risk factor for anterior cruciate ligament injury has been confirmed by the findings of Y. Hiranaka et al., who identified an association between higher PTS values and anterior tibial translation [29], as well as by the biomechanical investigations of R. S. Dean et al., which demonstrated a linear increase in tensile stress on the ligament with increasing PTS [30]. In the study by B. Springer et al., it was shown that in OA with varus deformity, the combination of $\text{varus} \geq 10^\circ$ and tibiofemoral subluxation ≥ 6 mm indicates a high probability of functional insufficiency of the ACL [31].

In patients with AP, alterations were observed due to the upward displacement of the axis passing through the femoral condyles, which corresponded to reduced PDFA and PCOR values, as well as increased TMTS angles and decreased PTS angles, resulting from the upward deviation of the axis passing through the tibial condyles. The morphological characteristics of the knee joint in patients with AP indicate a distinct load-bearing axis and potentially a different mechanism of degenerative changes. AP is characterized by higher TTIA values and a corresponding posterior displacement of the diaphyseal axis, which is associated with a lower risk of anterior cruciate ligament overstrain and increased tension of the posterior cruciate ligament.

In individuals with AN, intermediate values of the investigated angles were identified in most cases.

The identified mJLO knee variants may potentially influence the choice of surgical strategy in the treatment of knee osteoarthritis. However, the issue of adapting preoperative planning to a specific morphotype remains a subject of further research and currently lacks sufficient evidence.

The *limitations* of the present study, reflecting actual clinical practice, are the potential variability in the acquisition of radiographs across different medical institutions and the uneven distribution of subjects among groups. Despite the single-center nature of the study, radiographs may have been obtained from different medical facilities before inclusion, potentially affecting baseline data standardization. We were unable to control the technical parameters of external radiographs (beam angle, object distance, patient positioning, equipment type and calibration, image processing settings). Excluding external radiographs was not possible. To minimize the impact of these factors, the analysis focused on angular morphometric parameters, which are less

sensitive to projection errors. In the present study, reproducibility of the morphometric measurements was evaluated overall; separate ICC analysis for the newly introduced parameters TMTS and TTIA was not performed. Establishing threshold values and clinical interpretation for these measures requires a dedicated investigation, which is planned for future research. Moreover, the partial overlap of clinical material with our previous studies may limit the generalizability of the results; however, the use of distinct methodological approaches ensured the independence of the obtained results and conclusions. Despite these limitations, the results of the comprehensive morphometric analysis enabled the identification of key morphological markers of degenerative changes in relation to the mJLO.

The results of this study demonstrated differences in the sagittal morphological characteristics of the distal femur and the proximal tibia according to the mJLO variant, thereby allowing *rejection of the null hypothesis*.

Conclusions

A significant difference in the sagittal morphological parameters of the distal femur and the proximal tibia was demonstrated in patients with medial knee osteoarthritis depending on the joint line obliquity, as determined using the authors' method (mJLO).

The apex distal, apex neutral, and apex proximal mJLO variants demonstrated specific and reproducible morphological patterns, indicating that sagittal joint geometry is systematically related to the direction of joint line obliquity.

A comprehensive assessment of morphological parameters may assist in predicting the mJLO variant during preoperative planning; however, further studies are required to clarify these associations, particularly for the less frequent variants.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Prospects for further research. In future studies, it is advisable to consider the combined use of frontal plane parameters and lateral angles, which would allow for a more comprehensive assessment of knee joint morphology. This approach may facilitate personalized planning of alignment in arthroplasty and osteotomies, minimizing the risk of postoperative imbalance and excessive JLO.

Funding information. The presented study is non-commercial and received no external financial support from any institutions, organizations, or foundations.

Authors' contributions. Kostrub O. O. — final approval of the article; Blonskyi R. I. — determination of the direction and concept of the study, analysis of the obtained results; Kylymniuk L. O. — collection of clinical data and results of patients' radiographic examinations, writing of the main text; Khytruk K. M. — conducting a literature search, statistical analysis of the results; Khytruk S. V. — participation in writing the introduction and discussion of results, preparation of the reference list.

References

- Giorgino, R., Albano, D., Fusco, S., Peretti, G. M., Mangiavini, L., & Messina, C. (2023). Knee osteoarthritis: epidemiology, pathogenesis, and mesenchymal stem cells: what else is new? An update. *International journal of molecular sciences*, 24(7), 6405. <https://doi.org/10.3390/ijms24076405>
- Jang, S., Lee, K., & Ju, J. H. (2021). Recent updates of diagnosis, pathophysiology, and treatment on osteoarthritis of the knee. *International journal of molecular sciences*, 22(5), 2619. <https://doi.org/10.3390/ijms22052619>
- Wang, Y., Lu, J., Wang, Z., Li, Z., Pan, F., Zhang, M., Chen, L., & Zhan, H. (2024). The association between patella alignment and morphology and knee osteoarthritis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 19(1), 509. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05001-6>
- Primorac, D., Molnar, V., Rod, E., Jeleč, Ž., Čukelj, F., Matišić, V., Vrdoljak, T., Hudetz, D., Hajsok, H., & Borić, I. (2020). Knee osteoarthritis: a review of pathogenesis and state-of-the-art non-operative therapeutic considerations. *Genes*, 11(8), 854. <https://doi.org/10.3390/genes11080854>
- Ly, Y., Sui, L., Lv, H., Zheng, J., Feng, H., & Jing, F. (2025). Burden of knee osteoarthritis in China and globally from 1992 to 2021, and projections to 2030: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *Frontiers in public health*, 13, 1543180. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1543180>
- Lee, S. H., Yoo, J. H., Kwak, D. K., Kim, S. H., Chae, S. K., & Moon, H. S. (2024). The posterior tibial slope affects the measurement reliability regarding the radiographic parameter of the knee. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1), 202. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07330-3>
- Handa, M., Takahashi, T., Saito, A., Iguchi, M., & Takeshita, K. (2025). Comparison of coronal and sagittal alignment in patients without osteoarthritis but with knee complaints. *Journal of experimental orthopaedics*, 12(1), e70165. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70165>
- Meier, M., Janssen, D., Koeck, F. X., Thienpont, E., Beckmann, J., & Best, R. (2021). Variations in medial and lateral slope and medial proximal tibial angle. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 29(3), 939–946. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06052-y>
- Siddiqi, A., Anis, H., Borukhov, I., & Piuze, N. S. (2022). Osseous morphological differences in knee osteoarthritis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 104(9), 805–812. <https://doi.org/10.2106/JBJS.21.00892>
- MacDessi, S. J., Griffiths-Jones, W., Harris, I. A., Bellemans, J., & Chen, D. B. (2021). Coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification. *The bone & joint journal*, 103-B(2), 329–337. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1050.R1>
- Sohn, S., Koh, I. J., Kim, M. S., & In, Y. (2022). Risk factors and preventive strategy for excessive coronal inclination of tibial plateau following medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 142(4), 561–569. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03660-8>
- Abalkhail, T. B., & McClure, P. K. (2022). Sagittal plane assessment in deformity correction planning: the sagittal joint line angle. *Strategies in trauma and limb reconstruction*, 17(3), 159–164. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10080-1569>
- Blonskyi, R. I., & Kylymniuk, L. O. (2025). Sahitalnyi profil morfotypiv kolinnoho suhlobo pry osteoartryti [Sagittal profile of knee joint morphotypes in osteoarthritis]. *Modern medical technology*, 4(18), in press.
- Cassar-Pullicino, V. N., & Davies, A. M. (Eds.). (2020). *Measurements in musculoskeletal radiology*. Springer. 860 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68897-6>
- Unal, M., Ercan, S., Budeyri, A., Toprak, U., & Şalkacı, A. (2020). Anatomical axis validation of lower extremity for different deformities: A radiological study. *SAGE open medicine*, 8, 2050312120923822. <https://doi.org/10.1177/2050312120923822>

16. World Medical Association. (1964/2013). *Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects*. Ferney-Voltaire: WMA, from <https://www.wma.net/what-we-do/medical-ethics/declaration-of-helsinki/>
17. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes: Strasbourg, 18 March 1986. (2000).
18. Law of Ukraine No. 3447-IV, article 26. On the protection of animals from cruel treatment. Kyiv, 21 February, 2006. (In Ukrainian)
19. Morrissey, Z., Cruse, J., Barra, M., Carroll, T., & Drinkwater, C. (2024). Posterior tibial slope considered as an important addition to the CPAK classification system. *Journal of orthopaedics*, 51, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.01.008>
20. Mulpur, P., Desai, K. B., Mahajan, A., Masilamani, A. B. S., Hippalgaonkar, K., & Reddy, A. V. G. (2022). Radiological Evaluation of the Phenotype of Indian Osteoarthritic Knees based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification (CPAK). *Indian journal of orthopaedics*, 56(12), 2066–2076. <https://doi.org/10.1007/s43465-022-00756-8>
21. Şenel, A., Eren, M., Sert, S., Gürpınar, T., Çarkçı, E., & Polat, B. (2024). Phenotyping of the Turkish population according to Coronal Plane Alignment of the Knee classification: A retrospective cross-sectional study. *Joint diseases and related surgery*, 35(1), 194–201. <https://doi.org/10.52312/jdrs.2023.1464>
22. Toyooka, S., Osaki, Y., Masuda, H., Arai, N., Miyamoto, W., Ando, S., Kawano, H., & Nakagawa, T. (2023). Distribution of coronal plane alignment of the knee classification in patients with knee osteoarthritis in Japan. *The journal of knee surgery*, 36(7), 738–743. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742645>
23. Agarwal, S., Ayeni, F. E., & Sorial, R. (2024). Impact of change in coronal plane alignment of knee (CPAK) classification on outcomes of robotic-assisted TKA. *Arthroplasty (London, England)*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s42836-024-00239-1>
24. Kim, S. E., Yun, K. R., Lee, J. M., Lee, M. C., & Han, H. S. (2024). Preserving coronal knee alignment of the knee (CPAK) in unicompartmental knee arthroplasty correlates with superior patient-reported outcomes. *Knee surgery & related research*, 36(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s43019-023-00204-3>
25. Xin, L., Xingjia, M., Shengjie, G., Yanwei, C., Shuaijie, L., & Chuan, X. (2022). Comparison of Tibial Tubercle Landmark Technique and Range of Motion Technique in Primary Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Cohort Study. *Orthopaedic surgery*, 14(12), 3159–3170. <https://doi.org/10.1111/os.13486>
26. Saidapur, S. K., Srinivas, P. S., Shete, S., Hundekar, A., & Jatti, R. S. (2023). Radiological assessment of the posterior tibial slope as a risk factor for osteoarthritis of the knee in Indian population. *Trends in Clinical Medical Sciences*, 3(Spec Issue 2), 397–402. <https://doi.org/10.30538/psrp-tmcs2023-si-imrv061>
27. Wu, Y., Lu, W., Li, Z., Xie, H., Tang, L., & Pan, E. (2022). Analysis of the influence of tibial component posterior slope angle on short- and mid-term effectiveness of unicompartmental knee arthroplasty. *Zhongguo xiu fu chongjian wai ke zazhi = Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 36(2), 189–195. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.202110019>
28. Hohmann, E., Nel, A., Zyl, R. V., Keough, N., & Mogale, N. (2025). A morphometric study of posterior tibial slope differences by sex and ethnicity in a South African population. *Surgical and radiologic anatomy: SRA*, 47(1), 52. <https://doi.org/10.1007/s00276-024-03551-2>
29. Hiranaka, Y., Muratsu, H., Tsubosaka, M., Matsumoto, T., Maruo, A., Miya, H., Kuroda, R., & Matsushita, T. (2022). Influence of posterior tibial slope on sagittal knee alignment with comparing contralateral knees of anterior cruciate ligament injured patients to healthy knees. *Scientific reports*, 12(1), 14071. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18442-y>
30. Dean, R. S., Beck, E. C., & Waterman, B. R. (2021). Knee malalignment: Is there a role for correction in primary ACLR? *Operative techniques in sports medicine*, 29(2), 150833. <https://doi.org/10.1016/j.otsm.2021.150833>
31. Springer, B., Waldstein, W., Bechler, U., Jungwirth-Weinberger, A., Windhager, R., & Boettner, F. (2021). The functional status of the ACL in varus OA of the knee: the association with varus deformity and coronal tibiofemoral subluxation. *The Journal of arthroplasty*, 36(2), 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.08.049>

Стаття надійшла до редакції 25.09.2025	Отримано після рецензування 12.11.2025	Прийнято до друку 14.11.2025
---	---	---------------------------------

ОСОБЛИВОСТІ РЕНТГЕНОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ОСТЕОАРТРИТУ КОЛІННОГО СУГЛОБА В БОКОВІЙ ПРОЄКЦІЇ ЗАЛЕЖНО ВІД НАХИЛУ СУГЛОБОВОЇ ЛІНІЇ

О. О. Коструб¹, Р. І. Блонський¹, Л. О. Килимнюк², К. М. Хитрук³, С. В. Хитрук⁴

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

² Медичний центр «Angels Clinic», Вінниця, Україна

³ Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Україна

⁴ Вінницька обласна клінічна лікарня ім. М. І. Пирогова, Україна

✉ Oleksandr Kostrub, MD, DMSci, Prof.: akostrub@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7925-9362>

✉ Roman Blonskyi, MD, DMSci, Prof.: drblonskiy@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2310-6345>

✉ Liubov Kylymniuk, MD, PhD: kylymniuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0170-8708>

✉ Kateryna Khytruk, MD, PhD: kateryna.pankiv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3555-9803>

✉ Sergii Khytruk, MD, PhD: khytruksv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0587-5151>

УДК 616.728.3-001:616.75](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025463-71>

Сучасні концепції діагностики ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба

М. Л. Головаха, Є. О. Білих, А. А. Безверхий

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна

Injuries to the posterolateral corner (PLC) of the knee are usually not initially apparent, and diagnosis and treatment require a full understanding of the functional interactions of their structures, as well as a specific history and complete physical examination. Objective. To summarize current concepts regarding the anatomy, biomechanics, and diagnosis of PLC injuries of the knee and to outline directions for improving the diagnostic algorithm. Materials and methods. A narrative review of publications indexed in PubMed, Scopus, and Google Scholar was conducted, focusing on anatomical and biomechanical characteristics, clinical manifestations, imaging modalities, and classification systems for PLC injuries. Results. The lateral collateral ligament, popliteofibular ligament, popliteus tendon, posterolateral capsule, and associated musculotendinous complexes were identified as the key static and dynamic stabilizers resisting varus stress and external rotation of the tibia. PLC injuries are rarely isolated; more commonly, they occur in combination with anterior or posterior cruciate ligament tears and, if not diagnosed in a timely manner, lead to chronic instability and increased load on the medial compartment of the knee. Clinical stress tests and varus stress radiography provide an approximate assessment of instability; however, existing classification systems do not fully capture the variety of injury patterns and their combinations, while the sensitivity of conventional MRI, particularly in chronic cases, remains limited. Arthroscopy may serve as an additional method for intra-articular evaluation. Conclusions. Accurate diagnosis of PLC injuries requires a standardized, multimodal approach with precise identification of the injured structures. The development of an integrated, differentiated diagnostic algorithm supported by machine-learning-based artificial intelligence tools appears to be a promising strategy for improving early detection and optimizing treatment planning. Keywords. Knee, ligaments, posterolateral corner, injuries, instability, diagnostics

Ушкодження задньолатерального кута колінного суглоба (ЗЛККС) зазвичай не виявляються спочатку, і для діагностики та лікування потрібне повне розуміння функціональних взаємодій їхніх структур, а також збір конкретного анамнезу та повне фізичне обстеження. Мета. Систематизувати сучасні уявлення про анатомію, біомеханіку та діагностику ушкоджень ЗЛККС й окреслити шляхи удосконалення діагностичного алгоритму. Методи. Проведено огляд публікацій з баз PubMed, Scopus і Google Scholar щодо анатомо-біомеханічним особливостей, клінічних проявів, методам візуалізації та класифікацій ушкоджень ЗЛККС. Результати. Визначено, що латеральна колатеральна, підколінно-малогомілкова зв'язки, підколінний сухожилок, задньобоківа капсула та м'язово-сухожилкові комплекси є ключовими статичними й динамічними стабілізаторами, які протидіють варусно-му навантаженню та задньолатеральній ротації великогомілкової кістки. Ушкодження структур ЗЛККС рідко бувають ізольованими, частіше поєднуються з розривами схрещених зв'язок і за відсутності своєчасної діагностики призводять до хронічної нестабільності та перевантаження медіального відділу коліна. Клінічні стрес-тести та стрес-рентгенографія дозволяють орієнтовно оцінити ступінь нестабільності, проте наявні класифікації не повністю відображають варіанти ушкодження й їх комбінації, а чутливість МРТ, особливо в хронічному періоді, залишається недостатньою. Висновки. Діагностика ушкоджень ЗЛККС потребує стандартизованого багатокомпонентного підходу з чіткою ідентифікацією уражених структур. Перспективним напрямом є створення інтегрованого диференційованого алгоритму з використанням методів машинного навчання та штучного інтелекту для підвищення точності ранньої діагностики й оптимізації лікувальної тактики.

Ключові слова. Колінний суглоб, задньолатеральний кут, зв'язки, ушкодження, нестабільність, діагностика

Вступ

Частота ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба (ЗЛККС) зросла через збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод і спортивних травм. Ураження ЗЛККС здебільшого відбувається в поєднанні з розривами передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ) або задньої схрещеної зв'язки (ЗСЗ). Ізольоване ушкодження цієї локалізації є дуже рідкісним, тому його можна не помітити чи неправильно діагностувати [1]. У разі несвоєчасного або відсутнього лікування виникає хронічний біль і залишкова нестабільність. Отже, дуже важливо правильно виявити та лікувати таку травму.

Ушкодження ЗЛККС зазвичай не виявляються спочатку, і для діагностики та лікування потрібні повне розуміння функціональних взаємодій їхніх структур, а також збір конкретного анамнезу та повне фізичне обстеження.

Мета: систематизувати сучасні уявлення про анатомію, біомеханіку та діагностику ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба й окреслити шляхи удосконалення діагностичного алгоритму.

Матеріал і методи

Матеріали статті відповідають усім вимогам і положенням Гельсінської декларації про права людини, Конституції та основам законодавства України про охорону здоров'я, етичним нормам щодо проведення клінічних досліджень (протокол № 14 від 26.11.2025 комісії з біоетики Запорізького медико-фармацевтичного університету).

Проаналізовано релевантну літературу з баз PubMed, Scopus, Google Scholar із використанням ключових слів: knee joint, posterolateral angle, ligaments, injuries, instability, diagnostics. Відібрано статті та метааналізи за останні роки щодо концепції діагностики ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба. Критерієм включення були оригінальні експериментальні та клінічні дослідження. Загалом проаналізовано 37 джерел.

Коротко описано анатомію, біомеханіку та діагностику нестабільності. Кількість пацієнтів із травмою задньолатерального кута колінного суглоба невпинно зростає останнім часом через бойові дії. Наразі це зумовлює необхідність ретельного обстеження хворих із ураженням ЗЛККС, оскільки цю травму легко не помітити, що призведе до хронічної нестабільності.

Результати й обговорення

Анатомічно важливими структурами в ЗЛККС є латеральна колатеральна й підколінно-малого-

мілкова та підколінно-стегнова зв'язки, підколінний сухожилок і задньобокіа капсула (рис. 1). Структури діляться на статичні (міжберцева зв'язка і задньобокіа капсула) та динамічні (двоголовий м'яз стегна, здухвинно-великогомілковий тракт і підколінний комплекс). Статичні забезпечують обмеження варусних сил на коліно. Підколінний комплекс складається зі сухожилка підколінного з'єднання (м'язово-сухожилкове з'єднання підколінного м'яза) і прикріплюється приблизно на 1,3 мм дистальніше і на 0,5 мм допереду від кінчика шилоподібного відростка маломілкової кістки.

Іншими структурами, які впливають на стабільність ЗЛККС, є здухвинно-великогомілковий тракт, двоголовий м'яз стегна, міжгомілкова зв'язка, середня третина латеральної капсули та латеральний меніск. Здухвинно-великогомілковий тракт забезпечує латеральну стабільність коліна, коли під час його розгинання виникає надмірне варусне напруження [2]. Двоголовий м'яз стегна має довгу і коротку головки, які допомагають коліну згинатися й обертатися латерально, забезпечуючи динамічну стабільність за варусної ангуляції. Також цей м'яз контролює внутрішню ротацію великогомілкової кістки і працює з медіальними підколінними сухожилками, запобігаючи надмірному передньому зміщенню великогомілкової кістки в бік стегна. Латеральна капсула середньої третини є вторинним стабілізатором варусної стабільності [3]. Вінцева зв'язка латерального меніска простягається від підколінного отвору до підколінно-меніскового пучка і відіграє роль опору, коли коліно перебуває в стані перерозгинання або задньолатеральної ротації великогомілкової кістки [4].

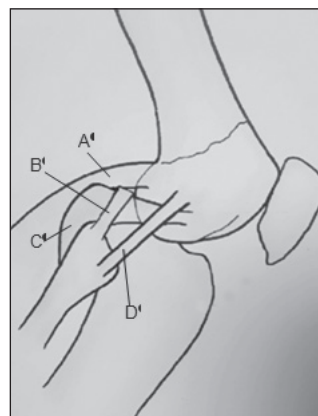


Рис. 1. Анатомічна структура ЗЛК: а) латеральний сухожилок литкового м'яза; в) підколінно-малоберцева зв'язка; с) підколінний м'яз і його сухожилок; д) латеральна колатеральна зв'язка

Отже, задньолатеральний кут колінного суглоба — основний стабілізатор, який протидіє варусному навантаженню на коліно.

Біомеханіка

Структури ЗЛККС забезпечують первинне обмеження варусних сил коліна, а також задньолатерального обертання великогомілкової кістки [5]. Попередні біомеханічні дослідження за допомогою вибіркового секціонування структур надали докази важливості латеральної коллатеральної, підколінно-малогомілкової зв'язок, підколінного сухожилка в опорі силам на коліно. У разі дефіциту схрещеної зв'язки ці структури виступають вторинними стабілізаторами переднього і заднього зміщення великогомілкової кістки [6–10].

Латеральна коллатеральна зв'язка є первинним статичним обмеженням варусного відкриття коліна. Прямі вимірювання її сили під час прикладеного варусного руху демонструють реакцію навантаження за всіх кутів згинання, водночас реакція за 30° значно вища, ніж 90°. Міцність розриву латеральної коллатеральної зв'язки була визначена як 295 Н. Після її розтину R. F. LaPrade і F. Wentorf [10] довели, що реакції за серединних навантажень на зовнішнє обертання латеральної коллатеральної зв'язки значно вищі, ніж у підколінного сухожилка і підколінно-малогомілкової зв'язки за 0° і 30° згинання, тоді як підколінний м'яз і підколінно-малогомілкова зв'язка демонстрували високі навантаження. Стосовно зовнішнього обертання великогомілкової кістки, структури задньолатерального кута є основними стабілізаторами її зовнішнього обертання за будь-якого кута згинання. У дослідженнях, як D. L. Gollehon зі співавт. [6] і E. S. Grood зі співавт. [7] ізольований розтин задньолатерального кута дає максимальне середнє збільшення обертання на 13° за 30° згинання, яке знизилося до середнього значення 5,3° за 90°. Комбіноване його ушкодження та задньобоківих структур призвело до значного зростання зовнішньої ротації великогомілкової кістки, особливо за 90° згинання (20,9°). Отже, комбіновані травми ЗСЗ і структур ЗЛККС сприйнятливіші до сил зовнішньої ротації. Домінуючим обмежувачем заднього зміщення великогомілкової кістки є ЗСЗ [11]. Її ізольований розтин спричиняє підвищене заднє зміщення великогомілкової кістки за будь-якого кута згинання з максимумом за 90° (11,4 мм), а додатковий розтин структур ЗЛККС призводить до зростання заднього зміщення великогомілкової кістки за всіх кутів із максимумом у разі незначного зги-

нання коліна. Таким чином, структури ЗЛККС, а не ЗСЗ, є основним обмежувачем заднього зміщення великогомілкової кістки за умов майже повного розгинання коліна. Комбіновані дослідження структур ЗЛККС і ЗСЗ продемонстрували значне збільшення заднього переміщення (21,5 мм) за 90° згинання в порівнянні з неушкодженим коліном або з ізольованими травмами ЗЛККС чи задньобоківу недостатністю. Також було підтверджено функціональну взаємодію між підколінним м'язом і ЗЛККС — підколінний м'яз діє як статичний, так і як динамічний стабілізатор коліна. У дослідженні на трупному матеріалі C. D. Harner, і J. Höher [12] виявили, що навантаження на підколінний м'яз у неушкодженому суглобі зменшувало здатність відповіді ЗСЗ на заднє навантаження, тоді як у моделі з дефіцитом цієї зв'язки навантаження на підколінний м'яз знижувало заднє переміщення в разі максимального кута згинання 30°.

Біомеханічний аналіз задньобоківу нестабільності в умовах реконструкції ПСЗ або ЗСЗ додатково демонструє взаємозалежний зв'язок структур ЗЛККС і цих зв'язок. R. F. LaPrade зі співавт. [13] відзначили підвищені навантаження в трансплантаті ПСЗ із застосуванням варуса та сполучених варусно-внутрішніх обертальних моментів. Унаслідок цього вони рекомендували реконструкцію чи відновлення ЗЛККС, які вважаються другорядним первинним стабілізаторами (ПСЗ є основним стабілізатором за менших кутів, а антеролатеральна — за умов великих кутів згинання) для запобігання внутрішньому обертанню.

Будь-яка нездатність розпізнати та лікувати травму ЗЛККС призведе до збільшення напруження та можливого збою в реконструкції ПСЗ або ЗСЗ, тому рекомендують комбіноване відновлення ЗЛККС і схрещених зв'язок [14]. Аналогічно, у комбінованій моделі ураження ЗЛККС і ЗСЗ, розробленій J. K. Sekiya та співавт. [15], реконструкція обох зон дала ближчу до нормальної кінематику коліна.

Останнім часом спостерігається тенденція до максимально анатомічного відновлення, зокрема трьох найважливіших біомеханічних структур, які контролюють варус і зовнішнє обертання: латеральна коллатеральна та підколінно-малогомілкова зв'язки, підколінний сухожилок. У дослідженні на трупному матеріалі анатомічна реконструкція не продемонструвала значної різниці між неушкодженими і відновленими суглобами в разі варусного навантаження за 0°, 60° і 90°

згинання або за зовнішнього моменту, який крутить, за будь-якого кута згинання [16]. Проте деякі біомеханічні експерименти, в яких усі три функціональні компоненти були анатомічно повновлені, окремо документували надмірне обмеження внутрішнього обертання та варусного відхилення. К. Н. Yoon та співавт. [17] повідомили, що нещодавно розроблена методика реконструкції ЗЛККС, яка не відновлює динамічний підколінний м'яз, не поступається способу, що включає анатомічне відтворення підколінного сухожилка. S. Kim зі співавт. [18] зазначили, що три загальноприйняті методи (Warren, Larson and Kim) не дають повного відновлення початкової міцності нативних структур задньолатерального кута колінного суглоба.

Діагностика

Анамнез

Ретельний збір анамнезу допомагає уникнути ігнорування можливих ушкоджень ЗЛККС, типовим симптомом яких є біль у задній частині коліна, а у деяких пацієнтів також наявні неврологічні симптоми. J. C. DeLee та співавт. [19] повідомили, що ураження маломілкового нерва було у 2 з 12 осіб із ізольованим ушкодженням задньолатерального кута колінного суглоба. R. F. LaPrade зі співавт. [20] та Y. Krukhaug зі співавт. [21] зазначили, що в пацієнтів із задньолатеральними травмами коліна травма маломілкового нерва спостерігалася в 13–16 % випадків. Пацієнти з хронічними травмами скаржаться на значний біль у медіальному або в задньолатеральному відділі коліна [22, 23]. Також можуть бути діагностовані ознаки ураження маломілкового нерва — парестезія або оніміння. Можна визначити функціональну нестабільність — за звичайної ходьби коліно перебуває в розігнутому стані, але під час спускання вниз сходами переходить у стан перерозгинання [24].

Механізм травми

Ушкодження задньолатеральних структур коліна зазвичай пов'язані зі спортом, падіннями та дорожньо-транспортними пригодами. Прямий удар по проксимальній частині великогомілкової кістки, коли коліно знаходиться в розігнутому стані, може призвести до ізольованої травми задньолатерального відділу. Поєднання гіперекстензії та варусних сил на коліно, коли воно знаходиться в зігнутому стані чи великогомілкова кістка в положенні зовнішньої ротації, також може спричинити ураження структур задньолатерального відділу. Бічний вивих колінного суглоба також призводить до їх травми.

Клінічне обстеження. Симптоми й ознаки

Симптоми ушкодження структур задньолатерального відділу включають широкий спектр болю, набряк і затвердіння. Крім того, рекомендується звернути увагу на вісь нижніх кінцівок пацієнта під час стояння та ходьби.

Положення стоячи. Пацієнти з травмою ЗЛККС, імовірно, матимуть незвичайне відхилення осі нижньої кінцівки. У положенні стоячи може спостерігатися варусна деформація коліна [25, 26].

Хода. Коли статичні стабілізатори коліна ушкоджені, то динамічні не можуть функціонувати належним чином через розкриття латеральної суглобової щілини та випирання виростка стегнової кістки та латерального плато великогомілкової. Це викликає варусну деформацію під час ходьби у фазі опори, що призводить до ненормальної ходи [27, 28]. Варусне зміщення коліна спостерігається під час фази реакції на опору ходи і за наявності застарілого ушкодження структур задньолатерального кута коліна (рис. 2). Зазвичай патерн ходи супроводжується розкриттям латерального відділу коліна, що збільшує навантаження на медіальний відділ суглоба і, отже, якщо нестабільність не лікувати, це спричинює зношування хряща медіальної половини [29]. Іноді в пацієнтів спостерігається хода з фіксованим коліном унаслідок адаптації до нестабільності колінного суглоба.

Dial-тест є одним із найважливіших фізичних обстежень, яке використовується для діагностики ушкодження ЗЛККС. Коли пацієнт перебуває в положенні лежачи, оцінюється зовнішня ротація великогомілкової кістки та кут стегна й стопи. Цей тест проводиться під час згинання коліна на 30° та

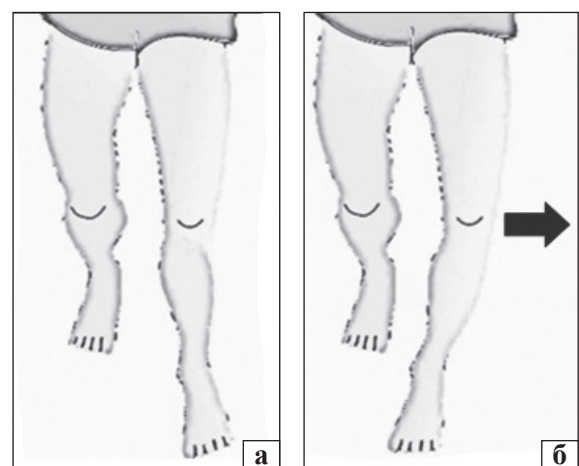


Рис. 2. Зображення колінних суглобів під час ходьби: а) нормальна хода під час фази реакції коліна на навантаження; б) динамічна варусна деформація, яка характерна для ушкодження задньолатерального кута

90° (рис. 3). У разі ізольованої травми ЗСЗ більше 10° зовнішньої ротації наявне під час згинання саме на 30°. За комбінованого ураження ЗСЗ більше 10° зовнішньої ротації є за згинання на 30° і на 90°.

Тест на зовнішню ротацію і рекурвацію може використовуватися для оцінювання задньолатеральної ротаційної нестабільності великогомілкової кістки. Варусна девіація визначається шляхом порівняння з контралатеральним коліном.

Тест задньолатеральної висувної шухляди (рис. 3) проводиться шляхом докладання задньолатеральної сили до проксимальної великогомілкової кістки зі зігнутим на 45° стегном, а коліном на 90° і повернутим на 15° назовні великогомілкової кістки в положенні лежачи на спині. Коли великогомілковий латеральний виросток має більше зовнішнє обертання, ніж латеральний стегновий, це вказує на наявність задньолатеральної травми.

Тест задньолатеральної зовнішньої ротації є комбінацією Dial-тесту і тесту задньолатеральної висувної шухляди, задньолатеральний підвивих великогомілкової кістки перевіряється за одночасного прикладання задніх і зовнішніх обертальних сил до колінного суглоба. Підвивих у разі згинання на 30° вказує на наявність ізольованої задньолатеральної травми. За комбінованої травми з ушкодження ЗСЗ підвивих відбувається під час згинання на 30° і на 90°.

Зворотний pivot shift тест виконується за умов зігнутого колінного суглоба на 40° і зовнішньої ротації великогомілкової кістки. Під час його розгинання великогомілкова кістка скорочується з клацанням. Це свідчить про наявність травми ЗЛККС. Проте в разі тестування під анестезією частота хибно позитивних результатів становить до 35 %.

Варусний стрес-тест виконується за навантаження під час згинання коліна на 20°–30° і допомагає діагностувати задньолатеральну нестабільність. Якщо латеральна колатеральна зв'язка не ушкоджена, то збільшення варусного зазору не спостерігається під час згинання на 20°–30°. У разі поєднання інших структурних травм підколінного сухожилка або підколінно-малогомілкової зв'язки може спостерігатись збільшення варусного зазору. На коліно, зігнуте на 20°–30°, прикладає тиск лікар над лінією суглоба для стабілізації дистального відділу стегнової кістки, а потім виконує варусне навантаження. Для визначення ступеня нестабільності оцінюється варусний проміжок на рентгенограмі з навантаженням.

Променева діагностика

Проста рентгенографія у прямій, бічній та аксіальній проєкціях проводиться для виключення інших травм (переломів). На прямій проєкції можна побачити розширення бічної суглобової щілини чи метафізарний відривний перелом або великогомілкової, або головки малогомілкової кісток [25].

У разі хронічних травм для корекції вирівнювання кінцівки може бути зроблена пряма проєкція ніг у положенні стоячи. Вирівнювання слід коригувати шляхом остеотомії до або під час процедури реконструкції [30, 31].

Рентгенограми з навантаженням задньолатерального кута колінного суглоба у положенні стоячи на коліні дуже інформативні для діагностики травм. R. F. LaPrade зі співавт. [32] дослідили варусні стресові рентгенограми колінного суглоба, зігнутого на 20°, щоб надати об'єктивні вимірювання зазору латерального відділу (рис. 4).

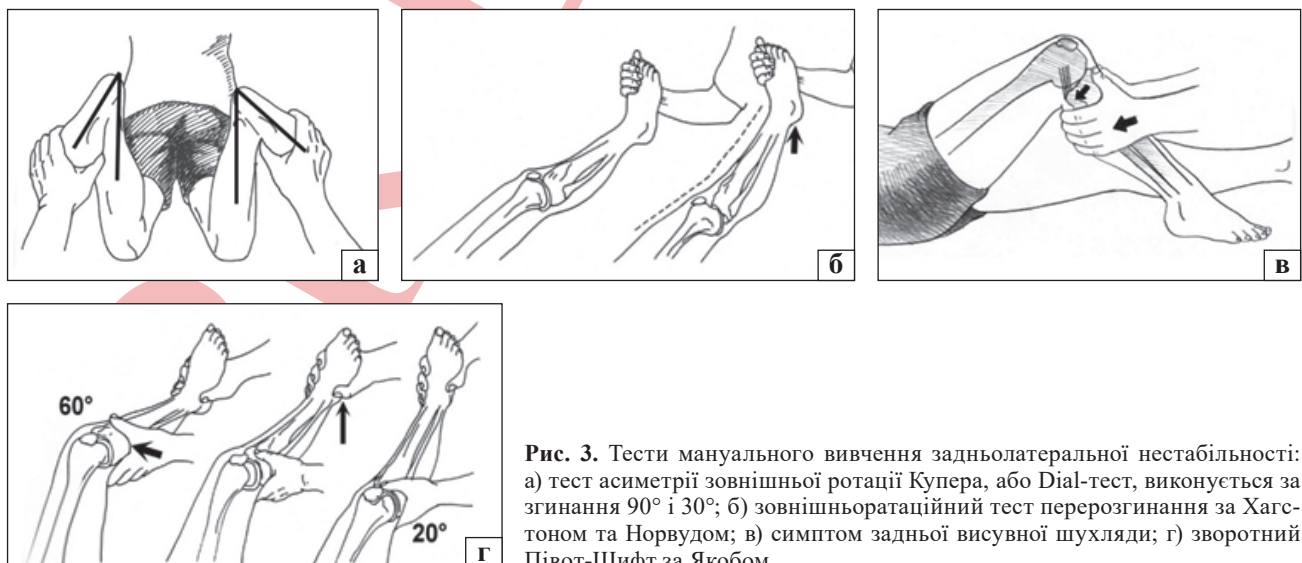


Рис. 3. Тести мануального вивчення задньолатеральної нестабільності: а) тест асиметрії зовнішньої ротації Купера, або Dial-тест, виконується за згинання 90° і 30°; б) зовнішньоротаційний тест перерозгинання за Хагстеном та Норвудом; в) симптом задньої висувної шухляди; г) зворотний Півот-Шифт за Якобом

Збільшене відкриття більш ніж на 4 мм може свідчити про травму ЗЛККС III ступеня. Також рентгенограма полегшує об'єктивну кількісну оцінку ізольованих або комбінованих травм ЗЛККС [33] (таблиця 1).

Магніторезонансна томографія (МРТ) може бути корисною, коли ушкодження задньолатеральних структур важко діагностувати клінічно.

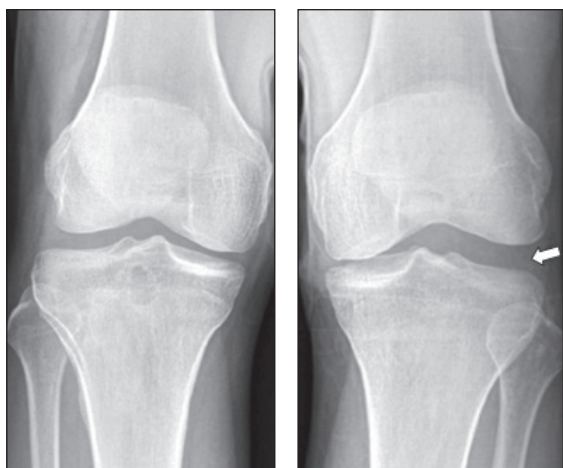


Рис. 4. Рентгенограма з варусним навантаженням демонструє збільшене розкриття латеральної суглобової щілини, котре позначено стрілкою у травмованому коліні

Вона допомагає ідентифікувати його структури. Зокрема, коронарні косі проєкції з T2-зваженим зображенням є найбільш корисними для аналізу задньолатеральних структур, ніж традиційні коронарні або сагітальні. МРТ доцільніше для виявлення гострих чи підгострих ушкоджень ЗЛККС (рис. 5). Тому МРТ слід здійснити протягом перших 12 тижнів, бо лише близько 26 % випадків може бути діагностовано пізніше цього періоду [34].

Артроскопія забезпечує внутрішньосуглобову інформацію про задньолатеральні структури, такі як підколінний комплекс, коронарна зв'язка латерального меніска та задньолатеральна капсула. Вона допомагає визначитися з відповідним лікуванням та надає остаточну анатомічну інформацію під час хірургічного лікування.

Ознака бічного розкриття латерального відділу більш ніж на сантиметр під варусним навантаженням на колінний суглоб, яка може бути підтвердженою артроскопією, показана на рис. 6. Крім того, під час операції можна спостерігати розширення підколінного отвору за внутрішньої ротації великогомілкової кістки, розриви нижнього та верхнього підколінно-меніскового пучків й аномальний підколінно-менісковий рух у разі ротації [35].

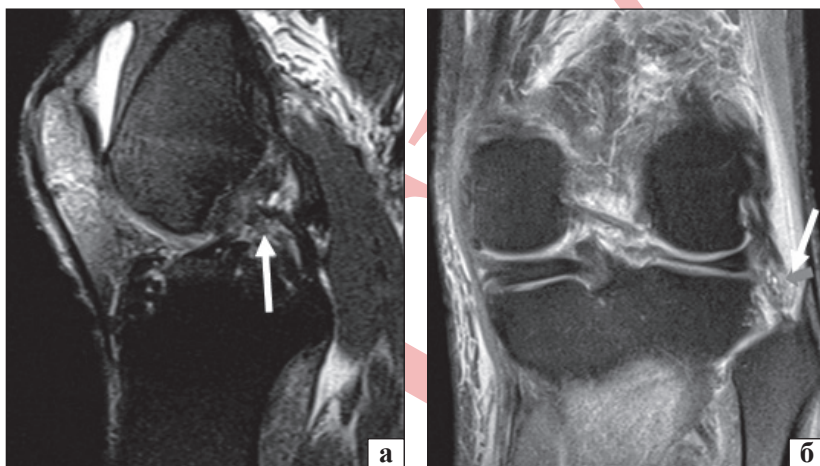


Рис. 5. Сагітальна та коронарна МРТ сканує кутову травму в лівому коліні: а) розрив ЗСЗ (стрілка) видно в сагітальній проєкції; б) високий сигнал на бічній колатеральній зв'язці (стрілка) видно в коронарній проєкції

Таблиця 1

Оцінка нестабільності за стресовими рентгенограмами

Показник відхилення	Ушкодження
Розкриття під час варусного стресу (мм) < 2,7	Норма чи мінімальне
2,7–4	Повний розрив латеральної колатеральної зв'язки
> 4	Повне ушкодження структур ЗЛККС
Заднє навантаження на гомілку (мм) < 4	Норма чи мінімальне
4–12	Ізольоване ЗСЗ
> 12	Повне ЗСЗ і ЗЛККС

Таблиця 2

Класифікація ушкоджень ЗЛККС G. C. Fanelli зі R. V. Larson

Тип	Характеристика	Структура
A	Збільшення зовнішньої ротації гомілки на 10°	<i>lig. popliteofibulare</i> , сухожилок <i>m. popliteus</i>
B	Збільшення зовнішньої ротації гомілки на 10°. Відкриття латерального відділу колінного суглоба за варус стрес-тесту на 5–10 мм	<i>lig. popliteofibulare</i> , сухожилок <i>m. popliteus</i> <i>lig. collaterale fibulare</i>
C	Збільшення зовнішньої ротації гомілки на 10°. Відкриття латерального відділу колінного суглоба за варус стрес-тесту більш ніж на 10 мм	<i>lig. popliteofibulare</i> , сухожилок <i>m. popliteus</i> <i>lig. collaterale fibulare</i> капсула суглоба, ЗСЗ

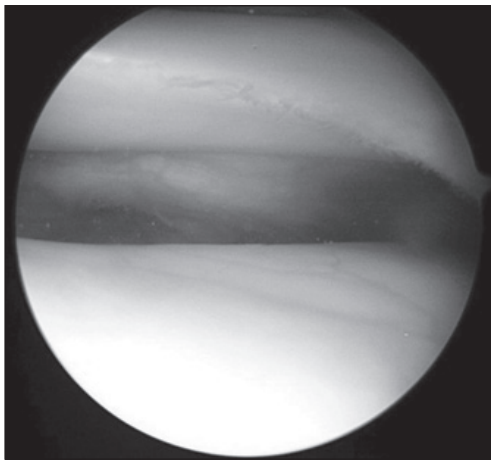


Рис. 6. Під час артроскопії спостерігається розкриття латерального відділу колінного суглоба

Класифікація

Ушкодження ЗЛККС можна класифікувати відповідно до травм задньолатеральних структур або ступеня задньолатеральної нестабільності. Найчастіше використовуються такі дві класифікації:

1. R. Bleday зі співавт. [36] та G. C. Fanelli зі R. V. Larson [37], розподілили ушкодження на типи А, В та С на основі травмованих структур (табл. 2):

– А — підколінно-малогомілкова зв'язка та підколінний сухожилок. Клінічно спостерігається лише збільшення зовнішньої ротації великогомілкової кістки;

– В — підколінно-малогомілкова зв'язка, підколінний сухожилок і латеральна колатеральна зв'язка. Легке варусне розкриття спостерігається під час варусного стрес-тесту за 30° згинання коліна разом із збільшенням зовнішньої ротації великогомілкової кістки;

– С — підколінно-малогомілкова зв'язка, підколінний сухожилок, латеральна колатеральна зв'язка, латеральний відрив капсули і розрив

Таблиця 3

Класифікація задньолатеральної нестабільності за J. Hughston

Ступінь ушкодження	Варусна та ротаційна нестабільність
I	0–5 мм та 0°–5°
II	5–10 мм та 6°–10°
III	> 10 мм та > 10°

схрещеної зв'язки. Виражена варусна нестабільність спостерігається за згинання коліна на 30°.

2. Класифікація J. Hughston ґрунтується на вивченні варусної або ротаційної нестабільності під дією варусної сили напруження за умов повного розгинання коліна [22] і має три ступені:

– I — мінімальний розрив зв'язки без аномального руху;

– II — частковий розрив із невеликим чи помірним аномальним рухом;

– III — повний розрив із вираженими аномальними рухами.

Класифікація задньолатеральної нестабільності за Hughston ураховує лише клінічні ознаки, які можна виявити за умов об'єктивного мануального обстеження пацієнта. Вона заснована на вивченні варусної та ротаційної нестабільності (табл. 3). Незважаючи на суб'єктивність і відсутність зв'язку з анатомічними дослідженнями розрізів, цей метод класифікації, як і раніше, важливий для визначення вибору лікування.

Висновок

Діагностика ушкоджень структур ЗЛККС залишається недостатньо висвітленим питанням під час лікування ушкоджень колінного суглоба. Немає чітких визначень ступенів задньолатеральної нестабільності, існуючі класифікації дають поверхневу уяву про структуру та сполучення ушкоджень. Інтерпретація клінічних симптомів і мануальних тестів у більшості

випадків емпірична й індивідуалізована. Рекомендації використовувати стресові рентгенограми для аналізу ступенів задньолатеральної нестабільності не завжди можливо чітко виконати. Найбільш правильною може бути лише тактика чіткого визначення ушкоджених структур, але їх візуалізація ускладнена невисокою чутливістю МРТ-досліджень у звичайних послідовностях, а коронарні косі проєкції зазвичай не використовуються. Інформативність МРТ зменшується з часом і через 6 тижнів після травми значно знижена. Діагностика ушкоджень структур ЗЛККС потребує сучаснішого підходу, із використанням об'єднаного диференційованого алгоритму, можливо з машинним навчанням штучного інтелекту.

Задньолатеральна пластична реконструкція показала кращі результати за простого відновлення або зшивання в разі хірургічного лікування травм структур ЗЛККС. Анатомічна пластична реконструкція задньолатеральних структур рекомендована як у гострому періоді, так і за хронічної нестабільності. Існує два типи пластичної реконструкції: перший заснований на фіксації малогомілкової кістки до стегнової, другий — фіксація великогомілкової та головки малогомілкової кістки із латеральним виросом стегнової кістки. На сьогодні вважають, що метод на основі фіксації великогомілкової кістки до стегнової кращий за спосіб на основі зв'язування головки малогомілкової кістки з виросом стегна.

Трансплантат, яким зв'язують великогомілкову кістку зі стегною є жорстким аугментом для підколінного м'яза, що вже є протиріччям. Точку його фіксації на задній поверхні великогомілкової кістки вибирають емпірично — у проєкції сухожилка підколінного м'яза. Проте він скорочується залежно від ротаційних переміщень гомілки щодо стегнової кістки і сухожилок зміщується. Така аугментація трансплантатом постійної довжини для відновлення сухожилка підколінного м'яза є неанатомічною, а точки його фіксації здебільшого дискусабельні.

Отже, основні проблеми полягають у недостатній анатомічності існуючих методів реконструкції структур задньолатерального кута колінного суглоба, їхній травматичності та відсутності точного позиціонування точок фіксації трансплантата.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші наукові роботи плануються спрямувати на створення та валідацію інтегрованого диференційованого алгоритму діагностики ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба з урахуванням клінічних тестів, стресових рентге-

нограм і розширених МРТ-протоколів, зокрема коронарних косих зрізів. Перспективним є застосування методів машинного навчання для підвищення чутливості візуалізації, об'єктивізації ступенів нестабільності й оптимізації вибору лікувальної тактики.

Інформація про фінансування. Зовнішньої фінансової підтримки немає.

Внесок авторів. Головаха М. Л. — постановка мети та завдань дослідження, написання рукопису; Бондаренко С. А. — аналіз первинного матеріалу; Безверхий А. А. — облік первинного матеріалу та статистичний аналіз.

Список літератури

1. Castro, M. O., Baptista, D. C., & Afonso, P. D. (2024). Demytifying the “Dark side of the knee”: An update on imaging of the Posterolateral corner. *Seminars in musculoskeletal radiology*, 28(03), 305–317. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1781431>
2. Lunden, J. B., Bzdusek, P. J., Monson, J. K., Malcomson, K. W., & LaPrade, R. F. (2010). Current concepts in the recognition and treatment of Posterolateral corner injuries of the knee. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 40(8), 502–516. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3269>
3. Sanchez, A. R., Sugalski, M. T., & LaPrade, R. F. (2006). Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee. *Sports medicine and arthroscopy review*, 14(1), 2–11. <https://doi.org/10.1097/00132585-200603000-00002>
4. Terry, G. C., & LaPrade, R. F. (1996). The Posterolateral aspect of the knee. *The American journal of sports medicine*, 24(6), 732–739. <https://doi.org/10.1177/036354659602400606>
5. Dean, R. S., Chahla, J., & LaPrade, R. F. (2022). Posterolateral corner of the knee. *Evidence-Based management of complex knee injuries*, 112–126. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-71310-8.00009-8>
6. Gollehon, D. L., Torzilli, P. A., & Warren, R. F. (1987). The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *The journal of bone & joint surgery*, 69(2), 233–242. <https://doi.org/10.2106/00004623-198769020-00010>
7. Grood, E. S., Stowers, S. F., & Noyes, F. R. (1988). Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *The journal of bone & joint surgery*, 70(1), 88–97. <https://doi.org/10.2106/00004623-198870010-00014>
8. Shahane, S. A., Ibbotson, C., Strachan, R., & Bickerstaff, D. (1999). The popliteofibular ligament. The journal of bone and joint surgery. *British volume*, 81-B(4), 636–642. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.81b4.0810636>
9. Veltri, D. M., Deng, X., Torzilli, P. A., Warren, R. F., & Maynard, M. J. (1995). The role of the cruciate and Posterolateral ligaments in stability of the knee. *The American journal of sports medicine*, 23(4), 436–443. <https://doi.org/10.1177/036354659502300411>
10. LaPrade, R. F., & Wentorf, F. (2002). Diagnosis and treatment of Posterolateral knee injuries. *Clinical orthopaedics and related research*, 402, 110–121. <https://doi.org/10.1097/00003086-200209000-00010>
11. Abu-Mukh, A., Lee, S., Rhim, H. C., & Jang, K. (2025). Exploring the Posterolateral corner of the knee joint: A detailed review of recent literature. *Journal of clinical medicine*, 14(5), 1549. <https://doi.org/10.3390/jcm14051549>
12. Harner, C. D., & Höher, J. (1998). Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. *The American journal of sports medicine*, 26(3), 471–482. <https://doi.org/10.1177/03635465980260032301>
13. LaPrade, R. F., Wozniczka, J. K., Stellmaker, M. P., & Wijdicks, C. A. (2009). Analysis of the static function of the Popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 38(3), 543–549.

- <https://doi.org/10.1177/0363546509349493>
14. Harner, C. D., Vogrin, T. M., Höher, J., Ma, C. B., & Woo, S. L. (2000). Biomechanical analysis of a posterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 28(1), 32–39. <https://doi.org/10.1177/03635465000280011801>
 15. Sekiya, J. K., Haemmerle, M. J., Stabile, K. J., Vogrin, T. M., & Harner, C. D. (2005). Biomechanical analysis of a combined double-bundle posterior cruciate ligament and Posterolateral corner reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 33(3), 360369. <https://doi.org/10.1177/0363546504268039>
 16. LaPrade, R. F., Johansen, S., Wentorf, F. A., Engebretsen, L., Esterberg, J. L., & Tso, A. (2004). An analysis of an anatomical Posterolateral knee reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 32(6), 1405–1414. <https://doi.org/10.1177/0363546503262687>
 17. Yoon, K. H., Lee, J. H., Bae, D. K., Song, S. J., Chung, K. Y., & Park, Y. W. (2011). Comparison of clinical results of anatomic Posterolateral corner reconstruction for Posterolateral rotatory instability of the knee with or without popliteal tendon reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 39(11), 2421–2428. <https://doi.org/10.1177/0363546511415656>
 18. Kim, S., Kim, H., Moon, H., Chang, W., Kim, S., & Chun, Y. (2010). A biomechanical comparison of 3 reconstruction techniques for Posterolateral instability of the knee in a cadaveric model. *Arthroscopy: The journal of arthroscopic & related surgery*, 26(3), 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.08.010>
 19. Delee, J. C., Riley, M. B., & Rockwood, C. A. (1983). Acute posterolateral rotatory instability of the knee. *The American journal of sports medicine*, 11(4), 199–207. <https://doi.org/10.1177/036354658301100403>
 20. LaPrade, R. F., & Terry, G. C. (1997). Injuries to the Posterolateral aspect of the knee. *The American journal of sports medicine*, 25(4), 433–438. <https://doi.org/10.1177/036354659702500403>
 21. Krukhaug, Y., Mølster, A., Rodt, A., & Strand, T. (1998). Lateral ligament injuries of the knee. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 6(1), 21–25. <https://doi.org/10.1007/s001670050067>
 22. Hughston, J., Andrews, J., Cross, M., & Moschi, A. (1976). Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment. *The journal of bone & joint surgery*, 58(2), 173–179. <https://doi.org/10.2106/00004623-197658020-00002>
 23. Hughston, J. C., & Jacobson, K. E. (1985). Chronic posterolateral rotatory instability of the knee. *The journal of bone & joint surgery*, 67(3), 351–359. <https://doi.org/10.2106/00004623-198567030-00001>
 24. Covey, D. C. (2001). Injuries of the Posterolateral corner of the knee. *The journal of bone and joint surgery-American volume*, 83(1), 106–118. <https://doi.org/10.2106/00004623-200101000-00015>
 25. Bae, W. H., Ha, J. K., & Kim, J. G. (2010). Treatment of posterolateral rotatory instability of the knee. *Journal Korean knee society*, 22, 1–10.
 26. Towne, L. C., Blazina, M. E., Marmor, L., & Lawrence, J. E. (1971). Lateral compartment syndrome of the knee. *Clinical orthopaedics and related research*, 76, 160–168. <https://doi.org/10.1097/00003086-197105000-00023>
 27. Ricchetti, E. T., Sennett, B. J., & Huffman, G. R. (2008). Acute and chronic management of Posterolateral corner injuries of the knee. *Orthopedics*, 31(5), 479–488. <https://doi.org/10.3928/01477447-20080501-23>
 28. Noyes, F. R., Grood, E. S., & Torzilli, P. A. (1989). Current concepts review. The definitions of terms for motion and position of the knee and injuries of the ligaments. *The journal of bone & joint surgery*, 71(3), 465–472. <https://doi.org/10.2106/00004623-198971030-00027>
 29. Sharma, L. (2001). The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA*, 286(2), 188. <https://doi.org/10.1001/jama.286.2.188>
 30. Ranawat, A., Baker, C. L., Henry, S., & Harner, C. D. (2008). Posterolateral corner injury of the knee: Evaluation and management. *Journal of the American academy of orthopaedic surgeons*, 16(8), 506–518. <https://doi.org/10.5435/00124635-200808000-00012>
 31. Crespo, B., James, E. W., Metsavaht, L., & LaPrade, R. F. (2015). Injuries to posterolateral corner of the knee: A comprehensive review from anatomy to surgical treatment. *Revista brasileira de ortopedia (English Edition)*, 50(4), 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2014.12.008>
 32. LaPrade, R. F., Heikes, C., Bakker, A. J., & Jakobsen, R. B. (2008). The reproducibility and repeatability of Varus stress radiographs in the assessment of isolated fibular collateral ligament and Grade-III Posterolateral knee injuries. *The journal of bone and joint surgery-american volume*, 90(10), 2069–2076. <https://doi.org/10.2106/jbjs.g.00979>
 33. Jackman, T., LaPrade, R. F., Pontinen, T., & Lender, P. A. (2008). Intraobserver and Interobserver reliability of the kneeling technique of stress radiography for the evaluation of posterior knee laxity. *The American journal of sports medicine*, 36(8), 1571–1576. <https://doi.org/10.1177/0363546508315897>
 34. Pacheco, R. J., Ayre, C. A., & Bollen, S. R. (2011). Posterolateral corner injuries of the knee. *The journal of bone and joint surgery. British volume*, 93-B(2), 194–197. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.93b2.25774>
 35. Kim, J. G., Moon, H. T., Hwang, I. H., Kim, J. H., & Song, J. K. (2003). Arthroscopic evaluation of Posterolateral rotatory instability of the knee. *Journal of the Korean orthopaedic association*, 38(1), 29. <https://doi.org/10.4055/jkoa.2003.38.1.29>
 36. Bleday, R., Fanelli, G., Giannotti, B., Edson, C., & Barrett, T. (1998). Instrumented measurement of the posterolateral corner. *Arthroscopy: The journal of arthroscopic & related surgery*, 14(5), 489–494. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(98\)70077-5](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(98)70077-5)
 37. Fanelli, G. C., & Larson, R. V. (2002). Practical management of posterolateral instability of the knee. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery*, 18(2), 1–8. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(02\)80001-9](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(02)80001-9)

Стаття надійшла до редакції 13.05.2025	Отримано після рецензування 21.11.2025	Прийнято до друку 27.11.2025
---	---	---------------------------------

MODERN CONCEPTS OF DIAGNOSTICS OF POSTEROLATERAL CORNER KNEE INJURIES

M. L. Golovakha, Ye. O. Bilykh, A. A. Bezverkhyy

Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University. Ukraine

- ✉ Maxim Golovakha, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: golovahaml@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2835-9333>
 ✉ Yevhen Bilykh, MD: dr.bilykh@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4332-529X>
 ✉ Andrii Bezverkhyy, MD: andreybezverxiy19@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-4858-7865>

УДК 617.583/.585-089-036(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025472-77>

Прогностичні чинники під час лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів

Т. М. Омельченко, Є. А. Левицький

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

Osteochondral lesions of the knee and ankle joints are a common pathology that often results in decreased physical activity and early osteoarthritis. Despite the wide range of available surgical techniques, their efficacy varies considerably. Identifying prognostic factors is essential for optimizing treatment strategies. Studying and taking into account the factors that determine the outcome of treatment is a relevant issue in terms of improving the efficiency of providing care to patients in this category. Objective. To identify prognostic factors and informativeness coefficients in treatment of patients with osteochondral lesions. Methods. A retrospective study included 390 patients with focal osteochondral lesions treated with arthroscopic debridement, microfracture, drilling, or osteochondral autograft transplantation. Treatment effectiveness was evaluated using 21 clinical and morphological parameters and functional scores (Lysholm, AOFAS, SF-36, NRS) at 12–36-month follow-up. Statistical analysis included Bayesian probabilistic methods adapted for clinical research, Kulback's information measure to assess information coefficients, and a heterogeneous sequential procedure based on Wald analysis to determine prognostic coefficients. Results. Positive outcomes were observed in 284 patients (72.8 %), while 106 (27.2 %) had negative outcomes. Key prognostic factors included age, body mass index, lesion size, Kellgren & Lawrence osteoarthritis stage, lesion chronicity, limb axis deviations, and prior surgical history. Conclusions. The identified prognostic and informativeness coefficients have practical value for establishing an individualized approach to selecting the optimal treatment strategy and improving long-term outcomes. Keywords. Osteoarthritis, knee, ankle, cartilage, reconstructive surgery, treatment.

Локальні внутрішньосуглобові кістково-хрящові ушкодження колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів є поширеною патологією, що часто призводить до зниження фізичної активності та розвитку остеоартрозу. Незважаючи на великий вибір хірургічних методів, їх ефективність і результативність значно відрізняється. Вивчення та врахування чинників, які детермінують результат лікування є актуальним питанням в аспекті покращення ефективності надання допомоги хворим цієї категорії. Мета. Визначити прогностичні чинники та їхню інформативність у лікуванні пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями. Методи. Проведено ретроспективне дослідження 390 осіб із локальними кістково-хрящовими травмуваннями, яким застосовували артроскопічний дебридмент, мікрофрактуру, тунелізацію й остеохондральну аутогенну трансплантацію. Ефективність лікування оцінювали за 21 клініко-морфологічним фактором і функціональними шкалами (Lysholm, AOFAS, SF-36, NRS) у віддаленому періоді (12–36 міс.). Статистичну обробку даних проводили з використанням методів імовірнісного аналізу на основі Байєсових алгоритмів, адаптованих для клінічних досліджень, інформативність окремих клінічних факторів із використанням інформаційної міри Кульбака, а прогностичні коефіцієнти зі застосуванням методики неоднорідної послідовної процедури, яка базується на аналізі Вальда. Результати. Позитивний ефект було досягнуто в 284 (72,8 %) пацієнтів, а негативний — 106 (27,2 %). Виявлено, що найбільш вагомими прогностичними факторами є вік, індекс маси тіла, розмір і давність ушкодження, стадія остеоартрозу за Kellgren & Lawrence, порушення осі кінцівки й хірургічне лікування в анамнезі. Висновки. Визначені прогностичні чинники та коефіцієнти інформативності мають практичну цінність для формування індивідуального підходу до вибору оптимальної тактики лікування та покращення віддалених результатів.

Ключові слова. Остеоартроз, колінний суглоб, надп'яtkово-гомільковий суглоб, хрящ, реконструктивні операції, лікування

Вступ

Локальні внутрішньосуглобові кістково-хрящові ушкодження колінного (КС) та надп'яtkово-гомількового суглобів (НГС) залишаються однією з найбільш складних проблем сучасної ортопедії та травматології, оскільки суглобовий хрящ має вкрай обмежений потенціал до самовідновлення [1]. Травмування, які досягають субхондральної кістки, призводять до прогресування остеоартрозу та значного зниження якості життя пацієнта та його фізичної активності [2].

Існує великий вибір хірургічних способів лікування кістково-хрящових ушкоджень, які спрямовані на стимуляцію кісткового мозку (мікрофрактуринг, абразивна хондропластика, тунелізація) [1], фіксацію кістково-хрящових фрагментів і процедури, спрямовані на відновлення гіалінового хряща (остеохондральна аутогенна трансплантація [3], алотрансплантація [4], імплантація аутологічних хондроцитів [5]). Проте в клінічній практиці найчастіше застосовуються економічно доступніші методи, спрямовані на стимуляцію кісткового мозку [6].

Опубліковані клінічні дослідження підтверджують, що успіх лікування кістково-хрящових травм не залежить лише від одного обраного способу хірургічного втручання, а має мультифакторний підхід і залежить від низки прогностичних критеріїв [1, 7]. Отриманий регенерат незадовільної якості може призвести до подальшого розвитку дегенеративно-дистрофічних змін [8], або недостатня оцінка регенераторного потенціалу, навіть у разі застосування складних і сучасних технік, спричинить негативний результат лікування. Це підкреслює необхідність визначення прогностичних чинників успішного лікування пацієнтів цієї групи.

Мета: визначити прогностичні чинники та коефіцієнти інформативності під час лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями.

Матеріал і методи

Проведено ретроспективний аналіз результатів лікування 390 пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів, які проходили лікування на клінічних базах кафедри травматології та ортопедії Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця в 2022–2024 роках. Дослідження схвалене комітетом із біоетики відповідної установи (протокол № 162 від 31.10.2025 р.) згідно з Гельсін-

ською декларацією прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі пацієнти підписали інформовану згоду.

Критерії включення: вік від 18 до 60 років, наявність у пацієнта кістково-хрящового ушкодження (що потребує лікування та підтверджено інструментальними методами діагностики), застосування одного з хірургічних способів втручання (дебридмент з абразивною хондропластиком, мікрофрактуринг, тунелізація, остеохондральна аутогенна трансплантація) або їхню комбінацію, 0–II стадія остеоартрозу за класифікацією Kellgren & Lawtence [9], відсутність нестабільності суглоба за рахунок ушкодження капсульно-зв'язкового апарата (за винятком випадків, коли його відновлення відбувається одноетапно з процедурою відновлення кістково-хрящових ушкоджень), наявність повних даних для оцінки результатів перед оперативним втручанням та у віддаленому періоді (12–36 міс.).

Критерії виключення: вік до 17 або більше 60 років, III–IV стадія остеоартрозу за класифікацією Kellgren & Lawtence, наявність нестабільності суглоба за рахунок ушкодження капсульно-зв'язкового апарата, гострий інфекційний процес, період вагітності та грудного вигодовування, наявність абсолютних протипоказань до хірургічного лікування.

Серед 390 пацієнтів 238 мали ураження колінного, а 152 — надп'яtkово-гомількового суглоба.

Проводилось оцінювання результатів лікування згідно з функціональною шкалою Lysholm для колінного суглоба [10], AOFAS для надп'яtkово-гомількового [11], якості життя за шкалою SF-36 [12], біль за числовою (бальною) рейтинговою шкалою (NRS) [13]. Протоколи реабілітації були стандартизовані відповідно до виду втручання. Вивчено 21 клініко-морфологічний та анамнестичний чинник.

Статистичний аналіз виконували з використанням програм Microsoft Excel 2019 і StatSoft Statistica 10. Застосована нами методологія прогнозування базувалась на використанні алгоритмів імовірнісного аналізу Байєса. Ця методика адаптована і досить широко апробована в клінічній практиці для прогнозування різноманітних патологічних процесів [14]. Визначено інформативність окремих факторів для прогнозування результатів лікування, яка базується на використанні інформаційної міри Кульбака. Після оцінки інформативної значимості параметрів проведено розрахунок прогностичних коефіцієнтів (ПК) успішного лікування залежно від окремих

чинників. Методологічною основою дослідження є застосування методики неоднорідної послідовної процедури, яка базується на аналізі Вальда. Ця методика визначає розрахунок суми прогностичних коефіцієнтів для індивідуальних значень клінічних параметрів порівняння сумарного прогностичного коефіцієнта з критичними пороговими значеннями. Водночас встановлено однакові похибки першого роду (вірогідність пропуску групи прогнозу оптимального результату) на рівні 5 % ($p < 0,05$), а похибки другого роду (помилкова оцінка оптимального прогнозу результату лікування) не більше 20 % випадків.

Результати

Аналіз результатів у віддаленому періоді (12–36 міс.) показав, що позитивний ефект досягнуто в 284 (72,8 %) пацієнтів, тоді як незадовільний у 106 (27,2 %).

Наприкінці в 390 хворих ретроспективної групи визначено коефіцієнт інформативності та прогностичний коефіцієнт кожного чинника (табл.).

Вивчено 21 клініко-морфологічний та анамнестичний фактор, які можна розділити за категоріями:

– морфологічні: діаметр (мм), площа (см²), об'єм (см³), глибина (мм) кістково-хрящового ушкодження, ступінь ураження за ICRS, стадія остеоартрозу за Kellgren & Lawrence;

– клінічні: вік (групи до чи після 40 років), індекс маси тіла (ІМТ) (до чи більше 30 кг/м²), наявність осьової деформації (варус, вальгус, відсутня), нестабільність суглоба (ні, так), контрактура (згинальна, розгинальна, комбінована, відсутня), синовіт, опороспроможність (до та після лікування);

– анамнестичні: стать, давність ушкодження (до чи більше року), уражений суглоб (колінний, надп'яtkово-гомільковий), етіологія (травматична, дегенеративна), консервативне й оперативне лікування в анамнезі.

Також серед чинників визначали ураження структури суглоба (медіального чи латерального меніска, передньої чи задньої схрещеної зв'язки, латеральної колатеральної чи медіальної колатеральної зв'язок колінного суглоба, латеральної та медіальної групи зв'язок надп'яtkово-гомількового суглоба) або їхню відсутність, наявність хірургічного лікування в анамнезі, зони ураження для колінного та надп'яtkово-гомількового суглоба.

Порогові значення прогностичних коефіцієнтів складають від –80 до +80. Перевищення верхнього порогу (+80) свідчить про високу ймовірність оптимального результату лікування.

Таблиця

Чинники та їхні прогностичні коефіцієнти для прогнозування результатів лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями

Чинник	Підгрупа	Прогностичний коефіцієнт
1	2	3
Стать	чоловіча жіноча	–1,1 2,5
Вік	до 40 після 40	7,7 –3,4
ІМТ	до 30 більше 30	9,5 –9,0
Давність ушкодження	до року більше року	6,9 –2,5
Нестабільність суглоба	ні так	–6,1 –7,1
Контрактура	ні згинальна розгинальна комбінована	6,2 0,0 –10,9 0,0
Уражений суглоб	колінний надп'яtkово-гомільковий	–0,8 1,3
Деформація	відсутня вальгусна варусна	3,2 –11,7 –6,9
Етіологія	дегенеративна травматична	–1,8 6,1
Консервативне лікування	ні так	5,3 –1,4
Хірургічне лікування (в анамнезі)	ні так	9,1 –6,7
Відновлення хряща (в анамнезі)	мікрофрактуринг тунелізація остеохондральна аутоотрансплантація відсутнє	–4,2 –9,0 –5,0 1,5
Синовіт	ні так	3,9 –5,4
Глибина, мм	до 7 більше 7	6,2 –2,8
Діаметр, мм НГС	до 10 10–15 більше 15	2,8 –1,9 –4,3
Діаметр, мм КС	до 10 10–20 мм більше 20	3,4 –2,1 –2,1
Площа, см ² НГС	до 1 1–2 більше 2	–0,1 –3,0 –4,3
Площа, см ² КС	до 1,5 1,5–3 більше 3	4,3 –3,1 –2,1
Об'єм, см ³ НГС	до 1,5 1,5–3 більше 3	–0,1 –3,0 –4,3

Продовження таблиці

1	2	3
Об'єм, см ³ КС	до 2 2–4 більше 4	4,3 –3,1 –2,1
Kellgren & Lawrence	0 I II	4,8 5,6 –6,3

Проміжними прогностичними оцінками є: –80 до –50 (група пониженої ймовірності задовільного результату), –49,9 до +20 (група середньої ймовірності), +20,1 до +80 (група підвищеної ймовірності). Прогностична процедура передбачає загальну оцінку обраних факторів притаманних кожному пацієнту (сума прогностичних коефіцієнтів).

Молодший вік (< 40 років) має виражений позитивний вплив на результати (ПК = +7,7), як порівняти з пацієнтами старшого віку (> 40 років), де демонструється зниження ефективності лікування (ПК = –3,4). Проте окрім віку необхідно оцінювати рівень активності й очікуваний його подальший рівень, функціональні вимоги. ІМТ також має значний вплив на результати лікування, оскільки хворі, у яких < 30 кг/м² мають гарну прогностичну ознаку (ПК = +9,5), тоді як в осіб із надмірною вагою суттєво знижується ймовірність позитивного результату (ПК = –9,0). Застаріли кістково-хрящові ушкодження мають гірший прогностичний результат (ПК = –2,5) як порівняти з ушкодженнями до року (ПК = +6,9), що вказує на необхідність своєчасного лікування цього типу травми. Розміри та глибина кістково-хрящового травмування безпосередньо корелюють із прогнозом лікування і мають високий коефіцієнт інформативності, що є важливим фактором для визначення подальшої тактики. Кращий прогноз спостерігається за остеоартрозу 0–I стадії за Kellgren & Lawrence (ПК = +4,8; +5,6), у той час як II стадія вже знижує ефективність (ПК = –6,3). Наявність деформації впливає на вибір тактики втручання, адже не відновивши біомеханічну вісь кінцівки недоцільно лікувати кістково-хрящові ушкодження. У той час відсутність контрактури (ПК = +6,2) та порушення осі кінцівки (ПК = +3,2) є сприятливими ознаками. Проте локалізація внутрішньосуглобових кістково-хрящових травм має вплив лише на технічні аспекти операції та необхідного артроскопічного чи відкритого доступу. Додаткові ушкодження структур колінного чи надп'яtkово-гомількового суглобів мають гірші прогностичні результати й вимагають додаткових операцій з приводу їхнього відновлення.

Обговорення

Нами було визначено прогностичні критерії під час лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів. Отримані результати підтверджують висновки інших досліджень щодо ролі морфологічних і клінічних факторів у визначенні хірургічної тактики втручання [15–17].

Публікація I. M. van Tuijn та співавт. [1] підтверджує, що гірші результати під час виконання мікрофрактури спостерігались у пацієнтів старшого віку після втручання та за умов великого розміру кістково-хрящового ушкодження. Відомо, що за ІМТ < 30 кг/м² результати мікрофрактури кращі, як порівняти з хворими, у яких ІМТ > 30 кг/м². Наявність попередньої травми та операцій в анамнезі (парціальна менісектомія, відновлення передньої схрещеної зв'язки) вказують на гірші довгострокові результати в разі хірургічного лікування цих ушкоджень.

V. Gopinath та співавтори [18] зазначають, що кістково-хрящові ушкодження розміром 2–4 см² колінного суглоба в разі виконання мікрофрактури відображають подальше значне прогресування розвитку остеоартрозу під час довготривалого спостереження, незадовільні подальший рівень фізичної активності та довгострокові клінічні результати після проведеного втручання, хоча за короткострокового — позитивна динаміка як у функціональному стані суглоба, так і щодо повернення до фізичної активності. Проте якість отриманого регенерату та здатність витримувати інтенсивне фізичне навантаження з часом знижуються, що особливо важливо враховувати у спортсменів або пацієнтів із високими функціональними вимогами [19].

Молодший вік та свіже кістково-хрящове ушкодження є позитивними прогностичними факторами для лікування таких ушкоджень, що корелюється з висновками F. Migliorini та співавт. [20].

Потреба в проведенні тотального ендопротезування колінного суглоба згідно з результатами спостереження J. S. Everhart та співавт. [21] збільшується за наявності в пацієнта глибоких (full-thickness) кістково-хрящових ушкоджень з діаметром ≥ 2 см, навіть за I–II стадії остеоартрозу. Автори наголошують, що застосування регенераторних і хондропластичних технік за значних таких ушкоджень є недоцільними, і варто розглядати наступні етапи хірургічного лікування, особливо в пацієнтів похилого віку.

У проведеному дослідженні J. S. Everhart та співавт. [22] вказується, що наявність як варусної, так і вальгусної деформації за кістково-хрящових ушкоджень колінного суглоба призводить до гірших результатів лікування, швидкого розвитку дегенеративно-дистрофічних змін і невдалих спроб хірургічного втручання. Також додатковим чинником невдалих результатів автори відзначають надмірну вагу тіла, що також пришвидшує подальший розвиток остеоартрозу.

У проспективному когортному дослідженні Р. Н. Randsborg і співавт. [23], порівнюючи мікрофрактуринг з артроскопічним дебридментом виявили, що кращі клінічні результати за умов травм незначних розмірів було досягнуто після проведення мікрофрактурингу. Проте ефективність обох технік знижується зі збільшенням розмірів кістково-хрящового ушкодження.

Попередні хірургічні втручання з приводу відновлення суглобового хряща, особливо якщо їхній результат у віддаленому періоді не був стійким, пов'язують із вищим ризиком незадовільного довготривалого результату після наступних відновних процедур [24].

Більшість опублікованих сучасних досліджень під час визначення розмірів кістково-хрящових ушкоджень спирається лише на діаметр або площу, не враховуючи глибину та залучення субхондральної кістки. Проте визначення одразу всіх параметрів (глибина, діаметр, площа та об'єм) надають більш деталізовану картину, що, у свою чергу, дає можливість ретельного передопераційного планування та визначення оптимальної тактики хірургічного лікування і взагалі доцільності проведення хондропластичних операцій.

В опублікованих працях фактор ІМТ оцінюється не лише як чинник, який призводить до збільшеного механічного (осьового) навантаження, але й супроводжується метаболічними змінами. У нашому спостереженні ми обмежувались кістково-хрящовими ушкодженнями лише в ділянці колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів, проте для інших суглобів можливі зміни коефіцієнтів інформативності та прогностичних критеріїв, особливо для кістково-хрящових ушкоджень суглобів верхньої кінцівки. Ми спираємось на стандартизовану реабілітаційну програму, проте не враховувались індивідуальні чинники кожного пацієнта, що може мати вплив на остаточний результат лікування. Також згідно з літературними джерелами під час відновлювальних операцій з приводу кістково-хрящових ушкоджень відбувається розподіл хворих на групи до

та після 40 років. Проте в таких випадках не має індивідуальної оцінки пацієнта з приводу його бажаної подальшої активності та функціональних вимог. Обмеженням спостереження є також ретроспективний дизайн, який має схильність до систематичних помилок. Необхідні подальші проспективні рандомізовані дослідження для визначення ефективності лікування з урахуванням даних прогностичних коефіцієнтів і системи прогнозування результатів.

Висновки

Проведене дослідження дозволило визначити прогностичні чинники та коефіцієнти інформативності, які впливають на ефективність лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів. Успішність лікування визначається комплексом взаємопов'язаних морфологічних, клінічних та анамнестичних факторів, а найбільш впливовими прогностичними є: вік, індекс маси тіла, розмір ушкодження, стадія остеоартрозу за Kellgren & Lawrence, давність травми, порушення осі кінцівки та хірургічне лікування в анамнезі. Визначення коефіцієнтів прогностичних й інформативності має практичну цінність для формування індивідуального підходу до вибору оптимальної тактики лікування та покращення віддалених результатів.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Обмеженням спостереження є також ретроспективний дизайн, який має схильність до систематичних помилок. Необхідні подальші проспективні рандомізовані дослідження для визначення ефективності лікування з урахуванням даних прогностичних коефіцієнтів і системи прогнозування результатів.

Інформація про фінансування. Зовнішньої фінансової підтримки немає.

Внесок авторів. Омельченко Т. М. — збір даних та літературна обробка матеріалу; Левицький Є. А. — написання статті та статистичний аналіз.

Список літератури

1. Van Tuijn, I. M., Emanuel, K. S., Van Hugten, P. P., Jeuken, R., & Emans, P. J. (2023). Prognostic factors for the clinical outcome after Microfracture treatment of chondral and Osteochondral defects in the knee joint: A systematic review. *Cartilage*, 14(1), 5–16. <https://doi.org/10.1177/19476035221147680>
2. Cheng, L., & Wang, X. (2024). Advancements in the treatment of osteochondral lesions of the talus. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 19(1), 827. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05314-6>
3. Pareek, A., Reardon, P. J., Maak, T. G., Levy, B. A., Stuart, M. J., & Krych, A. J. (2016). Long-term outcomes after Osteochondral autograft transfer: A systematic review at mean follow-up of 10.2 years. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery*, 32(6), 1174–1184. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.037>
4. Wang, X., Ren, Z., Liu, Y., Ma, Y., Huang, L., Song, W., Lin, Q.,

- Zhang, Z., Li, P., Wei, X., & Duan, W. (2023). Characteristics and clinical outcomes after Osteochondral allograft transplantation for treating articular cartilage defects: Systematic review and single-arm meta-analysis of studies from 2001 to 2020. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 11(9). <https://doi.org/10.1177/23259671231199418>
5. Ossendorff, R., Franke, K., Erdle, B., Uhl, M., Südkamp, N. P., & Salzmänn, G. M. (2019). Clinical and radiographical ten years long-term outcome of microfracture vs. autologous chondrocyte implantation: a matched-pair analysis. *International orthopaedics*, 43(3), 553–559. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4025-5>
 6. Goyal, D., Keyhani, S., Lee, E. H., & Hui, J. H. (2013). Evidence-based status of Microfracture technique: A systematic review of level I and II studies. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery*, 29(9), 1579–1588. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.05.027>
 7. Migliorini, F., Maffulli, N., Eschweiler, J., Götze, C., Hildebrand, F., & Betsch, M. (2022). Prognostic factors for the management of chondral defects of the knee and ankle joint: A systematic review. *European journal of trauma and emergency surgery*, 49(2), 723–745. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02155-y>
 8. Kuo, Y., Chiu, S., Chang, W., Chen, C., Chen, C., Liaw, C., Tan, C., & Weng, P. (2025). A prospective randomized controlled trial comparing biphasic cartilage repair implant with microfracture in small chondral lesions of knee: Findings at five-year-follow-up. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05392-6>
 9. Kellgren, J., & Lawrence, J. (1957). Radiological assessment of osteo-arthritis. *Annals of the rheumatic diseases*, 16(4), 494–502. <https://doi.org/10.1136/ard.16.4.494>
 10. Lysholm, J., & Gillquist, J. (1982). Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine*, 10(3), 150–154. <https://doi.org/10.1177/036354658201000306>
 11. Soohoo, N. F., Vyas, R., & Samimi, D. (2006). Responsiveness of the foot function index, AOFAS clinical rating systems, and SF-36 after foot and ankle surgery. *Foot & ankle international*, 27(11), 930–934. <https://doi.org/10.1177/107110070602701111>
 12. Beaudart, C., Biver, E., Bruyère, O., Cooper, C., Al-Daghri, N., Reginster, J. Y., & Rizzoli, R. (2018). Quality of life assessment in musculo-skeletal health. *Aging clinical and experimental research*, 30(5), 413–418. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0794-8>
 13. Thong, I. S. K., Jensen, M. P., Miró, J., & Tan, G. (2018). The validity of pain intensity measures: what do the NRS, VAS, VRS, and FPS-R measure?. *Scandinavian journal of pain*, 18(1), 99–107. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2018-0012>
 14. Matviychuk, O. (2017). Biomarkers of inflammatory in tertiary peritonitis. *Ukrainian journal of surgery*, 0(2.33), 37–40. <https://doi.org/10.22141/1997-2938.2.33.2017.107648>
 15. Kutaish, H., Klopfenstein, A., Obeid Adorisio, S. N., Tscholl, P. M., & Fucetese, S. (2025). Current trends in the treatment of focal cartilage lesions: a comprehensive review. *EFORT open reviews*, 10(4), 203–212. <https://doi.org/10.1530/EOR-2024-0083>
 16. Bai, L., Zhang, Y., Chen, S., Bai, Y., Lu, J., & Xu, J. (2023). Analysis of factors affecting the prognosis of osteochondral lesions of the talus. *International orthopaedics*, 47(3), 861–871. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05673-x>
 17. Jung, S., Jung, M., Chung, K., Kim, S., Park, J., Hong, J., Choi, C., & Kim, S. (2024). Prognostic factors for clinical outcome and cartilage regeneration after implantation of Allogeneic human umbilical cord blood-derived Mesenchymal stem cells in large-sized cartilage defects with osteoarthritis. *Cartilage*, 15(4), 375–388. <https://doi.org/10.1177/19476035241231372>
 18. Gopinath, V., Jackson, G. R., Touhey, D. C., Chahla, J., Smith, M. V., Matava, M. J., Brophy, R. H., & Knapik, D. M. (2024). Microfracture for medium size to large knee chondral defects has limited long-term efficacy: A systematic review. *Journal of experimental orthopaedics*, 11(4). <https://doi.org/10.1002/jeo2.70060>
 19. Haslhofer, D. J., Shatrov, J., Jones, M., Abdul, W., Motesha-rei, A., Ball, S. V., & Williams, A. (2025). Microfracture for full-thickness chondral lesions of the knee in elite athletes leads to high return-to-play rates. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. <https://doi.org/10.1002/ksa.12808>
 20. Migliorini, F., Maffulli, N., Eschweiler, J., Götze, C., Hildebrand, F., & Betsch, M. (2022). Prognostic factors for the management of chondral defects of the knee and ankle joint: A systematic review. *European journal of trauma and emergency surgery*, 49(2), 723–745. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02155-y>
 21. Everhart, J. S., Abouljoud, M. M., Kirven, J. C., & Flanigan, D. C. (2019). Full-Thickness Cartilage Defects Are Important Independent Predictive Factors for Progression to Total Knee Arthroplasty in Older Adults with Minimal to Moderate Osteoarthritis: Data from the Osteoarthritis Initiative. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 101(1), 56–63. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01657>
 22. Everhart, J. S., Abouljoud, M. M., Poland, S. G., & Flanigan, D. C. (2018). Medial compartment defects progress at a more rapid rate than lateral cartilage defects in older adults with minimal to moderate knee osteoarthritis (OA): Data from the OA initiative. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 27(8), 2401–2409. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5202-1>
 23. Randsborg, P., Aae, T. F., Visnes, H., Birkenes, T., Benth, J. S., Lian, Ø. B., Hanvold, H. A., & Årøen, A. (2025). Microfracture versus Arthroscopic debridement for the treatment of symptomatic cartilage lesions of the knee: 2-Year results from a multicenter double-blinded randomized controlled trial. *The American journal of sports medicine*, 53(9), 2107–2117. <https://doi.org/10.1177/03635465251346961>
 24. Angele, P., Zellner, J., Schröter, S., Flechtenmacher, J., Fritz, J., & Niemeyer, P. (2022). Biological reconstruction of localized full-thickness cartilage defects of the knee: A systematic review of level 1 studies with a minimum follow-up of 5 years. *Cartilage*, 13(4), 5–18. <https://doi.org/10.1177/19476035221129571>

Стаття надійшла до редакції 24.10.2025	Отримано після рецензування 27.10.2025	Прийнято до друку 30.10.2025
---	---	---------------------------------

PROGNOSTIC FACTORS IN THE TREATMENT OF FOCAL OSTEOCHONDRAL LESIONS OF THE KNEE AND ANKLE

T. M. Omelchenko, Ye. A. Levytskyi

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

✉ Taras Omelchenko, MD, Prof.: kaftaum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1722-0803>

✉ Yevhenii Levytskyi: lev.evgen21@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9076-9985>

УДК 618.5-089.888:[616.747:616.8-009.1]](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025478-86>

Аналіз результатів хірургічного лікування пацієнтів з наслідками акушерського паралічу Дюшен-Ерба

А. М. Гриценко, С. О. Хмизов, О. Г. Шевченко,
І. М. Гарбузняк, Т. А. Єрмак, Р. В. Златник

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

To improve upper limb function in obstetric palsy, a number of surgical techniques have been proposed worldwide. However, achieving the desired rehabilitation effect is not always possible. Objective. To analyze the treatment outcomes in patients with the sequelae of Duchenne–Erb obstetric palsy depending on the severity of pathology, the diagnostic methods applied, and the chosen surgical tactics. Methods. A retrospective and prospective study was conducted to evaluate the treatment outcomes of children with Duchenne–Erb obstetric palsy who underwent surgery at the Pediatric Orthopedics Department of the SI «Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine». The retrospective group consisted of 6 patients; the prospective group included 16 patients, divided into two subgroups of eight: Group I — without bony deformities; Group II — with secondary bony deformities. Tendon-muscle transfers were performed in Group I, while a two-stage surgical intervention was applied in Group II. Parents of the children completed questionnaires. Results. In the retrospective group, after L'Episcopo surgery, an improvement in the function of the affected limb according to the Mallet scale was observed in two patients, while in the prospective group (in the long-term postoperative period) improvements were recorded in 10 cases. Group II demonstrated more pronounced and statistically significant positive changes in upper-limb function ($p < 0.05$). The frequency of functional improvement according to the Mallet scale between the prospective and retrospective groups did not reach statistical significance ($p > 0.05$). Differences in postoperative muscle strength between Groups I and II were not statistically significant ($p > 0.05$). After treatment, parents' assessment of their child's functional status increased by (5.1 ± 1.3) points, satisfaction with life — by (4.3 ± 1.3) points, and overall quality of life — by (9.4 ± 2.6) points ($p < 0.001$). Conclusions. A differentiated approach to choosing treatment tactics allows not only improving the function of the affected limb but also enhancing patients' quality of life, improving their psycho-emotional state, and increasing life satisfaction. Key words. Duchenne-Erb obstetric palsy, shoulder joint, secondary bone deformities, brachial plexus, muscle transpositions, Mallet scale, disease-specific instrument.

Із метою поліпшення функції верхньої кінцівки в разі акушерського паралічу у світі запропоновано низку методик оперативних втручань. Утім, досягти бажаного ефекту реабілітації хворого вдається не завжди. Мета. Проаналізувати результати лікування пацієнтів з наслідками акушерського паралічу Дюшен-Ерба залежно від тяжкості патології, застосування методів діагностики та тактики хірургічного втручання. Методи. Проведено ретроспективне та проспективне дослідження результатів лікування дітей з акушерським паралічем Дюшен-Ерба, яким виконували операцію в клініці дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Ретроспективну групу склали 6; проспективну — 16, їх розподілили на дві підгрупи по 8 осіб: I — без кісткових деформацій; II — хворі зі вторинними кістковими деформаціями. Пацієнтам I підгрупи виконано сухожилково-м'язові транспозиції, II — двохетанне хірургічне втручання. Проведено анкетування батьків дітей. Результати. У ретроспективній групі після втручання за методикою L'Episcopo покращення функції ураженої кінцівки за шкалою Mallet спостерігалось у двох хворих, а у проспективній (у віддаленому післяопераційному періоді) — у 10 випадках. У II підгрупі зафіксовано більш виражені та статистично значущі позитивні зміни функціонального стану верхньої кінцівки ($p < 0,05$). Частота покращення функціонального стану ураженої кінцівки за шкалою Mallet серед пацієнтів проспективної та ретроспективної груп не мала статистичної значущості ($p > 0,05$). Відмінності показників сили м'язів після операції у I та II підгрупах були статистично не значущі, $p > 0,05$. Після лікування оцінка функціонального стану хворої дитини з погляду батьків збільшилась на $(5,1 \pm 1,3)$ бала, задоволеності життям — на $4,3 \pm 1,3$, загальна якість життя — на $(9,4 \pm 2,6)$ бала ($p < 0,001$). Висновки. Диференційований підхід до вибору тактики лікування дозволяє не лише покращити функцію ураженої кінцівки, а й підвищити якість життя хворих, поліпшити їхній психоемоційний стан і задоволеність життям.

Ключові слова. Акушерський параліч Дюшен-Ерба, плечовий суглоб, вторинні кісткові деформації, плечове сплетення, м'язові транспозиції, шкала Mallet, хворобо-специфічний інструмент

Вступ

Акушерський параліч Дюшена-Ерба (параліч Ерба внаслідок родової травми за МКХ 10, код P14.0) є найбільш поширеною патологією серед уражень плечового сплетення.

У клінічному перебігу хвороби виділяють три періоди:

- гострий (протягом перших 3 міс. після народження дитини);
- відновний (від 3 міс. до 3 років);
- залишкових явищ (від 3 років протягом подальшого життя).

Більшість уражень мають нейропраксичний характер, що з часом дозволяє частково відновити функцію кінцівки. Відновлення нервових структур ефективніше відбувається за умов лікування в перші два періоди хвороби [1–3]. На етапі залишкових явищ відновити інервацію кінцівки, як правило, не вдається, а тактика лікування полягає в застосуванні реконструктивно-пластичних ортопедичних втручань із метою усунення контрактур суглобів і збільшення обсягу її функцій. З огляду на це особливо важливим у лікуванні акушерського паралічу Дюшена-Ерба (АПДЕ) є якомога раннє використання широкого комплексу діагностичних засобів (рентгенографії, ультразвукової діагностики (УЗД), електроміографії (ЕМГ), електронейроміографії (ЕНМГ), комп'ютерної та магніторезонансної томографії (КТ, МРТ) тощо). Також значущим є своєчасне та кваліфіковане застосування тактики комплексного лікування під час кожного періоду хвороби залежно від тяжкості ураження, включаючи медикаментозне та фізіофункціональне, ортезування кінцівки та, за потреби, хірургічне втручання [3–8]. За умов використання лише консервативного лікування пацієнтів з АПДЕ вдається відновити функцію кінцівки до трирічного віку в 55–70 % випадків залежно від тяжкості ураження [9].

Для поліпшення функції верхньої кінцівки в разі акушерського паралічу у світі запропоновано низку методик оперативних втручань безпосередньо на нервових структурах, на сухожилково-м'язовій системі, кістках і суглобах. Проте кожен зі способів хірургічного лікування має певний відсоток ускладнень і відсутність бажаного ефекту реабілітації хворого [10].

Мета: проаналізувати результати лікування пацієнтів із наслідками акушерського паралічу Дюшена-Ерба залежно від тяжкості патології,

застосування методів діагностики та тактики хірургічного втручання.

Матеріал і методи

Матеріали дослідження розглянуто та ухвалено комітетом біоетики (протокол від 19.05.2025 р. № 252) ДУ ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Батьки всіх пацієнтів дали інформовану згоду.

Проаналізовано результати лікування 22 особи із наслідками АПДЕ віком від 3 до 13 років, які перебували в клініці дитячої ортопедії ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у періоди 1996–2003 р. (ретроспективне дослідження) та у 2014–2022 р. (проспективне).

Для ретроспективного дослідження й аналізу результатів лікування наслідків АПДЕ відібрано 6 історій хвороб пацієнтів віком від 4 до 11 років. Серед них було 3 дівчинки та 3 хлопчика, середній вік становив $(7,3 \pm 2,8)$ років. Травма правого плечового сплетення спостерігалась у 5, лівого — у 1 хворого.

Проспективну групу склали 16 пацієнтів з АПДЕ віком від 3 до 17 років, у тому числі 10 (62,50 %) хлопчиків та 6 (37,50 %) дівчат, середній вік становив $(10,1 \pm 6,1)$ років. Травма правого плечового сплетення спостерігалась у 6, лівого — у 10 пацієнтів. У 8 хворих діагностовано кісткове викривлення: елевацію, ротацію та деформацію зсуву лопатки (SHEAR), у тому числі у 2 осіб справа, у 6 — зліва.

Пацієнтів проспективної групи ($n = 16$) додатково розподілили на дві підгрупи за тяжкістю патологічних змін і видом оперативних втручань:

I ($n = 8$) — особи, в яких не діагностовано кісткових деформацій та виконано активні сухожилково-м'язові транспозиції;

II ($n = 8$) — діти, в яких виявлено вторинні кісткові деформації та здійснено активні сухожилково-м'язові транспозиції в поєднанні з остеотомією кісток верхнього поясу кінцівки.

Усі пацієнти були клінічно обстежені з визначенням обсягу рухів в ураженому плечовому суглобі за «0»-прохідним методом, оцінено функцію суглоба та верхньої кінцівки за модифікованою шкалою Mallet [11], проведено рентгенологічне дослідження плечового суглоба й електрофізіологічне обстеження. Діти проспективної групи, які мали кісткову деформацію SHEAR, додатково були направлені на КТ із мультипланарною реконструкцією плечового суглоба та лопатки.

Рентгенологічне дослідження плечового суглоба робили в передній та боковій проєкціях

з візуалізацією лопатки до оперативного лікування в пацієнтів із вираженими привідними та внутрішньо-ротаційними контрактурами: у 4 осіб ретроспективної та 8 проспективної груп. Використовували рентгенографічну та флюороскопічну систему OPERA T90сех. Основними критеріями визначення наявності або відсутності SHEAR-деформації було знаходження головки плечової кістки в суглобовій западині та висота стояння лопатки.

Пацієнтам ретроспективної групи проведено ЕМГ на обох верхніх кінцівках, досліджено біоелектричну активність м'язів плечового пояса: *m. supraspinatus*, *m. deltoideus*, *m. biceps*, *m. triceps*, *m. latissimus dorsi*, *m. pectoralis major*.

Електрофізіологічне обстеження проспективної групи включало виконання інтерференційної й стимуляційної ЕНМГ. Першу біоелектричну активність реєстрували в стані максимальної довільної напруги білатерально на таких м'язах: *m. deltoideus*, *m. supraspinatus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps*, *m. abductor pollicis brevis*, *m. abductor digiti minimi*. За стимуляційної ЕНМГ проводили стимуляцію точки плечового сплетення (точки Ерба) та реєстрували моторні відповіді з *m. deltoideus*, *m. supraspinatus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps*, *m. abductor pollicis brevis*, *m. abductor digiti minimi*. Визначали латентність, амплітуду й тривалість М-відповідей із серединного, ліктьового, аксиллярного, променевого, м'язово-шкірного нервів. За норму приймали референтні значення [12]. Реєстрували сигнали на чотириканальному електроміографі «НейроМВП». Вхідний діапазон сигналу — 30 мВ, нижня частота — 20 Гц, верхня — 10 000 Гц.

Результати обстеження кожного пацієнта перед хірургічним втручанням та у віддаленому післяопераційному періоді (через 2–4 роки) заносились до спеціально розробленої анкети. Під час спостереження проспективної групи також оцінювалась сила м'язів верхніх кінцівок за модифікованою шкалою Medical Research Council (MRC) [13]. Крім того, із метою вивчення якості життя пацієнтів до та після лікування проведено анкетування батьків хворих дітей за модифікованим опитувальником Disease-Specific Questionnaire (DSQ) [14], до якого було включено актуальні для дітей з порушенням функції верхньої кінцівки внаслідок АПДЕ запитання щодо функціонального стану і можливостей здійснювати повсякденну діяльність (шкала функції), а також щодо психологічного благополуччя та задоволеності життям (шкала задоволення).

Для порівняння кількісних змін використовувався t-тест для незалежних вибірок. Частотні показники порівнювали за допомогою точного критерію Фішера (φ*). Різницю вважали статистично значущою за $p \leq 0,05$.

Результати та їх обговорення

За результатами клінічного дослідження функції плечового суглоба та верхньої кінцівки за шкалою Mallet у передопераційному періоді серед пацієнтів ретроспективної групи в 4 осіб спостерігалось обмеження другого ступеня (Mallet II), у 2 хворих — третього (Mallet III). Під час рентгенологічного дослідження на доопераційному етапі в 2 осіб кісткових змін не виявлено, у 4 спостерігалась гіпоплазія суглобової западини лопатки та підвигів головки плечової кістки (рис. 1). За даними ЕМГ у всіх пацієнтів було наявне зниження електричних біопотенціалів досліджуваних м'язів верхньої кінцівки на 30 % порівняно зі здоровою протилежною.

Усім 6 хворим ретроспективної групи виконано втручання за методикою L'Episcopo [15]: здійснено транспозицію підлопаткового м'яза на сухожилок малого круглого м'яза та переміщено точку кріплення великого круглого м'яза на задньомедіальну поверхню плечової кістки, завдяки чому внутрішні ротатори плечового суглоба були перенесені в положення зовнішніх. Через 2–4 роки після проведеного лікування у 2 (33,3 %) пацієнтів спостерігалось покращення функції ураженої кінцівки з Mallet II до Mallet III (табл. 1).

Серед осіб проспективної групи за результатами клінічного обстеження до операції відмічено обмеження функції верхньої кінцівки на рівні Mallet II у 4 (25,0 %) випадках, Mallet III — у 11 (68,8 %), Mallet IV — у 1 (6,2 %) хворого.



Рис. 1. Рентген відбиток пацієнта С., 7 років. Гіпоплазія суглобової западини лопатки, задній підвиг головки плечової кістки

Більш значні порушення функціонального стану кінцівки виявились серед пацієнтів II підгрупи. Так, у зазначеній підгрупі визначались функціональні обмеження на рівні Mallet II у 3 (37,5 %), Mallet III — у 5 (62,5 %) осіб. У I підгрупі обмеження на рівні Mallet II відмічено лише у 1 (12,5 %) хворого, на рівні Mallet III — у 6 (75,0 %) та Mallet IV — у 1 (12,5 %).

За результатами рентгенологічних досліджень 16 пацієнтів проспективної групи в доопераційному періоді у 8 виявлено сплюснення головки плечової кістки з частковою деформацією суглобової западини лопатки, у 2 — підвивих ключично-акроміального суглоба та зони Лоозера акроміального відростка лопатки, у 3 — гіоплазію суглобової западини лопатки, підвивих головки плечової кістки та ще у 3 — гіоплазію ключиці й суглобової западини лопатки та підвивих головки плечової кістки (рис. 2).

У всіх пацієнтів проспективної групи на початку лікування спостерігався виражений парез м'язів ураженої кінцівки. Оцінка сили м'язів за шкалою MRC хворих I підгрупи коливалась від 16 до 22 балів і становила в середньому $19,5 \pm 2,3$ ($p < 0,001$). Серед осіб II підгрупи сила м'язів ураженої кінцівки була дещо нижчою: максимальне

значення за шкалою MRC дорівнювало 19, мінімальне — 14 балам і в середньому становило $16,3 \pm 1,5$ ($p < 0,001$). Відмінності між середніми значеннями сили м'язів ураженої кінцівки у I та II підгрупах пацієнтів до лікування були статистично значущими, $p < 0,01$.

Із метою уточнення оцінки функціональної спроможності м'язів і тяжкості ураження кінцівки проведено ЕНМГ-обстеження 8 дітей проспективної групи. У 5 із них застосовано стимуляційну методику, у 2 — сумарну поверхневу міографію та в 1 випадку — обидва дослідження. Аналіз проводили між показниками моторних відповідей здорової та ураженої кінцівки. Електрофізіологічні дані виявились дуже варіабельними: спостерігалось зменшення амплітуди моторної відповіді, подовження латентності та тривалості. Так, у 3 пацієнтів виявили зниження амплітуди М-відповіді дельтоподібного м'яза від 28 до 64 % та збільшення латентного періоду та тривалості М-відповіді до 49 %. У 1 хворого амплітуда дельтоподібного м'яза була на 33 % вище, ніж на здоровій кінцівці, але в інших випадках суттєвої різниці між хворою та здоровою кінцівками не спостерігалось. На жаль, у жодного пацієнта на передопераційному етапі обстеження не були досліджені такі м'язи: *pectoralis major*, *teres major* та *minor*, через відсутність чіткого діагностичного алгоритму. Проте дисфункція саме цих м'язів критична для розвитку внутрішньо-ротаторної контрактури плечового суглоба та вторинних кісткових деформацій плечового пояса. Ураховуючи, що електрофізіологічні дослідження хворих з акушерським паралічем дозволяють точно діагностувати локалізацію ураження, тяжкість і ступінь прояву неврологічного дефіциту з боку плечового сплетення [12, 16], результати ЕНМГ були важливим маркером для обрання тактики хірургічного втручання та подальшого моніторингу хворих.

З огляду на виявлені значні патологічні зміни під час клінічного та рентгенологічного обстежень, 5 пацієнтам II підгрупи проведено КТ-дослідження, за результатами якого виявлено гіоплазію та ротацію лопатки. Крім того, у 4 (80 %) випадках також діагностовано гіоплазію головки плечової кістки та суглобової западини лопатки (гленоїда) (рис. 3). У середньому гіоплазована лопатка була на 12 % менше контрлатеральної. Гіоплазія лопатки та її ротаційна деформація змінювала кут нахилу акроміально-ключичного суглоба, що в подальшому могло

Таблиця 1
Динаміка оцінки функціонального стану верхньої кінцівки за шкалою Mallet після оперативного лікування в пацієнтів ретроспективної групи (n = 6)

Динаміка оцінки за шкалою Mallet	Пацієнт
Покращання функції ураженої кінцівки	2
Функціональний стан ураженої кінцівки без змін:	
– Mallet II;	2
– Mallet III	2



Рис. 2. Рентген пацієнта Т., 9 років. Гіоплазія гленоїди лівої лопатки, гіоплазія дистального відділу лівої ключиці, підвивих головки лівої плечової кістки вниз і назад

спровокувати імпіджмент-синдром із головою плечової кістки [11].

У зазначених випадках проведення КТ-дослідження з 3D-моделюванням визнано доцільним для діагностики та деталізації вторинних кісткових викривлень, SHEAR-деформації, а також для уточнення планування хірургічного втручання. Утім, КТ-дослідження не могло бути застосоване для діагностики патологічних змін у всіх пацієнтів, адже має значні обмеження у використанні для дітей молодшої вікової групи, ураховуючи величину дози опромінення: за рентгенологічного — 0,1 мЗв, а за КТ (низько дозовані протоколи) — 2,2–3,3 мЗв [17–19]. Крім того, для проведення такого обстеження дітям виконується седация, що в більшості випадків викликає негативну реакцію батьків та відмову.

З урахуванням локалізації, тяжкості, ступеня прояву неврологічного дефіциту та кісткових деформацій, виявлених під час діагностики, у кожному випадку було обрано відповідну тактику та метод хірургічного втручання.

У I підгрупі під час проведення діагностичних процедур кісткових деформацій не виявлено. Для покращення зовнішньої ротації плечового суглоба та відведення плеча хворим зазначеної підгрупи було виконано сухожилково-м'язові транспозиції. Оперативне втручання полягало в транспозиції найширшого м'яза спини та великого круглого на малий круглий м'яз, а також реліз великого грудного м'яза. Додатково, залежно від тяжкості проявів патології, виконувались відсепаровування підлопаткового м'яза та декомпресія підпахвового нерва.

Ураховуючи, що II підгрупа мала тяжчі прояви патології, із наявністю виражених вторинних кісткових деформацій, хворим цієї підгрупи виконано два послідовних оперативних втручання на кістках і м'якотканних структурах плечового пояса з часовим проміжком між етапами в рік. Спочатку проводилась хірургічна корекція кісткових деформацій: остеотомія акроміального відростка ключиці та середньої третини ключиці, що дозволяло змінити площину нахилу акроміально-ключичного трикутника та централізувати головку плечової кістки в нейтральне положення в суглобовій западині. На другому етапі здійснювались операції з транспозиції та/або релізу м'язів залежно від наявних патологічних змін.

Аналіз до та після операції пацієнтів проспективної групи продемонстрував покращення функції верхньої кінцівки після виконання етапного хірургічного втручання. Операція позитивно вплинула на м'язовий та кістковий компонент

деформації плечового суглоба та лопатки, а саме усунення імпіджмент-синдрому та опускання лопатки. Проте за даними КТ-дослідження плечового суглоба в 2 випадках SHEAR-деформації відзначено збереження торсії плечової кістки (рис. 4). Це доводить необхідність проведення більш детальної діагностики патологічних змін із метою уточнення тактики хірургічного втручання. Зокрема, для пацієнтів із вродженим паралічем плечового сплетення, які мають пізню стадію плечової дисплазії, що унеможливило звільнення м'яких тканин і переміщення сухожилків, доцільно додати до хірургічної тактики коригувальну деротаційну остеотомію плечової кістки, ефективність застосування якої в таких випадках було продемонстровано іншими дослідниками [20].

Після проведеного лікування покращення функції ураженої кінцівки у віддаленому післяопераційному періоді через 2–4 роки відзначено в 10 (62,5 %) пацієнтів проспективної групи. У 2 (12,5 %) випадках спостерігалось збільшення функціональних спроможностей ураженої кінцівки з рівня Mallet II до Mallet IV,

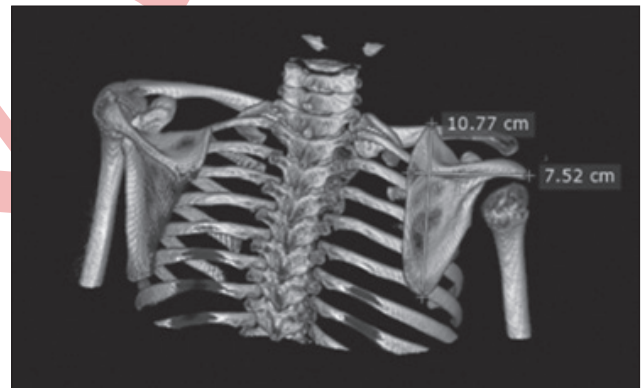


Рис. 3. КТ-відбиток пацієнта з АПДЕ. Вимірювання SHEAR-деформації (пацієнтка О., 9 років): SHEAR-деформація I (2,5 % стояння лопатки над ключицею у фронтальній площині КТ)

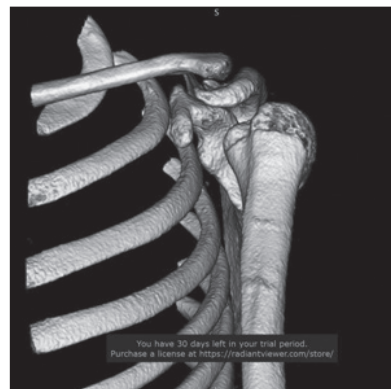


Рис. 4. Післяопераційний КТ-відбиток плечового суглоба пацієнта С., 10 років, із АПДЕ, торсія плечової кістки

ще у 2 (12,5 %) — із Mallet II до Mallet III, у 6 (37,5 %) випадках — із Mallet III до Mallet IV. Функція верхньої кінцівки після проведеного лікування залишилась без змін, на рівні Mallet IV — у 1 (6,2 %), Mallet III — у 5 (31,3 %) пацієнтів. Більш виражені та статистично значущі позитивні зміни функціонального стану верхньої кінцівки у віддаленому операційному періоді спостерігались серед хворих II підгрупи ($p < 0,05$) (табл. 2).

Утім різниця частоти позитивних змін функціонального стану ураженої кінцівки за шкалою Mallet серед пацієнтів проспективної та ретроспективної груп не мала статистичної значущості ($\phi^* = 1,238$, $p = 0,1079$). Це доводить, що тактика та методи лікування в обох групах обрані правильно та були доволі ефективними, попри дані літератури, які вказують на високий відсоток недовготривалого ефекту та виникнення рецидивів після операцій за методикою L'Episcopo [21, 22].

Під час оцінювання сили м'язів за шкалою MRC у віддаленому післяопераційному періоді виявлено, що вона збільшилась у всіх пацієнтів проспективної групи в середньому на $(4,5 \pm 1,9)$ бала ($p < 0,001$). Відмінності у I та II підгрупах не мали статистичної значущості, $p > 0,05$ (табл. 3). З огляду на те, що до лікування хворі

I підгрупи мали більшу силу м'язів верхніх кінцівок, ніж II ($p < 0,01$), отримані після операції дані свідчать про правильний вибір тактики і методів хірургічного втручання з урахуванням виявлених патологічних змін.

Дослідження якості життя пацієнтів проспективної групи до та після лікування продемонстрували значне покращення показників функціонального стану верхніх кінцівок і можливостей хворих здійснювати повсякденну діяльність, їх психологічного благополуччя та задоволеності життям.

До лікування функції верхніх кінцівок оцінювались батьками пацієнтів проспективної групи згідно з опросником DSQ у середньому на рівні $(6,4 \pm 1,8)$ бала, задоволеність життям — $7,3 \pm 2,4$. Загальна оцінка якості життя в середньому становила $(13,6 \pm 4,1)$ бала ($p < 0,001$). Після лікування оцінка функціонального стану хворої дитини збільшилась у середньому на $(5,1 \pm 1,3)$ бала, задоволеності життям — на $4,3 \pm 1,3$, загальний показник якості життя — на $9,4 \pm 2,6$ ($p < 0,001$). Статистично значущої різниці за шкалами функції та задоволення у I та II підгрупах до лікування не визначено ($p > 0,05$). Після лікування статистично значущої різниці в оцінках покращення функції кінцівки з погляду батьків у пацієнтів I та II підгруп також не спостерігалось ($p > 0,05$).

Таблиця 2

Динаміка оцінки функціонального стану верхніх кінцівок за шкалою Mallet після хірургічного лікування у пацієнтів проспективної групи

Показник	Проспективна група, кількість хворих загалом, (%)	I підгрупа, кількість хворих, (%)	II підгрупа, кількість хворих, (%)
Покращання функції ураженої кінцівки, усього, у тому числі збільшення градації	10 (62,5 %)	3 (37,5 %)	7 (87,5 %)
– з Mallet II до Mallet III;	2 (12,5 %)	1 (12,5 %)	1 (12,5 %)
– з Mallet II до Mallet IV;	2 (12,5 %)	—	2 (25,0 %)
– з Mallet III до Mallet IV	6 (37,5 %)	2 (25,0 %)	4 (50,0 %)
Функціональний стан ураженої кінцівки без змін:	6 (37,5 %)	5 (62,5 %)	1 (12,5 %)
– Mallet III;	5 (31,3 %)	1 (12,5 %)	1 (12,5 %)
– Mallet IV	1 (6,2 %)	4 (50,0 %)	—
Точний критерій Фішера (ϕ^*), p-value	—	$\phi^* = 2,201$, $p = 0,0139$	

Таблиця 3

Середні показники сили м'язів після лікування серед пацієнтів проспективної групи за шкалою MRC (у балах)

Показник	Підгрупа	Бал	Порівняння середніх значень показників, p-value
Сила м'язів після лікування	I	$23,1 \pm 1,4$	$p > 0,05$
	II	$21,3 \pm 1,0$	
Збільшення сили м'язів після лікування	I	$3,6 \pm 1,9$	$p > 0,05$
	II	$5,4 \pm 1,3$	

Примітки: Результати подано у вигляді ($M \pm SD$); де M — середнє значення показника в групі, SD — стандартне відхилення.

Таблиця 4

Середні показники якості життя до та після лікування пацієнтів I та II підгруп проспективної групи за результатами анкетування батьків за опросником DSQ (у балах)

Шкала	Підгрупа	Термін спостереження	Бал	p-value	
Функціонування верхньої кінцівки	I	до лікування	6,4 ± 1,4	p ² = 1,000	p ³ = 0,140
		після лікування	10,9 ± 1,6		
	II	до лікування	6,4 ± 1,4		
		після лікування	12,1 ± 1,6		
Задоволеність життям	I	до лікування	7,3 ± 41,5	p ¹ < 0,001	p ² = 0,615
		після лікування	10,6 ± 0,9		
	II	до лікування	6,8 ± 2,3		
		після лікування	12,4 ± 2,1		
Загальна оцінка	I	до лікування	13,6 ± 2,8	p ² = 0,794	p ³ = 0,001
		після лікування	21,6 ± 2,3		
	II	до лікування	13,1 ± 4,4		
		після лікування	24,5 ± 3,4		

Примітки: Результати подано у вигляді (M ± SD); де M — середнє значення показника в групі, SD — стандартне відхилення; p¹ — порівняння середніх значень показників до та після лікування; p² — порівняння результатів до лікування в обох підгрупах; p³ — порівняння результатів після лікування в обох підгрупах.

Таблиця 5

Зростання показників якості життя після лікування пацієнтів I і II підгруп проспективної групи за результатами анкетування батьків за опросником DSQ (у балах)

Шкала	Зріст показника після лікування	
	I підгрупа	II підгрупа
Функція	↑ 4,5 ± 0,5	↑ 5,8 ± 1,7
p-value	p = 0,0632	
Задоволеність життям	↑ 3,4 ± 0,7	↑ 5,6 ± 0,9
p-value	p = 0,0001	
Загальна	↑ 8,0 ± 1,1	↑ 11,4 ± 2,3
p-value	p = 0,0019	

Примітки: Результати подано у вигляді (M ± SD); де M — середнє значення показника в групі, SD — стандартне відхилення; p — порівняння середніх значень показників в обох групах, ↑ — зростання.

Утім її було виявлено в покращенні психологічного благополуччя та задоволеності життям і, відповідно, поліпшилась якість життя загалом, серед пацієнтів II підгрупи як порівняти з I (p ≤ 0,05) (табл. 4).

Оцінка задоволеності життям у I підгрупі збільшилась у середньому на (3,4 ± 0,7) бала, у II підгрупі — на 5,6 ± 0,9, статистична значущість різниці між показниками p < 0,001. Загальний показник якості життя у I підгрупі збільшився в середньому на 8,0 ± 1,1, у II підгрупі — на (11,4 ± 2,3) балів, статистична значущість різниці між показниками p < 0,05 (табл. 5). Беручи до уваги значно гірші об'єктивні показники функціонального стану кінцівки в пацієнтів II підгрупи до лікування та динаміку позитивних змін у віддаленому операційному періоді згідно

зі зазначеними діагностичними даними, можна стверджувати, що проведене втручання було ефективним завдяки вибору тактики і методів залежно від тяжкості виявлених патологічних змін у I та II підгрупах хворих. Відсутність статистично значущої різниці після лікування в оцінці функціонального стану кінцівки батьками пацієнтів можна пояснити рівнем її суб'єктивізму.

Отримані дані узгоджуються з іншими дослідженнями [2, 5, 7, 8] та підкреслюють важливість своєчасної та якісної діагностики патологічних змін, а також вибору тактики та методів лікування залежно від тяжкості ураження.

Висновки

Результати проведеного дослідження свідчать, що точність діагностики зі застосуванням сучасних

технологій та раціональний вибір методів хірургічного втручання з урахуванням ступеня неврологічних порушень і характеру патологічних кісткових змін і деформацій є ключовими чинниками ефективного лікування хворих зі стійкими порушеннями функції верхньої кінцівки внаслідок акушерського паралічу Дюшен-Ерба.

Отримані дані підтверджують, що диференційований підхід до визначення лікувальної тактики дозволяє одержати якісні результати покращення функціональної спроможності ураженої кінцівки та значно поліпшити показники якості життя хворих, у тому числі й їхній психоемоційний стан.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. У перспективі інтерес становить розробка та впровадження уніфікованого алгоритму діагностики патології та лікування пацієнтів із наслідками акушерського паралічу Дюшен-Ерба.

Інформація про фінансування. Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

Внесок авторів. Гриценко А. М. — концепція і дизайн, збір та обробка матеріалів, написання статті; Хмизов С. О. — аналіз отриманих даних, редагування тексту; Шевченко О. Г. — статистичний аналіз, написання статті; Гарбузняк І. М. — набір клінічного матеріалу, проведення оперативних втручань, аналіз отриманих даних; Єрмак Т. А. — набір клінічного матеріалу; Златник Р. В. — рентгенологічні дослідження.

Список літератури

- Chung, K. C., Lynda, J.-S., & McGillicuddy, J. E. (Eds.). (2012). *Practical management of pediatric and adult brachial plexus palsies*. Elsevier
- Shah, V., Coroneos, C. J., & Ng, E. (2021). The evaluation and management of neonatal brachial plexus palsy. *Paediatrics & child health*, 26(8), 493–497. <https://doi.org/10.1093/pch/pxab083>
- Pondaag, W., & Malessy, M. J. (2020). Evidence that nerve surgery improves functional outcome for obstetric brachial plexus injury. *Journal of hand surgery (European Volume)*, 46(3), 229–236. <https://doi.org/10.1177/1753193420934676>
- Eckstein, K. L., Allgier, A., Evanson, N. K., & Paulson, A. (2020). Brachial plexus birth injuries and the association between pre-procedure and post-procedure pediatric outcomes data collection instrument scores and Narakas classification. *Journal of pediatric rehabilitation medicine*, 13(1), 47–55. <https://doi.org/10.3233/PRM-190603>
- Arrigoni, C., Facchi, R., & Catena, N. (2025). The role of glenoid osteotomy in the treatment of shoulder dysplasia in brachial plexus birth palsy: A systematic review. *Journal of clinical medicine*, 14(16), 5610. <https://doi.org/10.3390/jcm14165610>
- Basit, H., Ali, C. D. M., & Madhani, N. B. (2023). Erb palsy. In StatPearls. StatPearls Publishing
- Li, H., Chen, J., Wang, J., Zhang, T., & Chen, Z. (2023). Review of rehabilitation protocols for brachial plexus injury. *Frontiers in neurology*, 14, 1084223. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1084223>
- Komar, T., Koval, O., & Khmara, T. (2024). Morphological prerequisites of origin upper, middle, and lower syndromes of injury of the primary bundles of the brachial plexus. *Clinical anatomy and operative surgery*, 23(2), 108–113. <https://doi.org/10.24061/1727-0847.23.2.2024.37>
- Strafun, S. S., Borzikh, O. V., Naumenko, L. Yu., & Ipatov, A. V. (2011). Obstetric paralysis. In L. Yu. Naumenko (Ed.), *Medical and social examination and rehabilitation in pathology of the musculoskeletal system*. Porogy
- Khmyzov, S., Hrytsenko, A., Kykosh, G., & Hrytsenko, A. (2023). Birth injury, Duchenne-Erb's obstetric palsy: Diagnosis and treatment (literature review). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (3), 69–78. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023369-78>
- Umut, G. U., Hoşbay, Z., Tanrıverdi, M., Yılmaz, G. G., Altaş, O., Korucu, A., & Aydın, A. (2024). Obstetric brachial plexus palsy and functional implications. *Medicina*, 60(11), 1850. <https://doi.org/10.3390/medicina60111850>
- Hafner, P., Manzur, A., Smith, R., Jaiser, S., Schutz, P., Sewry, C., Muntoni, F., & Pitt, M. (2019). Electromyography and muscle biopsy in paediatric neuromuscular disorders. *Neuromuscular disorders*, 29(1), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2018.10.003>
- Conde, R. M., Pena, L. A. P., Elias, A. H. N., Guerreiro, C. T., Pereira, D. A., Sobreira, C. F. R., Marques Jr, W., & Barreira, A. A. (2023). Inter-rater reliability of the Rasch-modified MRC scoring criteria. *Journal of the peripheral nervous system*, 28(1), 119–124. <https://doi.org/10.1111/jns.12534>
- Peters, M., & Crocker, H. (2023). Disease-Specific Questionnaire. In *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17299-1_756
- Thamer, S., Kijak, N., Toraih, E., Thabet, A. M., & Abdelgawad, A. (2023). Tendon transfers to restore shoulder function for obstetrical brachial plexus palsy. *JBJS Reviews*, 11(1). <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.22.00165>
- Berényi, M., Szeredai, M., & Cseh, Á. (2022). Neonatal brachial plexus palsy — Early diagnosis and treatment. *Ideggyógyászati szemle*, 75(7–8), 247–252. <https://doi.org/10.18071/isz.75.0247>
- Rudoy, A., & Tereshchenko, M. (2021). Efficiency estimation of monitoring radiation doses during CT. *Bulletin of Kyiv polytechnic institute. instrument making*, 61(1), 85–90. [https://doi.org/10.20535/1970.61\(1\).2021.237111](https://doi.org/10.20535/1970.61(1).2021.237111)
- Wiertel-Krawczuk, A., Szymankiewicz-Szukała, A., & Huber, J. (2024). Brachial plexus injury influences efferent transmission. *Biomedicines*, 12(7), 1401. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12071401>
- Cebula, A., Cebula, M., & Kopyta, I. (2021). Muscle ultrasonographic elastography in children. *Children*, 8(11), 1042. <https://doi.org/10.3390/children8111042>
- Azer, A., Mendiratta, D., Saad, A., Duan, Y., Cedarstrand, M., Chinta, S., Hanna, A., Shinora, D., McGrath, A., & Chu, A. (2023). Outcomes of humeral osteotomies versus soft-tissue procedures. *Frontiers in surgery*, 10, 1267064. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1267064>
- Boileau, P., Baba, M., McClelland, W. B. Jr., Thélu, C.-É., Trojani, C., & Bronsard, N. (2018). Isolated loss of active external rotation. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 27(3), 499–509. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.07.008>
- Bonnevialle, N., Elia, F., Thomas, J., Martinel, V., & Mansat, P. (2021). Osteolysis at the insertion of L'Episcopo tendon transfer. *Orthopaedics & traumatology: surgery & research*, 107(4), 102917. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.102917>

Стаття надійшла до редакції 02.10.2025	Отримано після рецензування 09.11.2025	Прийнято до друку 15.11.2025
---	---	---------------------------------

ANALYSIS OF THE RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH THE CONSEQUENCES OF OBSTETRIC DUCHENNE-ERB PARALYSIS

A. M. Hrytsenko, S. O. Khmyzov, O. G. Shevchenko, I. M. Harbuzniak, T. A. Yermak, R. V. Zlatnik

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

✉ Anastasiia Hrytsenko, MD: hrytsenkosurgery@gmail.com

✉ Sergii Khmyzov, MD, Prof.: s.khmyzov@gmail.com

✉ Olena Shevchenko: elena.shevch59@gmail.com

✉ Iryna Harbuzniak, MD, PhD: harbuzniak@gmail.com

✉ Tatiana Yermak, MD: yermaktatiana@gmail.com

✉ Ruslan Zlatnik, MD: ruslan.zlatnik@gmail.com

УДК 617.572-089.5-032-089.168(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025487-91>

Вплив глибини анестезії на інцидентність ранніх післяопераційних ускладнень під час операцій у напівсидячому положенні

К. І. Лизогуб, Д. В. Морозенко

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

Objective: To investigate the effect of BIS-controlled anesthesia depth on hemodynamic changes and early postoperative complications during shoulder surgery in the BCP. **Methods.** The prospective study involved 50 patients who underwent shoulder surgery in the BCP. Group I ($n = 25$) — patients whose BIS values were maintained intraoperatively within the range of 40–48, Group II ($n = 25$) — patients whose BIS monitoring values were maintained at the level of 49–57. Intraoperative BIS fluctuations beyond the range of 40–60 were not allowed in patients of both groups. The average age of patients in the I group was 43.2 ± 12.5 years, in the II group — 41.8 ± 10.2 years. After induction of propofol/fentanyl in a standard dosage, tracheal intubation, the patient was transferred to the BCP. For postoperative pain relief, patients received paracetamol and non-steroidal anti-inflammatory drugs without the use of narcotic analgesics. BIS monitoring with COVIDEN was used to control the depth of sedation. The Mini-mental state examination (MMSE) scale and the number linking test were used to assess cognitive impairment 24 hours before surgery and 2 days after surgery. Pain was assessed using a visual analogue scale (VAS). **Results.** Haemodynamic parameters were assessed before induction, after induction, and 20 minutes after positioning. Patients in group I had a significantly higher pulse rate (79.04 ± 7.51 vs. 72.76 ± 9.46 mm Hg, $p < 0.05$). No significant changes in MMSE and number binding test were found when comparing pre- and postoperative indicators. Significant differences in the intensity of pain syndrome were found between the groups: 3.72 ± 1.06 vs. 5.11 ± 0.90 points on the first day after surgery ($p < 0.001$). In group I, 12.0 % of patients experienced postoperative nausea and vomiting on day 1, compared to 20.0 % in group 2. The time of extubation showed a significant difference between groups 1 and 2: 19.08 ± 2.87 versus 15.30 ± 2.55 points ($p < 0.001$). **Conclusions.** Maintaining the level of sedation under BIS monitoring at 49–57 in patients during surgery in NSP conditions is accompanied by less postoperative pain and a lower incidence of PONV. **Keywords.** Semi-sitting position, BIS monitoring, cognitive dysfunction, postoperative nausea and vomiting.

Мета. Дослідити вплив глибини анестезії під контролем BIS на зміни гемодинаміки та ранні післяопераційні ускладнення під час проведення оперативних втручань на плечі в напівсидячому положенні (НСП). **Методи.** До проспективного дослідження було залучено 50 пацієнтів, яким виконувалась операція на плечовому суглобі в НСП. Група I ($n = 25$) — особи, яким інтраопераційно підтримували показники BIS у межах 40–48, група II ($n = 25$) — хворі, показники BIS-моніторингу яких підтримували на рівні 49–57. У пацієнтів обох груп не допускалося інтраопераційних коливань BIS за межі 40–60. Середній вік у I групі складав ($43,2 \pm 12,5$) років, у II — $41,8 \pm 10,2$. Після проведення індукції пропофол/фентанілу в стандартному дозуванні, інтубації трахеї хворий переводився у НСП. Для післяопераційного знеболення пацієнти отримали парацетамол і нестероїдні протизапальні препарати без використання наркотичних анальгетиків. Із метою контролю глибини седації використовували BIS-моніторинг COVIDEN. Для оцінки когнітивних порушень застосовували шкалу Mini-mental state examination (MMSE) і тест зв'язування чисел (ТЗЧ) за 24 год до оперативного втручання та на 2-гу добу після. Біль визначали за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ). **Результати.** Показники гемодинаміки оцінювали до та після індукції та через 20 хв після позиціонування. Пацієнти групи I мали достовірно частіший пульс ($79,04 \pm 7,51$ проти ($72,76 \pm 9,46$) уд./хв, $p < 0,05$). Достовірних змін MMSE і ТЗЧ під час порівняння перед- та після операції виявлено не було. Відмінності в інтенсивності больового синдрому виявлені між групами: $3,72 \pm 1,06$ проти ($5,11 \pm 0,90$) балів на 1-шу добу після втручання ($p < 0,001$). У групі I — в 12,0 та в II — 20,0 % на 1-шу добу спостерігалась післяопераційна нудота та блювання. Час екстубації мав достовірну різницю між групами: $19,08 \pm 2,87$ проти ($15,30 \pm 2,55$) балів ($p < 0,001$). **Висновки.** Підтримання рівня седації під контролем BIS-моніторингу на рівні 49–57 у пацієнтів під час операції в умовах НСП супроводжується меншим післяопераційним больовим синдромом і нижчою частотою ПОНБ.

Ключові слова. Напівсидяче положення, BIS-моніторинг, когнітивні дисфункції, післяопераційна нудота та блювання

Вступ

Точне визначення глибини седатції залишається постійною проблемою для анестезіологів. Занадто глибокий наркоз може спричинити гемодинамічні зміни, а надмірно поверхневий несе ризик пробудження під час операції [1]. Пробудження під час анестезії є дуже серйозним ускладненням, яке може мати довгострокові психологічні наслідки, такі як тривожність і посттравматичний стресовий розлад. Традиційний моніторинг глибини седатції здебільшого оцінюється за клінічними ознаками та симптомами пацієнта: зміни частоти серцевих скорочень, артеріального тиску, розміру зіниць, рухами очних яблук чи кінцівок [2]. Система моніторингу біспектрального індексу (BIS) була запроваджена в Сполучених Штатах Америки у 1994 році та схвалена FDA у 1996 році з метою вимірювання рівня свідомості за допомогою алгоритмічного аналізу електроенцефалограми під час загальної анестезії. Моніторинг BIS — це технологія, яка використовується в анестезії для оцінки рівня свідомості та гіпнотичного ефекту анестетичних засобів. За його допомогою зменшується кількість випадків інтраопераційного прокидання і забезпечується об'єктивний та точний метод відстеження глибини анестезії, що є ключовим компонентом деяких рекомендацій щодо прискореного відновлення після операції (ERAS) [3]. Кількісно визначаючи збуджувальні або гальмівні стани кори головного мозку за допомогою аналізу потужності та частоти в електроенцефалограмі, BIS надає числове значення, яке відповідає певному рівню свідомості, що відображає функціональний стан кори мозку. Це дозволяє здійснювати безперервний неінвазивний моніторинг глибини анестезії протягом усього періопераційного періоду, що відповідає цілям ERAS для оптимізації відновлення пацієнтів, мінімізації ускладнень і пришвидшення відновлення.

У багатоцентровому дослідженні [4] показано, що глибина анестезії може впливати на післяопераційні ускладнення. Так, під час порівняння таргетних рівнів BIS 50 та 35 було виявлено, що якість седатції не впливає на частоту 1-річної летальності, але глибока анестезія була пов'язана з більшим ризиком гемодинамічних порушень. Аналогічних даних відносно операцій у напівсидячому положенні (НСП) нами не було знайдено, хоча таке операційне положення може створювати ризик гіперперфузії головного мозку навіть за незначних гемодинамічних порушень. Раніше

повідомлялося, що показники BIS залежать від інтраопераційного положення і у НСП є достовірно нижчими, ніж у лежачому [5], хоча механізм цього феномену залишається до кінця не зрозумілим. Зважаючи на це актуальним є визначення безпечного рівня BIS у НСП.

Мета: дослідити вплив глибини анестезії під контролем BIS на зміни гемодинаміки та ранні післяопераційні ускладнення під час проведення оперативних втручань на плечовому суглобі в напівсидячому положенні.

Матеріал і методи

Дослідження проведено в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» та схвалене локальним комітетом із біоетики (протокол № 231 від 20.05.2023 р.) відповідної установи залежно до правки ICH GCP Гельсінської декларації прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі залучені пацієнти були ознайомлені з планом та умовами проведення роботи, надали письмову й усну згоду.

До проспективного дослідження залучено 50 осіб, яким виконувалось оперативне втручання на плечовому суглобі (артроскопічне відновлення обертальної манжети) у НСП. Пацієнти були розподілені на дві групи: I ($n = 25$) — особи, яким інтраопераційно підтримували показники BIS у межах 40–48, II ($n = 25$) — хворі, показники індексу яких були на рівні 49–57. У пацієнтів обох груп не допускалося інтраопераційних коливань BIS за межі 40–60. Середній вік хворих у I групі складав ($43,2 \pm 12,5$) років, у II — $41,8 \pm 10,2$. Параметри включення: вік 18–65 років, ASA I–II, оперативні втручання на плечовому суглобі в НСП. Виключення: захворювання центральної нервової системи в анамнезі, гастроезофагеальна рефлюксна хвороба, постхолецистектомічний синдром (оскільки підвищується ризик післяопераційної нудоти та блювання (ПОНБ) [6]). Після забезпечення венозного доступу, в обох групах проводилось волемічне навантаження у дозуванні 12 мл/кг [7]. Індукцію анестезії проводили 1 % розчином пропофолу в дозі 2 мг/кг і розчином фентанілу в дозі 100 мкг. Міоплегію для інтубації трахеї забезпечували суксаметонієм у дозі 0,1 мг/кг, після чого підтримували міорелаксацію атракурію бесилатом у дозі 0,3 мг/кг. Загальна анестезія підтримувалась розчином пропофолу 1 % залежно від показників BIS-моніторингу. Післяопераційне знеболення здійснювалось із використанням парацетамолу та нестероїдних

протизапальних препаратів без застосування наркотичних анальгетиків. Із метою профілактики ПОНБ усі пацієнти отримували ондансетрон 4 мг і дексаметазон 4 мг [8]. Штучна вентиляція легень забезпечувалась апаратом Drager Atlan A300, сатурацію периферичної крові (SpO_2), неінвазивний систолічний артеріальний тиск (СиАТ), діастолічний артеріальний тиск (ДіАТ), середній артеріальний тиск (САТ) визначали монітором Mediana YM 6000. Для контролю глибини седації та корекції інфузії пропофолу використовували BIS-моніторинг COVIDEN. За даними виробника, BIS має затримку обробки 5–10 с [9]. Ураховуючи те, що CO_2 є вазодилататором, а низький рівень вуглекислого газу, як вважається, викликає звуження судин головного мозку [10], в обох групах безперервно здійснювали моніторинг концентрації CO_2 наприкінці видиху, значення якого підтримували в межах 35–45 мм рт. ст. Для оцінки можливих ранніх когнітивних порушень застосовували шкалу Mini-mental state examination (MMSE) і тест зв'язування чисел (ТЗЧ): дослідження проводили за 24 год до втручання та на 2-гу добу після. Біль визначали за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ). У післяопераційному періоді здійснювали аналіз частоти виникнення нудоти та блювання, часу екстубації та відновлення спонтанного дихання.

Статистичний аналіз отриманих даних проводили з використанням програмного забезпечення IBM SPSS версії 9.0. Перевірку відповідності розподілу вибірок нормального закону здійснювали за допомогою критерію Колмогорова–Смірнова. Обчислювали середні значення та стандартні відхилення. Порівняння показни-

ків між групами виконували зі застосуванням t-критерію Стьюдента.

Результати

Показники гемодинаміки оцінювали до та після індукції й інтубації та через 20 хв після позиціонування. Закономірно, що на першому та другому етапах різниці в значеннях між групами не було, а на 3-му, через 20 хв після позиціонування, на фоні проведеного переднавантаження, різниці в артеріальному тиску між групами не спостерігалось (табл. 1). Водночас пацієнти на фоні більш поверхневої анестезії (І група) мали достовірно частіший пульс ($79,04 \pm 7,51$ проти $72,76 \pm 9,46$) уд./хв, $p < 0,05$).

Дослідження показників когнітивних функцій проводилось за 24 год до операції та через 2 доби після. Жодних достовірних змін MMSE та тест зв'язування чисел під час порівняння перед- та післяопераційних показників не виявлено (табл. 2).

Дослідження больового синдрому здійснювалось на 1 та 2 добу післяопераційного періоду з використанням ВАШ. Виявлені достовірні відмінності в інтенсивності больового синдрому між пацієнтами І та ІІ груп: $3,72 \pm 1,06$ проти $5,11 \pm 0,90$ бала на першу добу після оперативного втручання ($p < 0,001$). На 2-гу добу достовірних відмінностей не зафіксовано (табл. 3).

У 5 пацієнтів І групи (12,0 %) та 3 осіб ІІ групи (20,0 %) на першу добу спостерігалась післяопераційна нудота та блювання. На 2 добу післяопераційної нудоти та блювання не зафіксовано в жодного пацієнта.

Таблиця 1

Зміни гемодинаміки в пацієнтів досліджуваних груп, $M \pm SD$

Група	СиАТ, мм рт. ст.	ДіАТ, мм рт. ст.	САТ, мм рт. ст.	Пульс, уд./хв
I	Початковий рівень			
	$126,32 \pm 8,57$	$83,88 \pm 7,65$	$95,7 \pm 7,82$	$78,96 \pm 10,87$
	Після індукції			
	$98,72 \pm 9,96$	$65,12 \pm 10,48$	$73,86 \pm 3,75$	$74,76 \pm 7,73$
	20 хв після позиціонування			
	$97,6 \pm 5,38$	$63,92 \pm 2,88$	$74,25 \pm 3,48$	$79,04 \pm 7,51$
II	Початковий рівень			
	$125,84 \pm 12,25$	$85,88 \pm 10,67$	$97,73 \pm 5,34$	$74,84 \pm 10,57$
	Після індукції			
	$103,69 \pm 12,54$	$69,38 \pm 9,20$	$75,32 \pm 4,42$	$81,30 \pm 10,69$
	20 хв після позиціонування			
	$98,07 \pm 5,57$	$64,69 \pm 2,72$	$75,58 \pm 4,84$	$72,76 \pm 9,46$

Таблиця 2
Динаміка когнітивних функцій у пацієнтів досліджуваних груп $M \pm SD$

Група	MMSE, бал	ТЗЧ, сек
I	24 год до операції	
	27,92 $\pm$ 1,15	65,96 $\pm$ 18,50
	2 доба після операції	
	28,28 $\pm$ 2,33	65,84 $\pm$ 22,62
II	24 год до операції	
	27,65 $\pm$ 1,12	71,73 $\pm$ 7,65
	2 доба після операції	
	27,88 $\pm$ 0,99	72,92 $\pm$ 12,51

Таблиця 3
Дослідження рівня больового синдрому в пацієнтів, $M \pm SD$

Група	ВАШ (бал)	
	1 доба	2 доба
I	3,72 $\pm$ 1,06	2,92 $\pm$ 1,28
II	5,11 $\pm$ 0,90*	3,5 $\pm$ 0,86

Примітка. * $p < 0,001$ — відмінності в показниках больового синдрому між I та II групами на першу добу після оперативного втручання.

Таблиця 5
Вивчення відмінностей часу відновлення спонтанного дихання й екстубації в пацієнтів

Група	Відновлення спонтанного дихання, хв	Екстубація, хв
I	10,36 $\pm$ 1,95	19,08 $\pm$ 2,87*
II	9,03 $\pm$ 1,86	15,30 $\pm$ 2,55

Примітка. * $p < 0,001$ відмінності в часі екстубації між групами.

Відновленням адекватного спонтанного дихання вважали момент самостійного підтримання CO_2 на рівні менше 50 мм рт. ст. Екстубація трахеї проводилась на фоні досягнення рівня BIS 85. Її час мав достовірну різницю між I та II групами пацієнтів: 19,08 $\pm$ 2,87 проти (15,30 $\pm$ 2,55) бала ($p < 0,001$) (табл. 5).

Обговорення

У поданому дослідженні вивчався вплив глибини анестезії відповідно до показників BIS на дані периферичної гемодинаміки, нейропсихічний профіль, оцінку больового синдрому та рівень якості відновлення пацієнта після операції та загальної анестезії. Результати роботи показали, що в разі більш глибокої седації (BIS 40–48) як порівняти з поверхневою (BIS 49–57) не має виражених змін показників гемодинаміки, що

особливо важливо для НСП. Пацієнти з глибшою седацією відмічали меншу інтенсивність больового синдрому та менше епізодів нудоти та блювання. У дослідженнях Y. Gu і співавт. під час аналізу післяопераційної нудоти та блювання виявлено, що в групі, де застосовувався BIS-моніторинг під час анестезії (1 556 осіб), не зафіксовано зменшення частоти післяопераційної нудоти та блювання порівняно з групою, де використовувався звичайний клінічний моніторинг (1 645 прооперованих) [11]. У спостереженні 247 пацієнтів J. L. Vance і співавт. не знайшли статистичної різниці між глибиною анестезії під контролем BIS, часом перебування в палаті інтенсивної терапії та перебуванні в стаціонарі [12]. Результати нещодавнього метааналізу 26 рандомізованих контрольованих досліджень, в яких взяли участь 10 743 пацієнти, показали, що, виходячи з даних моніторингу глибини анестезії, глибока седація супроводжувалася нижчими показниками болю в стані спокою протягом першої години після операції, але більшою частотою виникнення післяопераційного делірію [13]. Метааналіз 15 досліджень, в яких взяли участь 5 392 осіб, довів, що прагнення до відносно високого рівня BIS було пов'язане зі зменшенням частоти випадків післяопераційної деменції та когнітивної дисфункції, проте не зафіксовано значущих відмінностей у тривалості перебування в лікарні або смертності [14]. Під час вивчення 50 пацієнтів віком від 18–60 років виявлено, що анестезія під контролем BIS-моніторингу сприяє ранній екстубації хворих і зменшенню споживання анестетиків [15].

Висновки

Під час порівняння глибшої (BIS 49–57) та більш поверхневої (BIS 40–48) анестезії в пацієнтів під час оперативних втручань на плечовому суглобі в умовах НСП виявлено, що перша супроводжується меншим післяопераційним больовим синдромом і нижчою частотою ПОНБ, не приводячи водночас до значніших змін інтраопераційної гемодинаміки, що особливо важливо для НСП.

Рівень глибини анестезії на основі BIS-параметрів не впливає на виявлення когнітивних порушень у ранньому післяопераційному періоді.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Отримані дані дозволяють оптимізувати анестезіологічне ведення пацієнтів під контролем BIS і сприяють зменшенню частоти ускладнень.

Інформація про фінансування. Жодної вигоди в будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

Внесок авторів. Лизогуб К. І. — концепція і дизайн дослідження, написання статті; Морозенко Д. В. — аналіз отриманих результатів, дизайн дослідження

Список літератури

1. Froese, L., Dian, J., Gomez, A., Batson, C., Sainbhi, A. S., & Zeiler, F. A. (2021). Association between processed electroencephalogram-based objectively measured depth of sedation and cerebrovascular response: a systematic scoping overview of the human and animal literature. *Frontiers in neurology*, 12, 692207. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.692207>
2. Himalaya Dutta, Suchismita Mallick, Baisakhi Laha, Sarbari Swaika, Uday Sankar Mandal, & Sarmila Ghosh. (2024). Monitoring of general anesthesia by qCON and qNOX indices versus conventional clinical parameters in urological surgery: A randomized controlled clinical trial. *Asian journal of medical sciences*, 15(3), 20–25. <https://doi.org/10.3126/ajms.v15i3.59955>
3. Feldheiser, A., Aziz, O., Baldini, G., Cox, B. P., Fearon, K. C., Feldman, L. S., Gan, T. J., Kennedy, R. H., Ljungqvist, O., Lobo, D. N., Miller, T., Radtke, F. F., Ruiz Garces, T., Schrickler, T., Scott, M. J., Thacker, J. K., Ytrebø, L. M., & Carli, F. (2016). Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) for gastrointestinal surgery, part 2: consensus statement for anaesthesia practice. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, 60(3), 289–334. <https://doi.org/10.1111/aas.12651>
4. Short, T. G., Campbell, D., Frampton, C., Chan, M. T. V., Myles, P. S., Corcoran, T. B., Sessler, D. I., Mills, G. H., Cata, J. P., Painter, T., Byrne, K., Han, R., Chu, M. H. M., McAllister, D. J., Leslie, K., Australian and New Zealand College of Anaesthetists Clinical Trials Network, & Balanced Anaesthesia Study Group (2019). Anaesthetic depth and complications after major surgery: an international, randomised controlled trial. *Lancet*, 394(10212), 1907–1914. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32315-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32315-3)
5. Lee, S. W., Choi, S. E., Han, J. H., Park, S. W., Kang, W. J., & Choi, Y. K. (2014). Effect of beach chair position on bispectral index values during arthroscopic shoulder surgery. *Korean journal of anesthesiology*, 67(4), 235–239. <https://doi.org/10.4097/kjae.2014.67.4.235>
6. Kwon, Y. S., Choi, J. W., Lee, H. S., Kim, J. H., Kim, Y., & Lee, J. J. (2020). Effect of a preoperative proton pump inhibitor and gastroesophageal reflux disease on postoperative nausea and vomiting. *Journal of clinical medicine*, 9(3), 825. <https://doi.org/10.3390/jcm9030825>
7. Lyzogub, K., & Lyzogub, M. (2025). The impact of preoperative volume overload on hemodynamic parameters during shoulder arthroscopy. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 45–49. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025145-49>
8. Gan, T. J., Belani, K. G., Bergese, S., Chung, F., Diemunsch, P., Habib, A. S., Jin, Z., Kovac, A. L., Meyer, T. A., Urman, R. D., Apfel, C. C., Ayad, S., Beagley, L., Candiotti, K., Englesakis, M., Hedrick, T. L., Kranke, P., Lee, S., Lipman, D., Minkowitz, H. S., ... Philip, B. K. (2020). Fourth consensus guidelines for the management of postoperative nausea and vomiting. *Anesthesia and analgesia*, 131(2), 411–448. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004833>
9. Ferreira, A. L., Mendes, J. G., Nunes, C. S., & Amorim, P. (2019). Avaliação do tempo de atraso do índice bispectral na resposta à indução da anestesia: estudo observacional [Evaluation of Bispectral Index time delay in response to anesthesia induction: an observational study]. *Brazilian journal of anesthesiology (Elsevier)*, 69(4), 377–382. <https://doi.org/10.1016/j.bjan.2019.03.008>
10. Deng, R. M., Liu, Y. C., Li, J. Q., Xu, J. G., & Chen, G. (2020). The role of carbon dioxide in acute brain injury. *Medical gas research*, 10(2), 81–84. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.285561>
11. Gu, Y., Hao, J., Wang, J., Liang, P., Peng, X., Qin, X., Zhang, Y., & He, D. (2024). Effectiveness Assessment of Bispectral Index Monitoring Compared with Conventional Monitoring in General Anesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anesthesiology research and practice*, 2024, 5555481. <https://doi.org/10.1155/2024/5555481>
12. Vance, J. L., Shanks, A. M., & Woodrum, D. T. (2014). Intraoperative bispectral index monitoring and time to extubation after cardiac surgery: secondary analysis of a randomized controlled trial. *BMC anesthesiology*, 14, 79. <https://doi.org/10.1186/1471-2253-14-79>
13. Long, Y., Feng, X., Liu, H., Shan, X., Ji, F., & Peng, K. (2022). Effects of anesthetic depth on postoperative pain and delirium: A meta-analysis of randomized controlled trials with trial sequential analysis. *Chinese medical journal*, 135(23), 2805–2814. <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000002449>
14. Ling, L., Yang, T. X., & Lee, S. W. (2022). Effect of anaesthesia depth on postoperative delirium and postoperative cognitive dysfunction in high-risk patients: A systematic review and meta-analysis. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.30120>
15. Sk, A., Kadlimatti, D. V., Kumar, S., Divya, P. S., & Ajith, M. (2025). Time required for extubation while using bispectral index monitoring compared to end-tidal anesthetic gas concentration in patients undergoing general anesthesia. *Cureus*, 17(6), e86742. <https://doi.org/10.7759/cureus.86742>

Стаття надійшла до редакції 03.09.2025	Отримано після рецензування 09.10.2025	Прийнято до друку 15.10.2025
---	---	---------------------------------

THE EFFECT OF DEPTH OF ANESTHESIA ON THE INCIDENCE OF EARLY POSTOPERATIVE COMPLICATIONS DURING SURGERY IN THE BEACH CHAIR POSITION

K. I. Lyzoghub, D. V. Morozenko

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

✉ Kseniia Lyzoghub, MD, PhD: kslizogub@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9149-7208>

✉ Dmytro Morozenko: d.moroz.vet@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6505-5326>

УДК 617.559:616.711-007.5](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025492-98>

Результати хірургічного лікування дегенеративного поперекового сколіозу в дорослих

А. О. Мезенцев, Д. Є. Петренко, Д. О. Демченко

КНП «Міська багатoproфільна клінічна лікарня матері та дитини ім. проф. М. Ф. Руднева» ДМР, Дніпро. Україна

Degenerative lumbar scoliosis represents a significant medical and social issue, most frequently diagnosed in patients over 50 years of age. The condition may present as a primary deformity (scoliosis de novo) or as a progression of idiopathic scoliosis. Its clinical course varies from asymptomatic cases to severe pain syndromes, neurological deficits, and loss of trunk balance. Objective. To evaluate the outcomes of surgical treatment in patients with degenerative lumbar scoliosis and to assess the effectiveness of deformity correction and functional recovery. Methods. A retrospective analysis was conducted in 37 patients aged 48–73 years (mean age, 56.6 years). The assessment included clinical examination, radiographic parameters (Cobb angle, PI-LL, SVA, PT, Th1PA, L1PA), and Oswestry Disability Index and Visual Analog Scale (VAS) scores. All patients underwent transpedicular fixation with posterior column osteotomy; in some cases, spinal canal decompression was additionally performed. The mean length of instrumented fusion was 5.1 segments. Comorbidities and postoperative complications were also analyzed. Results. The mean Cobb angle decreased from 47.7° preoperatively to 20.7° at 3 months and 23.7° at 1 year. Sagittal and coronal balance parameters approached reference values, indicating the achievement of solid fusion. The Oswestry Disability Index improved from 52.1 % (severe disability) to 22.7 % (mild disability) at 1 year. VAS scores demonstrated a significant reduction in pain: from 67.2 mm (back) and 69.2 mm (leg) to 19.3 mm and 21.5 mm, respectively. Postoperative complications occurred in 48.6 % of patients, most commonly wound healing disorders and transient neurological deficits, but did not significantly affect final outcomes. Conclusions. Notably, substantial functional improvement was achieved only one year after surgery. Keywords. Degenerative scoliosis; surgical treatment; spinal fusion; postoperative complications. Restoration of sagittal and frontal balance of the trunk has been achieved.

Дегенеративний поперековий сколіоз є актуальною медико-соціальною проблемою, яка найчастіше діагностується в пацієнтів старше 50 років. Захворювання проявляється як первинна деформація (scoliosis de novo) або як наслідок прогресування ідіопатичного сколіозу. Його перебіг може варіювати від безсимптомного до тяжких больових синдромів, неврологічних розладів і втрати балансу тулуба. Мета. Проаналізувати результати хірургічного лікування пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом, оцінити ефективність корекції деформації та відновлення функціонального стану. Методи. Проведено ретроспективне дослідження результатів лікування 37 пацієнтів віком 48–73 роки (середній вік — 56,6). До аналізу включалися дані клінічного обстеження, рентгенометрії (кут Cobb, PI-LL, SVA, PT, T1PA, L1PA), шкал Oswestry та візуальної аналогової шкали (ВАШ). Усім хворим здійснено транспедиклярну фіксацію з остеотомією заднього опорного комплексу, у частини виконувалась декомпресія хребтового каналу. Середня довжина зони інструментального спондилодезу становила 5,1 сегмента. Також вивчалися супутні захворювання та частота післяопераційних ускладнень. Результати. До втручання середній кут Cobb складав 47,7°; через 3 місяці — 20,7°; рік — 23,7°. Показники сагітального та фронтального балансів наблизились до референтних значень, що підтверджує досягнення якісного спондилодезу. За шкалою Oswestry середні значення знизилися з 52,1 % (значні порушення) до 22,7 % (легкі порушення) через рік. Відзначено істотне зменшення інтенсивності болю за ВАШ: з 67,2 («спина») та 69,2 мм («нога») до 19,3 і 21,5 мм відповідно. Післяопераційні ускладнення спостерігалися у 48,6 % пацієнтів, найчастіше — проблеми зі загоєнням рани та транзиторні неврологічні порушення. Проте вони не вплинули на кінцеві результати лікування. Висновки. Зафіксовано відчутне покращення функціонального стану пацієнтів, яке виявлено не раніше ніж через рік після операції. Досягнуто відновлення сагітального та фронтального балансів тулуба.

Ключові слова. Дегенеративний сколіоз, хірургічне лікування, спондилодез, післяопераційні ускладнення

Вступ

Дегенеративний поперековий сколіоз, зазвичай, розвивається в пацієнтів старших за 50 років як первинно виявлена деформація (*scoliosis de novo*), або внаслідок дегенеративних змін у хребті на тлі вже існуючого підліткового ідіопатичного сколіозу. Перебіг дегенеративної сколіотичної деформації хребта може бути безсимптомним, а може супроводжуватися вираженим больовим синдромом, ознаками компресії невральних структур і порушенням фронтально-го та сагітального балансів хребта.

Поширеність сколіозу серед дорослого населення, за даними різних досліджень, становить від 2 до 32 %; нещодавнє спостереження, проведене серед добровольців похилого віку, виявило поширеність дегенеративного сколіозу з частотою виникнення від 6 до 68 % [1–3]. Через старіння населення та зростаючу увагу до якості життя у співвідношенні до вартості медичної допомоги, дегенеративний сколіоз став суттєвою проблемою охорони здоров'я — не лише з косметичної точки зору, але й як причина значного болю та інвалідизації [4].

Більшість пацієнтів із дегенеративним сколіозом отримують консервативне лікування, у той час як деякі з них, із вираженими клінічними симптомами, потребують хірургічного втручання. Водночас основною метою такої операції є декompresія хребтового каналу, досягнення зрілого кісткового блока й усунення фронтального та сагітального зсувів тулуба [5]. У ретроспективному аналізі, проведеному Товариством дослідження сколіозу (*Scoliosis Research Society, SRS*), частота хірургічних ускладнень у разі дегенеративного сколіозу в дорослих становила 13,4 %, хоча інші спостереження повідомляють про показники до 40 %. Найпоширенішими ускладненнями є ушкодження твердої мозкової оболонки, переломи імплантатів, поверхневі та глибокі інфекції рани, а також неврологічні дефіцити. Пацієнти з ожирінням, ті, які палять, із остеопорозом або віком понад 65 років мають додатковий ризик. Проксимальний з'єднувальний кіфоз спостерігається в 20–40 % осіб і може проявлятися як на ранньому, так і на пізньому етапах після операції. Частота повторних втручань варіюється: від 16,7 % протягом перших 90 днів до 40 % за період 11 років [6].

Наведені факти змушують замислитися більшість хірургів щодо доцільності виконання будь-яких оперативних втручань у пацієнтів цієї ка-

тегорії. Саме тому, для зміни такої думки та зменшення кількості ускладнень, які виникають під час та після операції, існує необхідність аналізу результатів хірургічного лікування дегенеративного поперекового сколіозу.

Мета: вивчити результати хірургічного лікування пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом.

Матеріал і методи

Для проведення дослідження було здійснено ретроспективний аналіз результатів хірургічного лікування дегенеративного поперекового сколіозу в 37 пацієнтів (жінки — 29 осіб, чоловіки — 8) віком 48–73 роки (у середньому 56,6). Проведення роботи було затверджено експертною комісією КНП «Міська багатопрофільна клінічна лікарня матері та дитини ім. проф. М. Ф. Руднева» ДМР (протокол № 1, від 01.01.25 р.). Дослідження виконували з дотриманням вимог і положень Гельсинської декларації про права людини, Конвенції Ради Європи про права людини, основ законодавства України про охорону здоров'я, чинних національних етичних стандартів щодо клінічних досліджень. Усі учасники надали письмову інформовану згоду.

Критерії включення: хворі з дегенеративним поперековим сколіозом, група Lenke-Silva II–III ($\text{Cobb} > 45^\circ$, латеральний зсув 2 мм), доступні клінічні та рентгенологічні дані, відсутність попередніх хірургічних втручань на хребті, інфекцій, травм, ревматоїдного артрити.

Проаналізовано такі дані: скарги хворих, результати рентгенометричних досліджень: кут Cobb викривлення, різницю між показниками ковзання таза та поперекового лордозу (PI–LL), розташування сагітальної вертикальної вісі (SVA), кут нахилу таза (PT), кути T1PA та L1PA (рис. 1, а, б). За референтні значення для вимірювання фронтального та сагітального компонентів викривлення були обрані дані, наведені в класифікації сколіозу за Schwab [7]. Нормальними показниками кутів T1PA та L1PA вважалися дані, наведені в роботах [8, 9].

Також визначали типи хірургічних втручань, які виконувалися, середню кількість фіксованих транспедикулярним імплантатом сегментів хребта, наявність супутніх захворювань у пацієнтів, післяопераційні ускладнення. Усім хворим проводили дослідження за допомогою візуальної аналогової шкали («ВАШ спина» та «ВАШ нога») та шкали Oswestry до хірургічного втручання, через 3 місяці та рік після нього (до 20 % —

мінімальні, 21–40 — помірні, 41–60 — значні та 61–80 — важкі та 81–100 — істотні функціональні порушення). Якість кісткового блока оцінювали за допомогою рентгенологічних досліджень і комп'ютерної томографії.

Результати

У таблиці 1 наведені середні показники результатів рентгенометричних вимірювань у групі, яка досліджувалася. Із цієї таблиці можна побачити, що доопераційний кут Cobb становив $47,7^\circ$, у результаті хірургічного втручання через 3 міс. — $20,7^\circ$, а через рік — $23,7^\circ$. Аналогічні зміни ми спостерігали під час вимірювання інших показників. Так, різниця між кутами PI та LL (PI–LL) складала до лікування $17,3^\circ$, через 3 міс. — $9,5^\circ$, через рік — $8,7^\circ$. Значення SVA змінилося з 54,5 мм до лікування та відповідно через 3 міс. та через рік було 30,5 мм та 32,1 мм у середньому. Кут нахилу таза (PT) — $29,5^\circ$, а через 3 міс. став $14,9^\circ$ та через рік — $15,3^\circ$. Кути T1PA та L1PA до лікування були $27,1^\circ$ та $15,5^\circ$ до операції, $18,3^\circ$ та 11° через 3 міс. та $19,5^\circ$ та $11,3^\circ$ через рік після лікування.

Корекцію викривлення з непрямою декомпресією хребтового каналу за рахунок зміни його форми виконано в 11 пацієнтів, а ще у 26 здійснено пряму декомпресію хребтового каналу. Причому широку декомпресію здійснено 7 особам, а обмежену у вигляді флавектомії, форамінотомії та інтерламінектомії — 19. Середня протяжність зони інструментального спондилодезу складала 5,1 рівня (3–10 сегментів). Усім хворим на вершині деформації виконували остеотомію заднього опорного комплексу за Smith-Petherson.

У таблиці 2 наведено супутні захворювання, які були виявлені в пацієнтів досліджуваної групи. Отже зазначимо, що переважна більшість мали: гіпертонічну хворобу — 78 %, зниження щільності кісткової тканини (МЩКТ) — 54 % осіб. У разі наявності показань, із метою зниження кількості ускладнень після хірургічного втручання, хворим призначали передопераційне лікування супутніх захворювань.

Середній показник шкали Oswestry до хірургічного втручання складав 52,1 %, що відповідає значному ступеню функціональних порушень. Через 3 міс. після лікування зафіксовано зниження рівня шкали до 49,3 % (значні порушення) у середньому та за рік до 22,7 % (легкі) (рис. 1).

Аналогічну тенденцію ми спостерігали під час дослідження больового синдрому за шкалою ВАШ (рис. 2). Відповідно до цього показник «ВАШ

спина» до операції був у середньому 67,2 мм, через 3 міс. після втручання — 44,3 мм та через рік — 19,3 мм, а «ВАШ нога» — 69,2; 39,7; 21,5 мм відповідно до термінів спостереження за хворими.

У таблиці 3 подано причини та частоту виникнення ускладнень, що в середньому складала 48,6 %. Найчастіше з них — погане загоєння рани (15 %), транзиторні неврологічні порушення у вигляді радикулопатії та парезів нижніх кінцівок — 11 % випадків у досліджуваній групі.

Обговорення

Хірургічне лікування дегенеративного поперекового сколіозу в дорослих пацієнтів є достатньо серйозним викликом для хірурга, бо це захворювання багатогранне з огляду на його різноманітну клінічну симптоматику та можливість отримання не зовсім очікуваних як хворим, так і лікарем результатів.

Таблиця 1

Середні показники результатів рентгенометричних вимірювань у досліджуваній групі

Показник	До хірургічного лікування	3 міс. після втручання	Через рік після операції
Кут Cobb, °	47,7	20,7	23,7
PI–LL, °	17,3	9,5	8,7
SVA, mm	54,5	30,5	32,1
PT, °	29,5	14,9	15,3
T1PA, °	27,1	18,3	19,5
L1PA, °	15,5	11,0	11,3

Таблиця 2

Супутні захворювання в пацієнтів

Захворювання	Пацієнт	Відсоток
Діабет	6	15
Гіпертонічна хвороба	29	78
Ішемія міокарда	15	40
Остеопороз	20	54
Хронічні захворювання нирок	3	8

Таблиця 3

Ускладнення та їхня кількість у пацієнтів

Ускладнення	Пацієнт	Відсоток
Загоєння рани	6	15,0
Неврологічні розлади	4	11,0
Інтраопераційна кровотеча	1	2,7
Супутні захворювання	2	5,9
Псевдоартроз	3	8,1
Інфекція	2	5,9

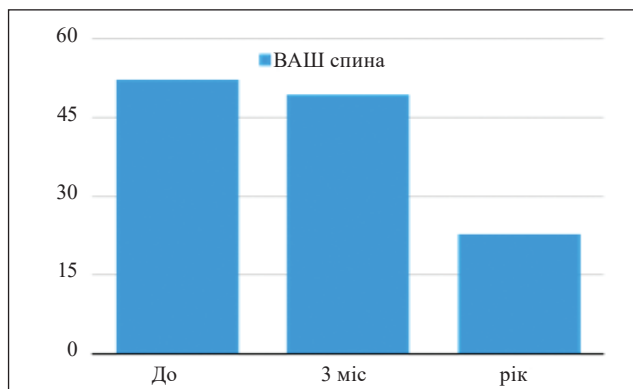


Рис. 1. Діаграма змін показників шкали Oswestry до, через 3 місяці та рік після хірургічного втручання

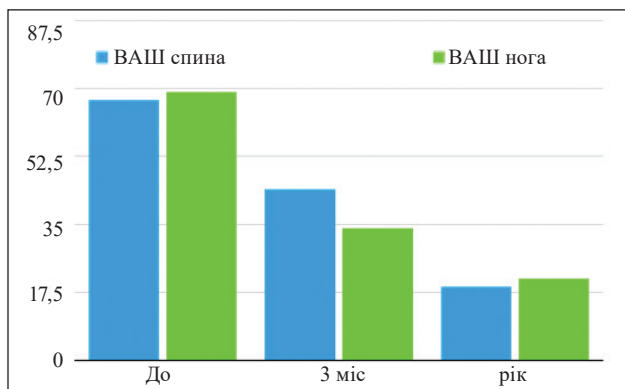


Рис. 2. Діаграма змін показників шкали «Ваш спина» та «Ваш нога» до, через 3 місяці та рік після хірургічного втручання

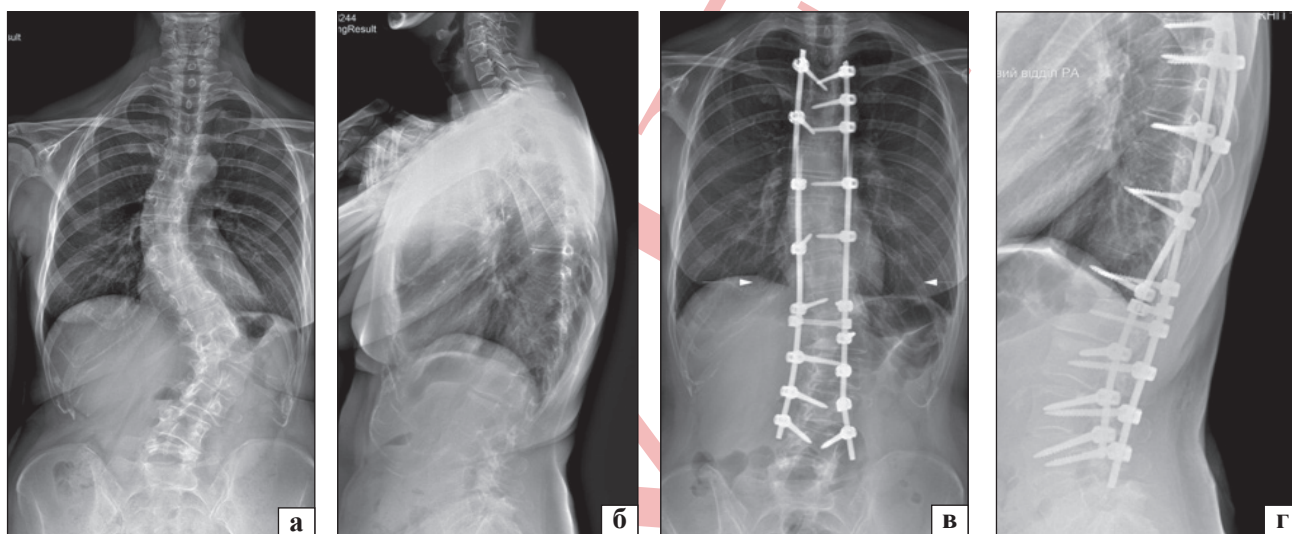


Рис. 3. Рентгенограми пацієнтки 60 р. із комбінованим сколіозом у передньо-задній (а, в) та бічній (б, г) проєкціях до та після хірургічного втручання. Кут Cobb грудного викривлення до хірургічного втручання — 45°, після — 23°, поперекового викривлення до — 56°, після — 30°. Грудний кіфоз до лікування — 45°, після — 31°. Поперековий лордоз — 62° до та після. Показник PI — 54°

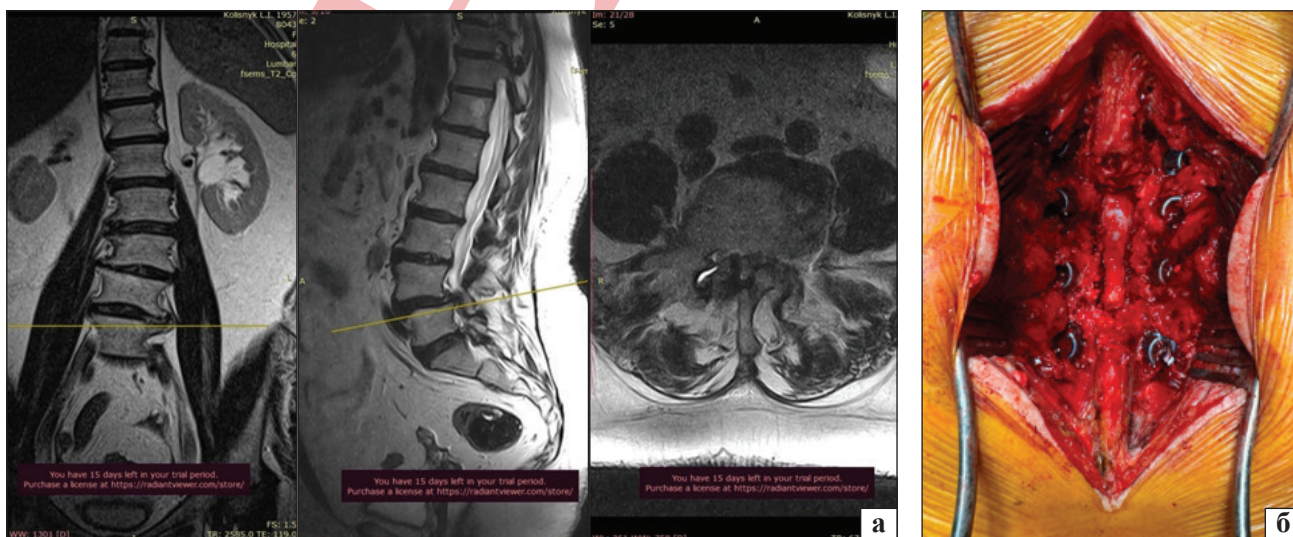


Рис. 4. Магнітно-резонансна томографія поперекового відділу хребта (а) у фронтальній, бічній та аксіальній проєкціях пацієнтки з дегенеративним поперековим сколіозом на рівнях L_{IV}, L_V та вигляд операційної рани (б) після декомпресії хребтового каналу та фіксації транспедикулярними гвинтами

Під час розробки плану лікування необхідно враховувати такі фактори: супутні захворювання, соціальний статус, спосіб життя пацієнта. Більшість хворих дізнаються про свій діагноз лише на підставі рентгенологічного обстеження, а консервативні методи лікування досить часто підбираються емпірично фахівцями різного профілю, зокрема сімейними лікарями, неврологами та реабілітологами [10].

Показання до хірургічного втручання в більш молодших та активних дорослих пацієнтів відрізняються від хворих похилого віку з наявністю супутніх захворювань. Тому не існує єдиного консенсусу стосовно рекомендацій до виконання різного виду операцій. Утім загальновідомими з них є неефективність консервативного лікування, наявність вираженого больового синдрому та неврологічних розладів, низька якість життя та дуже рідко косметична вада [11]. У будь-якому випадку кінцевою метою є декомпресія невральних структур із відновленням сагітального та фронтального балансів [12]. Загалом, сучасною тенденцією є зменшення інвазивності хірургічних втручань для запобігання потенційних інтра- та післяопераційних ускладнень.

У систематичній оглядовій роботі та метааналізі [13] оцінювались результати декомпресії без інструментальної фіксації в пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом. Проаналізовано 15 досліджень із мінімальним післяопераційним спостереженням більше 2 років. Середнє покращення індексу Oswestry становило близько 29 %, задоволеність хворих — 71 %, а прогресія кута Cobb була мінімальною (1,8°). Частота повторних втручань коливалася від 3 до 33 %. Результати роботи свідчать, що декомпресія без фіксації є ефективним і відносно безпечним методом у ретельно відібраних пацієнтів із невеликим кутом сколіозу та без значної нестабільності. Автори підкреслюють обмеженість доступних даних і необхідність подальших високоякісних проспективних досліджень. Але слід зауважити, що такий підхід не буде ефективним у хворих із нестабільними прогресуючими деформаціями хребта.

Мета дослідження М. Echt зі співавт. полягала в порівнянні клінічних результатів і періопераційної морбідності в пацієнтів із дорослим дегенеративним поперековим сколіозом, яким здійснили мінімально інвазивну декомпресію або короткосегментну фіксацію хребта. У ретроспективному аналізі зі застосуванням парного співставлення за допомогою скорингу (співставлення балів) ймовірностей було сформовано 31 пару

хворих. Результати показали, що малоінвазивна декомпресія асоціювалася з коротшими тривалістю операції та госпіталізації, меншою крововтратою, тоді як короткосегментарна фіксація хребта забезпечувала значніше покращення індексу Oswestry та психічного здоров'я, зменшення болю в спині через рік після операції. Темпи досягнення мінімально значущої клінічної різниці були подібними в обох групах. Отримані дані свідчать про необхідність індивідуального підходу під час вибору хірургічної стратегії, із урахуванням компромісу між періопераційною морбідністю та клінічним покращенням, за рахунок стабілізації хребтових сегментів імплантатом.

Систематичний огляд і метааналіз зроблений В. Zheng полягав у порівнянні ефективності та безпеки довгої та короткої фіксації хребта в пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом. Проаналізовано 13 досліджень із загалом 1 261 хворими. Довга фіксація забезпечувала кращу корекцію кута Cobb і коронарного й сагітального балансів, проте була пов'язана з більшою крововтратою, тривалістю операції та частотою ускладнень. Коротка фіксація мала меншу хірургічну інвазивність, водночас клінічні результати (ВАШ, шкала Oswestry) та частота повторних операцій подібні в обох групах. Отже зауважимо, що існує необхідність індивідуально підходити до вибору довжини фіксації залежно від ступеня деформації та клінічного стану пацієнта [15].

У дослідженні N. Fan і співавт. оцінено клінічні та рентгенологічні результати застосування ендоскопічної декомпресії під час лікування поперекового стенозу хребтового каналу в хворих із дегенеративним поперековим сколіозом. У ретроспективному дослідженні проаналізовано 97 осіб із стенозом хребтового каналу та дегенеративним поперековим сколіозом, які були прооперовані між 2016 і 2021 роками, із середнім періодом спостереження 52,9 місяця. Контрольну групу склали 97 пацієнтів зі стенозом хребтового каналу без деформації. Результати показали значне покращення показників ВАШ в спині та ногах, а також індексу Oswestry в обох групах через 2 тижні після операції та на останньому етапі спостереження ($p < 0,001$). Не зафіксовано значущих відмінностей у частоті ускладнень або рівнях задоволеності між групами. Проте пацієнти зі сколіозом повідомляли про більш інтенсивний біль у спині на останньому етапі спостереження порівняно з хворими без цього захворювання. Рентгенологічні дані не виявили значного погіршення фронтального дисбалансу або втрати

висоти міжхребцевого диска в обох групах. Автори дійшли висновку, що ендоскопічна декомпресія є безпечною й ефективною хірургічною технікою для лікування стенозу хребтового каналу, особливо в пацієнтів похилого віку з погіршеним загальним станом [16]. У той самий час, наявність чого була причиною аксіального болю у хребті, що, можливо є показанням до інструментації хребта.

У систематичному огляді, опублікованому в *Global Spine Journal*, автори також вивчали роль короткосегментарної порівняно з довгими фіксаціями у хірургічному лікуванні дорослого сколіозу. Вивчено 9 досліджень за участю 660 пацієнтів після короткосегментарної (менше 3 рівнів) або довгосегментарної (більше 4 рівнів) фіксації. Виявлено, що короткосегментарні фіксації забезпечують подібні клінічні результати з меншими періопераційними ризиками та тривалістю операції порівняно з довгими. Проте для пацієнтів із вираженими деформаціями та сагітальним або фронтальним дисбалансом рекомендується застосовувати довгосегментарні фіксації. Автори підкреслюють необхідність індивідуального підходу до вибору обсягу фіксації залежно від клінічних та рентгенологічних показників [17].

У нашому дослідженні проведено аналіз результатів хірургічного лікування хворих із нестабільними формами дегенеративного поперекового сколіозу (деформації Lenke-Silva II та III) — показання до фіксації хребта транспедикулярним імплантатом. У всіх випадках ми намагалися отримати відновлення балансу тулуба у всіх площинах, декомпресію невральних структур і досягти зрілого кісткового блока. За рахунок коригувальних маніпуляцій на хребті (остеотомія за Smith-Peterson) нам вдалося здійснити виправлення фронтального дисбалансу приблизно на 56,6 % та наблизити до нормативних показників глобальний та регіональний сагітальний баланс хребта (рис. 3). Покращення та регрес неврологічних порушень було отримано за рахунок прямої (корекція форми хребта та відповідно хребтового каналу) та прямої декомпресії (ламінектомія) — рис. 4. Відсутність суттєвих змін рентгенометричних показників протягом року після хірургічного втручання, а також випадків переломів імплантатів свідчить про досягнення якісного спондилодезу у всіх хворих у досліджуваній групі.

Частота післяопераційних ускладнень (48,6 %), ураховуючи особливості захворювання й інвазивності хірургічних втручань є прийнятною та

не вплинула на кінцевий результат лікування всіх пацієнтів.

Цікавим є спостереження за динамікою змін показників шкали Oswestry, «ВАШ спина» і «ВАШ нога». Її вивчення показало, що особи з дегенеративним поперековим сколіозом не відчувають значного покращення протягом 3 міс. після лікування, а значний регрес больового синдрому, клінічних проявів і покращення функціональності хворих досягається через рік після лікування.

Висновки

Хірургічне лікування дегенеративного поперекового сколіозу дозволяє досягнути відновлення сагітального та фронтального балансів тулуба, покращення клінічних проявів захворювання та якості життя хворих.

Частота післяопераційних ускладнень оперативного лікування дегенеративного поперекового сколіозу в нашому дослідженні є прийнятною, але залишається високою, тому коригування соматичного стану хворого до хірургічного втручання дозволяє запобігти розвитку незадовільних результатів.

Зменшення больового синдрому та покращення функціонального стану пацієнтів досягається через рік після лікування, про що необхідно повідомляти їх на етапах передопераційного планування та підготовки.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Проведення проспективних порівняльних досліджень різних короткої та довгої фіксації поперекового сколіозу в дорослих

Інформація про фінансування. Жодної вигоди в будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

Внесок авторів. Мезенцев А. О. — прооперував частину пацієнтів, проаналізував отримані результати дослідження, сформував висновки, редагував текст; Петренко Д. Є. — прооперував частину пацієнтів, аналізував отримані результати; Демченко Д. О. — прооперував частину пацієнтів, здійснив аналіз літературних джерел, упорядкував список літератури та підготував наведені клінічні випадки.

Список літератури

1. Aebi, M. (2005). The adult scoliosis. *European spine journal*, 14(10), 925–948. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-1053-9>
2. Anasetti, F., Galbusera, F., Aziz, H. N., Bellini, C. M., Addis, A., Villa, T., Teli, M., Lovi, A., & Brayda-Bruno, M. (2010). Spine stability after implantation of an interspinous device: An in vitro and finite element biomechanical study. *Journal of neurosurgery: spine*, 13(5), 568–575. <https://doi.org/10.3171/2010.6.spine09885>
3. Vanderpool, D. W., James, J. L., & Wynne-Davies, R. (1969). Scoliosis in the elderly. *The journal of bone & joint surgery*, 51(3), 446–455. <https://doi.org/10.2106/00004623-196951030-00002>

4. Chang, D., Lui, A., Matsoyan, A., Safaee, M. M., Aryan, H., & Ames, C. (2024). Comparative review of the socioeconomic burden of lower back pain in the United States and globally. *Neurospine*, 21(2), 487–501. <https://doi.org/10.14245/ns.2448372.186>
5. Zheng, B., Zhou, Q., Liu, X., & Qiang, Z. (2025). Efficacy and safety of long fusion versus short fusion in degenerative scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05466-z>
6. Cristante, A. F., Silva, R. T., Costa, G. H., & Marcon, R. M. (2020). Escoliose degenerativa do adulto. *Revista brasileira de ortopedia*, 56(01), 001–008. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709736>
7. Patel, R. V., Yearley, A. G., Isaac, H., Chalif, E. J., Chalif, J. I., & Zaidi, H. A. (2023). Advances and evolving challenges in spinal deformity surgery. *Journal of clinical medicine*, 12(19), 6386. <https://doi.org/10.3390/jcm12196386>
8. Fisher, M. R., Das, A., Yung, A., Onafowokan, O. O., Williamson, T. K., Rocos, B., Schoenfeld, A. J., & Passias, P. G. (2025). An analysis of the usage and limitations of the T1 pelvic angle. *The bone & joint journal*, 107-B(3), 346–352. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.107b3.bjj-2024-0800.r2>
9. Chanbour, H., Waddell, W. H., Vickery, J., LaBarge, M. E., Croft, A. J., Longo, M., Roth, S. G., Hills, J. M., Abtahi, A. M., Zuckerman, S. L., & Stephens, B. F. (2023). L1-pelvic angle: A convenient measurement to attain optimal deformity correction. *European spine journal*, 32(11), 4003–4011. <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07920-0>
10. Bayram, F., Karatekin, B. D., Erhan, B., Pasin, O., & Yumusakhuyly, Y. (2024). Conservative treatment in adult degenerative scoliosis: A prospective cohort study. *Maedica — a journal of clinical medicine*, 1(1). <https://doi.org/10.26574/maedica.2024.19.1.23>
11. Abul, K. (2019). Decision making for surgery in adult scoliosis review of the current literature. *Journal of turkish spinal surgery*, 30(4), 276–283. <https://doi.org/10.4274/jtss.galenos.2019.0012>
12. Wang, H., Liu, X., Li, Y., Ren, J., Sun, Z., Sun, N., & Li, R. (2024). The selection of a surgical strategy for the treatment of adult degenerative scoliosis with "pear-shaped" decompression under open spinal endoscopy. *Scientific reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67003-y>
13. Echt, M., De la Garza Ramos, R., Geng, E., Islem, U., Schwarz, J., Girdler, S., Platt, A., Bakare, A. A., Fessler, R. G., & Cho, S. K. (2022). Decompression alone in the setting of adult degenerative lumbar scoliosis and stenosis: A systematic review and meta-analysis. *Global Spine Journal*, 13(3), 861–872. <https://doi.org/10.1177/21925682221127955>
14. Echt, M., Bakare, A. A., Varela, J. R., Platt, A., Abdul Sami, M., Molenda, J., Kerolus, M., & Fessler, R. G. (2023). Comparison of minimally invasive decompression alone versus minimally invasive short-segment fusion in the setting of adult degenerative lumbar scoliosis: A propensity score-matched analysis. *Journal of neurosurgery: spine*, 39(3), 394–403. <https://doi.org/10.3171/2023.4.spine221047>
15. Zheng, B., Zhou, Q., Liu, X., & Qiang, Z. (2025). Efficacy and safety of long fusion versus short fusion in degenerative scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05466-z>
16. Fan, N., Wang, A., Yuan, S., Du, P., Wang, T., & Zang, L. (2025). Clinical and radiological outcomes of lumbar endoscopic decompression for treating lumbar spinal stenosis and degenerative lumbar scoliosis: A retrospective study at mean 4.4 years follow-up. *Frontiers in surgery*, 11. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1525843>
17. Sardi, J. P., Lazaro, B., Buell, T. J., Yen, C. P., Shaffrey, C., Berven, S., & Smith, J. S. (2025). Determining the magnitude of surgery in patients with adult scoliosis: A systematic review of the role of limited fusions. *Global spine journal*, 15(3_suppl). <https://doi.org/10.1177/21925682231203656>

Стаття надійшла до редакції 16.09.2025	Отримано після рецензування 10.10.2025	Прийнято до друку 12.10.2025
---	---	---------------------------------

RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF DEGENERATIVE LUMBAR SCOLIOSIS IN ADULTS

A. O. Mezentsev, D. E. Petrenko, D. O. Demchenko

Municipal Multidisciplinary Clinical Hospital for Mother and Child named after Professor M. F. Rudnev, Dnipro. Ukraine

✉ Andriy Mezentsev, MD, DMSci: mezentsevandriy@gmail.com

✉ Dmytro Petrenko, MD, DMSci: docpetrenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8079-5661>

✉ Dmytro Demchenko, MD: docdemchenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6697-3321>

УДК 617.583/.585-007.2-092.9:004.94](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025499-107>

Дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkово-гомiлкового суглоба щурів після моделювання варусної позасуглобової деформації стегнової кістки

К. К. Романенко, Н. О. Ащукіна, В. Є. Мальцева

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

Objective. To evaluate the structure of ankle joint articular cartilage in rats following experimentally induced deformation of the middle third of the femur over a six-month observation period. *Methods.* An experimental study was conducted on 18 six-month-old male rats divided into two groups. In the experimental group, extra-articular femoral deformation was modeled by inserting a Kirschner wire fragment bent at a 35° angle into the medullary cavity; the control group remained intact. Animals were evaluated at 1, 3, and 6 months. Structural changes in the articular cartilage were assessed using the Osteoarthritis Research Society International (OARSI) scale, and the height of the articular cartilage of the ankle joint was measured. *Results.* At 1 month, structural changes were observed only in the talar cartilage, corresponding to OARSI grades 0–1. At 3 months, changes in the tibial cartilage corresponded to grades 1–2, in the talar cartilage to grades 1–3, and in the contralateral limb to grades 0–1 for both surfaces. At 6 months, tibial cartilage changes reached grade 2, talar cartilage grade 2–3, and the contralateral limb grade 1–2. Cartilage height in rats with deformity decreased 1.2-fold from the 3rd month ($p < 0.001$) and did not differ from the contralateral limb at 6 months. Compared with intact rats, talar and tibial cartilage height in rats with deformity also decreased from the 3rd month by 1.4-fold ($p < 0.001$) and 1.1-fold ($p = 0.022$), respectively. *Conclusions.* Extra-articular deformation of the middle third of the femur induces degenerative changes in talar articular cartilage beginning at 1 month, and in tibial cartilage from 3 months after modeling. *Key words.* Ankle joint, Articular cartilage, Degeneration, Femoral deformity, Varus deformity, Rat model.

Мета. Дослідити структуру суглобового хряща надп'яtkово-гомiлкового суглоба після моделювання деформації середньої третини стегнової кістки в щурів протягом півроку спостереження. *Методи.* Експериментальне дослідження проведено на 18 щурах самцях віком 6 міс. у двох групах: перша — моделювали позасуглобову деформацію стегнової кістки шляхом введення в кістково-мозковий канал фрагмента спиці Кіршнера, вигнутого під кутом 35°, друга — інтакт. Спостереження тривало 1, 3 та 6 міс. Оцінювали структурні зміни за шкалою Osteoarthritis Research Society International (OARSI) та вимірювали висоту в суглобовому хрящі надп'яtkово-гомiлкового суглоба. *Результати.* Через місяць у щурів із деформацією стегнової кістки виявлено структурні зміни лише в суглобовому хрящі надп'яtkової кістки, що відповідали 0–1 ступеням за шкалою OARSI. Через 3 міс. зміни в суглобовому хрящі великогомілкової кістки відповідали 1–2, надп'яtkової — 1–3, а у контралатеральній кінцівці для обох поверхонь — 0–1 ступеням за шкалою OARSI. Через 6 міс. структурні зміни в суглобовому хрящі великогомілкової кістки оцінили як 2, надп'яtkової кістки — 2–3, а у контралатеральній кінцівці — 1–2 ступені за шкалою OARSI. Висота суглобового хряща обох суглобових поверхонь у щурів із деформацією знизилася з 3-го місяця в 1,2 рази і не відрізнялася через 6 міс. ($p = 0,105$) як порівняти з контралатеральною кінцівкою. Висота суглобового хряща обох суглобових поверхонь у щурів із деформацією знизилася з 3-го місяця в 1,2 рази ($p < 0,001$) і не відрізнялася через 6 міс. у порівнянні з контралатеральною кінцівкою. Порівняно з інтактом висота суглобового хряща надп'яtkової та великогомілкової кісток у щурів із деформацією також знизилася з 3-го місяця в 1,4 рази ($p < 0,001$) та 1,1 рази ($p = 0,022$) відповідно. *Висновки.* Змодельована позасуглобова деформація середньої третини стегнової кістки щурів викликає дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkової кістки з першого місяця, а з третього — великогомілкової кістки в надп'яtkово-гомiлковому суглобі.

Ключові слова. Надп'яtkово-гомiлковий суглоб, суглобовий хрящ, дегенерація, деформація стегнової кістки, варусна деформація, щур

Вступ

За даними різних авторів, кількість переломів стегнової кістки на рівні середньої третини складає приблизно 10–37 випадків на 100 000 населення з двома віковими піками (молодь і люди похилого віку) [1, 2]. Повідомляється, що розвиток післятравматичних деформацій становить від 6 до 13 % [3, 4], проте частіше це зустрічається в разі локалізації перелому на рівні дистальної або проксимальної третини стегнової кістки [5].

Переломи діафізу стегнової кістки можуть супроводжуватися такими ускладненнями як незрощення [6], мальротация [7] та подальша її деформація. Особливістю цих ускладнень є порушення функціонування всієї нижньої кінцівки та розвиток дегенеративних змін у колінному та кульшовому суглобах унаслідок цього [8, 9]. Водночас у тривалому спостереженні протягом 22 років за 62 пацієнтами з післятравматичними деформаціями та порушенням осьових співвідношень унаслідок діафізарних переломів стегнової кістки автори не виявили ознак остеоартрозу колінного суглоба, але був помірний біль [10].

Зазвичай лікування діафізарних переломів стегнової кістки є хірургічним, часто зі застосуванням інтрамедулярного штифта для фіксації [11]. Проте, згідно з оглядом Cochrane, використання ретроградного інтрамедулярного штифта збільшує ризик виникнення вальгусної/варусної деформації в майбутньому [12]. Водночас показано, що особи з порушенням ротаційних взаєморозташувань уламків із кутом $< 10^\circ$ після лікування перелому можуть адаптуватися до цього стану та не відчувати болю [13], але шанс низький якщо кут деформації $> 30^\circ$ [7]. Також виявлено, що за умов такого саме розташування порушень пацієнти відчують біль у колінному, кульшовому та наколінковостегнових суглобах [14, 15]. Крім того, залишається суперечливою інформація щодо того, зовнішня чи внутрішня ротаційна деформація викликає більше ускладнень. Так, за результатами двох клінічних досліджень [13, 14] краще переноситься зовнішня ротаційна деформація, але R. L. Jaarsma зі співавт. [16] навпаки повідомили про більшу кількість скарг від пацієнтів із таким викривленням.

Отже більшість сучасних досліджень вивчають ротаційні післятравматичні деформації стегнової кістки, а не осьових. Це обумовлено різницею в підходах до лікування в розвинених країнах світу та Україні. У цих країнах стандартом остаточної фіксації уламків діафізу стегна є інтрамедулярна,

а в Україні це здебільшого накістковий остеосинтез і апарат зовнішньої фіксації. Розповсюдженість останнього пояснюється особливостями лікування наслідків бойової травми. Водночас широке використання інтрамедулярної фіксації, як зазначають В. Cunningham та співавт. [17], значно знизило частоту розвитку та значущість посттравматичних деформацій стегна з порушенням осьових співвідношень.

Зміщення фізіологічної осі нижньої кінцівки через деформацію стегнової кістки змінює розподіл навантаження не лише на колінний суглоб, але можливо й на надп'яtkово-гомільковий. Проте розвитку вторинного остеоартрозу надп'яtkово-гомількового суглоба приділено мало уваги як у клінічних [18], так і в експериментальних роботах [19]. Проведені окремі дослідження щодо розвитку остеоартрозу надп'яtkово-гомількового суглоба внаслідок переломів надп'яtkової кістки [20] та створено експериментальну модель засновану на внутрішньосуглобових переломах кісток [21]. Проте нез'ясована можливість ускладнень від вищерозміщених переломів кісток. Водночас експериментально встановлено, що нефізіологічне навантаження в суглобовому хрящі може викликати деформацію хондроцитів [22], змінювати вміст протеогліканів у матриці хряща залежно від ділянки навантаження [22], та спричиняти мікротріщини в разі низького циклічного навантаження [23].

Мета: дослідити структуру суглобового хряща надп'яtkово-гомількового суглоба після моделювання деформації середньої третини стегнової кістки в щурів протягом піврічного спостереження.

Методи

Експерименти виконані на 18 самцях білих ставевозрілих (вік 6 міс. на початку дослідження) лабораторних щурів популяції експериментально-біологічної клініки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Протокол дослідження затверджено локальним комітетом з біоетики (№ 117 від 22 квітня 2013 р.) відповідно до правил «Європейської конвенції захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях» та Закону України про захист тварин від жорстокого поводження» [24, 25].

Хірургічне втручання

Щурів оперували під загальною анестезією (кетамін, 50 мг/кг внутрішньом'язово) в асептичних і антисептичних умовах (рис. 1).

Після обробки операційного поля розчином Betadine® розрізали шкіру, із міжм'язового бокового доступу відкривали середню третину діафіза стегнової кістки (рис. 1, а), за допомогою дискової пилки виконували поперечну остеотомію (рис. 1, б). Для моделювання деформації (9 шурів) *varus* у кістковомозковий канал вводили фрагмент спиці Кіршнера (рис. 1, г), який відповідав його розмірам і довжині кістки та був вигнутий під кутом 35° (рис. 1, д) [26]. Групою порівняння були 9 інтактних тварин відповідного віку та статі. Через 1, 3, 6 міс. після операції з кожної групи виводили з експерименту по 5 особин шляхом введення летальної дози анестетика (тіопентал натрію, 90 мг/кг внутрішньом'язово).

Усім щурам безпосередньо після хірургічного втручання виконували рентгенографію (рис. 2, а).

Гістологічний аналіз

Після евтаназії в щурів виділяли надп'яtkово-гомількові суглоби обох задніх кінцівок. Ці фрагменти фіксували на 4 доби в 10 % розчині нейтрального формаліну, потім декальцинували в 10 % розчині мурашиної кислоти, зневоднювали в серії ізопропілових спиртів зростаючої концентрації (80, 90, 90, 100, 100, 100 %), просочували в суміші парафіну з ізопропіловим спиртом, потім у серії парафінів, заливали в парафін. Сагітальні зрізи, виконані через центральну вісь кінцівки, товщиною 5–6 мкм забарвлювали гематоксиліном та еозином. Гістологічні зрізи аналізували за допомогою мікроскопа BX53 microscope та фотографували з використанням фотокамери DP73.

Структурні зміни в суглобовому хрящі, який покривав з'єднувані поверхні великогомілкової та надп'яtkової кісток, оцінювали згідно зі загальними рекомендаціями щодо визначення ступенів ураження хряща, розробленими Osteoarthritis Research Society International (OARSI) для щурів, 0 — це норма, а 5 — виражені дегенеративні зміни [27].

Вимірювали загальну товщину суглобового хряща (кальцифікованого та некальцифікованого), розташованого на дистальному кінці великогомілкової кістки та проксимальному кінці надп'яtkової кістки (рис. 2, б) із застосуванням програмного забезпечення «CellSens Dimension 1.8.1».

Статистичні методи

Результати вимірювань подані як середнє та стандартне відхилення. Для виявлення впливу деформації стегнової кістки на висоту суглобового хряща виконували порівняння даних із використанням критерію Стюдента. Порівняння показників кінцівки з деформацією і контралате-

ральною виконували за допомогою цього самого критерію для парних вибірок. Різницю вважали статистично значущою якщо $p < 0,05$. Статистичний аналіз проводили в програмі IBM SPSS Statistics 20.

Результати

Гістологічний аналіз

Через місяць після моделювання деформації стегнової кістки суглобові поверхні в надп'яtkово-гомільковому суглобі були конгруентними. Структура суглобового хряща великогомілкової кістки відповідала віковій нормі. У ньому чітко простежували зональність. Клітини в поверхневій зоні формували 1–2 шари в слабко еозинофільному матриксі. У середній зоні хондроцити з великими гіпохромними ядрами розташовувалися рівномірно, утворювали ізогенні групи по 2–3 клітини. Матрикс був забарвлений рівномірно. Базофільну лінію простежували на всій поверхні суглобового хряща. Зона звапнованого хряща мала характерну для норми структуру (рис. 3, а).

У суглобовому хрящі, який покривав надп'яtkову кістку з латерального боку, виявлено помірні деструктивні зміни, які відповідали 0–1 ступеню за шкалою OARSI. А саме зафіксували нерівність контурів поверхневої зони. На межі середньої зони та звапнованого хряща, крізь базофільну лінію, зафіксовано ізогенні групи хондроцитів із 4 клітин (рис. 3, б). Також відмічали ділянки без хондроцитів. Матрикс забарвлений нерівномірно. У суглобовому хрящі надп'яtkово-гомількового суглоба контралатеральної кінцівки структурних порушень не виявлено.

Через 3 міс. після моделювання деформації в суглобовому хрящі дистального кінця великогомілкової кістки виявлено дегенеративні зміни 1–2 ступенів за шкалою OARSI. Відмічено розволокнення поверхневої зони та нерівномірне забарвлення матриксу. У середній зоні ядра деяких хондроцитів були гіперхромними, траплялися осередки деструкції матриксу, демаскування колагенових волокон. Базофільна лінія переривчаста, проте зона звапнованого хряща зберігала характерні особливості (рис. 4, а). У контралатеральній кінцівці порушення структури виявляли лише в поверхневій зоні (рис. 4, б), вони відповідали 0–1 ступеням за шкалою OARSI.

У суглобовому хрящі надп'яtkової кістки в кінцівці з деформацією матрикс мав нерівномірне забарвлення, у поверхневій зоні були наявні загиблі хондроцити.

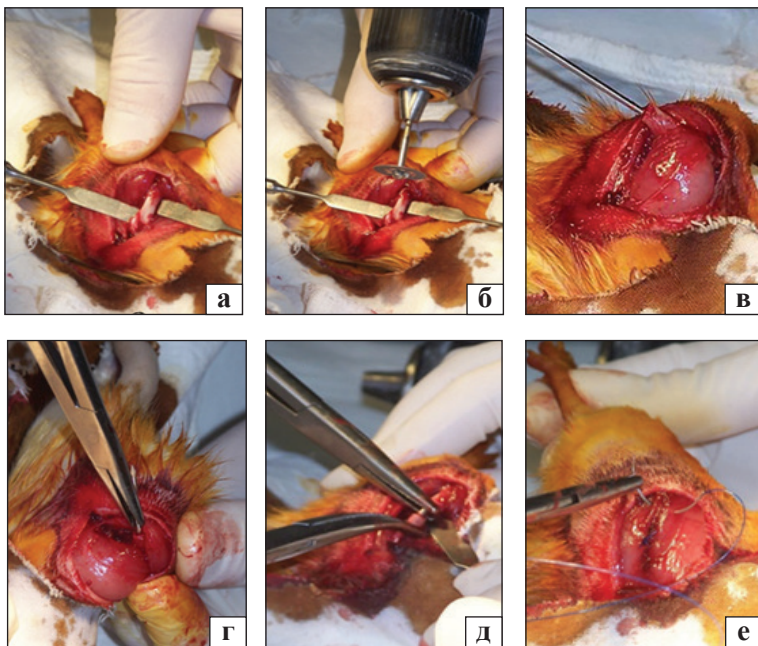


Рис. 1. Етапи виконання хірургічного втручання для моделювання деформації стегнової кістки в щурів. Середня третина діяфіза кістки (а); поперечна остеотомія (б); введення фрагмента спиці Кіршнера в кістково-мозковий канал (г); вигинання спиці Кіршнера під кутом 35° (д); накладання швів (е)

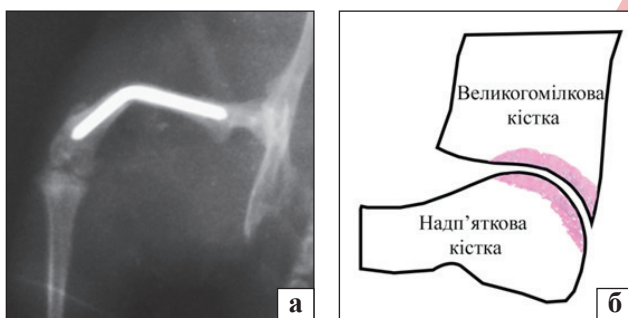


Рис. 2. Рентгенограма щура з кінцівкою зі змодельованою деформацією стегнової кістки (а). Схематичне зображення дослідженого суглобового хряща надп'яtkово-гомилкового суглоба (б)

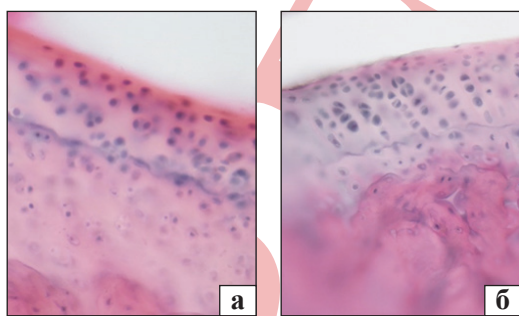


Рис. 3. Суглобовий хрящ великогомілкової кістки (а) та надп'яtkової кістки (б) надп'яtkово-гомилкового суглоба щура через місяць після змодельованої деформації стегнової кістки. Розволокнення поверхневої зони суглобового хряща надп'яtkової кістки (б). Забарвлення гематоксилін та еозин. Збільшення 400

У середній зоні хондроцити перебували в стані некрозу та некробіозу, їх щільність була низькою. Базофільна лінія нерівна, а в зоні звапнованого хряща зафіксовано сформовані осередки

кісткової тканини, які подекуди проникали до базофільної лінії (рис. 4, г). Виявлені дегенеративні порушення відповідали 1–3, а у суглобовому хрящі контралатеральної кінцівки 0–1 ступеням за шкалою OARSI. У контралатеральній кінцівці хондроцити в середній зоні розташовувалися невпорядковано, базофільна лінія була нерівномірною (рис. 4, д).

Через 6 міс. після створення деформації стегнової кістки, на дистальному кінці великогомілкової кістки в суглобовому хрящі поверхнева зона не простежувалася, а середня (рис. 5, а) була значно вужчою як порівняти з контралатеральною кінцівкою (рис. 5, б) та інтактом (рис. 5, в). У цій зоні матрикс забарвлений нерівномірно, безклітинні ділянки займали більшу площу, ніж на попередній термін. Базофільна лінія була подекуди відсутньою, а зона звапнованого хряща стала ширшою майже вдвічі за середню зону (рис. 5, а). У контралатеральній кінцівці в середній зоні визначено безклітинні ділянки, а зона звапнованого хряща вужча як порівняти з інтактом (рис. 5, б). У поверхневій зоні суглобового хряща інтактною кінцівки також виявлено зменшення щільності хондроцитів у середній зоні, що є характерним для вікової норми щурів (12 міс.). За шкалою OARSI зафіксовано структурні зміни відповідали 2 ступеню в кінцівці з деформацією, 1–2 — у контралатеральній та 0–1 — в інтактних тварин.

На поверхні надп'яtkової кістки суглобовий хрящ через 6 міс. після деформації стегнової кістки містив виражені структурні зміни як порівня-

ти з дистальним кінцем великогомілкової кістки. Характерна зональність була втрачена. Виявляти відшарування поверхневої зони, значні ділянки без клітин або з хондроцитами в стані некрозу та некробіозу. Базофільна лінія або повністю відсутня, або різко базофільна. Зона звапнованого хряща дуже вузька та майже не містила клітин (рис. 5, г). У контралатеральній кінцівці в середній зоні відмічено низьку щільність хондроцитів. (рис. 5, д). У суглобовому хрящі інтактних щурів виявлено збереження характерної зональності зі зменшенням ширини зони кальцифікованого хряща (рис. 5, е), обумовлене віком тварин (12 міс.). За шкалою OARSI структурні зміни відповідали наступним показникам: 2–3 ступені — для деформації, 1–2 — для контралатеральної кінцівки, та 0–1 — в інтактних щурів.

Гістоморфометрія

У кінцівці тварин із деформованою кісткою висота суглобового хряща надп'яtkової та великогомілкової кісток була більше в 1,2 рази ($60,23 \pm 7,14$ vs. $(49,23 \pm 7,70)$ мкм; $p < 0,001$) та 1,4 рази ($66,14 \pm 13,64$ vs. $(48,09 \pm 9,48)$ мкм; $p < 0,001$) через місяць, менше в 1,2 рази через 3 міс. ($43,55 \pm 5,30$ vs. $(53,50 \pm 8,65)$ мкм; $46,84 \pm 7,09$ vs. $(57,53 \pm 6,27)$ мкм; $p < 0,001$), не відрізнялася через 6 міс. ($54,51 \pm 10,18$ vs. $(53,46 \pm 5,44)$ мкм; $p = 0,570$; $58,28 \pm 10,08$ vs. $(55,16 \pm 8,50)$ мкм; $p = 0,105$) після хірургічного втручання як порівняти з контралатеральною кінцівкою відповідно (рис. 6). Порівняно з інтактом у щурів із деформацією висота суглобового хряща надп'яtkової та великогомілкової кісток більша в 1,2 та 1,3 рази через місяць ($(47,39 \pm 5,88)$ мкм; $(55,03 \pm 6,98)$ мкм; $p < 0,001$), меншою в 1,4 рази ($(59,39 \pm 8,16)$ мкм; $p < 0,001$) та 1,1 рази ($(53,47 \pm 5,84)$ мкм; $p = 0,022$) через 3 міс., менше в 1,1 рази ($(61,82 \pm 10,60)$ мкм; $p < 0,001$) для надп'яtkової кістки, а для великогомілкової не відрізнялася ($(60,82 \pm 10,08)$ мкм; $p = 0,178$) через 6 міс. (рис. 6).

У контралатеральній кінцівці щурів із деформацією стегнової кістки порівняно з інтактом висота суглобового хряща надп'яtkової кістки не відрізнялася через місяць, була менше в 1,1 рази ($p = 0,018$) — через 3 міс., в 1,2 рази ($p < 0,001$) — через 6 міс., а великогомілкової кістки була менше в 1,1 рази ($p = 0,006$) — через місяць, більше в 1,1 рази ($p = 0,023$) — через 3 міс., менше в 1,1 рази ($p = 0,005$) — через 6 міс. (рис. 6).

Обговорення

У проведеному експериментальному дослідженні ми показали, що позасуглобова деформація

стегнової кістки спричиняє дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkово-гомилкового суглоба щурів. Проте вираженість цих змін є меншою порівняно з колінним суглобом, що було досліджено нами раніше [28]. У суглобовому хрящі надп'яtkової кістки порушення структури починається раніше ніж на дистальному кінці великогомілкової кістки. Уже через місяць після деформації їхній прояв відповідав 0–1 ступеням за шкалою OARSI [27]. Дегенеративні зміни прогресували з перебігом часу і досягли 2–3 ступенів через 6 міс. спостереження. У суглобовому хрящі на дистальному кінці великогомілкової кістки деструктивні зміни виявлено пізніше, починаючи з 3 міс. спостереження, проте їхній ступінь прояву був аналогічним через 6 міс., як і у надп'яtkовій кістці. Висота суглобового хряща обох поверхонь на перший місяць спостереження більша порівняно з контралатеральною кінцівкою й інтактом, але через 3 міс. стала меншою, а на 6 міс. була меншою лише для суглобової поверхні надп'яtkової кістки. Такі зміни узгоджуються зі структурними перетвореннями, які прогресували більше в надп'яtkовій кістці кінцівки з деформацією. Водночас імовірно більша висота суглобового хряща на перший місяць спостереження пов'язана з мінімізацією навантаження на кінцівку через травму.

Дегенеративні зміни в суглобовому хрящі, які призводять до остеоартрозу, починаються з поверхневої зони, що супроводжується згодом втратою чіткості її контуру, загибеллю хондроцитів. Одними з чинників цього є порушення біомеханіка/нестабільність як за посттравматичного остеоартрозу або надмірні навантаження у разі ожиріння [29]. У моделі деформації стегнової кістки, на нашу думку, також відбувається порушення навантаження на кінцівку та надп'яtkово-гомилковий суглоб. Ми спостерігали розвиток дегенеративних змін більшою мірою зі сторони поверхні суглобового хряща, а не з боку звапнованого, що характерно для надмірного навантаження, а не старіння [29]. На кінцевий термін спостереження виявлено відшарування частини поверхневої зони, що свідчить про загибель хондроцитів, які секретують компоненти матриксу і подальше розтріскування його. S. Santos зі співавт. [23] показали, що механічні навантаження викликають мікротріщини в мережі колагену в зразках суглобового хряща.

Біомеханіка задніх кінцівок щурів відрізняється від людської, що може впливати на розвиток остеоартрозу і це необхідно враховувати.

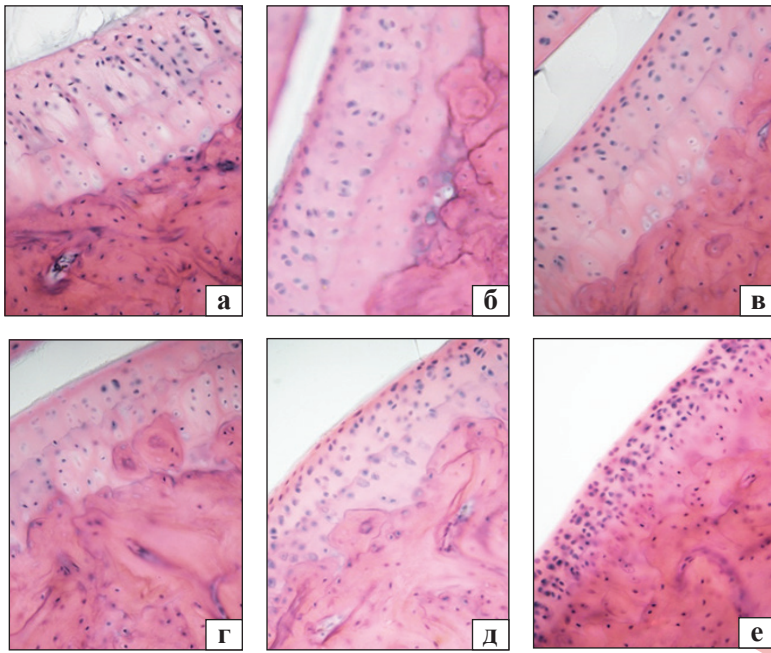


Рис. 4. Суглобовий хрящ великогомілкової кістки (верхній ряд) і над'яркової кістки (нижній) над'ярково-гомілкового суглоба щурів через 3 міс. після моделювання деформації стегнової кістки (а, г) порівняно з контралатеральною кінцівкою (б, д) та інтактом (в, е). Порухнення гістоархітекτονіки (а), території без клітин, клітини в стані некробіозу, нерівномірне забарвлення матриксу (г) після деформації. Помірні порушення гістоархітекτονіки хряща контралатеральної кінцівки (б, д). Забарвлення гематоксилін та еозин. Збільшення 400

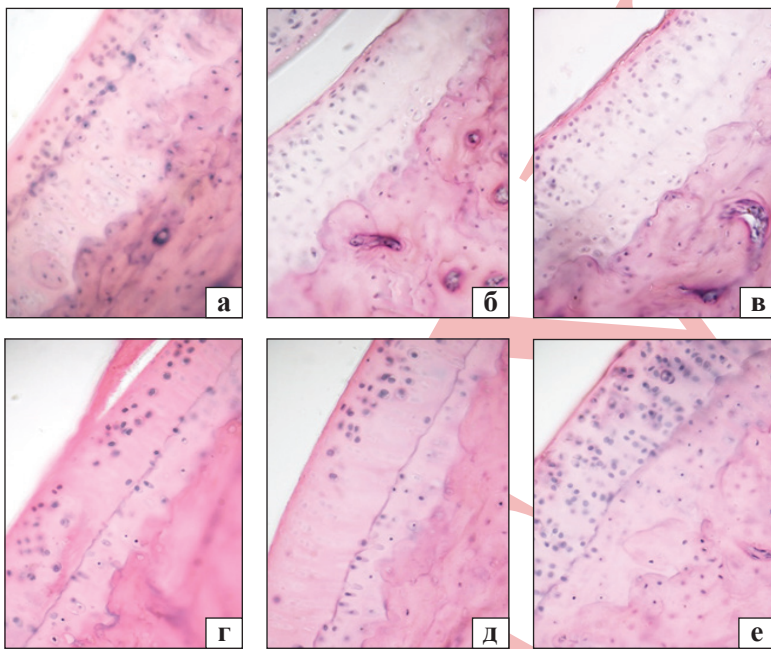


Рис. 5. Суглобовий хрящ великогомілкової кістки (верхній ряд) і над'яркової кістки (нижній) над'ярково-гомілкового суглоба щурів через 3 міс. після моделювання деформації стегнової кістки (а, г) порівняно з контралатеральною кінцівкою (б, д) й інтактом (в, е). Вузька середня зона з поодинокими розташованими хондроцитами, нерівномірне забарвлення матриксу (а), відшарування поверхневої зони (г) після деформації. Порушення гістоархітекτονіки суглобового хряща, ділянки без клітин (б, д)

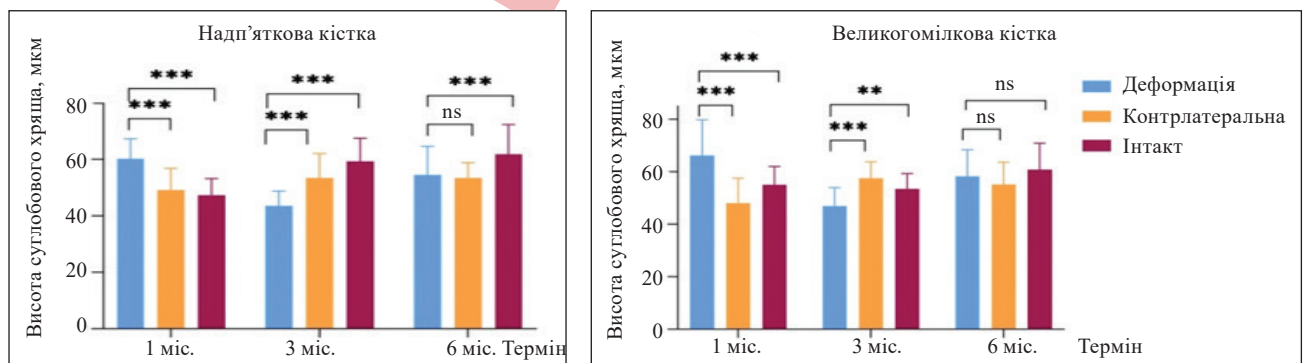


Рис. 6. Порівняння висоти суглобового хряща дистального кінця великогомілкової кістки та проксимального над'яркової кістки кінцівки щурів із деформацією стегнової кістки з контралатеральною кінцівкою та показниками інтактної групи щурів. Позначення: ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns — немає відмінностей

Проте S. H. Chang зі співавт. [30] не виявили відмінностей під час порівняння структурних змін у надп'яtkово-гомiлковому суглобі у трьох моделях остеоартрозу в мишей зі зразками людини. Залишається невідомим наскільки це відповідає даному суглобу щурів. Наразі мало інформації щодо стану надп'яtkово-гомiлкового суглоба в пацієнтів із позасуглобовою деформацією стегнової кістки [8, 15]. Зазвичай клінічні дослідження зосереджені на колінному суглобі [7, 10], у якому за рахунок наближення до місця розташування дефекту зміни в біомеханіці вираженіші та призводять до розвитку остеоартрозу. Але біомеханічно показано, що порушення осьових співвідношень фрагментів стегнової кістки після хірургічного лікування її перелому спричиняє надмірне навантаження на надп'яtkово-гомiлковий суглоб [14]. Ми отримали схожі результати в раніше проведеному дослідженні, у якому моделювали деформацію стегнової кістки та виявили збільшення максимального напруження в суглобових поверхнях [31]. Проте недостатньо клінічних спостережень щодо розвитку остеоартрозу в надп'яtkово-гомiлковому суглобі в осіб із деформацією стегнової кістки [18]. Можливо це обумовлено тим, що дегенеративні зміни цієї локалізації в таких пацієнтів не викликають суттєвих больових відчуттів або помітного порушення функції, особливо як порівняти з колінним суглобом. Крім того, біль у разі остеоартрозу за сучасними даними не пов'язаний із порушенням структури суглобового хряща, який не містить нервових закінчень [32]. Це захворювання на початковій стадії у надп'яtkово-гомiлковому суглобі може ефективно контролюватися терапією нестероїдними протизапальними засобами [33].

Проте деформація стегнової кістки викликає такі системні зміни в осі кінцівки, які впливають на функціонування всіх її суглобів [14] і ймовірно навіть у контралатеральній кінцівці, як ми показали в суглобовому хрящі дистального кінця великогомілкової кістки контралатеральної кінцівки щурів через 3 міс. спостереження. Це доводить важливість усебічного обстеження пацієнтів із деформаціями кісток для розробки профілактичних заходів із метою збереження функціонування суглобів обох кінцівок.

Цікавим є розвиток дегенеративних змін спочатку в суглобовому хрящі надп'яtkової кістки в надп'яtkово-гомiлковому суглобі щурів. Це можливо пов'язано з більшим навантаженням на кістки стопи під час ходи та їхньою функцією амортизувати навантаження, на відміну від

довгих кісток, куди воно передається вже меншою силою від першого контакту з поверхнею. Це підтверджується результатами біомеханічного дослідження на препаратах кінцівок трупного матеріалу, де було показано, що $\approx 83\%$ навантаження припадає на суглобовий хрящ саме надп'яtkової кістки в цьому суглобі [34].

Під час оцінювання ризику розвитку остеоартрозу в надп'яtkово-гомiлковому суглобі потрібно зважати на вік хворих із позасуглобовою деформацією стегнової кістки та період існування викривлення. У випадку нашого експериментального дослідження ми використовували щурів віком 6 міс. через те, що у тварин молодшого віку за умови моделювання остеоартрозу дегенеративні зміни не розвиваються згідно з рекомендаціями провідних експериментальних дослідників [27]. Тож імовірно в пацієнтів молодшого віку також зміни у надп'яtkово-гомiлковому суглобі будуть менш помітними та не перешкоджатимуть звичайній руховій активності.

Обмеженням цього дослідження є вивчення структурних змін у суглобовому хрящі на сагітальних зрізах, виконаних крізь центральну вісь кінцівки щурів, тоді як навантаження на медіальну частину хряща могло бути більшим унаслідок варусної деформації. Водночас виявлені дегенеративні зміни навіть за таких умов свідчать про вплив деформації й на менш навантажувані ділянки суглоба.

Висновок

Змодельована позасуглобова деформація стегнової кістки щурів викликає дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkової кістки з першого місяця, а з третього — великогомілкової кістки в надп'яtkово-гомiлковому суглобі. У контралатеральній кінцівці дегенеративні зміни в суглобовому хрящі встановлено через 3 місяці, але вони менш виражені.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Проведення експериментального моделювання вальгусної деформації середньої третини стегнової кістки з подальшим дослідженням структури суглобового хряща колінного та надп'яtkово-гомiлкового суглоба.

Інформація про фінансування. Дослідження проведено в межах науково-дослідної роботи «Дослідити патологічні зміни в суглобах нижніх кінцівок за умов післятравматичних позасуглобових деформацій у дорослих», № держреєстрації 0114U003020

Внесок авторів. Романенко К. К. — концепція та дизайн, експериментальне моделювання у щурів, редагування та затвердження фінального варіанта статті; [Ашукіна Н. О.] — експериментальне моделювання у щурів, гістологічний

аналіз, написання чернетки статті; Мальцева В. Є. — аналіз даних, візуалізація даних, затвердження фінального варіанта статті.

Список літератури

- Weiss, R. J., Montgomery, S. M., Al Dabbagh, Z., & Jansson, K. Å. (2009). National data of 6409 Swedish inpatients with femoral shaft fractures: Stable incidence between 1998 and 2004. *Injury*, 40(3), 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.07.017>
- Arneson, T. J., Melton, L. J., Lewallen, D. G., & O'Fallon, W. M. (1988). Epidemiology of diaphyseal and distal femoral fractures in Rochester, Minnesota, 1965–1984. *Clinical orthopaedics and related research*, 234, 188–194. <https://doi.org/10.1097/00003086-198809000-00033>
- Böstman, O., Varjonen, L., Vainionpää, S., Majolä, A., & Rokkanen, P. (1989). Incidence of local complications after intramedullary nailing and after plate fixation of femoral shaft fractures. *Journal of trauma - injury, infection and critical care*, 29(5), 639–645. <https://doi.org/10.1097/00005373-198905000-00019>
- Ricci, W. M., Bellabarba, C., Evanoff, B., Herscovici, D., DiPasquale, T., & Sanders, R. (2001). Retrograde versus antegrade nailing of femoral shaft fractures. *Journal of orthopaedic trauma*, 15(3), 161–169. <https://doi.org/10.1097/00005131-200103000-00003>
- Ricci, W. M., Bellabarba, C., Lewis, R., Evanoff, B., Herscovici, D., DiPasquale, T., & Sanders, R. (2001). Angular malalignment after intramedullary nailing of femoral shaft fractures. *Journal of orthopaedic trauma*, 15(2), 90–95. <https://doi.org/10.1097/00005131-200102000-00003>
- Jensen, S. S., Jensen, N. M., Gundtoft, P. H., Kold, S., Zura, R., & Viberg, B. (2022). Risk factors for nonunion following surgically managed, traumatic, diaphyseal fractures: a systematic review and meta-analysis. *EFORT open reviews*, 7(7), 516–525. <https://doi.org/10.1530/EOR-21-0137>
- Vergano, L. B., Coviello, G., & Monesi, M. (2020). Rotational malalignment in femoral nailing: Prevention, diagnosis and surgical correction. *Acta biomechanica*, 91(Suppl 14), 1–11. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i14-S.10725>
- Eckhoff, D. G. (1994). Effect of limb malrotation on malalignment and osteoarthritis. *Orthopedic clinics of North America*, 25(3), 405–414. [https://doi.org/10.1016/s0030-5898\(20\)31925-8](https://doi.org/10.1016/s0030-5898(20)31925-8)
- Castano Betancourt, M. C., Maia, C. R., Munhoz, M., Moraes, C. L., & Machado, E. G. (2022). A review of Risk Factors for Post-traumatic hip and knee osteoarthritis following musculoskeletal injuries other than anterior cruciate ligament rupture. *Orthopedic reviews*, 14(4), 2022. <https://doi.org/10.52965/001c.38747>
- Phillips, J. R. A., Trezies, A. J. H., & Davis, T. R. C. (2011). Long-term follow-up of femoral shaft fracture: Relevance of malunion and malalignment for the development of knee arthritis. *Injury*, 42(2), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.06.024>
- Ricci, W. M., Gallagher, B., & Haidukewych, G. J. (2009). Intramedullary nailing of femoral shaft fractures: Current concepts. *Journal of the American academy of orthopaedic surgeons*, 17(5), 296–305. <https://doi.org/10.5435/00124635-200905000-00004>
- Claireaux, H. A., Searle, H. K. C., Parsons, N. R., & Griffin, X. L. (2022). Interventions for treating fractures of the distal femur in adults. *Cochrane database of systematic reviews*, 2022(10). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010606.pub3>
- Gugala, Z., Qaisi, Y. T., Hipp, J. A., & Lindsey, R. W. (2011). Long-term functional implications of the iatrogenic rotational malalignment of healed diaphyseal femur fractures following intramedullary nailing. *Clinical biomechanics*, 26(3), 274–277. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.11.005>
- Dagneaux, L., Allal, R., Pithioux, M., Chabrand, P., Ollivier, M., & Argenson, J.-N. (2018). Femoral malrotation from diaphyseal fractures results in changes in patellofemoral alignment and higher patellofemoral stress from a finite element model study. *The knee*, 25(5), 807–813. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.06.008>
- Karaman, O., Ayhan, E., Kesmezacar, H., Seker, A., Unlu, M. C., & Aydingoz, O. (2014). Rotational malalignment after closed intramedullary nailing of femoral shaft fractures and its influence on daily life. *European journal of orthopaedic surgery and traumatology*, 24(7), 1243–1247. <https://doi.org/10.1007/s00590-013-1289-8>
- Jaarsma, R. L., Ongkiehong, B. F., Grüneberg, C., Verdon-schot, N., Duysens, J., & Van Kampen, A. (2004). Compensation for rotational malalignment after intramedullary nailing for femoral shaft fractures: An analysis by plantar pressure measurements during gait. *Injury*, 35(12), 1270–1278. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.01.016>
- Cunningham, B. P., Cole, P. A., & Ortega, G. (2020). *Malunions of the Femoral Shaft. In Malunions: Diagnosis, Evaluation and Management* (261–282). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1124-1_10
- Kim, J. S., Amendola, A., Barg, A., Baumhauer, J., Brodsky, J. W., Cushman, D. M., Gonzalez, T. A., Janisse, D., Juryneec, M. J., Lawrence Marsh, J., Sofka, C. M., Clanton, T. O., & Anderson, D. D. (2022). Summary report of the arthritis foundation and the american orthopaedic foot & ankle society's symposium on targets for osteoarthritis research: part 1: epidemiology, pathophysiology, and current imaging approaches. *Foot and ankle orthopaedics*, 7(4). <https://doi.org/10.1177/24730114221127011>
- Delco, M. L., Kennedy, J. G., Bonassar, L. J., & Fortier, L. A. (2017). Post-traumatic osteoarthritis of the ankle: A distinct clinical entity requiring new research approaches. *Journal of orthopaedic research*, 35(3), 440–453. <https://doi.org/10.1002/jor.23462>
- Godoy-Santos, A. L., Fonseca, L. F., de Cesar Netto, C., Giordano, V., Valderrabano, V., & Rammelt, S. (2021). Ankle osteoarthritis. *Revista Brasileira de ortopedia*, 56(6), 689–696. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709733>
- Liang, D., Sun, J., Wei, F., Zhang, J., Li, P., Xu, Y., Shang, X., Deng, J., Zhao, T., & Wei, L. (2017). Establishment of rat ankle post-traumatic osteoarthritis model induced by malleolus fracture. *BMC musculoskeletal disorders*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1821-9>
- Guo, J. B., Liang, T., Che, Y. J., Yang, H. L., & Luo, Z. P. (2020). Structure and mechanical properties of high-weight-bearing and low-weight-bearing areas of hip cartilage at the micro- And nano-levels. *BMC musculoskeletal disorders*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03468-y>
- Santos, S., Emery, N., Neu, C. P., & Pierce, D. M. (2019). Propagation of microcracks in collagen networks of cartilage under mechanical loads. *Osteoarthritis and cartilage*, 27(9), 1392–1402. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.04.017>
- European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes: Strasbourg, 18 March 1986. (2000).
- Law of Ukraine No. 3447-IV, article 26. On the protection of animals from cruel treatment. Kyiv, 21 February, 2006. (In Ukrainian)
- Romanenko, K. K., Ashukina, N. O., Goridova, L. D., & Prozorovsky, D. V. (2014). Method for modeling fractures of long bones of limbs (92613). <https://base.nipo.gov.ua/search-bulletin/search.php?action=viewdetails&dbname=invdu&Id-Claim=203923>
- Gerwin, N., Bendele, A., Glasson, S., & Carlson, C. (2010). The OARSI histopathology initiative — recommendations for histological assessments of osteoarthritis in the rat. *Osteoar-*

- thrititis and cartilage*, 18, S24–S34. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2010.05.030>
28. Romanenko, K., Ashukina, N., Batura, I., & Prozorovsky, D. (2017). Morphology of the articular cartilage of the knee joint in rats with extraarticular femoral bone deformity. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(1), 63–71. <https://doi.org/10.15674/0030-59872017163-71>
 29. Yao, Q., Wu, X., Tao, C., Gong, W., Chen, M., Qu, M., Zhong, Y., He, T., Chen, S., & Xiao, G. (2023). Osteoarthritis: Pathogenic signaling pathways and therapeutic targets. *Signal transduction and targeted therapy*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01330-w>
 30. Chang, S. H., Yasui, T., Taketomi, S., Matsumoto, T., Kim-Kaneyama, J. R., Omiya, T., Hosaka, Y., Inui, H., Omata, Y., Yamagami, R., Mori, D., Yano, F., Chung, U., Tanaka, S., & Saito, T. (2016). Comparison of mouse and human ankles and establishment of mouse ankle osteoarthritis models by surgically-induced instability. *Osteoarthritis and cartilage*, 24(4), 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2015.11.008>
 31. Korzh, M., Romanenko, K., Karpinsky, M., Prozorovsky, D., & Yaresko, O. (2015). Mathematic modeling of the influence of femur malalignment on the bearing of lower extremity joints. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(4), 25. <https://doi.org/10.15674/0030-59872015425-30>
 32. Tong, L., Yu, H., Huang, X., Shen, J., Xiao, G., Chen, L., Wang, H., Xing, L., & Chen, D. (2022). Current understanding of osteoarthritis pathogenesis and relevant new approaches. *Bone research*, 10(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41413-022-00226-9>
 33. Herrera-Pérez, M., Valderrabano, V., Godoy-Santos, A. L., de César Netto, C., González-Martín, D., & Tejero, S. (2022). Ankle osteoarthritis: comprehensive review and treatment algorithm proposal. *EFORT open reviews*, 7(7), 448–459. <https://doi.org/10.1530/EOR-21-0117>
 34. Calhoun, J. H., Li, F., Ledbetter, B. R., & Viegas, S. F. (1994). A comprehensive study of pressure distribution in the ankle joint with inversion and eversion. *Foot & ankle international*, 15(3), 125–133. <https://doi.org/10.1177/107110079401500307>

Стаття надійшла до редакції 03.09.2025	Отримано після рецензування 14.10.2025	Прийнято до друку 20.10.2025
---	---	---------------------------------

DEGENERATIVE CHANGES IN RAT ANKLE CARTILAGE INDUCED BY VARUS EXTRA-ARTICULAR FEMORAL DEFORMATION

K. K. Romanenko, N. O. Ashukina, V. Ye. Maltseva

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

✉ Kostiantyn Romanenko, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: konstantin.romanenko@gmail.com

✉ Nataliya Ashukina, PhD in Biol. Sci.: natalya.ashukina@gmail.com

✉ Valentyna Maltseva, Phd in Biol. Sci.: maltseva.val.evg@gmail.com

УДК 616.72-002-085.276-092.9(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720254108-114>

Визначення безпечності й ефективності карбокситерапії в моделях остеоартриту й запалення сухожилків *in vivo*

В. В. Штробля¹, Р. В. Луценко²

¹ ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Україна

² Полтавський державний медичний університет. Україна

Local administration of carbon dioxide (carboxytherapy) is regarded as a promising approach for modulating inflammation, improving microcirculation, and stimulating reparative processes. However, traditional subcutaneous CO₂ delivery techniques are associated with variability of local effects, risk of mechanical tissue irritation, and insufficient standardization of administration parameters, which limits reproducibility of experimental findings. These limitations highlight the need to develop optimized CO₂ delivery techniques with controlled administration and improved safety. Objective. To evaluate the efficacy and safety of subcutaneous administration of a CO₂–NaHCO₃ gas-buffer mixture in preclinical models of acute inflammation and monoiodoacetate (MIA)-induced osteoarthritis. Methods. The study was conducted in rats using formalin- and carrageenan-induced models of acute inflammation and a monoiodoacetic acid-induced osteoarthritis model. Animals received subcutaneous injections of a CO₂ + NaHCO₃ mixture (1:1) in small volumes; comparisons were performed against the classical subcutaneous CO₂ administration protocol described by Raymundo et al. Results. In acute inflammation models, administration of the CO₂/NaHCO₃ mixture significantly reduced edema severity ($p < 0.001$). In the MIA-induced osteoarthritis model, treatment resulted in a statistically significant decrease in TNF- α and IL-6 levels and an increase in TGF- β 1 concentration (all $p < 0.001$), indicating anti-inflammatory activity and modulatory effects on systemic inflammatory markers. Conclusions. The subcutaneous administration technique of the CO₂ + NaHCO₃ mixture investigated in this study demonstrated anti-inflammatory activity and a favorable safety profile in preclinical models, supporting the rationale for further research into its potential application for degenerative-inflammatory disorders of the musculoskeletal system. Keywords. Carboxytherapy; CO₂; inflammation; osteoarthritis; cytokines; rats; degenerative joint diseases; degenerative-inflammatory conditions.

Локальне застосування вуглекислого газу (карбокситерапія) розглядається як перспективний підхід до модуляції запалення, покращення мікроциркуляції та стимуляції репаративних процесів. Разом із тим традиційні методики підшкірного введення CO₂ характеризуються варіабельністю локальної дії, ризиком механічного подразнення тканин і недостатньою стандартизованістю параметрів введення, що ускладнює відтворюваність експериментальних даних. Це зумовлює потребу в розробленні оптимізованих технік локального застосування CO₂ із контрольованою доставкою та підвищеною безпечністю. Мета. Оцінити ефективність і безпеку підшкірного введення газо-буферної суміші CO₂ і NaHCO₃ у доклінічних моделях гострого запалення й остеоартриту, індукованого моноіодоцтовою кислотою (МІОК). Методи. Дослідження проведено на щурах із використанням формалін- і карагенін-індукованих моделей гострого запалення й остеоартриту, викликаного МІОК. Тваринам підшкірно вводили суміш CO₂ + NaHCO₃ (1:1) у малих об'ємах; порівняння проводили з протоколом підшкірного введення чистого CO₂ за методом Raymundo. Результати. У моделях гострого запалення введення суміші CO₂ + NaHCO₃ достовірно зменшувало виразність набряку ($p < 0,001$). У моделі МІОК-індукованого остеоартриту відзначено статистично значуще зниження рівнів TNF- α та IL-6 і підвищення концентрації TGF- β 1 (усі $p < 0,001$), що свідчить про протизапальний ефект і модулювальний вплив суміші на системні маркери запалення. Висновки. Методика підшкірного введення суміші CO₂ + NaHCO₃, досліджена в роботі, проявила протизапальний ефект і задовільний профіль безпеки в доклінічних моделях, що обґрунтовує подальше її вивчення для можливого застосування за дегенеративно-запальних уражень опорно-рухової системи.

Ключові слова. Карбокситерапія, CO₂, запалення, остеоартрит, цитокіни, щури, дегенеративні захворювання суглобів, дегенеративно-запальні стани

Вступ

Карбокситерапія — застосування вуглекислого газу (CO_2) у терапевтичних цілях — останні десятиліття привертає пильну увагу дослідників і клініцистів, зокрема в судинній медицині, дерматології, регенеративній терапії й естетичній медицині. Така цікавість обумовлена здатністю CO_2 впливати на мікроциркуляцію, метаболізм клітин і тканинну оксигенацію, що в комплексі сприяє репаративним процесам. Ефекти терапії CO_2 на загоєння тканин, включаючи покращення васкуляризації, оксигенації й активацію клітинної проліферації, неодноразово підтверджені експериментально, зокрема в моделі загоєння рани шкіри [1]. Нещодавні доклінічні дослідження довели, що локальні перкутанні та транскутанні режими застосування CO_2 здатні стимулювати остеогенез і ремоделювання кісткової тканини. Зокрема, показано, що перкутанне введення CO_2 прискорює генерацію нової кістки в моделях distraction osteogenesis [2], тоді як транскутанне або топічне застосування сприяє загоєнню переломів і дефектів кістки [3, 4], підвищуючи васкуляризацію та мінералізацію регенерату [5]. Отримані дані підтверджують доцільність вивчення локального застосування CO_2 у моделях дегенеративно-запальних захворювань суглобів, зокрема остеоартриту.

Біофізіологічні механізми дії CO_2 пов'язують, зокрема, із явищем «ефекту Бора»: підвищення парціального тиску газу в локальних тканинах спричинює зниження pH, що зміщує криву дисоціації O_2 -гемоглобін у бік вивільнення кисню, покращуючи тим самим тканинну оксигенацію [6]. У доклінічних моделях, зокрема в експериментах на лабораторних тваринах, локальне транскутанне введення CO_2 асоціюється з активацією ангіогенних сигнальних шляхів, що проявляється підвищенням експресії VEGF (vascular endothelial growth factor) та, частково, модуляцією активності eNOS (endothelial nitric oxide synthase). Такі зміни можуть створювати сприятливі умови для відновлення та регенерації ушкоджених тканин [3]. У клінічних дослідженнях на людях терапія CO_2 продемонструвала покращення загоєння хронічних ран і мікроциркуляції, хоча прямі докази активації NO-сигналіngu в людських тканинах все ще потребують подальших досліджень [7, 8].

Практичне застосування CO_2 охоплює широкий спектр методів — від бальнеотерапії та інгаляцій (за літературними даними) до трансдермальних гідрогелів, карбокситерапії (CO_2

ін'єкцій) й інших локальних форм доставки [8, 9]. Кожен із цих способів має свої особливості в локалізації дії, контролі дози, проникності тканин і безпеці [7, 8]. На доклінічному рівні (моделі тварин) трансдермальне застосування CO_2 (із гідрогелями або комбінація з іншими методиками), показало здатність прискорювати зростання кісток через стимуляцію ангіогенезу [3, 4], підвищення кровоплину й експресію VEGF, а також потенційно впливати на інші сигнальні шляхи [9]. У попередніх клінічних дослідженнях на людях трансдермальна CO_2 -терапія продемонструвала безпеку та здатність збільшувати місцевий кровоплин біля переломів [10], хоча прямі докази щодо регенерації кістки в людини або впливу на запальні механізми в таких ситуаціях поки що обмежені. Тож CO_2 -терапія залишається перспективним дослідним підходом в ортопедії й можливо в ревматології, що потребує подальшого контрольованого вивчення.

Попри обнадійливі результати доклінічних досліджень, у науковій літературі досі не існує уніфікованої методики локального застосування CO_2 . Роботи щодо ефективності різних шляхів доставки (трансдермальна, ін'єкційна, гідрогель тощо), параметрів дозування та режимів експозиції залишаються обмеженими [4]. Це ускладнює стандартизацію підходів і гальмує трансляцію попередніх результатів у клінічну практику. Тому особливо актуальним є вивчення дозореактивних залежностей, безпеки, ефективності й потенціалу комбінованої дії CO_2 з іншими фармакологічними препаратами.

У нашій роботі ми зосередили увагу на підшкірному шляху введення CO_2 як підході, що забезпечує прямий вплив на локальну мікроциркуляцію та дозволяє точно контролювати об'єм і локалізацію експозиції. Ми розробили й апробували уніфіковану техніку підшкірного введення суміші CO_2 + NaHCO_3 у щурів, дослідивши її вплив на експресію ключових запальних і регенеративних маркерів, морфологічні показники та поведінкові індекси болю в моделях запалення й остеоартриту.

Мета: оцінити ефективність і безпеку підшкірного введення газо-буферної суміші CO_2 + NaHCO_3 в доклінічних моделях гострого запалення та остеоартриту, індукованого моноіодоцтовою кислотою.

Матеріал і методи

Усі дослідження були проведені у віварії Полтавського державного медичного університету та виконані відповідно до основних положень

Конвенції Ради Європи про захист хребетних тварин, які використовуються в експериментальних і наукових цілях та Директиви 2010/63/ЄС. Дослід схвалено етичними комітетами Полтавського державного медичного університету (протокол № 225 від 21.03.2024) та ДВНЗ Ужгородського національного університету (протокол № 9/2 від 07.06.2023). Тварин утримували за стандартизованих умов: температура (22 ± 2) °C, відносна вологість 40–60 %, світловий режим 12/12 год, стандартний раціон і вільний доступ до питної води. Усі процедури виконували з дотриманням принципів гуманного поводження та мінімізації страждання тварин відповідно до рекомендацій ARRIVE.

У дослідженні використовували білих безпородних щурів масою 180–230 г на момент початку експерименту. Тварин рандомізували за допомогою простого випадкового методу в групи по 8 особин ($n = 8$) для кожної експериментальної та контрольної умови. Розподіл щурів і подальше оцінювання результатів проводилися в сліпому режимі щодо лікування.

Тварини були розподілені на такі групи: I — інтактні; II — контрольна патологія (формалінова, карагенінова або МЙОК(монойодоцтова кислота)-індукована модель залежно від експерименту); III — патологія + CO₂ (0,5 мл, підшкірно).

Моделі запалення й остеоартриту

Формалін-індукована модель асептичного запалення

Асептичне запалення відтворювали шляхом субплантарного введення 2,5 % розчину формалі-

ну (0,1 мл) під апоневроз підшви задньої кінцівки щура згідно з методичними рекомендаціями під ред. О. В. Стефанова [11]. Динаміку набряку оцінювали за зміною величини окружності кінцівки до індукції та через 1, 2, 3, 4, 5 і 24 години після введення формаліну з використанням плетизмометра (табл. 1).

Карагенін-індуковане гостре запалення

Гостре запалення моделювали шляхом під-апоневротичного введення 1 % розчину карагеніну (0,1 мл) у задню праву кінцівку. Модель ґрунтується на класичному протоколі Winter, Risley і Nuss та його модифікаціях [12, 13]. Обсяг кінцівки вимірювали до індукції та через 1, 2, 3 і 5 годин після введення карагеніну (табл. 2). Через 5 годин проводили евтаназію під тіопенталовим наркозом (50 мг/кг) для забору крові та біохімічного аналізу.

Остеоартрит, індукований монойодоцтовою кислотою (МЙОК-ОА)

Остеоартрит індукували внутрішньосуглобовим введенням 0,05 мл (0,005 мл) 3 % розчину МЙОК, приготовленого *ex tempore* шляхом розчинення 3 мг МЙОК у 0,1 мл 0,9 % розчину NaCl із подальшим стерильним відбором необхідного об'єму. Застосований режим відповідає адаптованим протоколам індукції МЙОК-остеоартриту в щурів [14, 15].

Біохімічні показники оцінювали на 14-й та/або 28-й день експерименту. Рівні прозапального TNF- α та протизапального TGF- β 1 визначали в сироватці крові (табл. 3). Додатково вимірювали рівень IL-6 як маркер системної запальної відповіді (табл. 4).

Таблиця 1

Величина окружності задньої кінцівки щурів у динаміці на формаліновій моделі запалення (мл; $M \pm SD$, $n = 8$)

Група тварин	До патології	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	24 год
Інтактні	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$	$0,451 \pm 0,009$
Контрольна патологія	$0,454 \pm 0,011$	$0,489 \pm 0,010$	$0,539 \pm 0,013$	$0,615 \pm 0,013$	$0,701 \pm 0,017$	$0,770 \pm 0,016$	$0,651 \pm 0,012$
Патологія + CO ₂	$0,422 \pm 0,006$	$0,485 \pm 0,008$	$0,509 \pm 0,009$	$0,559 \pm 0,004^*$	$0,621 \pm 0,009$	$0,690 \pm 0,013^{**}$	$0,594 \pm 0,012$

Примітки: дані наведено як $M \pm SD$; $n = 8$. $p < 0,05$; $^* p < 0,01$; $^{**} p < 0,001$ — достовірно порівняно з групою контрольної патології (формалін).

Таблиця 2

Зміна величини окружності кінцівки в щурів із карагенін-індукованим запаленням (мл; $M \pm SD$, $n = 8$)

Група тварин	До патології	1 год	2 год	3 год	5 год
Інтактні	$0,427 \pm 0,029$	$0,427 \pm 0,029$	$0,427 \pm 0,029$	$0,427 \pm 0,029$	$0,427 \pm 0,029$
Контрольна патологія	$0,410 \pm 0,028$	$0,529 \pm 0,022$	$0,609 \pm 0,022$	$0,740 \pm 0,025$	$0,695 \pm 0,037$
Патологія + CO ₂	$0,406 \pm 0,019$	$0,463 \pm 0,027^*$	$0,514 \pm 0,023^*$	$0,659 \pm 0,031^*$	$0,613 \pm 0,026^*$

Примітки: дані наведено як $M \pm SD$; $n = 8$ у кожній групі. $^* p < 0,001$ — достовірно порівняно з групою патології (карагенін).

Таблиця 3

**Рівні TNF- α та TGF- β 1 у сироватці крові щурів за МЙОК-індукованого остеоартриту
(14-й та 28-й день спостереження)**

Група тварин	14 днів TNF- α , пг/мл	28 днів TNF- α , пг/мл	14 днів TGF- β 1, пг/мл	28 днів TGF- β 1, пг/мл
Інтактні	6,87 $\pm$ 0,44	6,87 $\pm$ 0,44	567,12 $\pm$ 19,40	567,12 $\pm$ 19,40
Інтактні + фіз. р-н	6,85 $\pm$ 0,33	6,85 $\pm$ 0,32	572,15 $\pm$ 21,25	572,15 $\pm$ 21,25
Патологія (МЙОК)	29,97 $\pm$ 0,50	29,59 $\pm$ 0,10	840,56 $\pm$ 7,87	831,89 $\pm$ 6,19
МЙОК + CO ₂ 0,5 мл	28,09 $\pm$ 0,66*	26,42 $\pm$ 0,35*	1133,62 $\pm$ 13,59*	1192,39 $\pm$ 20,42*

Примітки: дані наведено як $M \pm SD$; $n = 5$ у кожній групі. * $p < 0,001$ — достовірна відмінність порівняно з групою патології (МЙОК).

Таблиця 4

**Рівень IL-6 у сироватці крові щурів
за МЙОК-індукованому остеоартриті
(14-й та 28-й день спостереження)**

Група тварин	14 днів IL-6, пг/мл	28 днів IL-6, пг/мл
Інтактні	1,33 $\pm$ 0,09	1,33 $\pm$ 0,09
Інтактні + фіз. р-н	1,29 $\pm$ 0,07	1,29 $\pm$ 0,07
Патологія (МЙОК)	14,58 $\pm$ 0,27	14,29 $\pm$ 0,34
МЙОК + CO ₂ 0,5 мл	12,58 $\pm$ 0,18*	12,06 $\pm$ 0,28*

Примітки: дані наведено як $M \pm SD$; $n = 5$ у кожній групі. * $p < 0,001$ — достовірна відмінність порівняно з групою патології (МЙОК).

Евтаназію тварин проводили під тіопенталовим наркозом (50 мг/кг) відповідно до вимог біоетики.

Для приготування суміші CO₂ + NaHCO₃ використовували очищений діоксид вуглецю медичної чистоти (AquaRio BLUE, 2 L або еквівалент), комплект подавання CO₂ (Eheim CO₂ SET) зі стерильним фільтром 0,22 мкм, стерильні шприци, мікроголки 30G (0,3 $\times$ 13 мм) і стерильний розчин NaHCO₃ (0,9–1,5 %) у 0,9 % NaCl. У шприц вводили 0,5 мл розчину NaHCO₃, після чого через триходовий кран аспірували 0,5 мл CO₂, попередньо температурно вирівняного до 22–24 °C. Отримували газо-буферну суміш у співвідношенні 1 : 1 (об'ємна фракція) з короткочасною стабільністю рН 7,0–7,3 упродовж ≤ 1 хв після приготування. Суміш використовували негайно. Ін'єкцію виконували підшкірно в періартикулярну зону над медіальним виростком колінного суглоба за допомогою голки 30G під кутом 20°–30°, у дозі 0,5–1,0 мл (3–5 мл/кг). Введення проводили повільно, без додаткового тиску, попередньо перевіряючи суміш на відсутність бульбашок і надлишкового тиску. Частота введення: раз на добу (для моделей формаліну та карагеніну) або раз на 3 доби (для МЙОК-ОА) протягом 14 або 28 днів залежно від протоколу. Після введення тварин

спостерігали щонайменше 30 хвилин щодо негайних реакцій.

Для методичного контролю в окремих серіях використовували описану Raymundo методику підшкірного введення CO₂: стандартизований потік 80 мл/хв протягом 10 с в одну точку через голку 30G, введену під кутом 90° до шкіри [16]. Це дозволяло порівняти морфофункціональні та безпекові аспекти між традиційним протоколом і оптимізованим способом введення суміші CO₂ і NaHCO₃.

Аналіз проведено з використанням Jamovi (версія 2.3.21). Кількісні дані подано як $M \pm SD$ (за винятком випадків, де зазначено mean $\pm$ SEM). Нормальність перевіряли тестом Шапіро–Вілка; гомогенність дисперсій — тестом Левена. Для даних із нормальним розподілом використовували однофакторний ANOVA (або двофакторний ANOVA для часових рядів: група $\times$ час) із пост-hoc тестом Тьюкі; у разі порушення гомогенності застосовували тест Велча; для ненормальних даних використовували критерій Крускала–Волліса з поправкою Бонферроні. Рівень значущості приймали за $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Порівняльний аналіз технік підшкірного введення CO₂ виявив суттєві відмінності в профілі безпеки та локальній дії. Класична методика Raymundo передбачала швидке введення чистого CO₂ під тиском. Такий режим супроводжувався вираженим механічним розтягненням тканин, транзиторною гіперкапнією [16], що відображає специфічну відповідь на швидке підшкірне введення газу. Крім того, класичні протоколи асоціюються з реактивною гіперемією, змінами мікроциркуляції та локальними судинними реакціями, що підтверджено іншими експериментальними роботами [8, 17].

Морфофункціональні критерії оцінки місцевої тканинної відповіді на CO₂, описані в літературі,

включають ступінь локального набряку, еритеми, мікроциркуляторні зміни, температурні реакції та гістологічний стан дерми й підшкірної клітковини [18]. Такі параметри використовуються для оцінювання профілю безпеки та виявлення можливих небажаних реакцій, включаючи транзиторне порушення тканинного гомеостазу.

Водночас нові дані демонструють, що зниження локального pH, індуковане CO_2 , здатне активувати дермальні фібробласти і посилювати синтез компонентів позаклітинного матриксу шляхом CREB-залежної індукції TGF- β 1 [19]. Це створює експериментальне підґрунтя для розвитку м'якших і безпечніших режимів локального введення CO_2 , спрямованих на зменшення механічного навантаження на тканини й мінімізацію ноцицептивної активації.

Запропонована нами терапевтична система $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ (1 : 1), що вводилася під кутом $20^\circ\text{--}30^\circ$, забезпечувала більш рівномірний розподіл газової фази в підшкірній клітковині й уникнення макроскопічних і гістологічних ознак механічного ушкодження навіть за повторних введень (раз на 3 доби протягом 14–28 днів), що свідчить про кращий профіль безпеки порівняно з традиційними протоколами введення чистого CO_2 .

Ураховуючи описані механічні й біохімічні особливості традиційних технік введення газу, важливим завданням було створення протоколу, який забезпечує нижчий рівень тканинного стресу, кращу переносимість і можливість багаторазового застосування. Отримані нами дані свідчать, що зменшення об'єму газової фази та додавання буферного компонента (NaHCO_3) суттєво знижують локальне механічне та хімічне навантаження. Це призводить до меншої активації ноцицепторів і мінімізації ризику мікротравматизації, що робить запропоновану терапевтичну систему придатною для тривалих експериментальних протоколів, зокрема під час моделювання хронічних дегенеративно-запальних станів, таких як остеоартрит.

Системні протизапальні та репаративні ефекти $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ в моделі остеоартриту

У МЙОК-індукованій моделі остеоартриту підшкірне введення газо-буферної суміші $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ супроводжувалося вираженими системними змінами в сироватці крові й тканинах суглоба. Рівні прозапальних цитокінів TNF- α та IL-6 були статистично значуще нижчими порівняно з групою патології (усі $p < 0,001$). Одночасно зафіксовано достовірне підвищення концентрації TGF- β 1 ($p < 0,001$), що може свідчити

про активацію протизапальних і репаративних механізмів у суглобових тканинах.

Ефекти CO_2 в моделях гострого запалення

У формалін- та карагенін-індукованих моделях гострого запалення підшкірне введення CO_2 також приводило до статистично значущого зменшення вираженості запальної реакції порівняно з контролем патології ($p < 0,001$), що узгоджується зі зменшенням набряку та пригніченням гострофазових реакцій.

Безпека і переносимість

Запропонований протокол підшкірного введення терапевтичної системи $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ (1,0 мл у співвідношенні 1:1, за визначеним графіком) не викликав некрозів, гематом або видимих макроскопічних ознак ушкодження тканин навіть у разі багаторазового застосування. Клінічні та лабораторні показники (загальний аналіз крові, функції печінки й нирок) залишались у межах норми, що свідчить про апірогенність, відсутність алергічних реакцій, добру переносимість, відсутність вираженої системної токсичності в умовах цього експерименту.

Отримані результати узгоджуються з гіпотезою, що одним із ключових механізмів дії локального CO_2 є індукція помірної гіперкапнії у тканинах, що приводить до локального зсуву кривої дисоціації оксигемоглобіну (ефект Бора). Це підвищує доставку кисню в зону ураження та створює сприятливе середовище для репарації, ангіогенезу й тканинного метаболізму [8]. На відміну від класичних протоколів підшкірного введення CO_2 [16], що супроводжуються розтягненням тканин, болем і вивільненням нейропептидів, сучасні підходи, зокрема запропонована в цьому дослідженні терапевтична система $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$, базуються на контрольованій, м'якій доставці газу в буферній рідині. Це знижує локальні стрес-реакції та баротравму, а також сприяє безпечнішому й ефективнішому біологічному впливу [2, 4]. Отже, запропонована методика підшкірного введення терапевтичної системи $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ у співвідношенні 1:1 в малих об'ємах узгоджується зі сучасними підходами до доклінічної CO_2 -терапії, демонструючи переваги в біобезпеці, контрольованості доставки та потенціалі для подальших досліджень. Введення здійснюється без потреби в спеціалізованому обладнанні, із використанням стандартних медичних засобів (шприц, мікроголка), що забезпечує простоту, відтворюваність і безпечність методики.

Висновки

Карбокситерапія зі застосуванням суміші $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ в оптимізованому форматі, що передбачає підшкірне введення в малих об'ємах, демонструє виражений протизапальний і регенеративний ефект у моделях запалення та остеоартриту, зокрема через зниження рівнів $\text{TNF-}\alpha$, IL-6 і покращення морфології суглоба.

Запропонована терапевтична система $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$ характеризується доброю локальною переносимістю, відсутністю макроскопічних ушкоджень або побічних ефектів навіть за повторного застосування. Вона потенційно може поєднуватись із протизапальними засобами для посилення терапевтичної ефективності.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для подальших досліджень механізмів дії суміші $\text{CO}_2 + \text{NaHCO}_3$, оцінки тривалих ефектів, а також для її потенційної клінічної трансляції.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Перспективи подальших досліджень включають вивчення дозозалежності ефектів терапевтичної системи CO_2 і NaHCO_3 (об'єму, частоти, співвідношення газ/рідина), моніторинг локальних змін $\text{pO}_2/\text{pCO}_2/\text{pH}$ у тканинах, вивчення ролі VEGF, eNOS, $\text{TGF-}\beta$ та остеогенних маркерів, проведення токсикологічної оцінки безпеки, тестування впливу на культури клітин (ендотеліюцити, остеобласти, хондроцити) та перевірку ефективності в більших доклінічних моделях.

Інформація про фінансування. Автори заявляють про відсутність фінансової зацікавленості під час підготовки цієї статті. Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Штробля В. В. — концепція дослідження, експериментальна робота, статистичний аналіз, інтерпретація результатів, написання основного тексту статті; Луценко Р. В. — наукове керівництво, корекція дизайну дослідження, критичне редагування, узагальнення висновків.

Список літератури

1. Prazeres, J., Lima, A., & Ribeiro, G. (2025). Effects of carbon dioxide therapy on skin wound healing. *Biomedicines*, 13(1), 228. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13010228>
2. Kumabe, Y., Fukui, T., Takahara, S., Kuroiwa, Y., Arakura, M., Oe, K., Oda, T., Sawauchi, K., Matsushita, T., Matsumoto, T., Hayashi, S., Kuroda, R., & Niikura, T. (2020). Percutaneous CO_2 treatment accelerates bone generation during distraction osteogenesis in rabbits. *Clinical orthopaedics and related research*, 478(8), 1922–1935. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000001288>
3. Sawauchi, K., Fukui, T., Oe, K., Oda, T., Yoshikawa, R., Takase, K., Inoue, S., Nishida, R., Kuroda, R., & Niikura, T. (2024). Transcutaneous CO_2 application combined with low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone fracture healing in rats. *BMC Musculoskeletal disorders*, 25(1), 863. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07976-z>
4. Kuroiwa, Y., Fukui, T., Takahara, S., Lee, S. Y., Oe, K., Arakura, M., Kumabe, Y., Oda, T., Matsumoto, T., Matsushita, T., Akisue, T., Sakai, Y., Kuroda, R., & Niikura, T. (2019). Topical cutaneous application of CO_2 accelerates bone healing in a rat femoral defect model. *BMC Musculoskeletal disorders*, 20(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2601-5>
5. Oda, T., Iwakura, T., Fukui, T., Oe, K., Mifune, Y., Hayashi, S., Matsumoto, T., Matsushita, T., Kawamoto, T., Sakai, Y., Akisue, T., Kuroda, R., & Niikura, T. (2020). Effects of the duration of transcutaneous CO_2 application on the facilitatory effect in rat fracture repair. *Journal of orthopaedic science*, 25(5), 886–891. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.09.017>
6. Matsumoto, T., Tanaka, M., Ikeji, T., Maeshige, N., Sakai, Y., Akisue, T., Kondo, H., Ishihara, A., & Fujino, H. (2019). Application of transcutaneous carbon dioxide improves capillary regression of skeletal muscle in hyperglycemia. *Journal of physiological sciences*, 69(2), 317–326. <https://doi.org/10.1007/s12576-018-0648-y>
7. Bulum, T., Poljičanin, T., Badanjak, A., Držić, J., & Metelko, Ž. (2025). Effect of transcutaneous application of carbon dioxide on wound healing, wound recurrence rate and diabetic polyneuropathy in patients with neuropathic, ischemic and neuroischemic diabetes-related foot ulcers. *Life*, 15(4), 618. <https://doi.org/10.3390/life15040618>
8. Sakai, Y., Miwa, M., Oe, K., Ueha, T., Koh, A., Niikura, T., et al. (2011). A novel system for transcutaneous application of carbon dioxide causing an “artificial Bohr effect” in the human body. *PLoS one*, 6(9), e24137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024137>
9. Koga, T., Niikura, T., Lee, S. Y., Okumachi, E., Ueha, T., Iwakura, T., et al. (2014). Topical cutaneous CO_2 application by means of a novel hydrogel accelerates fracture repair in rats. *Journal of bone and joint surgery (American Volume)*, 96(24), 2077–2084. <https://doi.org/10.2106/JBJS.M.01498>
10. Niikura, T., Iwakura, T., Omori, T., Lee, S. Y., Sakai, Y., Akisue, T., Oe, K., Fukui, T., Matsushita, T., Matsumoto, T., & Kuroda, R. (2019). Topical cutaneous application of carbon dioxide via a hydrogel for improved fracture repair: Results of phase I clinical safety trial. *BMC Musculoskeletal disorders*, 20(1), 563. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2911-7>
11. Stefanov, O. V. (2001). Preclinical studies of medicinal products: methodological recommendations. Kyiv: Avicenna. (in Ukrainian)
12. Klimenko, N. A., Tatarko, S. V., Shevchenko, A. N., & Gubina-Vakulik, G. I. (2007). Justification of the model of chronic (secondary chronic) inflammation. *Eksperimental and Clinic Medicine*, 2, 24–28. (in Ukrainian)
13. Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinar medicine*, 58(4), 187–205. (in Ukrainian)
14. Udo, M., Muneta, T., Tsuji, K., Ozeki, N., Nakagawa, Y., Ohara, T., Saito, R., Yanagisawa, K., & Sekiya, I. (2016). Monoiodoacetic acid induces cartilage degeneration and synovitis in rats in a dose- and time- dependent Manner. *Osteoarthritis and cartilage*, 24, S405–S406. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.01.733>
15. Riewruja, K., Makarczyk, M., Alexander, P. G., Gao, Q., Goodman, S. B., Bunnell, B. A., Gold, M. S., & Lin, H. (2022). Experimental models to study osteoarthritis pain and develop therapeutics. *Osteoarthritis and cartilage open*, 4(4), 100306. <https://doi.org/10.1016/j.ocarto.2022.100306>
16. Raymundo, E. C., Hochman, B., Nishioka, M. A., Gonçalves de Freitas, J. O., Maximino, J. R., Chadi, G., & Ferreira, L. M. (2014). Effects of subcutaneous carbon dioxide on calcitonin gene-related peptide and substance P secretion in rat skin. *Acta Cirurgica Brasileira*, 29(4), 224–230. <https://doi.org/10.1590/S0102-86502014000400002>
17. Brandi, C., Grimaldi, L., Nisi, G., Brafa, A., Campa, A., Calabrò, M., Campana, M., & D'Aniello, C. (2010). The role of carbon dioxide therapy in the treatment of chronic wounds. *In vivo*, 24(2), 223–226.
18. Macura, M., Ban Frangez, H., Cankar, K., Finžgar, M., &

- Franguez, I. (2020). The effect of transcutaneous application of gaseous CO₂ on diabetic chronic wound healing-A double-blind randomized clinical trial. *International wound journal*, 17(6), 1607–1614. <https://doi.org/10.1111/iwj.13436>
19. Takano, K., Kasamatsu, S., Aoki, M., & Takahashi, Y. (2023).

Reduction of extracellular pH induced by carbon dioxide enhances extracellular matrix production via CREB-dependent upregulation of TGF- β 1 in human dermal fibroblasts. *Experimental dermatology*, 32(10), 1651–1662. <https://doi.org/10.1111/exd.14867>

Стаття надійшла до редакції 25.10.2025	Отримано після рецензування 15.11.2025	Прийнято до друку 27.11.2025
---	---	---------------------------------

DETERMINATION OF THE SAFETY AND EFFECTIVENESS OF CARBOXYTHERAPY IN IN VIVO MODELS OF OSTEOARTHRITIS AND TENDON INFLAMMATION

V. V. Shtroblia ¹, R. V. Lutsenko ²

¹ Uzhhorod National University. Ukraine

² Poltava State Medical University. Ukraine

✉ Viktor Shtroblia, MD: viktor.shtroblia@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-3299-4329>

✉ Ruslan Lutsenko, MD, DMSci, Prof.: farmaluru@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0277-0458>

УДК 616-089.811(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720254115-124>

Дослідження ефективності використання джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет»

І. Ф. Федотова¹, О. Д. Карпінська¹, М. В. Лизогуб¹,
О. А. Тяжелов¹, І. В. Корж¹, О. П. Козлов²

¹ ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

² Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна

The experience of combat medics in the conditions of full-scale Russian aggression against Ukraine has demonstrated a huge amount of massive bleeding in the event of combat trauma. The operation of tourniquets is a fundamental element of modern tactical medicine. Objective. To assess the effectiveness of the tourniquet for stopping bleeding «SICH-Tourniquet» and to build a mathematical model that would allow predicting the pressure under the tourniquet based on individual anthropometric and hemodynamic parameters of a person. Materials. The study involved 130 volunteers aged 10 to 73 years, including 20 children. The gender distribution was as follows: 55 (42.3 %) men and 55 (42.3 %) women, as well as 20 children (10–17 years; 7 girls, 13 boys) Results. Observation included measurement of hemodynamic parameters, assessment of application time, pain syndrome, capillary test, effectiveness of dry and wet tourniquet, as well as durability during repeated use. It was found that the tourniquet provides complete occlusion of arterial blood flow in both the upper and lower extremities, without significant difference from its position. Correlation and regression analysis allowed us to identify key factors that influence effective compression pressure. For the upper extremities, the following statistically significant predictors were: gender, arm circumference, and body mass index. For the lower extremities, the following had the greatest influence: age, hip circumference, and diastolic pressure. Conclusions. Simplified models suitable for predicting pressure in field conditions were created. «SICH-Tourniquet» demonstrated high efficiency, reliability and safety, particularly in the pediatric group. The resulting mathematical models can be used to optimize individual compression selection in tactical and emergency medical care. Keywords. Tourniquet, bleeding control, mathematical model, tourniquet.

Досвід бойових медиків в умовах повномасштабної агресії росії проти України продемонстрував величезну кількість масивних кровотеч у разі бойової травми. Експлуатація турнікетів є основоположним елементом сучасної тактичної медицини. Мета. Оцінити ефективність джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» та побудувати математичну модель, яка дозволяла би прогнозувати тиск під турнікетом на основі індивідуальних антропометричних і гемодинамічних параметрів людини. Методи. У дослідженні взяли участь 130 добровольців віком від 10 до 73 років, включаючи 20 дітей. За гендерним типом розподіл виглядав таким чином: 55 (42,3 %) чоловіків та 55 (42,3 %) жінок, а також 20 дітей віком (10–17 років; 7 дівчаток, 13 хлопчиків). Результати. Спостереження включало вимірювання гемодинамічних показників, оцінювання часу накладання, больового синдрому, капілярного тесту, ефективності сухого та мокрого турнікета, а також довговічності за багаторазового використання. Виявлено, що турнікет забезпечує повну оклюзію артеріального кровотоку як на верхній, так і на нижній кінцівці, без значущої різниці від її положення. Кореляційний та регресійний аналіз дозволив визначити ключові чинники, які впливають на ефективний компресійний тиск. Для верхньої кінцівки статистично значущими предикторами стали: стать, окружність руки й індекс маси тіла. Для нижньої кінцівки найбільший вплив мали: вік, окружність стегна та діастолічний тиск. Висновки. Створені спрощені моделі придатні для прогнозування тиску в польових умовах. «СІЧ-Турнікет» продемонстрував високу ефективність, надійність і безпеку, зокрема у педіатричній групі. Отримані математичні моделі можуть бути використані для оптимізації індивідуального вибору компресії в разі тактичної та екстреної медичної допомоги.

Ключові слова. Джгут, зупинка кровотечі, математична модель, турнікет

Вступ

Досвід бойових медиків в умовах повномасштабної агресії росії проти України продемонстрував величезну кількість масивних кровотеч у разі бойової травми. Поранення кінцівок, тулуба або судин шиї можуть призвести до критичної втрати крові за лічені хвилини, і саме тому своєчасна реакція є ключовою. У багатьох випадках навіть найкраща медична допомога буде безсилою, якщо кровотечу не зупинити негайно на місці події.

За механізмом дії розрізняють пневматичні (з газовою подушкою) та непневматичні (механічні/стрічкові) турнікети [1]. Турнікети за класифікацією FDA належать до класу I, як пневматичні (21 CFR 878.5910), так і непневматичні (21 CFR 878.5900). До сучасних механічних турнікетів належать, зокрема, Combat Application Tourniquet (CAT) та його вітчизняний аналог — джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет», який широко використовується в екстрених умовах бойових дій і надзвичайних ситуацій.

Експлуатація турнікетів є основоположним елементом сучасної тактичної медицини. У протоколі Tactical Combat Casualty Care (TCCC) першим критично важливим етапом є контроль масивної кровотечі, що відповідає принципам алгоритму MARCH (Massive hemorrhage, Airway, Respiration, Circulation, Hypothermia), який широко застосовується для структурування пріоритетів надання допомоги пораненим у тактичних умовах [2].

Класичні роботи з аналізу бойової летальності (зокрема R. F. Bellamy) зазначили провідну роль геморагії на полі бою, підкресливши важливість своєчасного застосування турнікетів для контролю масивних кровотеч [3]. З огляду на це, сучасна військова медицина приділяє велику увагу тактичній допомозі за масивних кровотеч.

Мета: оцінити ефективність джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» та побудувати математичну модель, яка дозволяла би прогнозувати тиск під турнікетом на основі індивідуальних параметрів людини (зокрема, антропометричних показників, артеріального тиску, віку та статі).

Матеріали і методи

У дослідженні взяли участь 130 добровольців віком від 10 до 73 років, які були госпіталізовані чи отримували амбулаторну допомогу в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у період із лютого по травень 2025 року та які не мали гострої соматичної патології. Методичний су-

провід виконувався співробітниками медичного факультету Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна.

За гендерним типом розподіл виглядав таким чином: 55 (42,3 %) чоловіків і 55 (42,3 %) жінок, а також 20 дітей (10–17 років; 7 дівчаток, 13 хлопчиків), які надали інформовану згоду на участь та були застраховані Українською страховою компанією «ВЕЛТА» (вул. Ломоносова 4, оф. 46. Київ, Україна за договором страхування № 03KB/25 від 06/02/2025). Роботу виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я, усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень (протокол № 249 від 21.02.2025 ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»). Для моделювання накладення турнікета використовували джгути для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет», надані спонсором дослідження — товариством з обмеженою відповідальністю «СІЧ-УКРАЇНА».

Перед проведенням експерименту кожного учасника проінструктовано й одноразово було продемонстровано техніку накладання турнікета. Учасник виконував первинне щільне затягнення стрічки вручну за вільний її край, а далі компресію за допомогою воротка виробу й утримував турнікет у такому положенні 100 секунд.

Досліджування ефективності турнікета перевіряли встановлюючи джгут послідовно на середину плеча (верхня кінцівка — ВК) та середину стегна (нижня кінцівка — НК). Одна й та сама особа виконувала всі вимірювання. Припинення кровотоку фіксувалося однією людиною за допомогою доплерографії на апараті «GE Healthcare Logiq P9 XD clear». Протягом цього етапу використовували два окремі турнікети: один накладається на середину плеча, другий на середину стегна. На середину плеча джгут накладався двічі: на руку у випрямленому положенні та на руку, зігнуту в ліктьовому суглобі під кутом 90°. На середину стегна турнікет також накладався двічі: на ногу у випрямленому положенні та на ногу, зігнуту в колінному суглобі під кутом 90°.

Наступним етапом дослідження було застосування вологого турнікету. Перед використанням його опускали у воду на 10 хв, після чого наклали послідовно на руку та ногу у випрямленому положенні. Припинення кровотоку також фіксували за допомогою доплерографії. Із метою визначення надійності та довговічності турнікета за умов багаторазового застосування кожному

учаснику на середину плеча накладався джгут, один і той самий. Останнім етапом було самостійне використання турнікета та проведення вищезазначених дій. Період між накладаннями був не меншим за 5 хвилин.

Протягом спостереження було зібрано такі параметри:

- антропометричні: вік, стать, індекс маси тіла (ІМТ), величина окружності верхньої та нижньої кінцівок;

- гемодинамічні: систолічний та діастолічний артеріальний тиск (САТ, ДАТ), частота серцевих скорочень (ЧСС). Вимірювання тиску проводили автоматичним тонометром PARAMED Flagman з точністю вимірювання ± 3 мм рт. ст.

- гемодинамічні локальні: швидкість кровотоку до компресії в плечовій артерії, підколінній артерії (*a. poplitea*) та задній великогомілкової артерії (*a. tibialis posterior*), тиск у тонометрі та під манжетом турнікета (датчиком);

- показники механічного впливу: кількість обертів стрижня турнікета до повного припинення кровотоку;

- фізіологічні реакції: час капілярного наповнення (капілярний тест);

- суб'єктивна оцінка: показник болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) та рівень комфорту під час процедури.

Після попередньої обробки даних виконано описову статистику, перевірку кореляцій та побудовано регресійну модель прогнозування тиску під турнікетом. Статистичний аналіз проведено з використанням ліцензованого програм-

ного забезпечення SPSS 26 (Statistical Package for the Social Sciences) та R.

Дослідження проводилося в приміщеннях ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» в стандартних для медичних закладів умовах із контрольованими параметрами мікроклімату (температура $20\text{--}24^\circ\text{C}$, вологість $40\text{--}60\%$), що відповідає вимогам до проведення клінічних випробувань.

Результати

Після проведення збору даних визначено загальні показники функціонального стану учасників дослідження (табл. 1).

Середній вік становив $(46,0 \pm 18,9)$ років, жінки були значущо ($p < 0,001$) старшими $52,4 \pm 18,4$, ніж чоловіки $(37,7 \pm 15,5)$ роки. Середній ІМТ — $28,2 \pm 7,4$ зі статистично значущим ($p < 0,001$) переважанням у жінок.

Окружність верхньої кінцівки в середньому склала $(31,8 \pm 6,0)$ мм без помітної різниці між статтю ($p = 0,958$). Цей показник нижньої кінцівки був суттєво ($p = 0,039$) більший у жінок $52,8 \pm 9,3$, ніж у чоловіків $(49,6 \pm 7,8)$ мм. У жінок визначено суттєво ($p = 0,001$) більший систолічний тиск $(129,5 \pm 17,7)$ мм рт. ст. ніж у чоловіків $119,3 \pm 17,5$. Різниці в ДАТ і ЧСС не виявлено.

САТ становив $(125,0 \pm 18,3)$ мм рт. ст., ДАТ — $(79,5 \pm 10,9)$ мм рт. ст., ЧСС — $(79,9 \pm 13,2)$ уд./хв.

Показники гемодинаміки артеріального кровотоку пацієнтів до накладання турнікета наведено в табл. 2.

Під час аналізу не було виявлено різниці гемодинамічних показників артеріального

Таблиця 1

Загальні показники учасників дослідження

Показник	Група дослідження	Стать		
		чоловіча (n = 57)	жіноча (n = 73)	різниця (t, p, 95 % CI)
Вік	$46,0 \pm 18,6$ $10,0 \div 75,0$	$37,7 \pm 15,5$ $10,0 \div 67,0$	$52,4 \pm 18,4$ $13,0 \div 75,0$	$t = -4,834$; $p < 0,001$ [−20,7; 8,7]
ІМТ	$28,2 \pm 7,4$ $12,4 \div 46,6$	$25,6 \pm 6,4$ $12,4 \div 45,8$	$30,2 \pm 7,5$ $18,0 \div 46,6$	$t = -3,670$; $p < 0,001$ [−7,0; −2,1]
Величина окружності ВК	$31,8 \pm 6,0$ $15,7 \div 50,0$	$31,7 \pm 6,3$ $15,7 \div 50,0$	$31,8 \pm 5,8$ $22,5 \div 45,0$	$t = -0,053$; $p = 0,958$ [−2,2; 2,0]
Величина окружності НК	$51,4 \pm 8,8$ $28,5 \div 89,0$	$49,6 \pm 7,8$ $28,5 \div 68,0$	$52,8 \pm 9,3$ $38,0 \div 89,0$	$t = -2,090$; $p = 0,039$ [−6,2; −0,2]
САТ	$125,0 \pm 18,3$ $90,0 \div 170,0$	$119,3 \pm 17,5$ $90,0 \div 160,0$	$129,5 \pm 17,7$ $90,0 \div 170,0$	$t = -3,264$; $p = 0,001$ [−16,3; −4,0]
ДАТ	$79,5 \pm 10,9$ $58,0 \div 110,0$	$77,5 \pm 11,5$ $60,0 \div 110,0$	$81,0 \pm 10,3$ $58,0 \div 100,0$	$t = -1,846$; $p = 0,067$ [−7,3; 0,3]
ЧСС	$79,9 \pm 13,2$ $54,0 \div 138,0$	$81,2 \pm 14,1$ $60,0 \div 138,0$	$78,8 \pm 12,4$ $54,0 \div 110,0$	$t = 1,013$; $p = 0,313$ [−2,3; 7,0]

кровотоку в усіх пацієнтів, крім даних *a. tibialis posterior*, де швидкість кровотоку в чоловіків ($50,3 \pm 3,3$) см/с була значущо ($p = 0,045$) вище, ніж у жінок ($48,6 \pm 5,7$) см/с. Хоча зазначимо, інтервал розбіжності значень швидкості кровотоку *a. tibialis posterior* у чоловіків входив у межі інтервалу в жінок, що може свідчити про випадковість статистичної значущості.

Час накладання турнікета після навчання досліджуваних у середньому становив ($26,3 \pm 9,8$) с в інтервалі від 10 до 88 с.

Для забезпечення оклюзії необхідно було виконати ($2,0 \pm 0,3$) оберти для накладання сухого турнікета і $2,3 \pm 0,5$ мокро, що виявилось більше статистично значущо ($t = -7,433$; $p < 0,001$).

Не зафіксовано зв'язку між окружністю кінцівки (руки) і часом накладання турнікета ($r = -0,133$; $p = 0,132$).

Накладання турнікета на руку чи ногу у випрямленому положенні та в разі згинання суглоба під кутом 90° не показало статистично значущих геодинамічних відмінностей залежно від положення кінцівки.

Одним із показників якості джгутів є ступінь больового синдрому викликаного стисненням кінцівки, а також капілярний індекс (табл. 3).

Виявлено доволі значну розбіжність оцінювання больового синдрому під час накладання турнікета — від 3 (слабкий) до 10 балів (нестерпний), у середньому оцінка становила ($6,2 \pm 1,7$) балів, тобто було визначено, як біль середньої інтенсивності. Оцінка комфорту досліджуваних доволі висока — ($4,9 \pm 0,3$) бали. Капілярний тест також був варіабельним — від 3 до 8 с, що могло залежати від стану судинної стінки досліджуваних параметрів крові.

Вивчення надійності та довговічності турнікета за багаторазового застосування показало, що один і той самий джгут, накладений послідовно

на всіх учасників, не втрачав функціональності та надійності фіксації.

Окремо проведений експеримент із мокрим турнікетом — його занурювали у воду, після чого накладали стандартним способом і спостерігали протягом 30 с. Виявлено, що досягнуто всіх фізіологічних показників оклюзії, ефективність використання залишилася на рівні сухого джгута.

У дослідженні брали участь представники різних вікових груп, включно з неповнолітніми (діти віком 10–17 років). Жодної побічної реакції, пов'язаної з використанням турнікета відмічено не було. Це дає підстави вважати його безпечним та ефективним для застосування в педіатричній практиці.

Шкірних уражень після використання турнікета в жодному випадку не спостерігалось.

Для прогнозування тиску під турнікетом на основі індивідуальних параметрів людини побудовано математичну модель. На першому етапі дослідження для побудови прогностичного зразка використовували метричні дані віку та ІМТ для більш точної оцінки.

Визначення ефективності накладання турнікета на верхню кінцівку

Як зазначено, основа ефективності турнікета полягає в забезпеченні необхідного тиску під манжетю. Для виявлення які показники впливають на величину тиску проведено кореляційний аналіз за Пірсоном. Результати наведено в таблиці 4.

Встановлено, що величина окружності верхньої кінцівки та ІМТ є найбільш інформативними змінними. Швидкість кровотоку плечової артерії має слабкий негативний зв'язок, але для його перевірки було вирішено залучити цей показник до регресійної моделі. Тиск манжети тонометра має майже лінійний зв'язок із залежною змінною, тому буде вилучений з подальшого аналізу.

Таблиця 2

Гемодинамічні параметр кровотоку в артеріях верхньої та нижньої кінцівок до накладання турнікета

Показник швидкості кровотоку, см/с	Група дослідження	Стать		
		чоловіча (n = 57)	жіноча (n = 73)	різниця (t, p, 95 % CI)
Плечова артерія	$68,7 \pm 6,5$ $52,5 \div 78,9$	$69,6 \pm 6,0$ $55,3 \div 78,9$	$68,0 \pm 6,7$ $52,5 \div 78,9$	$t = 1,415$; $p = 0,160$ [-0,6; 3,9]
Стегнова артерія	$85,6 \pm 6,2$ $70,5 \div 100,0$	$85,7 \pm 5,9$ $75,3 \div 100,0$	$85,5 \pm 6,5$ $70,5 \div 98,8$	$t = ,218$; $p = 0,828$ [-1,9; 2,4]
<i>a. poplitea</i>	$69,0 \pm 4,6$ $55,0 \div 79,5$	$69,2 \pm 5,0$ $55,0 \div 75,6$	$68,8 \pm 4,4$ $55,7 \div 79,5$	$t = ,519$; $p = 0,605$ [-1,2; 2,1]
<i>a. tibialis posterior</i>	$49,3 \pm 4,8$ $30,0 \div 57,0$	$50,3 \pm 3,3$ $43,0 \div 55,0$	$48,6 \pm 5,7$ $30,0 \div 57,0$	$t = 2,021$; $p = 0,045$ [0,0; 3,4]

Крім означених даних до регресійної моделі було включено показник «Стать».

За даними регресійного аналізу оцінювання якості моделі доведено, що вона пояснює 36 % варіації тиску під манжетю ($R^2 = 0,360$), що є помірним рівнем для клінічних досліджень. Модель статистично значуща $F = 8,494$, $p < 0,001$. Предиктори подано в табл. 5.

Побудована регресійна модель виявила статистично значущий вплив статі, величини окружності верхньої кінцівки та ІМТ на рівень тиску під турнікетом. Найбільш виражений ефект спостерігався за окружності верхньої кінцівки ($\beta = 0,304$; $p = 0,009$) та статі ($\beta = -0,223$; $p = 0,013$).

Таблиця 3

Оцінювання комфортності та безпеки турнікета

Показник	Значення
ВАШ, бал	$6,2 \pm 1,7$ $3 \div 10$
Капілярний тест, с	$4,9 \pm 1,0$ $3 \div 8$
Оцінка комфорту, бал	$4,9 \pm 0,3$ $4 \div 5$

Спрощену модель можна отримати, вилучивши незначущі предиктори (табл. 6).

У спрощеній регресійній моделі, побудованій для прогнозування тиску під турнікетом, статистично значущими предикторами виступили стать ($\beta = -0,196$; $p = 0,018$), величина окружності верхньої кінцівки ($\beta = 0,295$; $p = 0,009$) та ІМТ ($\beta = 0,303$; $p = 0,012$). Частота серцевих скорочень продемонструвала тенденцію до впливу ($p = 0,072$), проте не досягла рівня статистичної значущості. Модель є статистично значущою ($F = 16,705$; $p = 0,001$) та пояснює 34,8 % варіації рівня тиску під турнікетом, що підтверджує її придатність для практичного застосування з метою індивідуалізованого контролю компресійного навантаження.

Рівняння прогнозу має вигляд:

$$\text{Тиск} = 34,05 - 0,910 \cdot \text{Стать} + 0,114 \cdot \text{величина окружності}_{\text{ВК}} + 0,095 \cdot \text{ІМТ} + 0,024 \cdot \text{ЧСС. (1)}$$

Результат роботи прогностичного рівняння подано графічно (рис. 1).

На графіку співвідношення прогнозованих і реальних значень тиску під турнікетом

Таблиця 4

Результат кореляційного аналізу зв'язку тиску під манжетю турнікета з іншими параметрами пацієнта

Параметр	r	p-value	Інтерпретація
Вік	0,248	0,004	Помірна позитивна кореляція, значуща
Величина окружності ВК	0,518	0,001	Сильна позитивна кореляція, дуже значуща
ІМТ	0,476	0,001	Середня позитивна, суттєва
САТ	0,323	0,000	Помірна позитивна
ДАТ	0,280	0,001	Помірна позитивна
ЧСС	0,214	0,015	Слабка, але значуща
Швидкість кровотоку плечової артерії	-0,212	0,016	Слабка негативна
Тиск манжети тонометра	0,941	0,001	Дуже сильна кореляція (лінійна, пов'язана)

Таблиця 5

Значущість та оцінювання предикторів регресійної моделі

Елементи регресійної моделі	B	β	t	p-value	Інтерпретація
(Constant)	33,449	—	—	—	—
Стать	-1,034	-0,223	-2,527	0,013	Жінки мали нижчий тиск, на ≈ 1 мм рт. ст.
Вік	0,001	0,012	0,100	0,920	—
Величина окружності ВК	0,118	0,304	2,648	0,009	Зі збільшенням величини окружності верхньої кінцівки зростає необхідний тиск турнікета
ІМТ	0,081	0,258	1,970	0,051	Близький до значущості
САТ	0,033	0,258	1,420	0,158	—
ДАТ	-0,044	-0,207	-1,236	0,219	—
ЧСС	0,024	0,135	1,766	0,080	Близький до значущості
Швидкість кровотоку плечової артерії	0,006	0,017	0,196	0,845	—

Таблиця 6

Елементи спрощеної регресійної моделі

Предиктор	B	β	t	p-value	Інтерпретація
Constant	34,050	—	22,002	0,000	—
Стать	-0,910	-0,196	-2,397	0,018	У жінок тиск у середньому нижчий на ~0,9 мм рт. ст.
Величина окружності ВК	0,114	0,295	2,637	0,009	Збільшення обхвату на 1 см → тиск +0,11 мм рт. ст.
ІМТ	0,095	0,303	2,536	0,012	Вищий ІМТ → більший тиск (на ~0,1 мм на 1 кг/м²)
ЧСС	0,024	0,136	1,815	0,072	На межі значущості, може впливати

Таблиця 7

Результат кореляції предикторів на тиск турнікета, накладеного на нижню кінцівку

Предиктор	r	p-value	Інтерпретація
Стать	-0,022	0,801	—
Вік	0,549	0,001	Середня позитивна кореляція, зростає з віком
Величина окружності НК	0,517	0,001	Середня позитивна кореляція з окружністю нижньої кінцівки
ІМТ	0,500	0,001	Помірна позитивна кореляція з ІМТ
САТ	0,416	0,001	Помірна позитивна кореляція зі САТ
ДАТ	0,453	0,001	Помірна позитивна кореляція з ДАТ
ЧСС	0,106	0,232	Слабка кореляція з ЧСС
Швидкість кровотоку артерій: – стегнової; – підколінної – задньої великогомілкової	0,155 0,060 0,119	0,079 0,496 0,178	Дуже слабка кореляція зі швидкістю кровотоку артерій
Тиск НК	0,990	—	Лінійна залежність, явна наявність кореляції

(рис. 1, а) точки згруповані вздовж діагоналі, що вказує на високу узгодженість моделі з емпіричними даними. Відхилення від ідеальної лінії ($y = x$) є незначними, без систематичного зміщення, що підтверджує високу якість передбачення. Візуальна оцінка графіка залишків (рис. 1, б) не виявила структурних закономірностей. Розбіжність залишків навколо нуля є випадковою, що підтверджує коректність специфікації моделі та відсутність серйозних відхилень від припущення нормальності похибок.

ІМТ продемонстрував високу позитивну кореляцію з величиною окружності верхньої кінцівки ($r = 0,721$; $p < 0,001$), що вказує на тісний зв'язок між загальною масо-ростовою характеристикою та локальним анатомічним параметром. Через це величина окружності руки може розглядатися як практичний орієнтир для визначення індивідуального достатнього рівня компресійного тиску.

Оцінювання ефективності накладання турнікета на нижню кінцівку

Як контроль тиску використовували наявність кровотоку на стегновій, підколінній та задній великогомілковій артеріях. Предиктори впливу наведено в табл. 7.

За результатами парного кореляційного аналізу встановлено, що тиск під турнікетом на нижній кінцівці достовірно корелює з віком ($r = 0,549$; $p < 0,001$), окружністю нижньої кінцівки ($r = 0,517$; $p < 0,001$), ІМТ ($r = 0,500$; $p < 0,001$), САТ ($r = 0,416$; $p < 0,001$) та ДАТ ($r = 0,453$; $p < 0,001$). Найвищий рівень кореляції зафіксовано з тиском у тонометрі ($r = 0,990$), що свідчить про майже повний збіг результатів тонометрії з показниками, зареєстрованими під манжетом.

Інші предиктори, зокрема стать, частота серцевих скорочень і швидкість кровотоку в магістральних судинах (*poplitea, tibialis posterior*), не продемонстрували статистично значущого зв'язку з компресійним тиском. Повна регресійна модель, яка враховує всі значущі предиктори, наведена в табл. 8.

Моделі статистично значуща ($F = 19,463$; $p < 0,001$) і пояснює 44,0 % варіації тиску, вимірюваного датчиком на нижній кінцівці ($R^2 = 0,440$). Стандартизовані коефіцієнти показують, що найбільший вплив на модель мають вік ($\beta = 0,398$), величина окружності нижньої кінцівки ($\beta = 0,343$) та ДАТ ($\beta = 0,314$).

Таблиця 8

Повна регресійна модель

Предиктор	B	β	t	p-value	Інтерпретація
(Constant)	33,395		17,892	0,001	—
Вік	0,062	0,398	3,948	0,001	Зі збільшенням віку, зростає величина ефективного тиску
Величина окружності НК	0,114	0,343	3,769	0,000	Більша довжина окружності НК асоціюється з підвищенням показника
IMT	0,020	0,052	0,470	0,639	Не значущі показники
CAT	-0,047	-0,298	-1,834	0,069	
ДАТ	0,083	0,314	2,107	0,037	Вища величина ДАТ також пов'язана з підвищенням результату

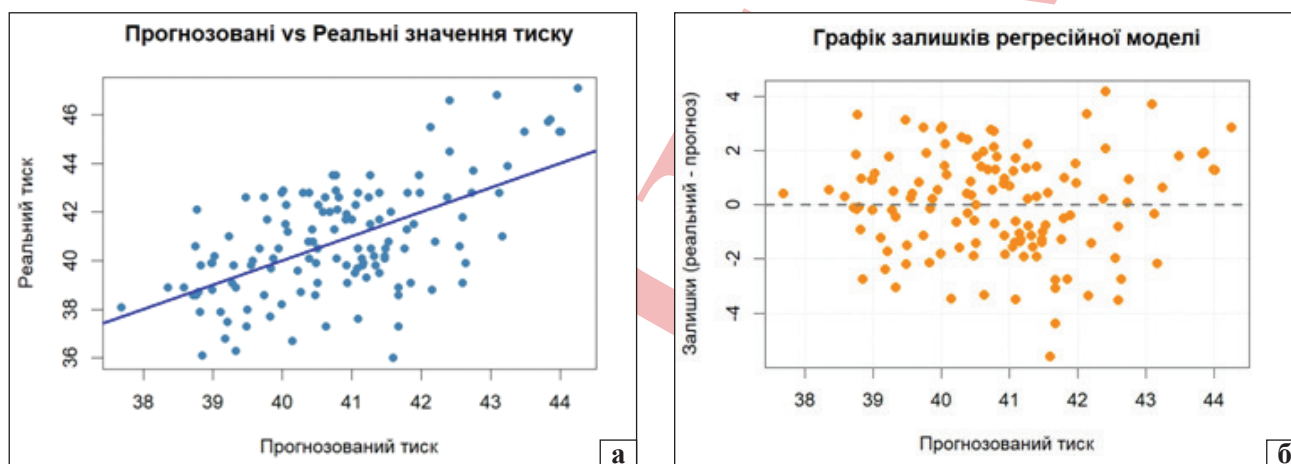


Рис. 1. Графічне подання роботи результатів регресійного рівняння: а) розподіл реального тиску під манжетою відносно лінії прогнозу; б) оцінювання залишків регресійного рівняння

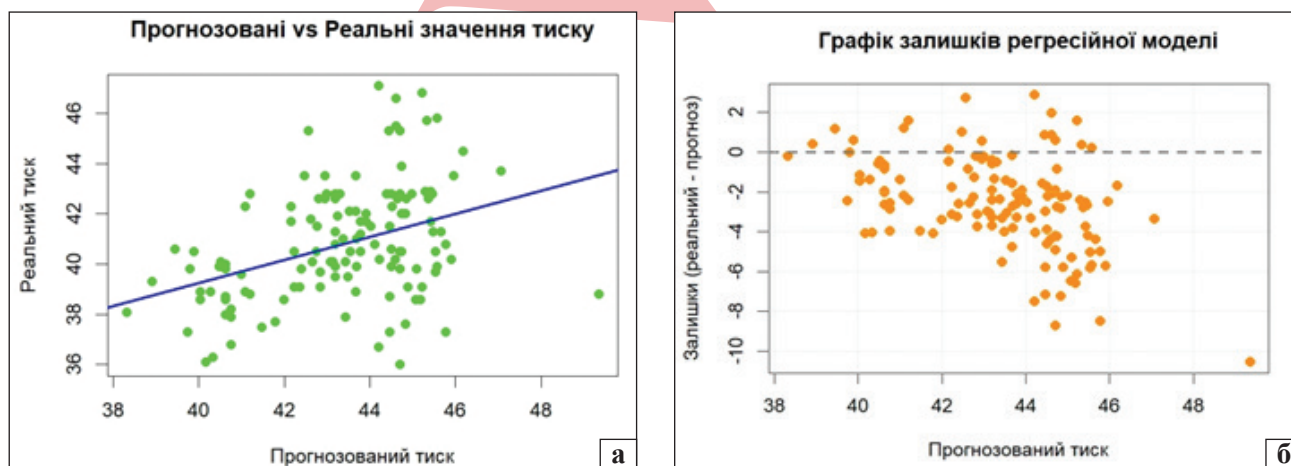


Рис. 2. Графічне подання роботи результатів регресійного рівняння: а) розподіл реального тиску під манжетою відносно лінії прогнозу; б) оцінювання залишків регресійного рівняння

З огляду на високий рівень кореляції між віком і артеріальним тиском ($r \approx 0,7$), було вирішено, що доцільним є використання порядкового вікового індексу як інтегрального предиктора, що враховує вікові зміни судинної реактивності. У спрощеній регресійній моделі, яка включала лише віковий код і окружність нижньої кінцівки,

коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,44$, що підтверджує достатню прогностичну здатність для практичного застосування. Для спрощення моделі було введено кодування віку за таким принципом:

1) 10–18; 2) 19–35; 3) 36–60; 4) 61+.

Наводимо таблицю предикторів спрощеної прогностичної моделі (табл. 9).

Отже, регресійне рівняння для рівня тиску на нижню кінцівку має вигляд

$$\text{Тиск} = 33.626 + 0.119 \cdot \text{величина окружності нижньої кінцівки} + 1.278 \cdot \text{КодВіку.} \quad (2)$$

Графічне подання результатів регресійного рівняння показано на рис. 2.

На графіку співвідношення прогнозованих і реальних значень тиску під турнікетом (рис. 2, а) точки згруповані вздовж діагоналі, що вказує на високу узгодженість моделі з емпіричними даними. Відхилення від ідеальної лінії ($y = x$) є незначними, без систематичного зміщення, що підтверджує високу якість передбачення. Графік залишків (рис. 2, б) показав загалом рівномірний розподіл навколо осі нуля, проте з переважанням від'ємних залишкових значень. Така асиметрія свідчить про тенденцію моделі дещо переоцінювати прогнозовані значення в більшості випадків. Незважаючи на це, явних ознак нелінійності чи гетероскедастичності не виявлено.

Одним із показників якості турнікетів, як ми вказували вище, є ступінь больового синдрому викликаного стисненням кінцівки, а також капілярний індекс. Тому для оцінки даних було проведено кореляційний аналіз між рівнем болю за ВАШ, капілярним тестом і тиском під манжету турнікета та довжиною окружності кінцівки (табл. 10).

Отримані результати кореляційного аналізу свідчать про наявність статистично значущого, але помірного негативного зв'язку між тиском під

манжетою та суб'єктивною оцінкою болю за шкалою ВАШ, як на верхній ($r = -0,297$; $p = 0,001$), так і на нижній кінцівці ($r = -0,335$; $p < 0,001$). Отже зазначимо, що зі зростанням компресійного тиску збільшується інтенсивність больового відчуття.

Подібна тенденція спостерігалася також щодо окружності верхньої кінцівки: особи з меншою величиною окружності мали вищий рівень дискомфорту ($r = -0,287$; $p = 0,001$), що підтверджує доцільність індивідуалізації компресії залежно від антропометричних особливостей.

Щодо капілярної реакції: значущий позитивний зв'язок виявлено лише з тиском під турнікетом на нижній кінцівці ($r = 0,234$; $p = 0,007$), що може вказувати на погіршення мікроциркуляції за підвищеної компресії. Водночас для інших змінних достовірного зв'язку з капілярною реакцією не встановлено.

Обговорення

Відповідно до аналізу бойових летальних випадків, раннє застосування турнікетів критично важливе для виживаності в разі тяжких травм кінцівок. За комплексним аналізом 4 596 бойових летальних випадків за 2001–2011 р., проведеним В. J. Eastridge та співавт., серед потенційно виживаних смертей, домінувала геморагія (90,9 %); летальна кровотеча локалізувалася переважно в ділянці тулуба (67,3 %), далі — у з'єднувальних ділянках (19,2 %) та кінцівках (13,5 %) [4]. На рівні системи використання турнікетів, передгоспітальна трансфузія та скорочення часу транспорту асоціювалися з 44,2 % від загальної частки смертей, яким запобігли, у період 2001–2017 р. [5].

Таблиця 9

Спрощена регресійна модель прогнозу тиску під манжетою турнікета на нижній кінцівці

	B	β	t	p-value
(Constant)	33,626	—	29,008	0,001
Величина окружності НК	0,119	0,359	5,062	0,001
Вік код	1,278	0,444	6,259	0,001

Таблиця 10

Результат кореляційного аналізу зв'язку рівня болю за ВАШ, капілярним тестом з довжина окружності кінцівки та тиском під манжетою турнікета

Предиктор	ВАШ		Капілярний тест	
	r	p-value	r	p-value
Тиск під манжетою турнікета на ВК	-0,297	0,001	0,051	0,563
Величина окружності ВК	-0,287	0,001	0,234	0,007
Тиск під манжетою турнікету на НК	-0,335	0,000	0,234	0,007
Величина окружності НК	-0,021	0,813	0,115	0,194

Комітет із тактичної допомоги бойовим пораненим (CoTCCC) рекомендує турнікети як ефективний засіб для контролю кровотечі з кінцівок у межах протоколів тактичної медицини [6].

Проте слід зазначити, що ненадійне накладання або неправильна заміна турнікета в бойових умовах може призвести до повторної кровотечі, що є потенційно смертельним без належного контролю та навчання персоналу [7].

Також важливо зазначити, що це дослідження охопило осіб віком від 10 до 75 років, включаючи підлітків (10–17), що дає підстави говорити про ефективність виробу в педіатричній практиці. Сучасні принципи застосування турнікетів підкреслюють важливість їхнього тестування в різних популяціях, включаючи педіатричних пацієнтів. Дослідження показують ефективність турнікетів у широкому віковому діапазоні, що потребує врахування анатомічних особливостей для розробки й оцінки нових моделей турнікетів. У педіатрії позиційна заява Pediatric Trauma Society підтримує застосування турнікетів за життєвими показами; метааналіз цивільних даних показує зниження смертності ($OR \approx 0,48$) без підвищення ризику ампутацій чи компартмент-синдрому. [8].

Проведене додаткове дослідження, у якому один і той самий джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» накладався 130 особам поспіль, продемонструвало високу зносостійкість конструкції без втрати ефективності або механічного ушкодження, що підтверджує придатність виробу для масового застосування в бойових умовах або надзвичайних ситуаціях.

Згідно з даними когортних досліджень [9], а також систематичного огляду та метааналізу, користь турнікетів перевищує можливі ризики: хоча зафіксовано окремі випадки ушкодження нервів чи ішемії тканин, частота серйозних негативних наслідків є низькою, особливо як порівняти з урятованими життями. Зокрема, метааналіз застосування турнікетів у цивільних пацієнтів із травматичними ураженнями судин кінцівок довів, що його накладання на догоспітальному етапі майже вдвічі знижує ризик смерті від травматичної кровотечі ($OR = 0,48$; 95 % ДІ 0,27–0,86), водночас не підвищує ризику ампутації кінцівок ($OR = 0,85$; 95 % ДІ 0,43–1,68) або розвитку компартмент-синдрому ($OR = 0,94$; 95 % ДІ 0,37–2,35) [10]. При цьому слід зазначити, що згідно з оцінкою за методологією GRADE, якість доказів була оцінена як «дуже низька» через методологічні обмеження включених досліджень.

Висновки

Встановлено, що больовий синдром під час накладання турнікета — середньої інтенсивності. Оцінка комфорту досліджуваних доволі висока. Капілярний тест також мав високу варіабельність, що ймовірно залежало від стану судинної стінки досліджуваних, параметрів крові. Оцінка суб'єктивної та фізіологічної реакції на компресію виявила статистично значущі, але слабкі кореляції з рівнем тиску. Це, ймовірно, відображає індивідуальні варіації больової чутливості та стану периферичного кровообігу, які не можуть бути однозначно передбачені лише на основі компресійних параметрів.

Не виявлено різниці показників артеріального кровотоку в пацієнтів будь-якої статі, окрім показників *a. tibialis posterior*. Час накладання турнікета після навчання досліджуваних у середньому становив ($26,3 \pm 9,8$) с у інтервалі від 10 до 88 с. Для забезпечення оклюзії необхідно було виконати ($2,0 \pm 0,3$) оберти для накладання сухого джгута і $2,3 \pm 0,5$ мокрого. Не зафіксовано зв'язку між обхватом кінцівки і часом накладання турнікета.

Накладання турнікета на руку у випрямленому положенні та зігнуту в ліктьовому суглобі, а також на випрямлену чи зігнуту в колінному суглобі ногу, не показало статистично значущих геодинамічних відмінностей залежно від положення кінцівки. Експеримент із мокрим джгутом показав досягнення усіх фізіологічних показників оклюзії.

З огляду на проведені дослідження є підстави вважати турнікет «СІЧ» безпечним та ефективним для застосування в педіатричній практиці.

Зважаючи на обмежені можливості оперативного вимірювання параметрів у польових умовах, побудовано спрощені, але достатньо інформативні регресійні моделі, які враховують мінімум початкових даних. Водночас, із урахуванням специфіки військового контингенту, де переважає вік 35–60 років, цей фактор може бути розглянутий як умовно стабільний.

Отримані протягом дослідження дані свідчать, що джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» повністю відповідає своєму призначенню, а саме для повної тимчасової зупинки кровотечі з магістральних судин кінцівок.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Проведення досліджень дозволять удосконалити конструкцію турнікета, підвищити рівень надання медичної допомоги.

Інформація про фінансування. Автори заявляють, що ця стаття була фінансово підтримана ТОВ «СІЧ-УКРАЇНА». Компанія не мала впливу на дизайн дослідження, аналіз даних та інтерпретацію результатів. Автори гарантують, що результати подані об'єктивно.

Внесок авторів. Федотова І. Ф. — обґрунтувала цільність дослідження, розробила його методику; Карпінська О. Д. — аналіз отриманих даних, розробка результатів; Лизогуб М. В. — розробка концепції дослідження; Тяжелов О. А. — концепція і дизайн, аналіз отриманих даних; Корж І. В. — участь у зборі даних; Казлов О. П. — виконав математичні розрахунки. Усі автори схвалили остаточний рукопис.

Список літератури

- Office of the Federal Register. (2025). Code of federal regulations (CFR) — TITLE 21 — Food and drugs. Washington (DC): U.S. Government Publishing Office
- Strauss, R., Menchetti, I., Perrier, L., Blondal, E., Peng, H., Sullivan-Kwantes, W., Tien, H., Nathens, A., Beckett, A., Callum, J., & Da Luz, L. T. (2021). Evaluating the tactical combat casualty care principles in civilian and military settings: Systematic review, knowledge gap analysis and recommendations for future research. *Trauma surgery & acute care open*, 6(1), e000773. <https://doi.org/10.1136/tsaco-2021-000773>
- Bellamy, R. F. (1984). The causes of death in conventional land warfare: Implications for combat casualty care research. *Military medicine*, 149(2), 55-62. <https://doi.org/10.1093/milmed/149.2.55>
- Eastridge, B. J., Mabry, R. L., Seguin, P., Cantrell, J., Tops, T., Uribe, P., Mallett, O., Zubko, T., Oetjen-Gerdes, L., Rasmussen, T. E., Butler, F. K., Kotwal, R. S., Holcomb, J. B., Wade, C., Champion, H., Lawnick, M., Moores, L., & Blackbourne, L. H. (2012). Death on the battlefield (2001–2011). *Journal of trauma and acute care surgery*, 73(6), S431–S437. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e3182755dce>
- Howard, J. T., Kotwal, R. S., Stern, C. A., Janak, J. C., Mazuchowski, E. L., Butler, F. K., Stockinger, Z. T., Holcomb, B. R., Bono, R. C., & Smith, D. J. (2019). Use of combat casualty care data to assess the US military trauma system during the Afghanistan and Iraq conflicts, 2001–2017. *JAMA surgery*, 154(7), 600. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2019.0151>
- Butler, F. K., Holcomb, J. B., ..., & Shackelford, S. (2018). Advanced resuscitative care in tactical combat casualty care. *Journal of special operations medicine*, 18(4), 37–55. <https://doi.org/10.1001/10.55460/YJB8-ZC0Y>
- Kragh, J. F., Walters, T. J., Baer, D. G., Fox, C. J., Wade, C. E., Salinas, J., & Holcomb, J. B. (2008). Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. *Journal of trauma: injury, infection & critical care*, 64(2), S38–S50. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e31816086b1>
- Cunningham, A., Auerbach, M., Cicero, M., & Jafri, M. (2018). Tourniquet usage in prehospital care and resuscitation of pediatric trauma patients — pediatric trauma society position statement. *Journal of trauma and acute care surgery*, 85(4), 665–667. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000001839>
- Inaba, K., Siboni, S., Resnick, S., Zhu, J., Wong, M. D., Haltmeier, T., Benjamin, E., & Demetriades, D. (2015). Tourniquet use for civilian extremity trauma. *Journal of trauma and acute care surgery*, 79(2), 232–237. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000000747>
- Ko, Y., Tsai, T., Wu, C., Lin, K., Hsieh, M., Lu, T., Matsuyama, T., Chiang, W., & Ma, M. H. (2024). Effectiveness and safety of tourniquet utilization for civilian vascular extremity trauma in the pre-hospital settings: A systematic review and meta-analysis. *World journal of emergency surgery*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13017-024-00536-9>

Стаття надійшла до редакції 30.06.2025	Отримано після рецензування 20.07.2025	Прийнято до друку 20.08.2025
---	---	---------------------------------

RESEARCH INTO THE EFFECTIVENESS OF USING A TOURNIQUET TO STOP BLEEDING "SICH-TOURNIQUET"

I. F. Fedotova ¹, O. D. Karpinska ¹, M. V. Lyzohub ¹, O. A. Tyazhelov ¹, I. V. Korzh ¹, O. P. Kozlov ²

¹ Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

² V. N. Karazin Kharkiv National University. Ukraine

✉ Inga Fedotova, MD, DMSci: ibolokadze@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2069-7020>

✉ Olena Karpinska: helen.karpinska@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>

✉ Mykola Lyzohub, MD, DMSci: nlizogub@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4776-1635>

✉ Oleksiy Tyazhelov, MD, DMSci, Prof.: alzhaz3001@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0534-0528>

✉ Iryna Korzh, MD, PhD: irynakorzh36@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-1028-6768>

✉ Oleksandr Kozlov, PhD, Associated Professor: kozlov@karazin.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1034-0909>

Показник статей, що опубліковані в 2025 році в журналі «Ортопедія, травматологія та протезування»

ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ	№ журналу	Стор.
Golovakha M. L., Bondarenko S. A. Assessment of the accuracy of reproduction of the lower limb axis using an individual instrument during endoprosthetics with kinematic alignment of the knee joint.....	2	52
Kostrub O. O., Blonskyi R. I., Kylumniuk L. O., Khytruk K. M., Khytruk S. V. Radiographic features of knee osteoarthritis in the lateral view depending on joint line obliquity.....	4	53
Kostrub O. O., Shukalo O. I., Dunaievskiy V. I., Kotovskiy V. Y., Timofeiev V. I., Nazarchuk S. S. Remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostics of the health of military personnel before surgical intervention.....	1	5
Анкін М. Л., Ладика В. О., Ахмад Ф. М. Аналіз поширеності та факторів ризику розвитку венозних тромбоемболічних ускладнень у пацієнтів із переломами проксимального відділу стегна.....	4	46
Барков О. О., Мальцева В. Є., Нікольченко О. А., Данишук З. М., Самойлова К. М. Гістологічні зміни в суміжних міжхребцевих дисках у моделі шурів із ушкодженням драглистого ядра та компресією спинномозкового нерва.....	3	37
Богдан С. В. Вплив термінів із моменту травми на прогресування ротаторної артропатії плечового суглоба (ретроспективне дослідження).....	2	12
Бондаренко С. Є., Висоцький О. В. Аналіз чинників ризику та профілактика венозних тромбоемболічних ускладнень у хворих за ендопротезування кульшового суглоба.....	3	61
Бондаренко С. Є., Філіпенко В. А., Мальцева В. Є., Приймак Д. В., Серeda Д. І. Україномовні валідовані шкали Forgotten Joint Score-12 для пацієнтів після ендопротезування кульшового та колінного суглобів.....	1	50
Бурлука В. В., Дорош В. М. Шляхи покращення результатів лікування тяжких поєднаних травм таза в сучасних умовах.....	2	5
Герасименко А. С., Юрик О. Є., Герасименко С. І., Бабко А. М., Полулях Д. М., Громадський В. В. Тендинопатія наколінка після проведення артроскопічної резекції меніска за синдрому «переднього болю» колінного суглоба.....	3	75
Головаха М. Л., Безверхий А. А., Орлянський В. Результати відновлення структур задньолатерального кута колінного суглоба у поєднанні з пластикою передньої схрещеної зв'язки.....	3	68
Головаха М. Л., Білих Є. О., Безверхий А. А. Сучасні концепції діагностики ушкоджень задньолатерального кута колінного суглоба.....	4	63
Григор'єва Н. В., Віленський А. Б., Стеф'юк О. З., Каут І. І., Курило Д. Ю., Інюшина А. В. Мінеральна щільність кісткової тканини та статус вітаміну D у військовослужбовців після ампутації нижніх кінцівок.....	3	12
Грицай М. П., Колов Г. Б., Половий А. С., Видерко Р. В., Гордій А. С., Сабадош В. І., Лисак А. С. Аналіз застосування методики Masquelet при лікуванні критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом.....	4	31
Гриценко А. М., Хмизов С. О., Шевченко О. Г., Гарбузняк І. М., Єрмак Т. А., Златник Р. В. Аналіз результатів хірургічного лікування пацієнтів з наслідками акушерського паралічу Дюшен-Ерба.....	4	78
Гур'єв С. О., Гаріян С. В., Кушнір В. А., Цибульський О. С. Застосування хірургічних технологій лікування постраждалих з дефектами довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми. Повідомлення перше.....	4	25
Карпінська О. Д., Гриценко А. М. Математичне моделювання роботи м'язів, відповідальних за згинання плечового суглоба у разі верхнього акушерського параліча.....	1	75
Коструб О. О., Дідух П. В., Нікіфорова І. М., Засаднюк І. А., Блонський Р. І., Подік В. А. Критичні параметри розташування каналів під час пластики передньої схрещеної зв'язки: ретроспективний МРТ-аналіз.....	2	43
Лизогуб К. І. Вплив положення тіла під час операції на верхніх кінцівках на показники гемодинаміки та біспектрального індексу.....	3	47
Лизогуб К. І., Лизогуб М. В. Вплив передопераційного волемічного навантаження на показники гемодинаміки під час артроскопії плечового суглоба.....	1	45

Лизогуб К. І., Морозенко Д. В.

Вплив глибини анестезії на інцидентність ранніх післяопераційних ускладнень під час операцій у напівсидячому положенні.....	4	87
Лурін І. А., Бур'янов О. А., Ярмолюк Ю. О., Матвійчук Б. В.		
Аналіз напружено-деформованого стану стегнової кістки за вогнепальних переломів і методики її фіксації.....	3	5
Лурін І. А., Бур'янов О. А., Ярмолюк Ю. О., Матвійчук Б. В.		
Біомеханічне дослідження комбінованої системи фіксації стегнової кістки в разі вогнепального перелома.....	4	39
Магомедов С., Поляченко Ю. В., Грицай М. П., Літовка І. Г., Сабалош В. І., Дехтеренко Н. О., Кузуб Т. А.		
Інтерлейкін-6 та білки гострої фази як біомаркери септичного остеоартриту.....	2	66
Магомедов С., Поляченко Ю. В., Калашніков А. В., Літун Ю. М., Поліщук Л. В.		
Динаміка біохімічних маркерів кісткового метаболізму у пацієнтів із сегментарними дефектами кісток під час лікування за методикою Masquelet.....	3	20
Макаров В. Б., Корж М. О.		
Аналіз післяопераційних ускладнень у разі хірургічного лікування переломів проксимального відділу плечової кістки в пацієнтів зі зниженням мінеральної щільності кісткової тканини.....	1	37
Макаров В. Б., Корж М. О.		
Короткострокові результати використання індивідуальних 3D-друкованих базових пластин у зворотному ендопротезуванні плечового суглоба.....	2	29
Мателенок Є. М.		
Прояви гетеротопічної осифікації в пацієнтів із переломами головки променевої кістки в поєднанні з вивихами передпліччя.....	2	38
Мезенцев А. О., Петренко Д. Є., Демченко Д. О.		
Результати хірургічного лікування дегенеративного поперекового сколіозу в дорослих.....	4	92
Мезенцев А. О., Петренко Д. Є., Демченко Д. О.		
Результати хірургічного лікування істмічного спондилістезу з великим ступенем зсуву.....	2	58
Мороз М. Д., Козак Р. А., Костогриз О. А., Бондарь В. І.		
Оцінювання ефективності кінематичного та механічного вирівнювання під час первинного ендопротезування колінного суглоба в ранньому післяопераційному періоді.....	3	53
Нехлопочин О. С., Вербов В. В., Чешук Є. В., Карпінський М. Ю., Яресько О. В.		
Біомеханічний аналіз варіантів короткої транспедикулярної фіксації переломів типу А (АО) ділянки грудопоперекового переходу в режимі екстензійного навантаження.....	3	26
Омельченко Т. М., Левицький Є. А.		
Прогностичні чинники під час лікування пацієнтів із локальними внутрішньосуглобовими кістково-хрящовими ушкодженнями колінного та надп'яtkово-гомількового суглобів.....	4	72
Попсуйшапка О. К., Литвишко В. О., Малик Р. В., Долуда Я. А., Міхановський Д. О.		
Руйнування кістки й оточуючих тканин у разі вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок (клініко-рентгенологічна класифікація). Перше повідомлення.....	4	17
Попсуйшапка О. К., Суббота І. А.		
Особливості деформування моделі «уламки – зовнішній стрижневий апарат» у разі застосування конструкцій із різною геометрією будови.....	1	65
Пятковський В. М., Турчин О. А., Омельченко Т. М., Євлантьєва Т. А., Харчик В. С., Лябах А. П.		
Артродез надп'яtkово-гомількового суглоба після вогнепальних поранень.....	1	13
Романенко К. К., Ашукіна Н. О., Мальцева В. Є.		
Дегенеративні зміни в суглобовому хрящі надп'яtkово-гомількового суглоба щурів після моделювання варусної позасуглобової деформації стегнової кістки.....	4	99
Страфун С. С., Гайович В. В., Телепенко Г. В.		
Шкала-предиктор відновлення функції верхньої кінцівки за вогнепальної травми надпліччя (пропозиції до використання).....	2	17
Страфун С. С., Голюк Є. Л., Зубов Д. О., Магомедов О. М., Стародуб Г. С., Малова Х. К.		
Критерії якості біотехнологічних продуктів на основі аутологічного аспірата кісткового мозку для застосування в травматології та ортопедії.....	1	56
Тимошенко С. В., Котова М. В.		
Ефективність артродезу кистьового суглоба за різних ортопедичних патологій верхньої кінцівки.....	2	24
Федотова І. Ф., Карпінська О. Д., Лизогуб М. В., Тяжелов О. А., Корж І. В., Козлов О. П.		
Дослідження ефективності використання джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет».....	4	115
Хорошун Е. М., Бондаренко С. Є., Клапчук Ю. В., Негодуйко В. В., Петренко Б. В., Голопич В. Т., Нетецький О. В.		
Особливості хірургічного лікування поєднаних вогнепальних поранень кульшового суглоба.....	4	5
Шмагой В. Л., Ульянович Н. В., Юрженко М. В., Коломієць В. В., Фірстов С. О.		
Використання модифікованої біоактивної кераміки під час пластики критичних розмірів посттравматичних кісткових дефектів.....	1	21

Штробля В. В.

Вплив терапії CO₂ та її комбінацій на запальну активність та імунний статус: експериментальне дослідження.....1 30

Штробля В. В., Луценко Р. В.

Визначення безпечності й ефективності карбокситерапії в моделях остеоартриту й запалення сухожильків *in vivo*.....4 108

Штробля В. В., Луценко Р. В.

Вплив карбокситерапії та її комбінації з диклофенаком натрію і хондроїтину сульфату на експресію TNF- α та TGF- β 1 за остеоартриту, індукованого моноіодоцтовою кислотою в щурів.....3 84

РЕАБІЛІТАЦІЯ**Анкін М. Л., Ладика В. О., Глиняна О. О., Барілович М. М.**

Ефективність хірургічного лікування та реабілітаційних заходів у відновленні пацієнтів із переломом задньої стінки кульшової западини.....1 82

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА НОТАТКИ З ПРАКТИКИ**Khomenko I. P., Ankin M. L., Ladyka V. O., Nehoduiko V. V., Tertyshnyi S. V., Balaban I. O.**

Clinical case of reconstruction of gunshot foot injury using the alt free flap technique.....2 71

Головаха М. Л., Бондаренко С. А., Харт Р., Орлянский В.

Використання індивідуального інструмента для високої вальгівуючої остеотомії великогомілкової кістки за варусного гонартрозу.....1 90

Шевченко І. В., Губський С. С., Златнік Р. В., Данишук З. М., Іванова Н. В., Мальцева В. Є.

Кавернозна медулярна гемангіома в дистальному відділі лівої стегнової кістки: клінічний випадок.....2 77

ОГЛЯДИ ТА РЕЦЕНЗІЇ**Бур'янов О. А., Смик О. О., Саленко М. С.**

Способи реіннервації після ампутацій у пацієнтів із наслідками бойових уражень (огляд літератури).....2 83

Висоцький О. В.

Порушення функціонування системи гемостазу у хворих на коксартроз III–IV стадій після операцій тотального ендопротезування кульшового суглоба (огляд літератури).....1 107

Інюшина А. В., Заверуха Н. В., Григор'єва Н. В., Процюк О. В.

Остеоартрит і геріатричні синдроми: особливості взаємозв'язку та можливості менеджменту (огляд літератури).....2 99

Колесніченко В. А., Піонтовський В. К., Гольбаум М. Б.,**Чернишов О. Г., Палкін О. В., Палкін Б. В.**

Фактори ризику рецидиву грижі міжхребцевого диска поперекового відділу хребта після первинної ендоскопічної трансфорамінальної дисксектомії. Повідомлення 1 (огляд літератури).....2 92

Курило Д. Ю., Григор'єва Н. В.

Остеосаркопенія: епідеміологія, фактори ризику та сучасні стратегії менеджменту.....1 96

Попов А. І., Молодюк М. В., Куценко В. О., Нессонова М. М.

Чинники ризику виникнення нових компресійних переломів хребців у пацієнтів з остеопорозом після пункційної вертебропластики: систематичний огляд і метааналіз.....3 91

Федотова І. Ф., Корж І. В., Федік К. О.

Застосування нестероїдних протизапальних препаратів у лікуванні дегенеративних захворювань хребта: ефективність, безпека та перспективи.....3 103

ХРОНІКА**Танькут В. О., Голубєва І. В.,****Філіпенко Л. В., Шевченко О. Г.**

К. Ф. Вегнер — видатний вчений, засновник вітчизняної ортопедії та травматології.....3 111

Актуальні питання сучасної травматології та ортопедії.....2 110

До 100-річчя професора Юрія Юлійовича Колонтая — пам'ять про вчителя (1925–2025).....2 111

ЮВІЛЕЇ

Олександр Євгенійович Лоскутов.....2 112

Олександр Іванович Корольков.....3 118

Микола Іванович Березка.....3 117

Показник статей, що опубліковані в 2025 році в журналі «Ортопедія, травматологія та протезування».....4 125

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

Редакція журналу «Ортопедія, травматологія та протезування» приймає для публікації статті українською та англійською мовами. Необхідно надати підписану всіма авторами статтю у двох примірниках, направлення від установи, де виконана робота, а також висновки експертної та плагіатної комісій, завірені печаткою.

Електронний варіант цих матеріалів слід надіслати на e-mail redaczia_otp@ukr.net або завантажити через сайт журналу <http://otp-journal.com.ua/about/submissions>.

Статтю треба друкувати на стандартних аркушах формату A4: кегль Times New Roman 14, міжрядковий інтервал 1,5, поля 2 см з усіх боків (редактор MS Word). На першій сторінці оригінального й англійською мовами розмістити ПІБ авторів, назву статті, повну назву установи для кожного співавтора, місто, країну. Додатково необхідно надати контактну інформацію (телефон, e-mail) кожного співавтора, а також учений ступінь.

Реферат (до 2200 друкованих знаків) українською й англійською мовами має бути структурованим і складатися з обґрунтування, мети, матеріалу та методів, результатів, висновків. Кожен реферат має супроводжуватися ключовими словами (від 3 до 8).

Обсяг оригінальної статті не повинен перевищувати 10 сторінок друкованого тексту, оглядової — 15 сторінок; коротких повідомлень, випадків із практики, технічних пропозицій — 10 сторінок. Усі статті мають мати такі розділи: вступ, матеріал і методи, результати, обговорення, висновки, список літератури.

Подані для публікації експериментальні і клінічні дослідження мають бути схвалені локальним комітетом з біоетики (У розділі «Матеріал і методи» вказати повну назву комітету, номер і дату протоколу). У статті зазначити, що від пацієнтів, яких включено в дослідження, отримано інформовану згоду.

Ілюстрації (не більше п'яти) слід надати в електронному вигляді. Кожен рисунок — в окремому файлі формату .tiff із роздільною здатністю не менше ніж 300 dpi, штрихові малюнки — не менше ніж 600 dpi. Ілюстрації, вставлені в документ

ЖУРНАЛ «ОРТОПЕДИЯ, ТРАВМАТОЛОГИЯ И ПРОТЕЗИРОВАНИЕ

вул. Григорія Сковороди, 80,
м. Харків, 61024, Україна
E-mail: Redaczia_OTP@ukr.net



Word, редакцією не приймаються. Графіки, схеми, фотографії мають бути чіткими, придатними для відтворення. У тексті статті необхідно визначити місце рисунка. У підписах до мікрофотографій обов'язково вказувати ступінь збільшення. Таблиці, якщо їх більше однієї, нумерують, вони повинні мати назву, що відображає їхній зміст. У тексті слід вказати місце таблиці та порядковий номер.

Фізичні величини позначають відповідно до Міжнародної системи одиниць (SI). Терміни уніфікують відповідно до наявних Міжнародних класифікацій і номенклатур. Спеціальні символи, у т. ч. назви фірм і апаратури, необхідно приводити в оригінальній транскрипції. Аббревіатури розшифровують під час першого використання термінів і залишають незмінними впродовж усього тексту.

Посилання на джерела літератури в тексті ставити в квадратні дужки. У список літератури слід включати джерела останніх п'яти років і приводити їх у порядку їхнього використання в тексті. Бібліографічний опис оформляти згідно з APA.

Авторам необхідно продублювати прізвище, ім'я, місце роботи, ключові слова, список літератури англійською мовою для цитування в наукометричних базах даних.

Крім наукових статей, журнал публікує матеріали з історії медицини, дискусійні статті з різних проблем спеціальності, повідомлення про з'їзди і конференції, статті з обміну досвідом, рецензії, рекламні матеріали, біографічні нариси, ювілеї, некрологи. Для зазначених матеріалів офіційне направлення від установи й експертний висновок не потрібні.

Усі статті проходять рецензування (процес детально наведений на сайті otp-journal.com.ua). Стаття може бути повернена авторам для доопрацювання. Редакція залишає за собою право вносити корективи наукового та стилістичного характеру, а також скорочення, що не спотворюють зміст інформації, наведеної в роботі.

Статті, опубліковані раніше або паралельно спрямовані в інший журнал (збірник), редакція не приймає. Гонорар авторам не виплачується.