



ISSN 0132-2486

ВІСНИК

ортопедії, травматології та протезування

4

115 | 2022

український науково-практичний журнал

ВГО "УКРАЇНЬСЬКА АСОЦІАЦІЯ
ОРТОПЕДІВ-ТРАВМАТОЛОГІВ"

ВГО "УКРАЇНЬСЬКА АСОЦІАЦІЯ
СПОРТИВНОЇ ТРАВМАТОЛОГІЇ,
ХІРУРГІЇ КОЛІНА ТА АРТРОСКОПІЇ"

ДУ "ІНСТИТУТ ТРАВМАТОЛОГІЇ ТА
ОРТОПЕДІЇ НАМН УКРАЇНИ"

AUPO "Ukrainian Association of Orthopedists
and Traumatologists"
AUPO "Ukrainian Association of Sports
Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy"
SI "Institute of Traumatology
and Orthopedics of NAMS of Ukraine"

HERALD OF ORTHOPEDICS, TRAUMATOLOGY AND PROSTHETICS

Ukrainian Journal of Research and Practice
Established in October 1999
Published 4 times a year

4 (115) – 2022

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief S.S. Strafun
Executive secretary O.O. Kostруб
Scientific Editor A.P. Liabakh

M.L. Ankin (Kyiv, Ukraine)
O.A. Bur'yanov (Kyiv, Ukraine)
C.N. van Dijk (Amsterdam, Netherlands)
O.V. Dolhopolov (Kyiv, Ukraine)
V.V. Filipchuk (Kyiv, Ukraine)
V.A. Filipenko (Kharkiv, Ukraine)
I.V. Fishchenko (Kyiv, Ukraine)
G.V. Gayko (Kyiv, Ukraine)
S.I. Gerasymenko (Kyiv, Ukraine)
M.P. Grytsay (Kyiv, Ukraine)
Y.M. Guk (Kyiv, Ukraine)
O.G. Haiko (Kyiv, Ukraine)
V.V. Hryhorovskiy (Kyiv, Ukraine)
A.V. Kalashnikov (Kyiv, Ukraine)
V.G. Klymovitskiy (Donetsk, Ukraine)
M.O. Korzh (Kharkiv, Ukraine)
I.M. Kurinnyi (Kyiv, Ukraine)
O.E. Loskutov (Dnipro, Ukraine)
S. Magomedov (Kyiv, Ukraine)
W.J. Marzcynski (Warsaw, Poland)
Ph. Neiret (Lyon, France)
J.A. Nyland (Louisville, USA)
I.V. Poliachenko (Kyiv, Ukraine)
V.V. Povoroznyuk (Kyiv, Ukraine)
V.O. Radchenko (Kharkiv, Ukraine)
R. Seil (Luxembourg)
A.T. Stashkevych (Kyiv, Ukraine)
I.V. Roy (Kyiv, Ukraine)
I.M. Zazirnyi (Kyiv, Ukraine)

Herald of Orthopedics,
Traumatology and Prosthetics

<http://visnyk.uaot.com.ua>

Bulvarno-Kudriavska St., 27,
Kyiv, Ukraine 01601
Tel/Fax: +38 (044) 486-66-28
atou@ukr.net

ВГО "Українська асоціація ортопедів-травматологів"
ВГО "Українська асоціація спортивної травматології, хірургії коліна та артроскопії"
ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України"

ВІСНИК ОРТОПЕДІЇ, ТРАВМАТОЛОГІЇ ТА ПРОТЕЗУВАННЯ

УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
Заснований у жовтні 1999 р.

Видається 4 рази на рік

4 (115) – 2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор С.С. Страфун
Відповідальний секретар О.О. Коструб
Науковий редактор А.П. Лябах

М.Л. Анкін (Київ)
О.А. Бур'янов (Київ)
О.Г. Гайко (Київ)
Г.В. Гайко (Київ)
С.І. Герасименко (Київ)
В.В. Григоровський (Київ)
М.П. Грицай (Київ)
Ю.М. Гук (Київ)
К.Н. ван Дайк (Амстердам, Нідерланди)
О.В. Долгополов (Київ)
І.М. Зазірний (Київ)
А.В. Калашніков (Київ)
В.Г. Климовицький (Донецьк)
М.О. Корж (Харків)
І.М. Курінний (Київ)
О.Є. Лоскутов (Дніпро)
С. Магомедов (Київ)
В.Й. Марчинський (Варшава, Польща)
Ф. Нейрет (Ліон, Франція)
Д.А. Найланд (Луїсвіль, США)
В.В. Поворознюк (Київ)
Ю.В. Поляченко (Київ)
В.О. Радченко (Харків)
І.В. Рой (Київ)
Р. Сейл (Люксембург)
А.Т. Сташкевич (Київ)
В.А. Філіпенко (Харків)
В.В. Філіпчук (Київ)
Я.В. Фіщенко (Київ)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:
серія КВ № 21234-11034 ПР від 04.03.2015 р.,
серія КВ № 25385-15325 ПР від 11.01.2023 р.

Журнал внесено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт у галузі медичних наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 1021 від 07.10.2015 р.).
Адреса редакції: 01601, Україна, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.
Тел.: (044) 486-42-49, 486-60-65, тел./факс: (044) 486-66-28, e-mail: atou@ukr.net.
Веб-сайт журналу: <http://visnyk.uaot.com.ua>.

Статті, що надходять до журналу, рецензуються за процедурою double-blind.
Електронні копії опублікованих статей передаються до Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського для вільного доступу в режимі on-line.
Усі права захищені. Будь-яке відтворення матеріалів або фрагментів із них можливе лише за письмовою згодою авторів і редакції, посилання на видання обов'язкове.
Редакція залишає за собою право редагувати подані матеріали.
Відповідальність за зміст реклами несе рекламодавець.
За зміст публікацій, достовірність фактів, цитат, власних назв та інших відомостей відповідають автори.
Рекомендовано до друку вченою радою ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України" (протокол № 07 від 04.04.2023 р.)

ЗМІСТ

**Лябах А.П., Лазарев І.А., Турчин О.А.,
Пятковський В.М.**

Вплив механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу acetabulum pedis на переміщення в двосегментній моделі стопи в нормі та при плоскій стопі.....4

**Лазарев І.А., Білявський В.О., Юрійчук Л.М.,
Богдан С.В.**

Скелетно-м'язове моделювання компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом 12

**Гацький О.О., Третяк І.Б., Цимбалюк В.І.,
Чирка Ю.Л., Цзян Хао, Цимбалюк Я.В.,
Третякова А.І.**

Визначення передумов успішної етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення (на основі випадку з клінічної практики) 24

Науменко Л.Ю., Маметьєв А.О., Вінник О.О.

Віддалені функціональні наслідки лікування переломів дистального метаепіфіза променевої кістки 36

Анкін М.Л., Петрик Т.М., Ладика В.О., Дудар С.Л.

Переломи довгих кісток та мінерально-кісткові розлади у хворих із хронічною хворобою нирок, які лікуються гемодіалізом.....43

**Грицай М.П., Поляченко Ю.В., Цокало В.М.,
Колов Г.Б., Євлантьєва Т.А.**

Особливості виникнення та розвитку інфекційних ускладнень у пацієнтів, які отримали бойові травми опорно-рухової системи (за власним досвідом) 53

**Liabakh A.P., Lazariev I.A., Turchyn O.A.,
Piatkovskiy V.M.**

The Effect of Mechanical Properties of the Capsular-Connected Complex Acetabulum Pedis on Movements in the Two-Segment Foot Model in Normal Foot and Flatfoot4

**Lazarev I.A., Biliavskiy V.O., Yuriichuk L.M.,
Bohdan S.V.**

Musculoskeletal Modeling of the Compensatory Role of the Shoulder Muscles in Ensuring the Stability of the Shoulder Joint in the Conditions of Partial Traumatic Tear of the Supraspinatus Muscle Caused by Calcific Tendinitis 12

**Hatskyi O.O., Tretiak I.B.,
Tsymbaliuk V.I., Chyrka Yu.L.,
Jiang Hao, Tsymbaliuk Ya.V.,
Tretiakova A.I.**

Preconditions for the Successful Segmental Step-Wise Reconstruction of the Global Function of the Upper Extremity in Case of the Complete Brachial Plexus Injury (Case Report)..... 24

Naumenko L.Yu., Mametiev A.O., Vinnyk O.O.

Long-Term Functional Consequences of Treatment of Fractures of the Distal Metaepiphysis of the Radius..... 36

Ankin M.L., Petryk T.M., Ladyka V.O., Dudar S.L.

Long Bone Fractures and Mineral-Bone Disorders in Patients with Chronic Kidney Disease Treated with Hemodialysis.....43

**Hrytsai M.P., Poliachenko Yu.V., Tsokalo V.M.,
Kolov H.B., Yevlantiyeva T.A.**

Features of the Occurrence and Development of Infectious Complications in Patients with Combat Injuries of the Musculoskeletal System (according to the Own Experience)..... 53

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Zazirnyi I.M.

Ceramic-on-Ceramic Bearings in Total Joint Arthroplasty. Part 369

**Бур'янов О.А., Ярмолюк Ю.О., Грицай М.П.,
Клапчук Ю.В., Лось Д.В., Омельченко Т.М.,
Колов Г.Б., Деркач С.О.**

Об'єктивізація критеріїв до заміни методу фіксації при лікуванні переломів у пацієнтів із бойовою травмою кінцівок..... 74

Умови публікації в журналі “Вісник ортопедії, травматології та протезування” 78

LITERATURE REVIEW

Зазірний І.М.

Керамо-керамічні пари тертя в тотальному ендопротезуванні суглобів. Частина 369

**Burianov O.A., Yarmoliuk Yu.O., Hrytsai M.P.,
Klapchuk Yu.V., Los D.V., Omelchenko T.M.,
Kolov H.B., Derkach S.O.**

Objectification of Criteria for Replacing the Method of Fixation in the Treatment of Fractures in Patients with Combat Injuries of the Limbs..... 74

Terms of Publication in the Journal “Visnyk Ortopedii, Travmatolohii ta Protezuvannia” 78

Вплив механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* на переміщення в двосегментній моделі стопи в нормі та при плоскій стопі

Лябах А.П.¹✉, Лазарев І.А.¹, Турчин О.А.¹, Пятковський В.М.¹
 ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України"

Резюме. Плоска стопа (ПС) лишається погано окресленим клінічним станом. **Мета.** Вивчити переміщення, що виникають у стопі при одноопорному навантаженні, на двосегментній моделі стопи в нормі та при ПС за різних умов механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis*. **Матеріали і методи.** Була розроблена двосегментна модель стопи, яка складалась з анатомічних заднього та переднього відділів. З'єднання між ними було представлено комплексом, що складався із *lig. calcaneonaviculare* та сухожилка *m. tibialis posterior*. Зменшення механічної міцності комплексу репрезентували 3 типи дегенерації сухожильної тканини за Z.S. Rosenberg та ін.: 0% – норма, 25% – I тип, 50% – II тип, 75% – III тип. 3D-скінченно-елементна модель була створена з використанням реальних скелетів стопи 12 пацієнтів із набитою ПС, отриманих із 3D-реконструкцій при КТ. Модель була навантажена силою 750 Н із боку плато великогомілкової кістки в напрямку поверхні опори. Оцінку адекватності моделі проводили шляхом дослідження залежності результатів моделювання зі значенням кута непокриття головки таранної кістки цих же пацієнтів. **Результати.** Взаємопереміщення сегментів, що утворюють модель стопи, прогресивно наростало зі зменшенням міцності капсулярно-зв'язкового комплексу від 4,18 мм у нормі до 8,36 мм при III типі дегенеративних змін. Лінійний характер залежності загальних переміщень від зниження механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу підтверджений оцінкою адекватності моделі. **Висновки.** Зниження механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* при одноопорному навантаженні спричиняє взаємопереміщення сегментів моделі вдвічі більші за норму, розрахункова залежність переміщення / зниження міцності має лінійний характер.

Ключові слова: плоска стопа; *acetabulum pedis*; 3D-моделювання.

Вступ

Плоска стопа (ПС) є одним із небагатьох станів, які надзвичайно складні для розуміння; значний обсяг наявної наукової літератури містить контрверсійні та іноді не дуже зрозумілі дані, які виходять із методологічно недосконалих досліджень [1]. Традиційне визначення ПС ґрунтується на суб'єктивному враженні дослідника про "ненормально зменшену" медіальну арку стопи або склепіння. Це визначення повністю ігнорує етіологію ПС, функціональні взаємовідношення між кістками, наявність симптоматики або очікуваної її появи в майбутньому.

Надзвичайно хиткою теза про зниження медіальної арки стопи виглядає на фоні варіативності цього показника між дітьми та дорослими й особливо між різними расовими групами. Добре відома більш висо-

ка частота ПС у осіб негроїдної раси, ніж у уродженців Кавказу, так само рідко проявляється симптоматичність ПС у перших [2]. Результати сучасних метааналізів свідчать про брак універсальних інструментів для визначення та класифікації ПС [3].

За таких умов особливого значення набувають біомеханічні та теоретичні дослідження, які дозволяють узгодити вплив множинності реальних чинників за рахунок узагальнень, властивих моделям та концепціям. А. Scarpa у 1803 році показав подібність рухів головки стегнової кістки у кульшовій западині та головки таранної кістки (ТК) в *acetabulum* підтаранного суглоба, структурами якого він визначив суглобові поверхні човноподібної та п'яткової кісток разом із *lig. calcaneonaviculare* (LCN). Ідея А. Scarpa спричинила народження концепції CPU (*calcaneopedal unit*) [4]. Концепція виявилась дуже дієвою для розуміння біомеханіки стопи, однак її детальний опис у сучасній ортопедичній літературі з'явився у 2013 році [5].

✉ Лябах А.П., anliabakh@gmail.com

¹ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ

Сучасні методики комп'ютерного моделювання значно розширили можливість дослідження напружень, що виникають у тканинах стопи при механічному впливі. Зокрема, метод скінченних елементів дозволяє уникнути надмірного спрощення, тому дослідження ранніх моделей та концепцій із сучасних позицій має безумовний науковий інтерес.

Мета роботи: вивчити переміщення, що виникають у стопі при одноопорному навантаженні, на дво-сегментній моделі стопи в нормі та при ПС за різних умов механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis*.

Матеріали і методи

Дослідження було схвалене комітетом з біоетики та Вченою радою ДУ "ІГО НАМН України".

Розробка моделі. В основу моделі стопи, використаної для дослідження, покладені концепції *acetabulum pedis* та *calcaneopedal unit* (CPU), в межах яких стопу розглядають як ціле утворення, що в нормі здійснює рухи навколо таранної кістки (ТК) одночасно у 3 площинах у напрямку еверсія-інверсія. *Acetabulum pedis* представлена кістковою основою у вигляді суглобової поверхні човноподібної кістки, передньої та середньої суглобових фасеток ПК та відповідно сполучнотканинного гамака, що разом утворюють кулясту чашу, яка ідеально відповідає сферичній поверхні головки таранної кістки. В оригінальному трактуванні А. Scarpa роль гамака виконує *lig. calcaneonaviculare*, яка має дво-, а найчастіше трипучкову будову. Верхня порція, *lig. calcaneonaviculare superior*, зрощена з капсулою та

ранно-човноподібного суглоба, до якої так само щільно прилягає сухожилок *m. tibialis posterior*.

Оскільки деформування при ПС відбувається на рівні поперечного суглоба заплесна, ми визначили, що модель стопи має бути дво-сегментною з поділом на анатомічні задній та передній відділи. Як з'єднання між сегментами прийнято сухожильно-зв'язковий комплекс (сухожилок *m. tibialis posterior*, *lig. calcaneonaviculare*), дегенеративні зміни в якому умовно репрезентують 3 типи ушкодження сухожильної тканини за Z.S. Rosenberg та ін. [6] (зменшення еластичності 0% – норма, 25% – I тип, 50% – II тип, 75% – III тип).

Підготована засобами комерційного програмного забезпечення SolidWorks (Dassault Systems SolidWorks Corp., Waltham, MA) твердотільна модель експортована в програмне середовище ANSYS, де створена скінченно-елементна (СЕ) модель, яка налічувала 326653 вузли та 200888 елементів. Аналіз НДС проводили на основних елементах моделі. Для збільшення точності розрахунків у ділянках контакту СЕ сітка була ущільнена. СЕ сітка представлена переважно тетраедричними елементами (Tetrahedrons), розмір яких на основній моделі не перевищує 1 мм, у місцях згущення – 0,1-0,5 мм. Модель закріплена в плантарній ділянці, а на плато великогомілкової кістки в направленні поверхні опори прикладена сила 750 Н, що відповідає навантаженню вагою тіла 75 кг при одноопорному стоянні. Подальші розрахунки здійснювали методом СЕ, який дозволяє дослідити еволюцію процесу деформування під навантаженням елементів імітаційної моделі.

Дво-сегментна модель стоп та її розрахунковий варіант представлені на рис. 1.

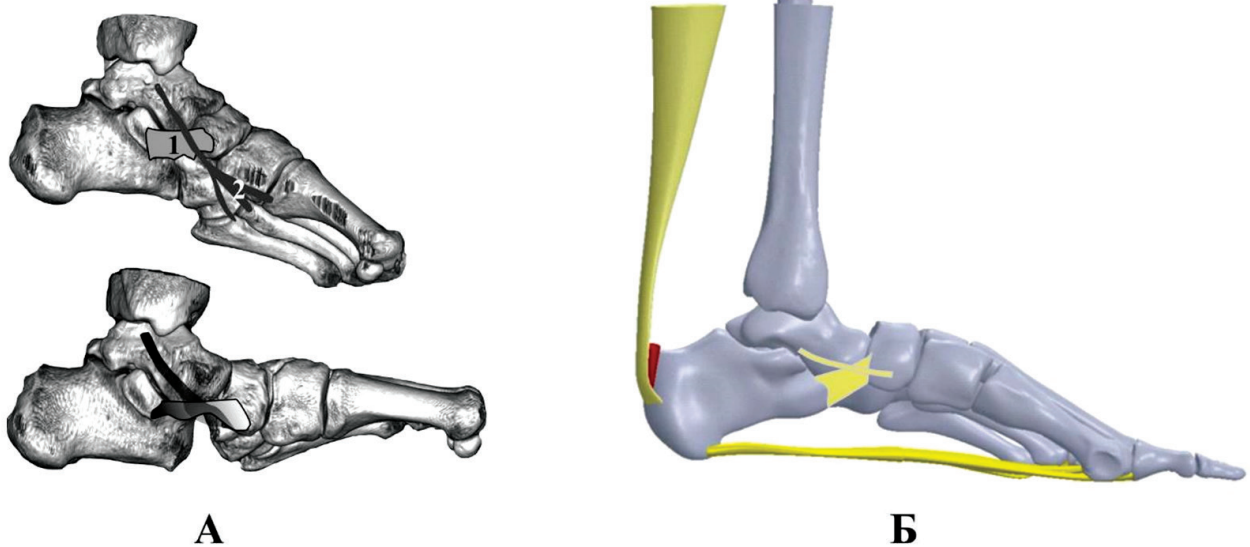


Рис. 1. Дво-сегментна модель стопи: А – норма та плоска стопа при *acetabulum pedis*; 1 – *lig. calcaneonaviculare*, 2 – сухожилок *m. tibialis posterior*; Б – розрахункова 3D-модель гомілки та стопи у SolidWorks

У СЕ розрахунках застосовували фізичні властивості біологічних тканин, які отримані з літературних джерел [7] (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості матеріалів моделі [7]

Матеріал	Модуль Юнга	Коефіцієнт Пуассона
Кістки стопи	7300 МПа	0,30
Сухожилля та зв'язки	1,15 МПа	0,49

Комплекс капсулярно-зв'язкових структур (сухожилок МТР, усі порції *lig. calcaneo-naviculare*) розглядали як єдиний капсулярно-зв'язковий комплекс периталарної зони. Для оптимізації та спрощення розрахунків капсулярно-зв'язковий комплекс периталарної зони та плантарний апоневроз замінено на стандартні елементи ANSYS із властивостями пружин. Формування сили в кожному сполучнотканинному елементі було визначено як функція довжини тканини, жорсткості та деформації під час одноопорного стояння.

При розрахунках методом СЕ розглянутої біомеханічної системи в програмному комплексі були прийняті наступні основні гіпотези і припущення:

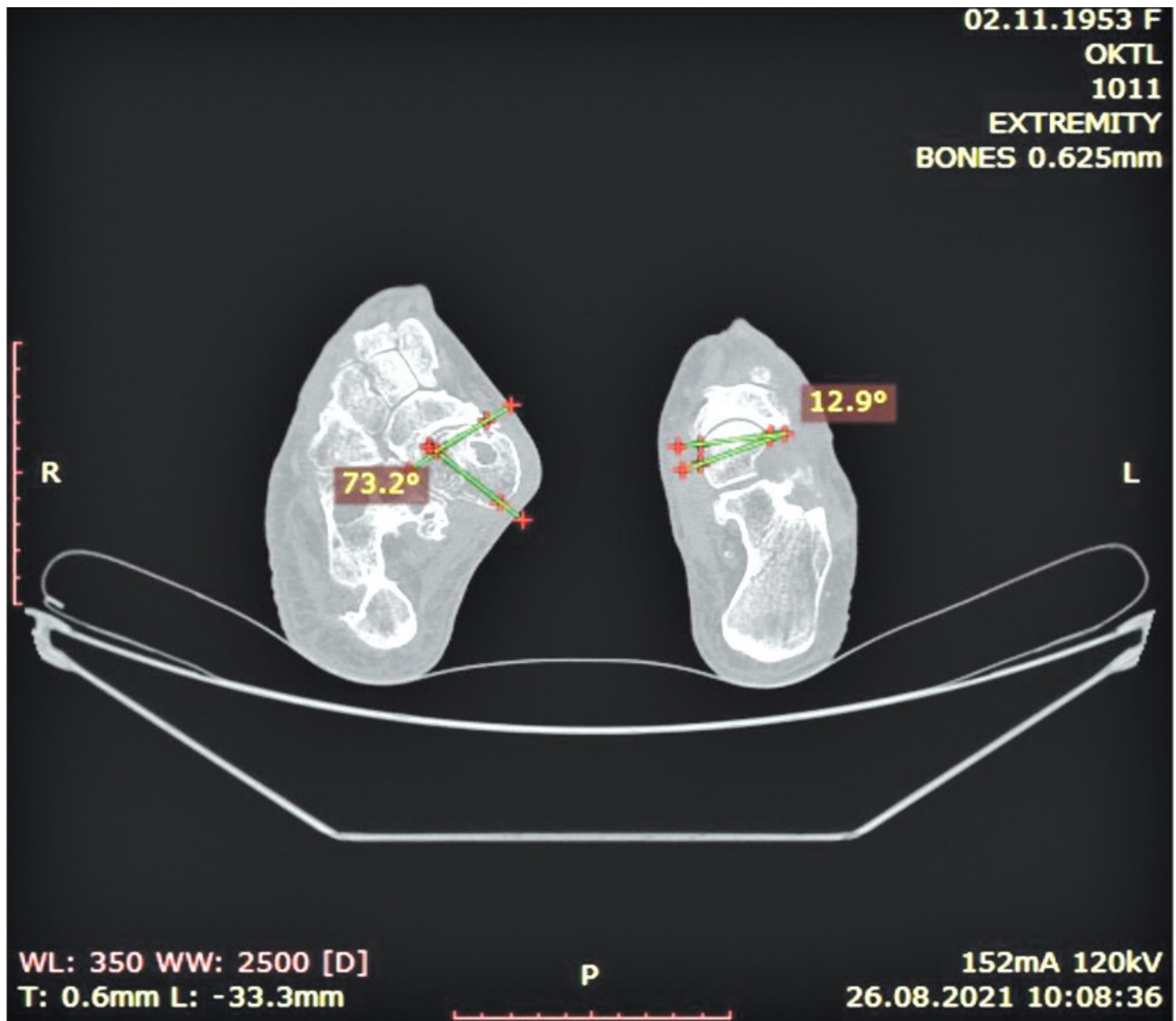


Рис. 2. Обрахування кута непокриття головки ТК за аксіальним КТ-сканом: зліва – норма, справа – ПС. Пацієнтка 67 років, за даними УЗД – III ступінь дегенеративних змін за Z.S. Rosenberg та ін.

– усі матеріали вважали однорідними та ізотропними з відомими фізико-механічними характеристиками (табл. 1);

– завдання статичного аналізу розв'язували у фізично і геометрично лінійній постановці, при цьому розглядали малі деформації і переміщення, в силу чого підтверджувався закон Гука для опису поведінки матеріалу.

Для порівняльного аналізу отриманих результатів граничні умови для усіх моделей брали однаковими. Аналіз результатів розрахунків проводили за показниками загальних деформацій (Total Deformation). На початковому етапі для подальшого порівняльного аналізу отриманих результатів проведено розрахунки НДС біомеханічної моделі з нормальними показниками фізичних властивостей біологічних тканин. У подальших розрахунках еластичні властивості капсулярно-зв'язкового комплексу було знижено на 25, 50 та 75% відповідно.

Для оцінки адекватності застосованої моделі провели дослідження залежності результатів комп'ютерного моделювання з результатами дослідження кута непокриття головки ТК (TNUncoverAngle), значення якого в нормі становить $12,8 \pm 9^\circ$ [8]. Вимірювання проводили на аксіальних КТ-сканах у програмі RadiAnt DICOM Viewer 2022.1 із застосуванням наданих інструментів (рис. 2). Кут непокриття головки ТК визначають між лініями, дотичними до країв суглобових поверхонь таранної та човноподібної кісток. Цей показник є найбільш точним і стабільним при ПС.

Були виміряні значення кута непокриття головки ТК у випадках, що репрезентували I, II та III ступені дегенеративних змін за Z.S. Rosenberg та ін. по 4 випадки відповідно. Результати вимірювань: I ступінь – $28,9 \pm 1,6^\circ$; II ступінь – $51,2 \pm 3,9^\circ$; III ступінь – $80,3 \pm 2,1^\circ$. Вибір цього показника був обумовлений тим, що з певного моменту загальноприйнятні скіалогічні показники, такі як вертикальний та горизонтальний таранно-метатарзальний кути, що репрезентують ПС, стають недостовірними.

Результати

Порівняльний аналіз показників загальних переміщень моделі стопи з нормальними показниками фізичних властивостей біологічних тканин (а) та при зниженні механічних властивостей сполучної тканини на 50% (б) в умовах дегенеративної дисфункції з боку капсулярно-зв'язкового комплексу під дією навантаження вагою тіла представлено на рис. 3.

Отримані результати продемонстрували збільшення значень переміщень (Total Deformation) на моделі стопи людини на 67%, в умовах зниження механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу на 50%. Враховуючи те, що завдання статичного аналізу були розв'язані у фізично та геометрично лінійній постановці, розрахункова залежність показників загальних переміщень від ступеня зниження механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу також буде мати лінійний характер (табл. 2).

Як свідчать дані, наведені в табл. 2, розрахункове на-ростання відсоткового зниження еластичних властивостей та механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу внаслідок дегенеративного процесу супроводжується прогресивним взаємопереміщенням сегментів, що утворюють модель стопи, під дією навантаження вагою тіла від 33% – при I стадії дегенерації до 100% – при III стадії дегенерації капсулярно-зв'язкового комплексу.

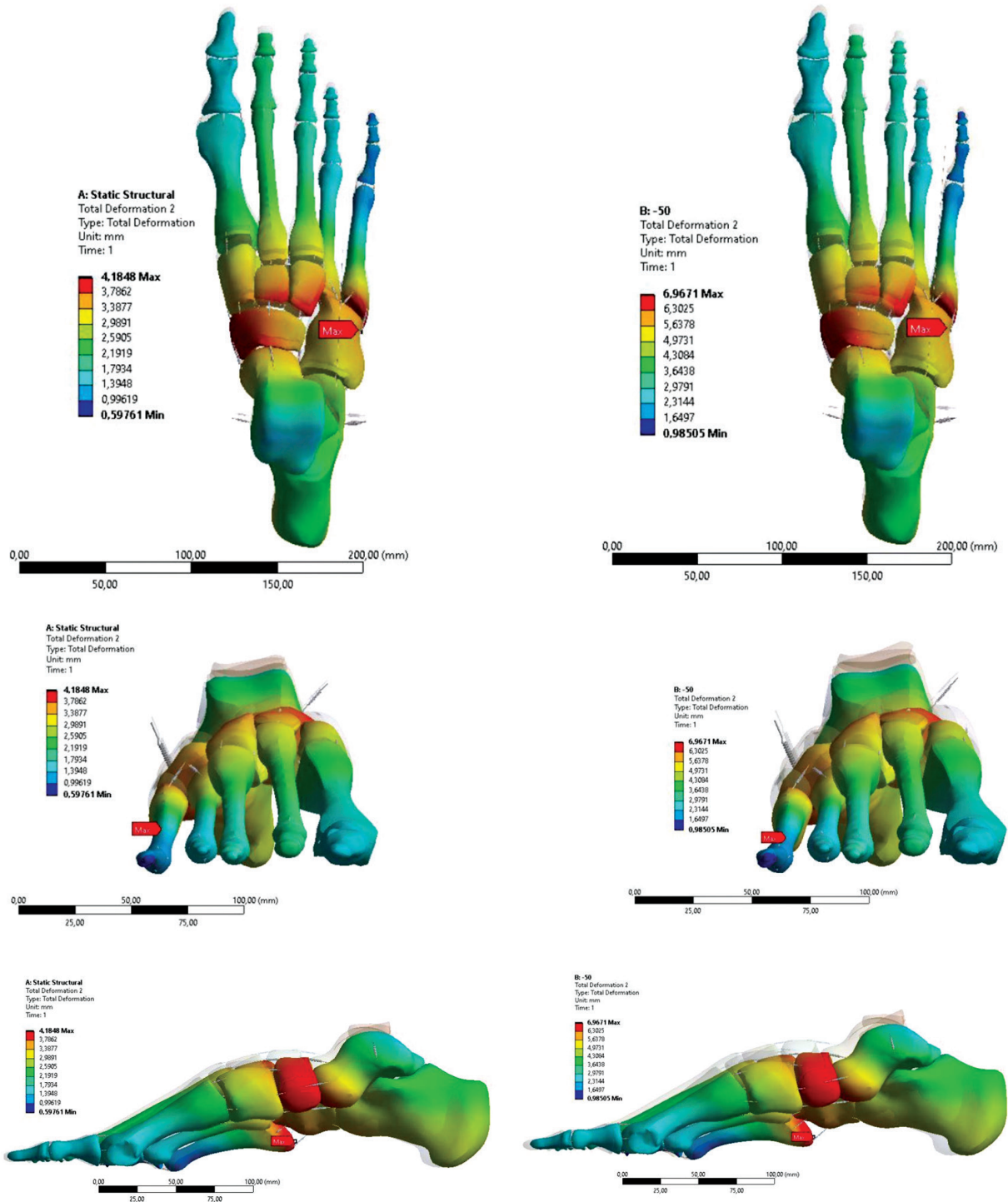
Оцінка адекватності застосованої моделі була проведена за допомогою дослідження залежності результатів комп'ютерного моделювання з результатами дослідження кута непокриття головки ТК, значення якого обраховані за КТ-сканами стоп, які були використані для створення комп'ютерної моделі. Графік залежності загальних переміщень моделі від значень кута непокриття головки ТК представлений на рис. 4.

Як свідчать дані графіка, залежність має практично лінійний позитивний характер, що підтверджує результати моделювання та розрахунків. Це свідчить на користь припущення, що механічні властивості

Таблиця 2

Залежність (розрахункова) показників загальних переміщень ступеня від зниження механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу

	Стадія дегенерації за Z.S. Rosenberg та ін. [6]			
	0 норма	I (- 25%)	II (- 50%)	III (- 75%)
Загальні переміщення, мм	4,18	5,57	6,97	8,36
Зміни показників, %	100	133	167	200



норма

$\Delta_{\max} = 4,18 \text{ мм}$

зниження механічних властивостей
LCN та m. tibialis posterior

$\Delta_{\max} = 6,97 \text{ мм}$

Рис. 3. Порівняльний аналіз показників загальних переміщень зв'язкової зони (LCN, сухожилок *m. tibialis posterior*) та при зниженні її механічної міцності на 50%

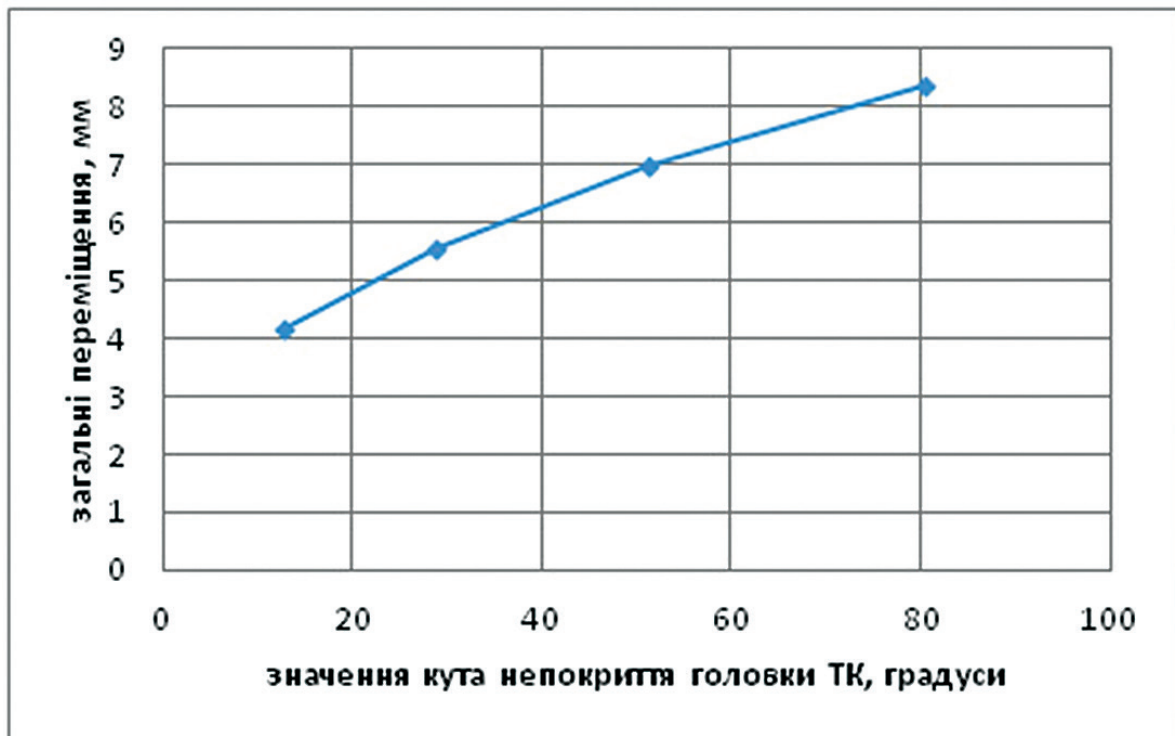


Рис. 4. Графік залежності загальних переміщень комп'ютерної моделі та значень кута непокриття головки ТК

капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* чинять найбільш суттєвий вплив на зміщення в периталарній зоні при набутій ПС.

Порівняльний аналіз показників загальних переміщень моделі стопи людини з нормальними фізичними властивостями тканин та моделі стопи зі зміненими еластичними (механічними) властивостями капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* при одноопорному стоянні виявив зростання значень від 5,57 мм – при 25% зниженні механічної міцності сполучної тканини до 8,36 мм – при 75% зниженні механічної міцності сполучної тканини. Ці показники відображають прогресуючу деформацію ЗВС під дією навантаження вагою тіла з наростанням дефіциту механічної міцності капсулярно-зв'язкових структур *acetabulum pedis*.

Дискусія

Введення поняття *acetabulum pedis* пояснює багатовекторний рух еверсія-інверсія, а в останні десятиріччя поняття *acetabulum pedis* отримало подальший розвиток у концепції *calcaneopedal unit* (CPU) [9]. Буквальний переклад *calcaneopedal unit* означає п'ятково-стопна одиниця, п'ятково-стопний блок. Суть концепції полягає у тому, що стопа як єдине ціле рухається навколо таранної кістки.

Концепція CPU відображає біомеханічний зміст руху у секторі еверсія-інверсія – від гнучкої плоскої

стопи до клишоногості. Саме ця концепція була задіяна доктором I.V. Ponseti при розробці його способу лікування вродженої клишоногості.

CPU має 3D-мобільність навколо осі (вісь Henke), яка приблизно розташована на 41° розгинання та 23° внутрішньої ротації [10]. Ця уявна вісь проходить через ТК у точці на верхньо-медіальній поверхні її шийки, глибоку частину *lig. talocalcaneum interosseum*, задньолатеральну частину.

Біомеханічний зміст рухів у секторі еверсія-інверсія полягає у балансі дистального сегмента ПВС відносно ЗВС – якщо головка 5-ї плеснової піднімається, то головка 1-ї плеснової опускається – і навпаки. Відповідним чином ЗВС адаптується до положення ПВС, така реципрокна взаємодія можлива через різнонаправлені рухи у поперечному суглобі заплесна під час повної опори [11].

Для пояснення взаємодії між ЗВС та ПВС, особливо в сенсі компенсаторних взаємодій, M.A. MacConnail та J.V. Basmajian [12] порівняли стопу (без пальців) зі скрученою пластиною, яку вони назвали *lamina pedis*. Супіноване положення плесна при стоянні викликає дєторсію або розкручування *lamina pedis* і відповідно вальгусне положення ЗВС із метою збереження *plantigrade position*, що є характерним для ПС. Пронація плесна викликає зворотний ефект, що проявляється варусом ЗВС, властивим порожнистій стопі та клишоногості [5].

Біомеханічні моделі стопи були розроблені для кращого розуміння кінематики стопи, однак свого

роду універсальної моделі не існує. Кожна запропонована модель стопи відображає той чи інший аспект, що потребував вивчення. Так, односегментна модель стопи, що її представили R.B. Davis та ін. [13] для клінічного аналізу ходьби, та інші односегментні моделі нині мають історичний інтерес. Наявні нові моделі представлені чотирисегментною Оксфордською моделлю [14], трисегментною моделлю Milwaukee [15], п'ятисегментною моделлю стопи A. Leardini та ін. [16]. При всіх позитивних моментах застосування будь-яких моделей обмежене через їх достатньо вузьку спеціалізацію [17].

Цінною властивістю SE моделювання є можливість передбачення механічних ефектів, що виникають у тканинах при їх різних фізичних характеристиках. При комп'ютерному моделюванні складних біомеханічних об'єктів, таких як стопа, постає проблема оцінки адекватності моделі. Для оцінки адекватності моделі ми застосували кут непокриття головки ТК (TNuncoverAngle) [8] як найбільш стабільний скіалогічний показник ПС. Можливість застосування скіалогічних показників, зокрема і кута непокриття головки ТК, для оцінки адекватності біомеханічних моделей стопи була показана E.M. Spratley та ін. [18].

Продовжуючи тему *acetabulum pedis*, доречно зупинитись на ролі *lig. calcaneonaviculare* у функціонуванні *acetabulum pedis*. LCN разом із сухожилком *m. tibialis posterior* забезпечують стабільність ЗВС та медіальної арки. Травматичні та дегенеративні ушкодження LCN та сухожилка *m. tibialis posterior* розцінюють як причину набуті ПС [19]. Дослідження капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* в аспекті впливу на виникнення деформацій ЗВС розпочались відносно нещодавно.

Зміщення та розподіл навантажень у стопі залежно від механічної міцності зв'язок та сухожилків вивчав V. Filardi [20]. Він досліджував вплив механічних властивостей м'якотканинних структур на розподіл навантаження по плантарній поверхні стопи на основі розробки моделі стопи за методом SE. Два висновки з його роботи добре співвідносяться з нашими результатами: найбільших стресових навантажень зазнає перитарна зона; чим більшу міцність мають капсула та зв'язки, тим менших навантажень зазнає кістяк стопи. Моделювання стресових навантажень у нормі, при ПС та клишоногості показало, що в будь-яких умовах однією з найбільш навантажуваних ділянок є перитарна зона [21].

Таким чином, результати нашого дослідження повністю вписуються в концепцію CPU, підтверджують провідну роль зменшення механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* у генезі набуті ПС.

Обмеження

Це дослідження має певні обмеження. Перше – анізотропія та нелінійність кортикальної та спонгіозної кістки не закладені у властивостях моделі. Друге – характеристики навантаження стопи були досліджені виключно для фази повної опори, без урахування розподілу сил на м'язи гомілки та стопи.

Висновки

Вивчений вплив механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* на переміщення в двосегментній моделі стопи людини в нормі та при набутій плоскій стопі. Встановлено, що зниження еластичних властивостей та механічної міцності капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* при одноопорному навантаженні спричиняють взаємопереміщення вдвічі більші за норму, розрахункова залежність – величина переміщень / зменшення міцності – має пряму залежність. Це відображує прогресуюче деформування заднього відділу стопи із наростанням дефіциту механічної міцності капсулярно-зв'язкових структур *acetabulum pedis*.

Застосована двосегментна модель стопи є адекватною для дослідження впливу механічних властивостей капсулярно-зв'язкового комплексу *acetabulum pedis* на механогенез деформування при набутій плоскій стопі, що підтверджено збігом результатів комп'ютерного моделювання з результатами дослідження кута непокриття головки таранної кістки стоп, які були використані для створення комп'ютерної моделі.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів. Ця публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості в будь-якій формі.

References

1. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. J Child Orthop. 2010;4(2):107-21. DOI: 10.1007/s11832-010-0239-9.
2. Stewart SF. Human gait and the human foot: an ethnological study of flatfoot. I. Clin Orthop Relat Res. 1970;70:111-23. PMID: 5445716.
3. Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. J Foot Ankle Res. 2018;11:21. DOI: 10.1186/s13047-018-0264-3. eCollection 2018.
4. Meary R. Le pied creux essentiel, 19i me r union annuelle de la SOFCOT. Rev Chir Orthop Repar Appar Mot. 1967;53(3):389-467.
5. Seringe R, Wicart P, French Society of Pediatric Orthopaedics. The talonavicular and subtalar joints: the "calcaneopedal unit" concept. Orthop Traumatol Surg Res. 2013;99(6 Suppl):S345-55. DOI: 10.1016/j.otsr.2013.07.003.
6. Rosenberg ZS, Cheung Y, Jahss MH, Noto AM, Norman A, Leeds NE. Rupture of posterior tibial tendon: CT and MR imaging with

surgical correlation. *Radiology*. 1988;169(1):229-35. DOI: 10.1148/radiology.169.1.3420263.

7. Xu J, Abdullah A, Alkhatib N, Huang Y, Xie D, Deng Z. Isolated medial column stabilization surgery does not benefit adult acquired flatfoot stage IIa nor IIb by three-dimensional finite element biomechanical analysis. *Am J Transl Res*. 2021;13(11):12834 – 42. eCollection 2021. PMID: 34956498.

8. Merian M, Kaim A. The plantar fascia talar head correlation: a radiographic parameter with a distinct threshold to validate flatfoot deformity and its corrective surgery on conventional weightbearing radiographs. *Foot Ankle Int*. 2022;43(3):414-425. DOI: 0.1177/10711007211052258.

9. Ghanem I, Massaad A, Assi A, Rizkallah M, Bizdikian AJ, El Abiad R et al. Understanding the foot's functional anatomy in physiological and pathological conditions: the calcaneopedal unit concept. *J Child Orthop*. 2019;13(2):134-146. DOI: 10.1302/1863-2548.13.180022.

10. Close JR, Inman VT, Poor PM, Todd FN. The function of the subtalar joint. *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1967. – V.50, N.1. – P.159 – 179. PMID: 6029014.

11. Deschamps K, Staes F, Roosen P, Nobels F, Desloovere K, Bruyninckx H, Matricali GA. Body of evidence supporting the clinical use of 3D multisegment foot models: a systematic review. *Gait Posture*. 2011;33(3):338-49. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.12.018.

12. MacConnail M.A., Basmajian J.V. *Muscles and movements. A base for human kinesiology*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1969.

13. Davis RB III, Öunpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Hum. Mov. Sci.* – 1991. – V.10, N.4. – P.575 – 587.

14. Carson MC, Harrington ME, Thompson N, O'Connor JJ, Theologis TN. Kinematic analysis of a multi-segment foot model

for research and clinical applications: a repeatability analysis. *J Biomech*. 2001;34(10):1299-307. DOI: 10.1016/S0021-9290(01)00101-4.

15. Kidder SM, Abuzzahab FS Jr, Harris GF, Johnson JE. A system for the analysis of foot and ankle kinematics during gait. *IEEE Trans Rehabil Eng*. 1996;4(1):25-32. DOI: 10.1109/86.486054.

16. Leardini A, Benedetti MG, Berti L, Bettinelli D, Natio R, Giannini S. Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. *Gait Posture*. 2007;25(3):453-62. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.05.017.

17. Rankine L, Long J, Canseco K, Harris GF. Multisegmental foot modeling: a review. *Crit Rev Biomed Eng*. 2008;36(2-3):127-81. DOI: 10.1615/critrevbiomedeng.v36.i2-3.30.

18. Spratley EM, Matheis EA, Hayes CW, Adelaar RS, Wayne JS. Validation of a population of patient-specific adult acquired flatfoot deformity models. *J Orthop Res*. 2013;31(12):1861-8. DOI: 10.1002/jor.22471.

19. Abousayed MM, Tartaglione JP, Rosenbaum AJ, Dipreta JA. Classifications in brief: Johnson and Strom classification of adult-acquired flatfoot deformity. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(2):588-93. DOI: 10.1007/s11999-015-4581-6.

20. Filardi V. Finite element analysis of the foot: Stress and displacement shielding. *J Orthop*. 2018;15(4):974-979. DOI: 10.1016/j.jor.2018.08.037.

21. Wang C, He X, Zhang Z, Lai C, Li X, Zhou Z, Ruan K. Three-dimensional finite element analysis and biomechanical analysis of midfoot von mises stress levels in flatfoot, clubfoot, and Lisfranc joint injury. *Med Sci Monit*. 2021;27:e931969. DOI: 10.12659/MSM.931969.

The Effect of Mechanical Properties of the Capsular-Connected Complex Acetabulum Pedis on Movements in the Two-Segment Foot Model in Normal Foot and Flatfoot

Liabakh A.P.¹, Lazariev I.A.¹, Turchyn O.A.¹, Piatkovskiy V.M.¹

¹SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

Summary. The flatfoot remains a poorly defined clinical entity. **Objective:** to study the movements that occur in the foot under a single-support load on a two-segment model of the normal foot and flatfoot under different mechanical properties of the capsular-ligamentous complex acetabulum pedis. **Materials and Methods.** A two-segment model of the foot was developed, which consisted of anatomical hindfoot and forefoot. The connection between them was represented by a complex consisting of lig. calcaneonavicular and the tendon of m. tibialis posterior. A decrease in the mechanical strength of the complex was represented by three types of tendon tissue degeneration according to Z.S. Rosenberg et al.: 0% – the norm, 25% – type I, 50% – type II, and 75% – type III. The 3D finite element model was created using real foot skeletons from 12 patients with acquired flatfoot, obtained from 3D reconstructions with CT. The model was loaded with a force of 750 N from the plateau of the tibia in the direction of the ground surface. The adequacy of the model was assessed by examining the dependence of the simulation results with the values of the talo-navicular uncovered angle of the same patients. **Results.** The mutual movement of the segments forming the foot model progressively increased with a decrease in the strength of the capsular-ligamentous complex from 4.18 mm in the norm to 8.36 mm in type III degenerative changes. The linear nature of the dependence of total displacements on the decrease in the mechanical strength of the capsular-ligamentous complex is confirmed by the assessment of the adequacy of the model. **Conclusions.** The decrease in the mechanical strength of the capsular-ligamentous complex acetabulum pedis under a single-bearing load causes the mutual movement of segments of the model twice as large compared to the norm; the calculated dependence of movement/decrease in strength is linear.

Key words: flatfoot; acetabulum pedis; 3D modeling.

Скелетно-м'язове моделювання компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом

Лазарев І.А.¹, Білявський В.О.¹✉, Юрійчук Л.М.², Богдан С.В.¹

Резюме. Наявність кальцинату в товщі сухожилків ротаторної манжети плеча (РМП) зазвичай призводить до порушення біомеханіки плечового суглоба, зокрема до порушення плечолопаткового ритму. Цікавим та малодослідженим залишається питання компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом. **Мета дослідження.** Провести скелетно-м'язове моделювання з вивченням компенсаторної участі м'язів РМП у забезпеченні стабільності плечового суглоба при елементарному русі елевації верхньої кінцівки в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого наявністю кальцинату в його товщі. **Матеріали і методи.** Для аналізу використовувалося імітаційне комп'ютерне моделювання в програмному пакеті AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) для Windows. Калькуляція проводилася на програмному компоненті Matnequin, обраному з колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™. Розраховували параметри суглобових сил, що діють у напрямку 3 осей – X, Y, Z, де вісь X відповідала передньо-задньому напрямку сили (antero-posterior force), вісь Y – нижньо-верхньому напрямку (infero-superior force), вісь Z – компресійно-дистракційному напрямку сили (medio-lateral force), на плечовий суглоб. Об'єктом дослідження були активність м'язів (Activity) та сила м'язів (Fm) *m. deltoidus clavicular*, *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis*, *m. teres major*, *m. teres minor* при імітації зниження сили *m. supraspinatus*, на 50% спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка. **Результати.** При складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією, в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*, зі зниженням показників його сили на 50% виникає компенсаторне збільшення сили м'язів плечового поясу – задньої порції *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* – для забезпечення стабільності плечового суглоба. Враховуючи незначні зміни суглобових реакцій за 3 осями, при зниженні сили *m. supraspinatus*, спричиненому наявністю кальцинату в його товщі, компенсаторний механізм включення додаткової м'язової активності та м'язових зусиль інших м'язів плечового поясу забезпечує у цих умовах необхідну стабільність плечового суглоба. **Висновки.** Проведене дослідження підтверджує можливість успішного застосування програм консервативного лікування кальцинатів сухожилка *m. supraspinatus*, спрямованого на розвиток компенсаторних можливостей м'язів плечового поясу.

Ключові слова: кальцифікуючий тендиніт; ротаторна манжета плеча; плечовий пояс.

Вступ

Кальцифікуючий тендиніт сухожилків ротаторної манжети плеча (РМП) – захворювання, що

характеризується болем і обмеженням рухів у плечовому суглобі (ПС) через відкладення поодиноких або множинних депозитів гідроксиапатиту кальцію ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}$) у товщі сухожилків РМП або субакроміальній сумці [1]. Термін “кальцифікуючий тендиніт” вперше був вжитий Plenk у 1952 році. Типовим симптомом цієї нозології є біль, що виникає у ПС та

✉ Білявський В.О., dr.biliaivskiy@gmail.com

¹ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, м. Київ

²Івано-Франківська обласна клінічна лікарня, м. Івано-Франківськ

призводить до обмеження об'єму як активних, так і пасивних рухів у ПС [1].

Існує кілька теорій патогенезу виникнення кальцифікуючого тендиніту [2-4]. Перша гіпотеза базується на так званому зносі сухожилків РМП, тобто постійному перевантаженні та дегенерації. Мікротравматизація сухожилка може мати безсимптомний перебіг, але у відповідь на це в організмі відбувається стимулювання процесів загоєння, включаючи утворення депозитів кальцію у ділянці ушкодження [5]. Uhthoff & Loehr (1997) описують інший механізм, у якому захворювання має перебіг реактивного процесу, спричиненого гіпоксією сухожилка та має 3 стадії: прекальцинату, кальцинату та післякальцинату. Захворювання починається із метаплазії тканини сухожилка у його товщі. Наступна стадія кальцинату поділяється на 3 фази: формування, спокою та резорбції – й остання стадія післякальцинату характеризується утворенням нових кровоносних судин і ремоделюванням простору сухожилка з кальцином [6]. Симптоматичним вважається кальцинат, якщо пацієнта турбує біль, слабкість або порушення відведення у плечовому суглобі, що призводить до порушення об'єму рухів. До цього всього характеристика болю може бути різною залежно від стадії та фази захворювання, наприклад, у пацієнтів із підгострим, слабким болем, ймовірно, фаза формування кальцинату, навпаки, у пацієнтів із гострим больовим синдромом – фаза резорбції [6]. Симптоми посилюються, коли розмір кальцинату досягає 1,5 см у діаметрі, викликаючи постійний больовий синдром, ушкодження сухожилків РМП та вторинний адгезивний капсуліт [7, 8]. Середні розміри площі кальцинатів сухожилка надостьового м'яза коливаються в межах $1,49 \pm 0,48 \text{ см}^2$ [1], розміри зони фіксації сухожилка надостьового м'яза до великого горбка плечової кістки – $3,91 \pm 0,5 \text{ см}^2$. Таким чином, середні розміри площі кальцинатів сухожилка надостьового м'яза займають від 30 до 50% площі фіксації сухожилка надостьового м'яза.

Повідомляється про поширеність кальцифікуючого тендиніту від 2,7 до 10% у загальній популяції [5, 9, 10], з яких у 50% це захворювання має асимптомний перебіг [11]. Жінки хворіють удвічі частіше, ніж чоловіки, причому правий ПС ушкоджується частіше [12]. Сухожилок надостьового м'яза вражається у 80% випадків, підостьовий – у 20%, підлопатковий – у 5% і менше [12, 13].

Наявність кальцинату в товщі сухожилків РМП зазвичай призводить до порушення біомеханіки плечового суглоба і зокрема до порушення плечолопаткового ритму. Цікавим та малодослідженим лишається питання компенсаторної участі м'язів

плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом. В англійській літературі ми знайшли лише кілька робіт, присвячених цьому питанню [6, 14].

Мета дослідження: провести скелетно-м'язове моделювання з вивченням компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба при елементарному русі елевації верхньої кінцівки в умовах часткового зниження сили надостьового м'яза, спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка.

Матеріали і методи

Для аналізу використовували імітаційне комп'ютерне моделювання в програмному пакеті AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) для Windows. Калькуляція проводилася на програмному компоненті Mannequin, обраному з колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™ (рис. 1).

Засобами програми виділено елемент моделі плечового суглоба з навколишніми групами м'язів (рис. 2).

Розраховували параметри суглобових сил, що діють у напрямку 3 осей – X, Y, Z, де вісь X відповідала передньо-задньому напрямку сили (antero-posterior force), вісь Y – нижньо-верхньому напрямку (infero-superior force), вісь Z – компресійно-дистракційному напрямку сили (medio-lateral force), на плечовий суглоб (рис. 2).

Задано параметри та умови дослідження: напрямок – Inverse Dynamics, розраховували максимальну м'язову активність та м'язове зусилля для кожного м'яза РМП при складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією верхньої кінцівки з нейтрального положення вздовж тулуба – 10° у положення відведення – 90° , із наступним згинанням передпліччя до 90° у ліктьовому суглобі. Час руху з початкового у кінцеве положення – 0,5 с. Наявність кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* моделювали шляхом зниження у вхідних параметрах сили *m. supraspinatus* на 50%. Під час білатерального руху порівнювали силу та активність м'язів на боці симуляції ушкодження з інтактною стороною. Об'єктом дослідження були активність м'язів (Activity) та сила м'язів (Fm) *m. deltoidus clavicular*, *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis*, *m. teres major*, *m. teres minor* при імітації зниження сили *m. supraspinatus* на 50%, спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка.

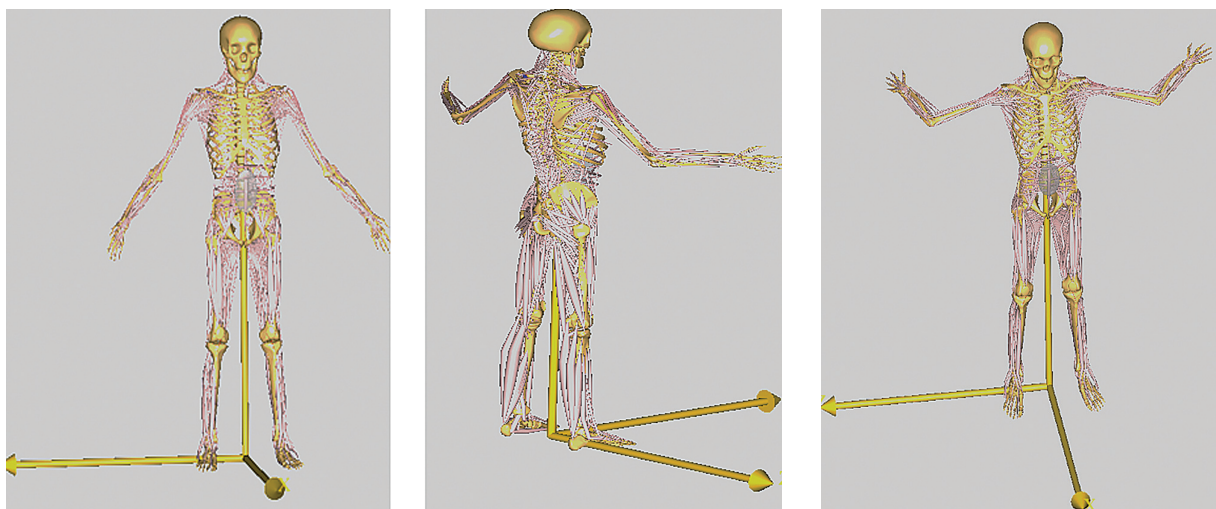


Рис. 1. Програмний компонент Mannequin із колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™

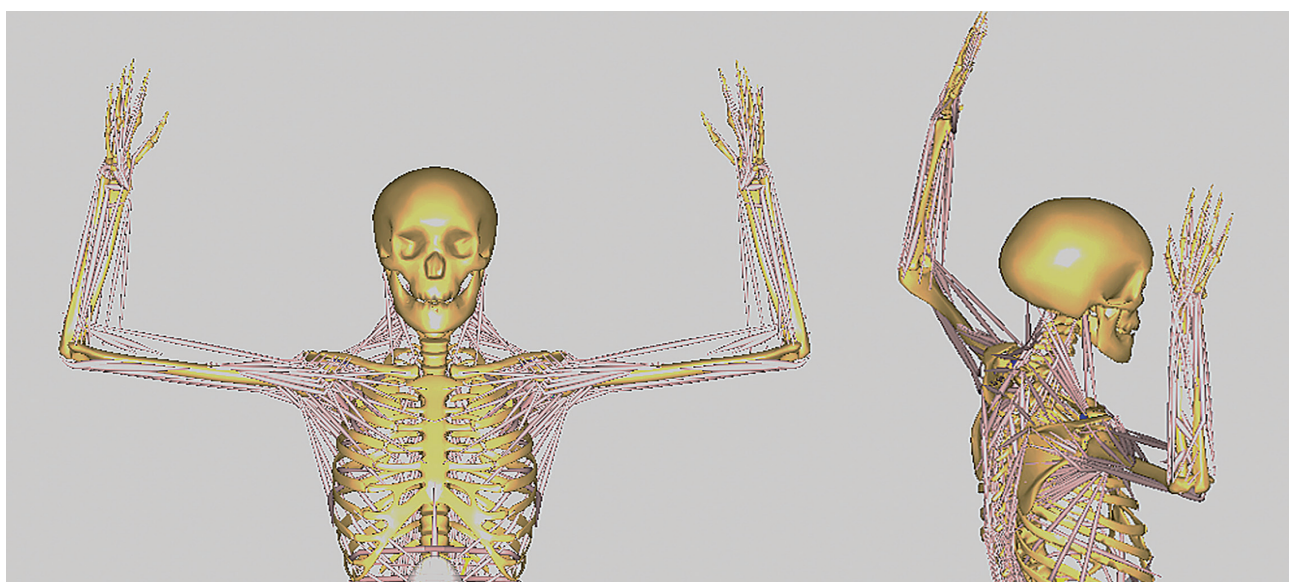


Рис. 2. М'язи плечового суглоба в моделі AnyBody

Результати

Порівняльний аналіз показників суглобових реакцій за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% представлено у табл. 1 та на графіках (рис. 3).

Таблиця 1

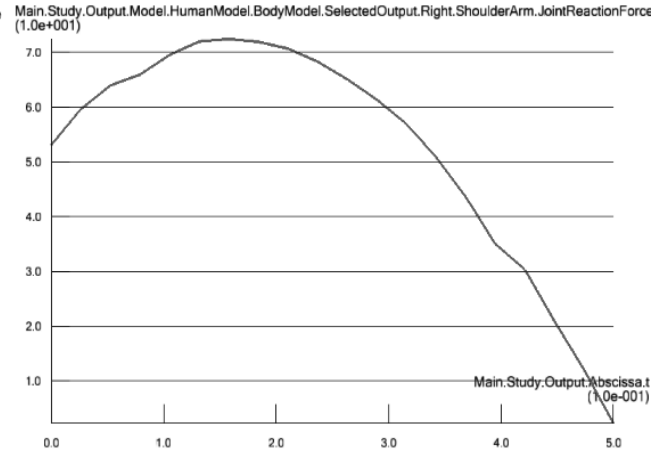
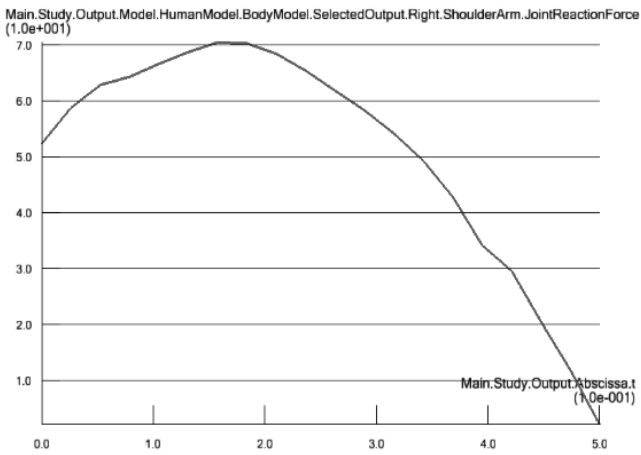
Порівняльний аналіз показників суглобових реакцій (JRF) за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

JRF	Norm	50% <i>m. supraspinatus</i>
GlenoHumeral AnteroPosteriorForce	7.15×10	7.0×10
GlenoHumeral DistractionForce	-2.9×10^2	-2.75×10^2
GlenoHumeral InferoSuperiorForce	1.2×10^2	1.25×10^2

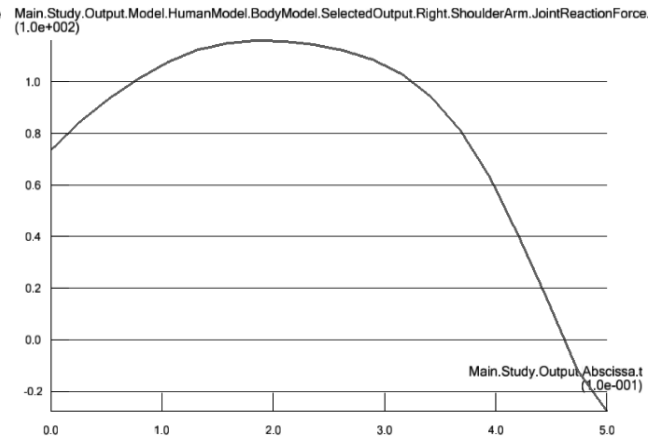
Сторона ураження

Інтактна сторона

GlenoHumeral AnteroPosteriorForce



GlenoHumeral InferoSuperiorForce



GlenoHumeral DistractionForce

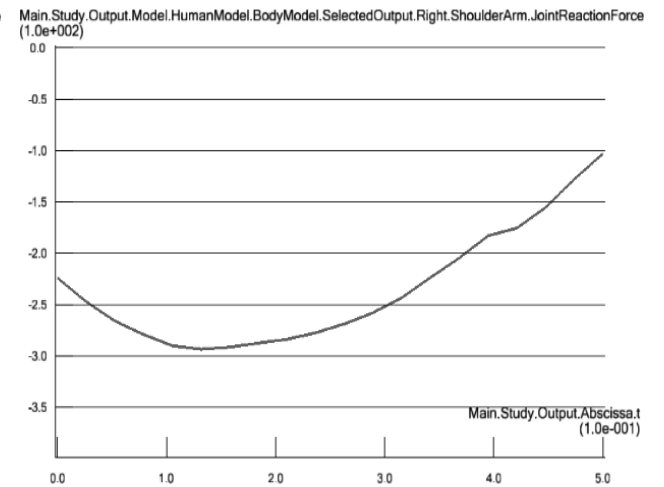
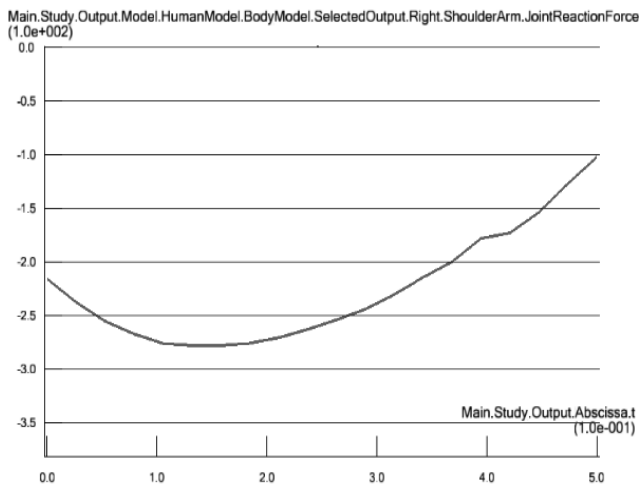


Рис. 3. Графіки показників суглобових реакцій (JRF) за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

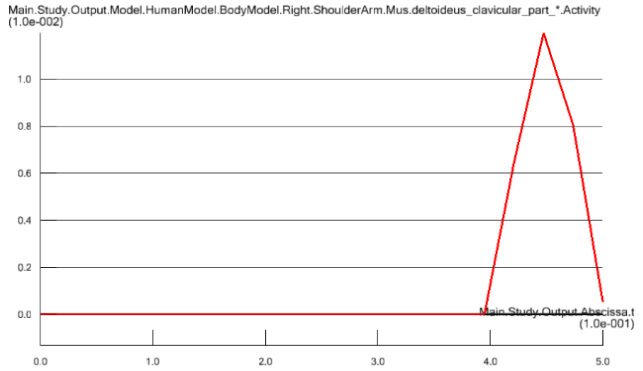
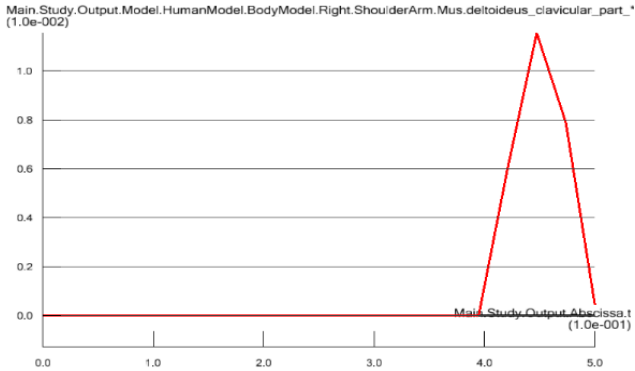
Як бачимо з табл. 1 та рис. 3, при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%, суглобові реакції AnteroPosteriorForce та DistractionForce на стороні ураження незначно зменшилися – на 2 та 5% відповідно, а InferoSuperiorForce збільшилися на 4% в порівнянні з інтактною стороною.

Графіки активності м'язів (Activity) та сили м'язів (Fm) плечового поясу при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% представлені на рис. 4-7.

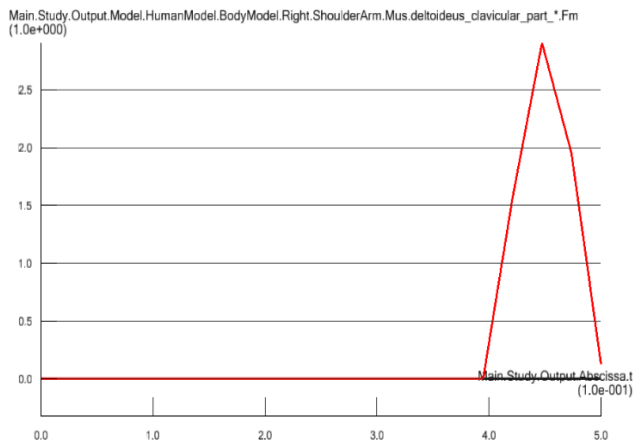
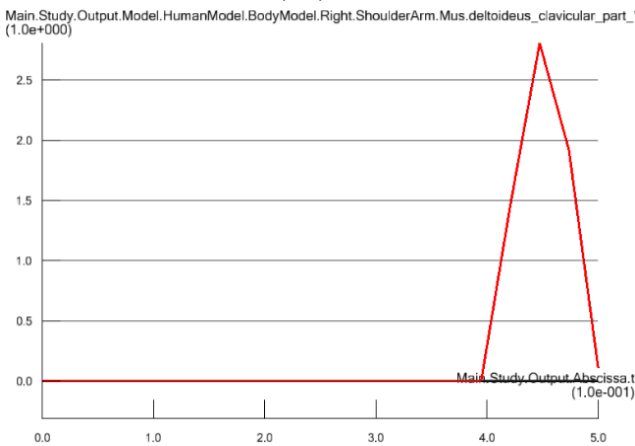
Сторона ураження

Інтактна сторона

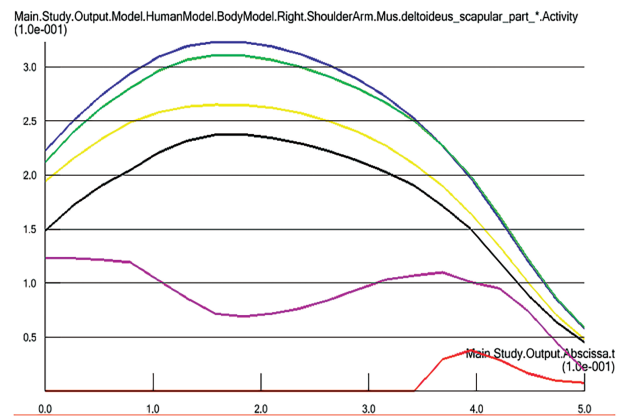
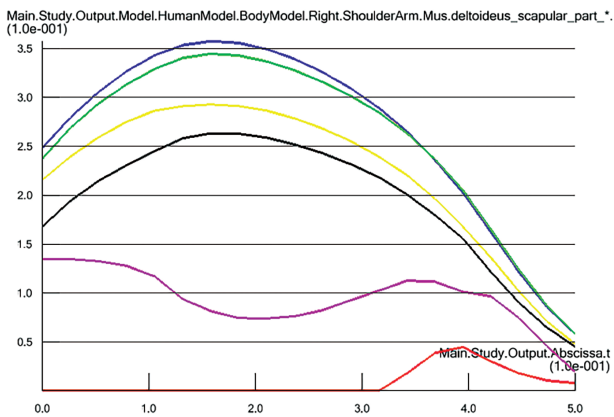
M. deltoideus clavicular (Activity)



M. deltoideus clavicular (Fm)



M. deltiodus scapularis (Activity)



M. deltoideus scapularis (Fm)

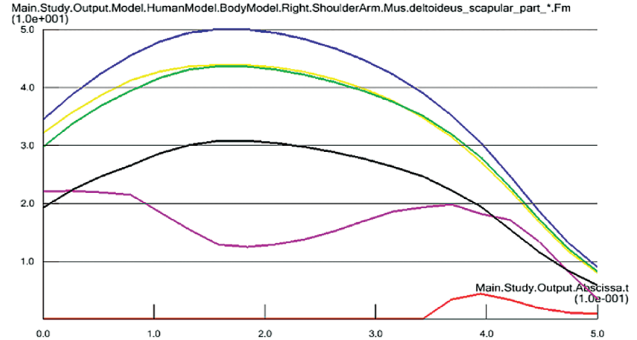
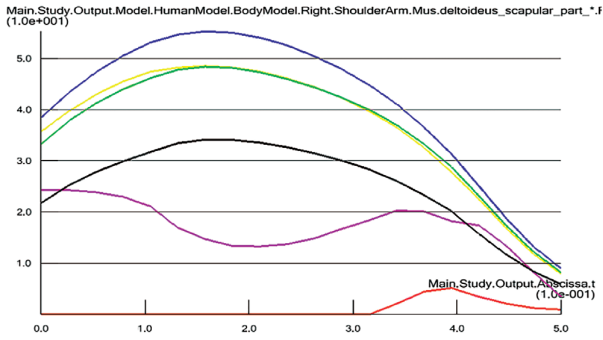
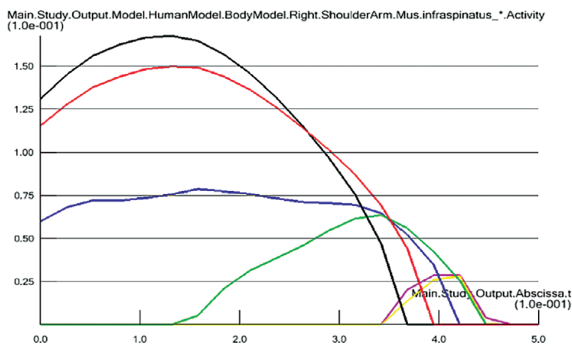


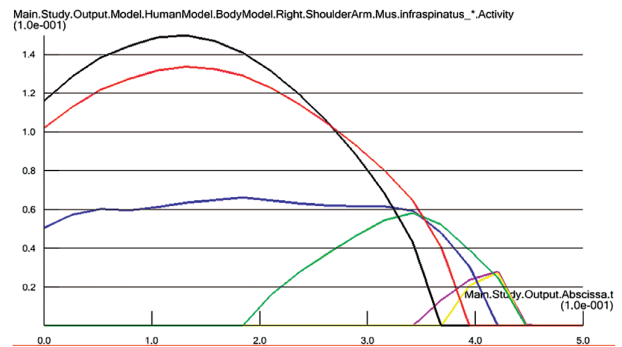
Рис. 4. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. deltoideus* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

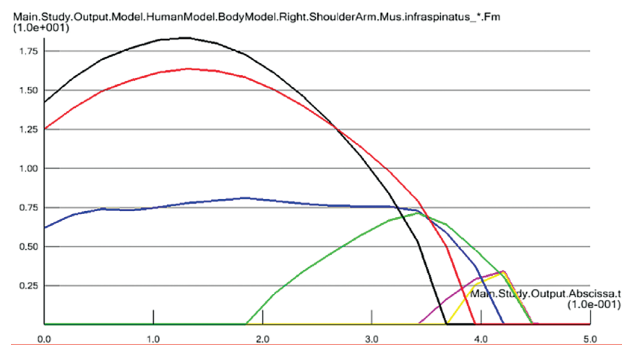
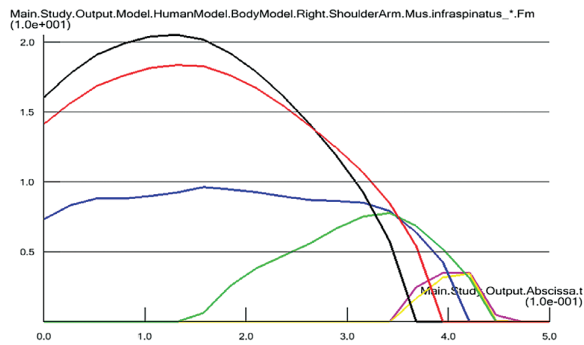
M. infraspinatus (Activity)



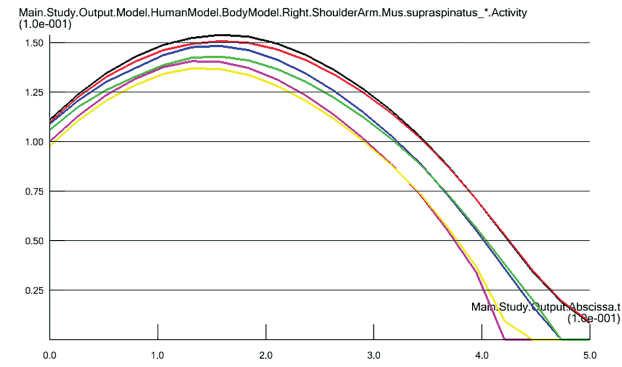
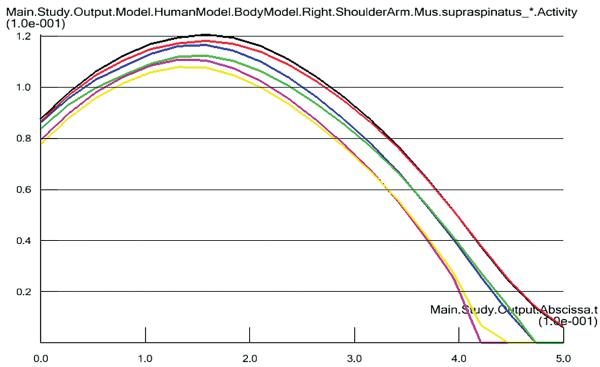
Інтактна сторона



M. infraspinatus (Fm)



M. supraspinatus (Activity)



M. supraspinatus (Fm)

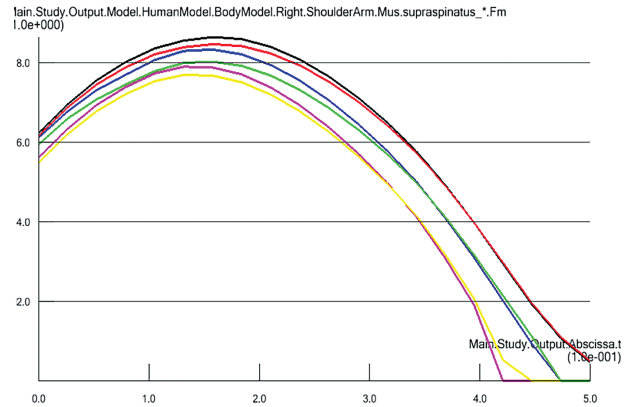
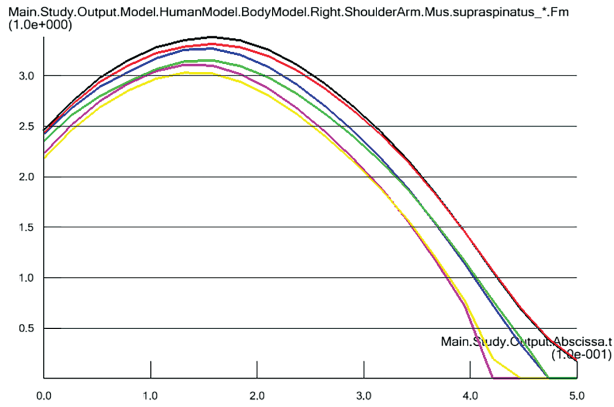
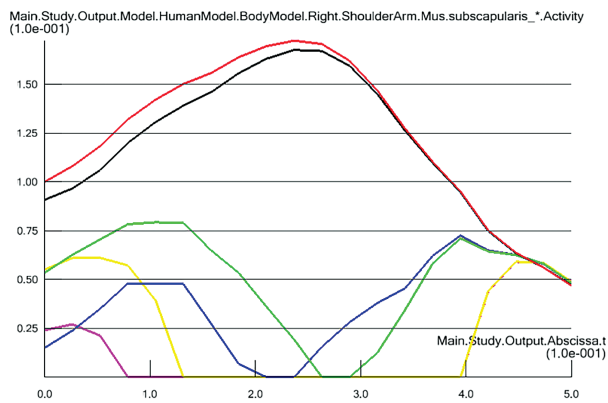


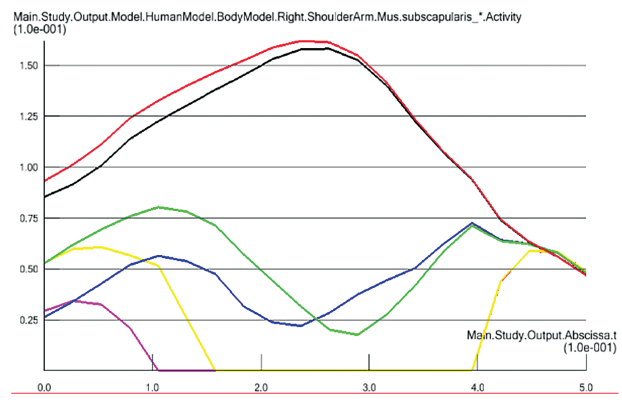
Рис. 5. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. infraspinatus* та *m. supraspinatus* (Fm) при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

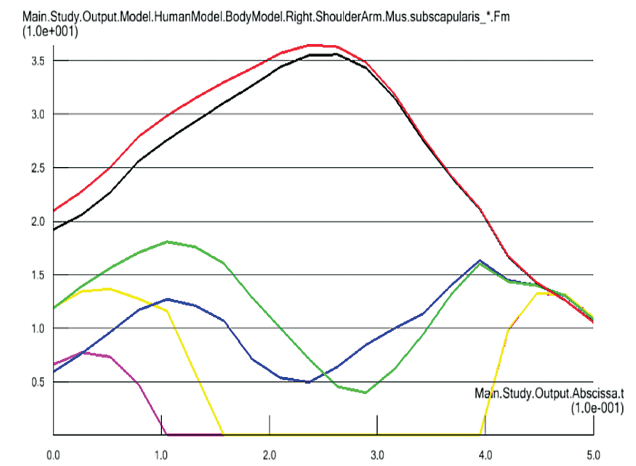
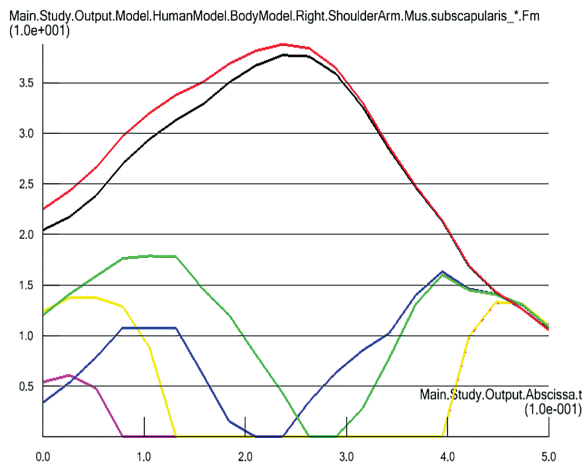
M. subscapularis (Activity)



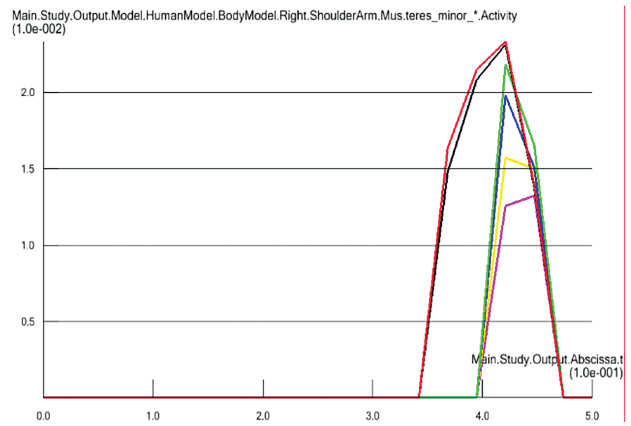
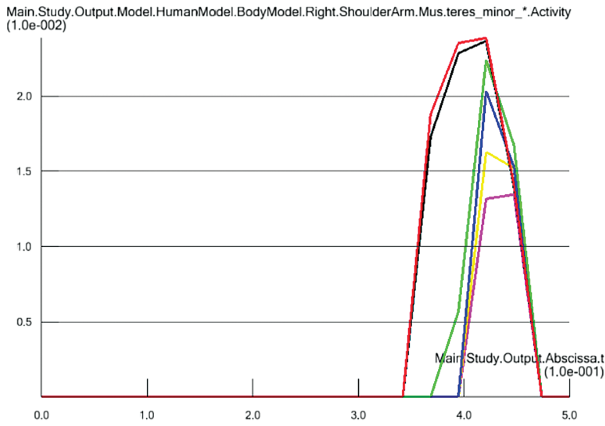
Інтактна сторона



M. subscapularis (Fm)



M. teres minor (Activity)



M. teres minor (Fm)

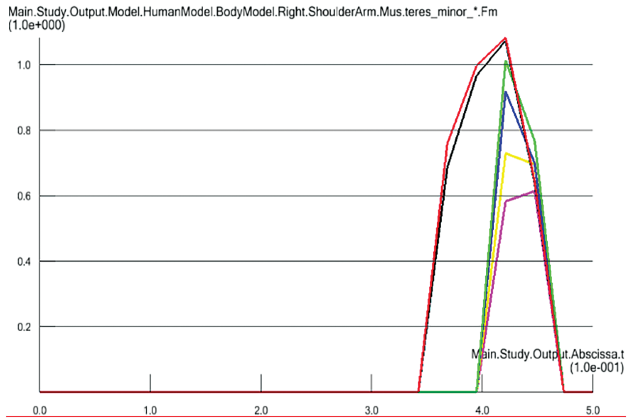
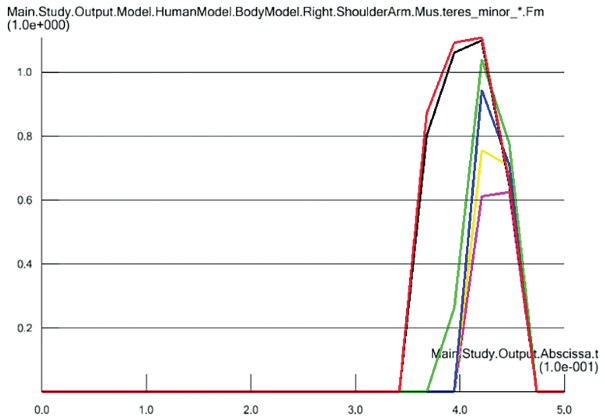
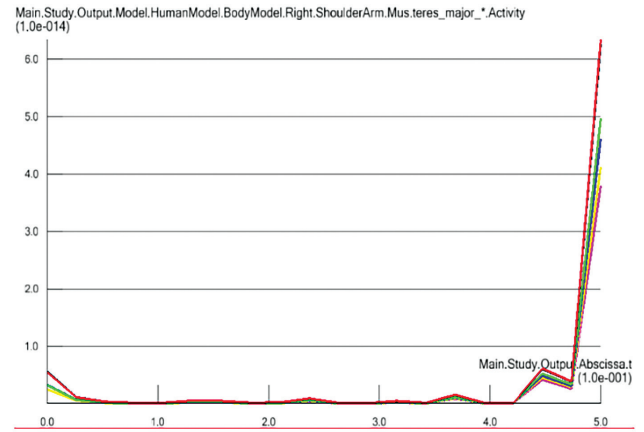
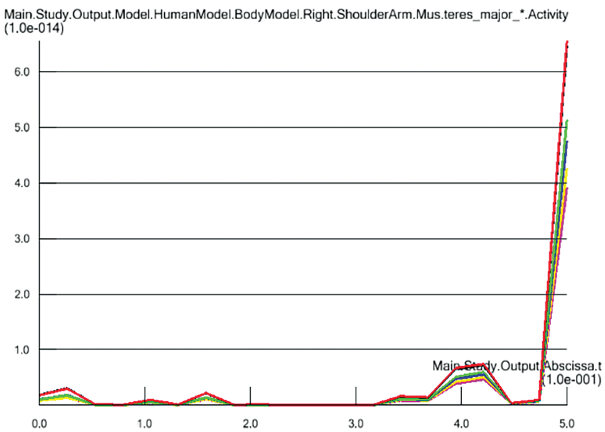


Рис. 6. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. subscapularis* та *m. teres minor* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

Інтактна сторона

M. teres major (Activity)



M. teres major (Fm)

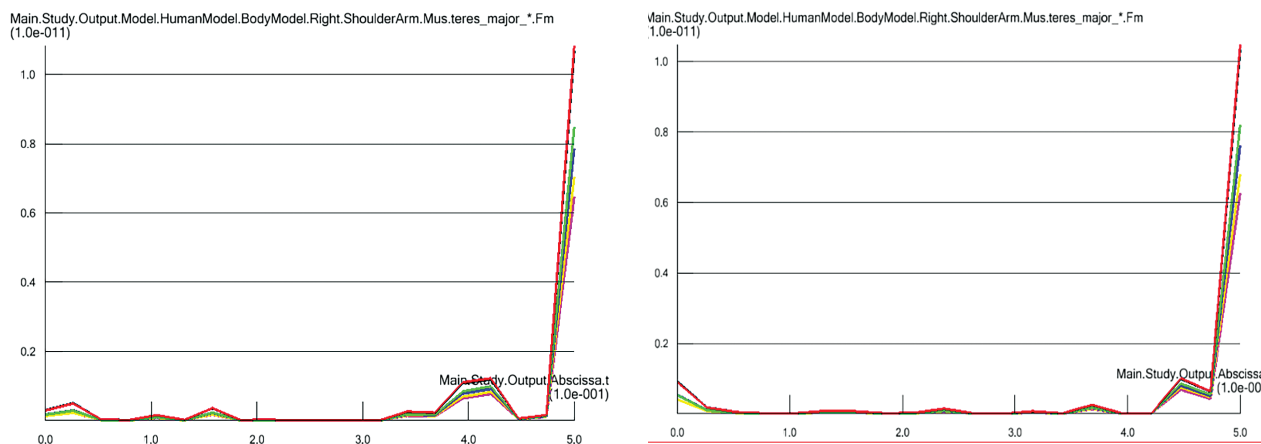


Рис. 7. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. teres major* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Порівняльний аналіз активності та сили м'язів плеча при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% внаслідок наявності кальцинату в товщі його сухожилка представлено у табл. 2.

Наявність кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* зі зниженням його сили на 50% супроводжується компенсаторним зростанням сили цілої групи м'язів плеча: *m. deltoidus scapularis* – на 10%, *m. infraspinatus* – на 17%, *m. subscapularis* – на 7% та *m. teres minor* – на 5% у порівнянні з інтактною стороною. При цьому ушкоджений *m. supraspinatus* демонструє зниження силових характеристик на 59%. Зміни силових характеристик *m. teres major* були незначними на фоні його мінімальної участі

у цьому русі. Активність м'язів інтактної сторони та сторони ураження була без видимих змін.

Таким чином, наявність кальцинату в сухожилку *m. supraspinatus* зі зниженням його сили на 50% супроводжується залученням додаткових компенсаторних зусиль та м'язової активності з боку *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis* та *m. teres minor*. За рахунок сумарної компенсаторної дії м'язів плеча для забезпечення вертикальної та горизонтальної стабільності гленохумерального суглоба виникає незначне зменшення показників сил реакції – AnteroPosteriorForce та DistractionForce на 2 та 5% відповідно, на стороні ураження. При цьому одночасно збільшуються по-

Таблиця 2

Порівняльний аналіз активності та сили (Н) м'язів плеча при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% внаслідок наявності кальцинату в його товщі

М'яз	Активність м'язів		Сила м'язів (Н)	
	Інтактна сторона	Сторона ураження	Інтактна сторона	Сторона ураження
<i>m. deltoidus clavicular</i>	0,012	0,012	2,7	2,7
<i>m. deltoidus scapularis</i>	0,32	0,32	50	55
<i>m. infraspinatus</i>	0,15	0,15	18	21
<i>m. subscapularis</i>	0,17	0,17	36	38,5
<i>m. supraspinatus</i>	0,16	0,16	8,5	3,45
<i>m. teres major</i>	$6,2 \cdot 10^{-14}$	$6,2 \cdot 10^{-14}$	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$1,08 \cdot 10^{-10}$
<i>m. teres minor</i>	0,02	0,02	1,1	1,15

казники InferoSuperiorForce – на 5%, які є фактором забезпечення стабільності голівки плечової кістки у суглобовій западині лопатки. Ці зміни є незначними та не порушують стабільність ПС.

Обговорення

Вивчення компенсаторної участі м'язів для забезпечення стабільності суглобів в умовах різноманітної патології активно застосовується в клінічній та дослідницькій практиці. Але існує ряд обмежень, що не дозволяють проводити натурні дослідження *in vivo* з метою надання кваліфікованої оцінки процесів, які відбуваються в тілі людини, виміряти які здебільшого неможливо і неетично. Це спонукає до пошуку інших заходів та засобів визначення функції м'язово-скелетної системи людини. Розробка медично-інженерного програмного забезпечення AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) дозволила створити відповідні м'язово-скелетні моделі для імітаційного моделювання опорно-рухового апарату з визначенням навантаження на м'язи, сухожилки, суглоби та потенційних похідних величин, призначених для ергономічного аналізу, прогнозування результатів реабілітаційного лікування та ін.

Кінематичний рух плеча є найскладнішим в тілі людини, оскільки він включає рух 3 кісток і 4 суглобів: ключиці, лопатки, плечової кістки, грудино-ключичного, акроміально-ключичного, плечового та лопатково-грудного суглобів. Плечовий суглоб зазвичай визначається як кулькоподібний суглоб між плечовою кісткою та лопаткою, який має 3 обертальні рухи: згинання-розгинання (рух у сагітальній площині), відведення-приведення (рух у фронтальній площині) та медіально-латеральне обертання (рух у поперечній площині). Для забезпечення свободи рухів у ПС потрібен баланс між його мобільністю та стабільністю. Саме ротаторна манжета плеча (РМП) і є основним динамічним стабілізатором ПС, а м'язово-скелетне імітаційне моделювання та отримані у проведеному дослідженні дані дозволили значно розширити уявлення та знання про роботу РМП в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*. Найбільш цікавим було дослідження функції активних стабілізаторів ПС в умовах такої нозології, як кальцифікуючий тендиніт сухожилка *m. supraspinatus*. Отримані результати сприятимуть побудові відповідної тактики лікування цієї категорії хворих. У цьому дослідженні ми доводимо, що консервативне лікування має передувати хірургічному методу і має право на існування, незважаючи на те, що деякі дослідники повідомляють про важливість повного видалення кальцинату з сухожилка РМП,

бо існує зворотна залежність між кількістю депозитів, що залишилась, і функціональним результатом у майбутньому [15-18]. Побудова відповідних реабілітаційних програм лікування пацієнтів із наявністю кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* спрямована на розвиток компенсаторних механізмів динамічної стабілізації ПС за рахунок тренувальних заходів із групою м'язів *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* для забезпечення стабільності плечового суглоба.

Висновки

1. При складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*, зі зниженням показників сили м'язів на 50% виникає компенсаторне збільшення сили м'язів плечового поясу – задньої порції *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* для забезпечення стабільності плечового суглоба.

2. Враховуючи незначні зміни суглобових реакцій за 3 осями при зниженні сили *m. supraspinatus*, спричиненому наявністю кальцинату в його товщі, компенсаторний механізм включення додаткової м'язової активності та м'язових зусиль інших м'язів плечового поясу забезпечує у цих умовах необхідну стабільність плечового суглоба.

3. Проведене дослідження підтверджує можливість успішного застосування програм консервативного лікування кальцинатів сухожилка *m. supraspinatus*, спрямованого на розвиток компенсаторних можливостей м'язів плечового поясу.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

1. Plenk HP. Calcifying tendinitis of the shoulder. *Radiology*. 1952; 59:384–389.
2. Mohr W, Bilger S. Basic morphologic structures of calcified tendinopathy and their significance for pathogenesis. *Z Rheumatol*. 1990;49:346–355.
3. Jim YF, Hsu HC, Chang CY, Wu JJ, Chang T. Coexistence of calcific tendinitis and rotator cuff tear: an arthrographic study. *Skeletal Radiol*. 1993;22:183–185. DOI: 10.1007/BF00206150
4. Wolfgang GL. Surgical repair of tears of the rotator cuff of the shoulder: factors influencing the result. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56:14–26.
5. Bosworth BM. Calcium deposits in the shoulder and subacromial bursitis: a survey of 12,122 shoulders. *J Am Med Assoc*. 1941;116:2477–2482.
6. Uthoff, & Loehr. Calcific Tendinopathy of the Rotator Cuff:

- Pathogenesis, Diagnosis, and Management. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1997; 5(4), 183–191. DOI: 10.5435/00124635-199707000-00001
7. Draghi F, Scudeller L, Guja A, Chandra D. Prevalence of subacromial-subdeltoid bursitis in shoulder pain: an ultrasonographic study. J Ultrasound. 2015;151-158. DOI: 10.1007/s40477-015-0167-0
8. Elshewy MT. Calcific tendinitis of the rotator cuff. World J Orthop. 2016;7(1):55. DOI: 10.5312/wjo.v7.i1.55
9. Clavert P, Sirveaux F. Société française d'arthroscopie: Les tendinopathies calcifiantes de l'épaule [Shoulder calcifying tendinitis]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 2008;94(8):S336–S355. DOI: 10.1016/j.rco.2008.09.010
10. Mavrikakis ME, Drimis S, Kontoyannis DA, Rasidakis A, Mouloupoulou ES, Kontoyannis S. Calcific shoulder periarthritis (tendinitis) in adult onset diabetes mellitus: a controlled study. Ann Rheum Dis. 1989;48(3):211–214. DOI: 10.1136/ard.48.3.211
11. McKendry PJ, Uhthoff HK, Sarkar K, Hyslop PS. Calcifying tendonitis of the shoulder: prognostic value of clinical, histologic, and radiologic features in 57 surgically treated cases. J Rheumatol. 1982;9(1):75–90.
12. DePalma AF, Kruper JS. Long-term study of shoulder joints affected with and treated for calcific tendinitis. Clin Orthop. 1961;20:61–72
13. Bureau NJ. Calcific Tendinopathy of the Shoulder. 2013;1(212):80-84. DOI: 10.1055/s-0033-1333941
14. Becciolini M, Bonacchi G, Galletti S. Intramuscular migration of calcific tendinopathy in the rotator cuff: ultrasound appearance and a review of the literature. J Ultrasound. 2016;19(3):175-181. DOI: 10.1007/s40477-016-0202-9
15. Strafun O.S. Treatment of calcific tendinitis of rotator cuff muscles. Journal "Trauma" Vol 18, №1, 2017. DOI: 10.22141/1608-1706.1.18.2017.95586
16. Hurt G, Baker CL Jr. Calcific tendinitis of the shoulder. Orthop Clin North Am. 2003;34(4):567–575. DOI: 10.1016/s0030-5898(03)00089-0
17. Porcellini G, Paladini P, Campi F, Paganelli M. Arthroscopic treatment of calcifying tendinitis of the shoulder: clinical and ultrasonographic follow-up findings at two to five years. J Shoulder Elbow Surg. 2004;13(5): 503–508. DOI: 10.1016/S1058274604000904
18. Rizzello G, Franceschi F, Longo UG, et al. Arthroscopic management of calcific tendinopathy of the shoulder: do we need to remove all the deposit? Bull NYU Hosp Jt Dis. 2009;67:330–333.

Musculoskeletal Modeling of the Compensatory Role of the Shoulder Muscles in Ensuring the Stability of the Shoulder Joint in the Conditions of Partial Traumatic Tear of the Supraspinatus Muscle Caused by Calcific Tendinitis

Lazarev I.A.¹, Biliavskiy V.O.¹, Yuriichuk L.M.², Bobdan S.V.¹

¹SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

²Ivano-Frankivsk Regional Clinical Hospital, Ivano-Frankivsk

Summary. Relevance. The presence of calcium deposits in the rotator cuff tendons usually leads to a restriction of the biomechanics of the shoulder joint and, in particular, to a failure of the scapulohumeral rhythm. The question of the compensatory participation of the muscles of the shoulder girdle in ensuring the stability of the shoulder joint in conditions of partial-thickness damage to the tendon of the supraspinatus muscle caused by calcific tendinitis remains interesting and understudied. **Objective:** to carry out skeletal and muscular modeling with the study of the compensatory participation of the rotator cuff muscles in ensuring the stability of the shoulder joint during the elementary movement of elevation of the upper limb in conditions of partial-thickness damage to the supraspinatus tendon caused by the presence of calcification in it. **Materials and Methods.** For the analysis we used simulation modeling in the software package AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) for Windows. The calculation was carried out using the software component Mannequin, selected from the AnyBody Managed Model Repository™ model collection. The parameters of joint forces acting in the direction of three axes – X, Y, Z – were calculated, where the X axis corresponded to the anterior-posterior force direction (antero-posterior force), the Y axis – to the inferior-superior force direction, the Z axis – compression-distraction force direction (medio-lateral force) on the shoulder joint. The object of the study was muscle activity (Activity) and muscle strength (Fm) of m. deltoidus clavicular, m. deltoidus scapularis, m. infraspinatus, m. subscapularis, m. teres major, and m. teres minor while simulating a decrease in the strength of m. supraspinatus by 50% caused by the presence of calcification in the thickness of its tendon. **Results.** With complex movement of the upper limb, associated with the elevation of the upper limb, in conditions of partial-thickness tear to the m. supraspinatus, with a decrease in its strength by 50%, there is a compensatory increase in the strength of the muscles of the shoulder joint – the posterior

portion of the *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* and *m. subscapularis*, to ensure the stability of the shoulder joint. Taking into account minor changes in joint reactions along three axes, with a decrease in the strength of *m. supraspinatus* caused by the presence of calcification in its thickness, the compensatory mechanism of including additional muscle activity and muscle efforts of other muscles of the shoulder girdle provides the necessary stability of the shoulder joint in these conditions. **Conclusions.** The study confirms the possibility of successful application of programs of conservative treatment of calcifications of the *m. supraspinatus* tendon, aimed at developing the compensatory capabilities of the muscles of the shoulder girdle.

Key words: calcific tendinitis; rotator cuff; shoulder girdle.

УДК: 616.833.34-001-089.844:616.74-089.843-009.5
HTTPS://DOI.ORG/10.37647/0132-2486-2022-115-4-24-35

Визначення передумов успішної етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення (на основі випадку з клінічної практики)

Гацький О.О.¹, Третяк І.Б.¹, Цимбалюк В.І.¹, Чирка Ю.Л.²,
Цзян Хао¹, Цимбалюк Я.В.¹✉, Третьякова А.І.¹

Резюме. Актуальність. Ефективність селективної невротизації (СН), направленої на відновлення дистальних (ДМ) щодо рівня травми м'язів, має вкрай негативний прогноз. Трансплантація вільних м'язово-шкірних клаптів (МСФ) позбавлена численних недоліків СН. Комбінація СН та МСФ дозволяє розширити можливості відновлення глобальної функції верхньої кінцівки (ВК) при тотальних варіантах травматичного ушкодження плечового сплетення (тв-ТУ ПС). **Мета дослідження.** Визначити теоретичні та клінічні передумови для кожного з етапів (Е) реконструкції сегментів ВК для відновлення її глобальної функції при тв-ТУ ПС. **Матеріали і методи.** 38-річному пацієнту через 3 міс. після тв-ТУ ПС виконано СН (Е1) м'язово-шкірного нерва за рахунок діафрагмального нерва, надлопаткового та пахвового нервів за рахунок гілок додаткового нерва. Через 36 міс. після Е1 виконано артророздування (Е2) променево-зап'ясткового (ПЗС) та трапецієметакарпального (ТМКС) суглобів. Через 43 міс. після Е1 виконано трансплантацію МСФ т. gracilis (Е3). Клініко-неврологічне, електронейроміографічне (ЕНМГ), рентгенологічне дослідження проводились у передбачувані терміни (t) досягнення очікуваного результату після відповідних етапів реконструкції. **Результати.** Через 26 міс. після Е1 спостерігали клінічно ефективно відновлення т. biceps brachii, т. deltoideus (М4) та неефективно відновлення силових характеристик т. supra-infraspinatus (М3). Стабільного артророздувального ефекту в ПЗС та ТМКС досягнуто через 42 міс. загалом. Через незадовільні клінічні та електрофізіологічні дані щодо відновлення функції переміщеного т. gracilis (Е3) в t виконання Е4 відстрочено на невизначений термін із клінічним та ЕНМГ контролем кожні 3 міс. **Висновки.** Клінічні ознаки відновлення функції не можуть бути передумовою використання первинного нерва-реципієнта (НР) як вторинного нерва-донора (НД); кількість рухових волокон у НД має бути підтверджена об'єктивними даними морфометричних та гістохімічних експрес-методів; теоретичні засади використання методики "sitting donor" є найбільш перспективними для етапного відновлення рухової функції ДМ ВК.

Ключові слова: плечове сплетення; ушкодження; невротизація; діафрагмальний нерв; м'язово-шкірний нерв; додатковий нерв; затульний нерв; тонкий м'яз; вільна пересадка м'яза.

Вступ

Протягом останнього десятиріччя використання селективної реіннервації (невротизації, СН)

докорінно змінило прогноз відновлення функції верхньої кінцівки у випадках ушкодження плечового сплетення (ТУ ПС) травматичного генезу [1, 2]. Незважаючи на вказані вище досягнення у галузі реконструктивної хірургії, успішне відновлення довільних функцій в усіх сегментах верхньої кінцівки у випадках тотальних варіантів ТУ ПС усе ще залежить від трьох основних чинників: 1) наявності достатньої кількості іпсі-/контралатеральних інтра-

✉ Цимбалюк Я.В., yaroslav.neuro@gmail.com

¹ДУ "Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України", відділення відновлювальної нейрохірургії з рентгеноопераційною, м. Київ
²КНП "Вінницька обласна клінічна психоневрологічна лікарня ім. акад. О.І. Ющенко Вінницької обласної ради", м. Вінниця

чи екстраплексусних нервів-донорів (НД) [3], втрата функції яких суттєво не впливає на ефективність функції сегментарного апарату, якому вони належать [3]; 2) відстані, яку нерв-донор, що регенерує, має подолати на шляху до нового м'яза-ефектора [3]; 3) часу, який витрачається НД, що регенерує, на подолання відстані до нового м'яза-ефектора за умови, що останній усе ще залишається життєздатним [3]. Простіше кажучи, активна хірургічна реконструкція методом СН є змагальним процесом між двома протилежно направленими фізіологічними та патофізіологічними явищами – регенерації нерва [4, 5] та дегенерації м'яза [4, 5] – “перегонами на час на довгу відстань” [4, 5].

Враховуючи все сказане вище, більшість клініцистів та дослідників у галузі хірургії периферичної нервової системи погоджуються з тезою, що відновлення дистальних (щодо рівня травми) м'язів та їх груп має вкрай негативний прогноз [3] та практично не залежить від використаного методу хірургічної реконструкції.

Бурхливий розвиток пластичної мікрохірургії, зокрема досягнення в галузі закриття поширених дефектів м'яких тканин за допомогою вільних м'язово-шкірних клаптів (MCF), дозволив відкрити нову главу хірургії периферичної нервової системи [3]. Трансплантація MCF стала стандартною методикою відновлення функції згинання у ліктьовому суглобі при субтотальних та тотальних варіантах ТУ ПС у пізній період травми [3, 6], коли заздалегідь відомо, що використання конвенційних методів реконструкції не забезпечить бажаного функціонального результату [3, 6]. Оскільки MCF позбавлена більшості недоліків, що пов'язані з процесами регенерації нерва / денервації м'яза через вкрай короткий період деваскуляризації / денервації донорського шкірно-м'язового комплексу, ця методика почала активно використовуватись також і при ТУ ПС із переважним ураженням нижніх стовбурів (C8-Th1) [3, 6].

Комбінація методів СН із методами пластичної мікрохірургії дозволила по-справжньому переосмислити можливості відновлення глобальної функції верхньої кінцівки при тотальних варіантах ушкодження плечового сплетення, здебільшого нівелювати обмеження, зумовлені негативним впливом основних факторів, часу та відстані [3], на прогноз відновлення рухових функцій як дистальних сегментів, так і глобальної функції верхньої кінцівки загалом.

Мета дослідження: визначити теоретичні та клінічні передумови кожного з етапів реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення.

Матеріали і методи

Клінічна характеристика пацієнта

Пацієнт чоловічої статі, вік 38 років, правша, отримав закриту тупу надключичну травму правого плечового сплетення внаслідок дорожньо-транспортної пригоди (мотоциклетна). Через 3 міс. після травми пацієнту було проведено первинне обстеження в нашому відділенні. За даними клінічного неврологічного огляду встановлено відсутність будь-яких довільних рухів у м'язах плечового поясу та вільної верхньої кінцівки – плегія за периферичним типом, а також анестезію долонної поверхні кисті, що супроводжувалась невропатичним болем персистентного характеру до 1-2 балів за ВАШ [7]. Клінічно підтверджено збереження функції іпсилатеральної низхідної та висхідної порцій трапецієподібного м'яза (M5 за British Medical Research Council Scale – MRC [8]). Збережена функція правого купола діафрагми була підтверджена за допомогою функціональної рентгенографії ОГК [9]. Дані МРТ шийного відділу хребта опосередковано [10] підтверджували незворотній характер ушкодження плечового сплетення (авульсію) – наявність псевдоменінгоцеле [10] між C6-C7-Th1 хребцями – рівень 1-2 за Chuang [11]. Електронейроміографічне дослідження (ЕНМГ) підтвердило наявність тривалого денерваційного процесу у м'язах плечового поясу та вільної верхньої кінцівки.

Враховуючи вихідні клінічні та інструментальні дані, пацієнту було запропоновано проведення етапного хірургічного відновлення сегментарних функцій правої верхньої кінцівки. Загальний план запропонованих етапних реконструктивних втручань представлений на рис. 1.

Характеристика хірургічних процедур на кожному з етапів

Етап 1 (S1) – реіннервація м'язово-шкірного, пахвового та надлопаткового нервів.

Положення пацієнта на спині, голова повернута вліво, силіконовий валик розташований між лопатками на рівні Th2-4 хребців для забезпечення гіперекстензії в шийному відділі хребта. Виконано два S-подібних розрізи шкіри та м'яких тканин: 1) у лопатково-ключичному трикутнику в надключичній області; 2) вздовж дельтоподібно-грудної складки по передній стінці пахвової ямки. У надключичній ямці ідентифіковано рубцево перероджені передні гілки спінальних нервів C5 та C6, C7-Th1 – відсутні. Функція діафрагмального нерва (PhN) підтверджена шляхом прямого подразнення електричним струмом 0,2-0,5 мА. У пахвовій ямці ідентифіковано латеральний стовбур плечового сплетення, м'язо-

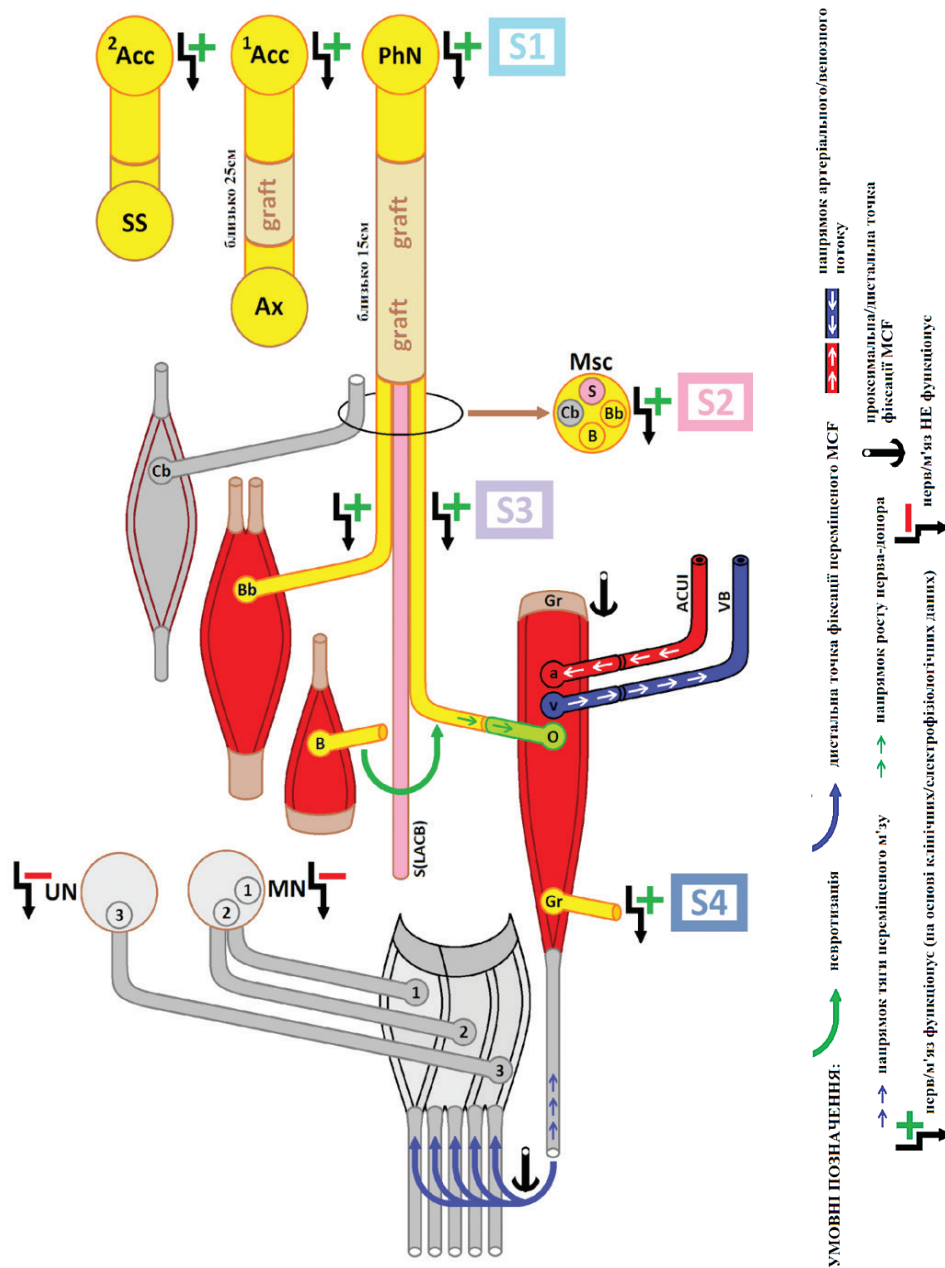


Рис. 1. Етапний план реконструкції сегментарних функцій верхньої кінцівки:

S1 – перший етап; ²Acc – нерв-донор, гілка додаткового нерва до висхідної порції трапецієподібного м'яза; ¹Acc – нерв-донор, гілка додаткового нерва до кивального м'яза; PhN – діафрагмальний нерв; SS – надлопатковий нерв; Ax – пахвовий нерв; Msc – м'язово-шкірний нерв; graft – аутологічний нервовий трансплантат; S2 – другий етап; Msc(S) – волокнини латерального шкірного нерва передпліччя в структурі загального стовбура Msc; Msc(Cb) – волокнини до *m. coracobrachialis* в структурі загального стовбура Msc; Msc(Bb) – волокнини до *m. biceps brachii* в структурі загального стовбура Msc; Msc(B) – волокнини до *m. brachialis* у структурі загального стовбура Msc; Cb – кінцеві рухові гілки Msc до *m. coracobrachialis*; Bb – кінцеві рухові гілки Msc до *m. biceps brachii*; B – кінцеві рухові гілки Msc до *m. brachialis*; S3 – третій етап; Gr – *m. gracilis*; a – власна артеріальна судина *m. gracilis*; v – власна венозна судина *m. gracilis*; o – затульний нерв; ACUI – нижня колатеральна ліктьова артерія; VB – базиліарна вена; S(LACB) – латеральний шкірний нерв передпліччя; S4 – четвертий етап; UN – ліктьовий нерв; MN – серединний нерв; UN(3) – волокнини до глибоких згиначів 4-5 пальців у структурі UN; MN(2) – волокнини до глибокого згинача 3-го пальця в структурі MN; MN(1) – волокнини до глибокого згинача 2-го пальця та довгого згинача 1-го пальця в структурі MN; 3 – сухожилки глибоких згиначів 4-5-го пальців; 2 – сухожилок глибокого згинача 3-го пальця; 1 – сухожилки глибокого згинача 2-го пальця та довгого згинача 1-го пальця; сірий колір – денервоване черевце м'яза; червоний колір – реіннервоване (функціонуюче) черевце м'яза

шкірний нерв (Msc) ідентифіковано анатомічно. Діафрагмальний нерв пересічено ростральніше дуги підключичної артерії на передній поверхні переднього драбинчастого м'яза. Виконано невротизацію діафрагмальним нервом м'язово-шкірного нерва через один аутологічний нервовий трансплантат із литкового нерва довжиною близько 15 см. Виконання мікроанастомозів проведено з використанням мікроскопічного збільшення $\times 8$ шовним матеріалом 9/0, що не розсмоктується, без натягу (tension-free manner). Найбільш проксимальні гілки м'язово-шкірного нерва до *m. coracobrachialis* (Cb) були виключені із зони кооптації між аутологічним нервовим трансплантатом та стовбуром м'язово-шкірного нерва (рис. 1, схематично).

Виконано ще один S-подібний розріз шкіри та м'яких тканин уздовж переднього краю верхньої третини кивального м'яза. Виконання повної міотомії м'яза завершилось ідентифікацією загального стовбура додаткового нерва. Гілки до трапецієподібного та кивального м'яза (¹Acc) ідентифіковано анатомічно та шляхом прямого подразнення електричним струмом 0,1-0,2 мА. У пахвовій ямці ідентифіковано задній стовбур плечового сплетення, пахвовий нерв (Ax) ідентифіковано анатомічно. Гілки додаткового нерва до кивального м'яза пересічено. Виконано невротизацію гілками додаткового нерва до кивального м'яза пахвового нерва через один аутологічний нервовий трансплантат із литкового нерва довжиною близько 25 см. Виконання мікроанастомозів проведено з використанням мікроскопічного збільшення $\times 8$ шовним матеріалом 9/0, що не розсмоктується, без натягу (tension-free manner) (рис. 1, схематично).

Реіннервацію надлопаткового нерва (SS) виконано за рахунок гілки додаткового нерва до висхідної порції трапецієподібного м'яза (²Acc) за методикою J. Vañm [12] (рис. 1, схематично).

Етап 2 (S2) – забезпечення стабільності променево-зап'ясткового та трапецієметакарпального суглобів шляхом артророздування.

Через 36 міс. після проведення реіннерваційного хірургічного втручання пацієнту виконано артророздування променево-зап'ясткового (T-подібна пластина) та трапецієметакарпального (спиця та проволока) суглобів за стандартними методиками [13, 14] (рис. 1, схематично).

Етап 3 (S3) – вільна пересадка м'язово-шкірного клаптя (MCF).

Через 43 міс. після проведення реіннерваційного хірургічного втручання (через 7 міс. після S2) виконано вільну пересадку м'язово-шкірного клаптя

– вільну пересадку *m. gracilis* (Gr). Положення пацієнта на спині, голова повернута вліво, права верхня кінцівка відведена в плечовому суглобі до кута 90° та розігнута в ліктьовому суглобі до кута 180°. Виконано S-подібний розріз шкіри та м'яких тканин по внутрішній поверхні плеча. М'язово-шкірний нерв ідентифіковано в середній третині плеча між черевцями *m. biceps brachii* та *m. brachialis*. Кінцеві рухові гілки м'язово-шкірного нерва до *m. biceps brachii* (Bb) та *m. brachialis* (B) ідентифіковано анатомічно та шляхом прямого подразнення електричним струмом 0,1-0,2 мА. Гілки до *m. brachialis* було прослідковано до входження в товщу м'яза та пересічено. Мобілізовано плечову артерію, анатомічно ідентифіковано нижню колатеральну ліктьову артерію (ACUI) та базиллярну вену (VB). Після визначення донорських артеріальної та венозної судин рухового нерва-донора виконано вільну пересадку *m. gracilis* за стандартною методикою [15]. Медіальна міжм'язова перегородка на межі середньої та нижньої третини внутрішньої поверхні плеча визначена як проксимальна точка фіксації черевця переміщеного *m. gracilis*, фіксовано за допомогою біорозкладного шовного матеріалу 1/0. Дистальною точкою фіксації сухожилка *m. gracilis* визначено сухожилок *m. flexor carpi radialis* на межі нижньої та середньої третин передньої поверхні передпліччя, фіксовано за допомогою біорозкладного шовного матеріалу 1/0. Двоточкова фіксація переміщеного *m. gracilis* виконана з помірним розтягненням м'язових волокон у положенні розгинання в ліктьовому суглобі до 180°. Дистальна точка фіксації визначена як проміжна.

Етап 4 (S4) – переміщення дистальної точки фіксації m. gracilis.

Відстрочено. Причини детально обґрунтовані в "Обговоренні".

Результати

Через 26 міс. після *Етапу 1 (S1)* хірургічної реконструкції функції м'язів плечового поясу та передньої поверхні плеча (пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків за Mario G. Siqueira M. G. [10]) спостерігали клінічно ефективно відновлення силових характеристик *m. biceps brachii* (до M4 за MRC) та ефективного відновлення функції згинання в ліктьовому суглобі [16] до 130°.

Рис. 2 (А та В) показує ефективно відновлення силових характеристик дельтоподібного м'яза (до M4 за MRC) та неефективно відновлення функції згинання в плечовому суглобі [16] до близько 80°, неефективно відновлення силових характеристик

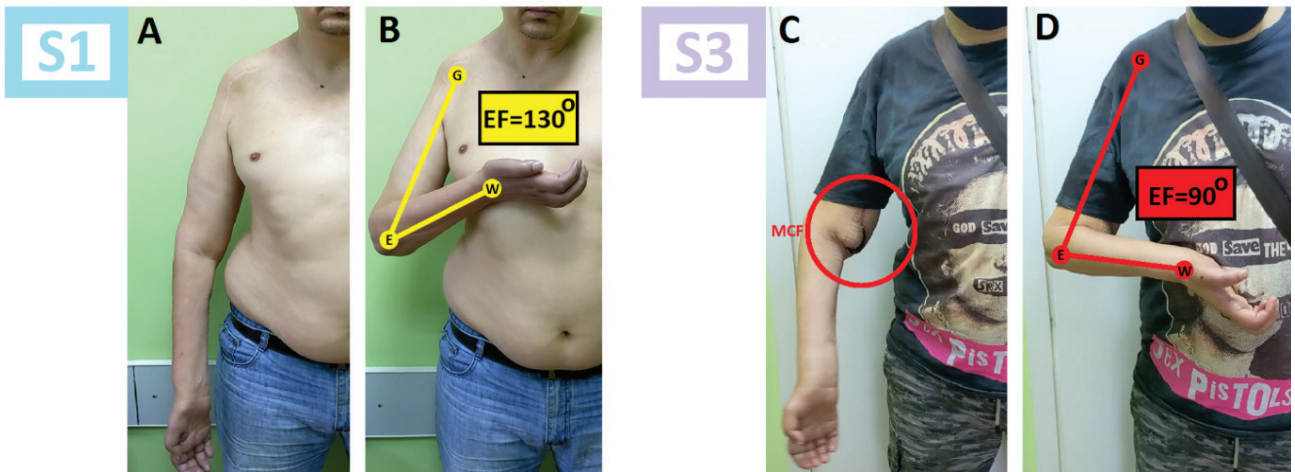


Рис. 2. Порівняння ефективності функції пари *m. biceps brachii* / *m. brachialis* через 26 міс. після виконання *Emanu 1* (S1) та ефективності ізолюваної функції *m. biceps brachii* через 2 міс. після виконання *Emanu 3* (S3):

В – максимальне згинання в ліктьовому суглобі при довільній активації (скороченні) функціональної пари *m. biceps brachii* / *m. brachialis*; D – максимальне згинання в ліктьовому суглобі при довільній активації (скороченні) лише *m. biceps brachii*; EF – кут згинання в ліктьовому суглобі (elbow flexion) при максимальному довільному скороченні *m. biceps brachii*; MCF – переміщений вільний шкірно-м'язовий клапоть *m. gracilis*; G – плечовий суглоб; E – ліктьовий суглоб; W – променево-зап'ястковий суглоб

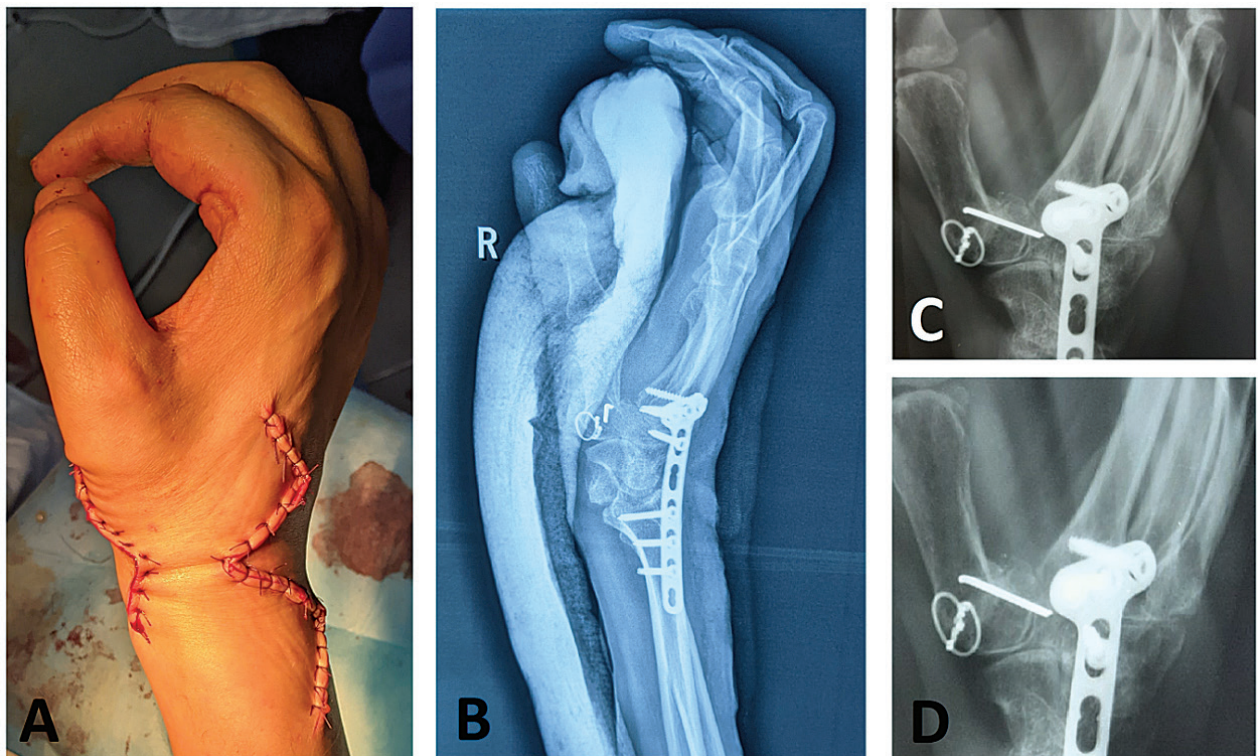


Рис. 3. Положення кисті та 1-го пальця в ранній післяопераційний період та через 6 міс. після виконання артродезуючих хірургічних втручань:

A – інтраопераційна фотографія після закриття шкірних доступів, досягнуто функціонального протиставлення 1-го пальця; B – рентгенологічний контроль на 3-й день післяопераційного періоду; C та D – рентгенологічний контроль на 6 міс., досягнуто зрощення 1-ї п'ясної та трапецієподібної кісток

над- та підостового м'язів (M3 за MRC) та неефективне відновлення інтегральної функції зовнішньої ротації / відведення плеча [16] – до близько 45° та 15°, відповідно.

Ще через 12 міс. (36 міс. від моменту проведення первинного хірургічного втручання, *Eman 1*, S1) якісний компонент відновлення пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків не зазнав суттєвих змін.

Стабільного артродезуючого ефекту в променево-зап'ястковому та трапецієметакарпальному суглобах (рис. 3, С та D) досягнуто через 6 міс. від моменту проведення *Emanu 2* (S2) та 42 міс. загалом.

Клінічні ознаки життєздатності переміщеного вільного шкірно-м'язового клаптя (MCF) остаточно сформувались на 45-й день після виконання

Emanu 3 (S3) (рис. 4). Висока функціональність виконаного судинного (венозного та артеріального анастомозів) MCF опосередковано підтверджена функцією перфорантних шкірних судин – уже на 20 день післяопераційного періоду не реєструвались ознаки артеріальної (ішемії шкіри) [17] та венозної (венозного стазу) [17] недостатності (рис. 4). Коагуляційний некроз (30-60 день), що займав близько 15% площі поверхні шкірного клаптя, був обумовлений технічною недосконалістю виконання забору MCF – перфорантні судини були зруйновані при плануванні шкірного клаптя (рис. 4).

Вторинна хірургічна обробка (60 день, рис. 4.) – видалення нежиттєздатних тканин некротизованого шкірно-підшкірного шару – завершилась загоєн-

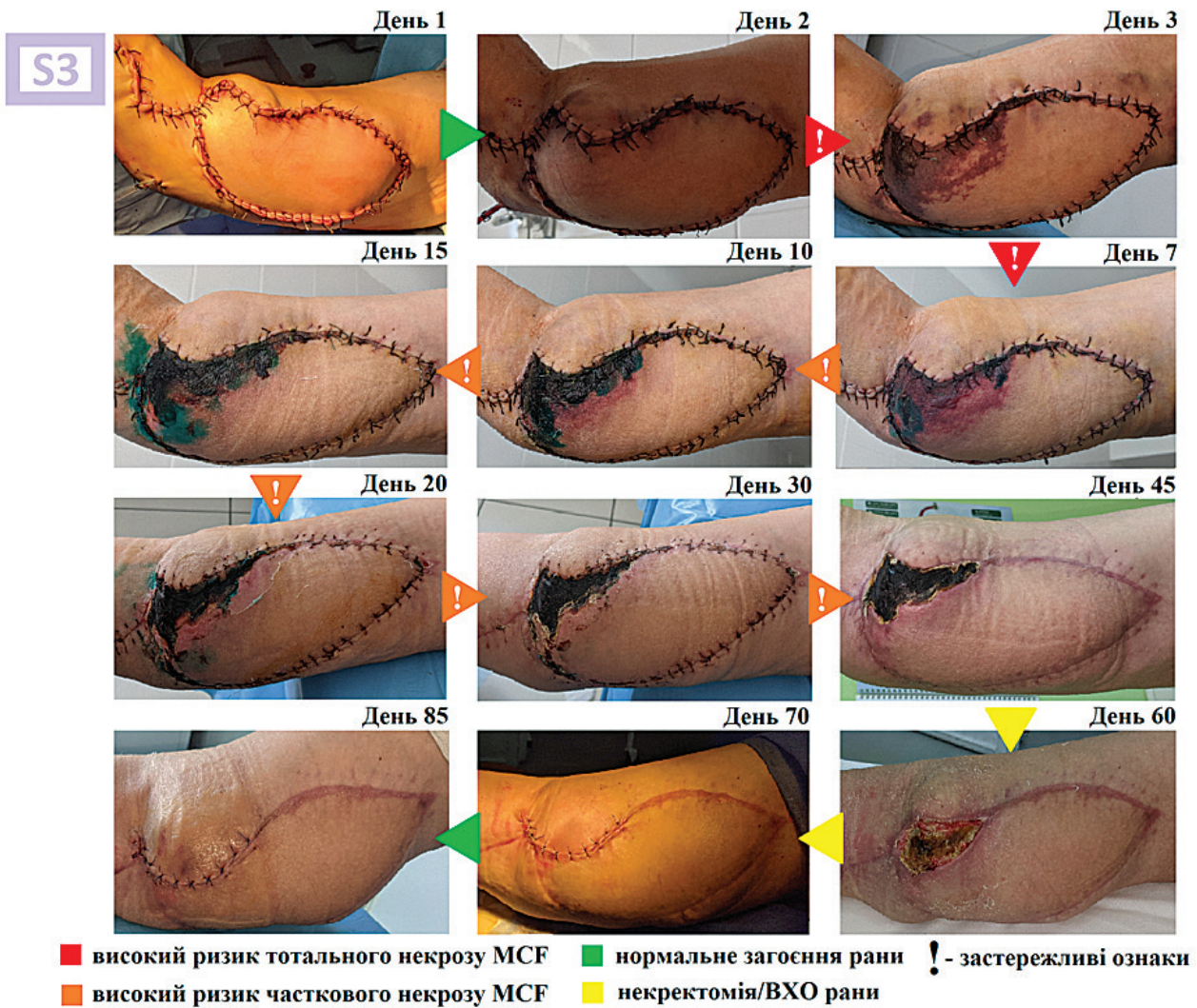


Рис. 4. Контроль життєздатності на основі опосередкованих клінічних ознак змін найменш стійкого до судинного колапсу шару шкіри в структурі переміщеного м'язово-шкірного клаптя протягом 85 днів після *Emanu 3* (S3)

ням рани без будь-яких інфекційних ускладнень (80 день, рис. 4).

Через 2 міс. після проведення трансплантації MCF здійснено контрольний клінічний неврологічний огляд пацієнта. Ефективні силові характеристики відновленого *m. biceps brachii* (до M4 за MRC) не зазнали змін після проведення *Emanu 3* (S3), проте його ізольована функція не здатна була забезпечити ефективного згинання в ліктьовому суглобі [16] – згинання до 90° (рис. 2, С та D; рис. 5, С та D). Через 13 міс. (57 міс. після S1, через 20 міс. після S2) після *Emanu 3* (S3) проведено контрольний клінічний неврологічний огляд та електронейроміографічне дослідження. Протягом 13 міс. після виконання *Emanu 3* (S3) ізольована функція *m. biceps brachii*, що була відновлена під час *Emanu 1* (S1), вже була знову здатна забезпечити ефективне згинання в ліктьовому суглобі [16] – згинання до 130° (рис. 5, F). Через незадовільне клінічне відновлення силових характеристик переміщеного *m. gracilis* у прогнозовані терміни регенерації, присутність потенціалів рухових одиниць, наближених до нормальних за амплітудою та тривалістю [18] лише в проксимальних відділах м'яза при максимальному довільному скороченні (індукується згинанням в ліктьовому суглобі), ухвалено рішення відстрочити проведення *Emanu 4* (S4) на невизначений термін з обов'язковим клінічним та електрофізіологічним контролем кожні 3 міс.

Обговорення

Успішне відновлення будь-якої функції (рухової чи сенсорної) при виконанні селективної хірургічної реіннервації (селективної невротизації, СН) першочергово залежить, окрім, звичайно, врахування впливу фактору часу [3, 6] та відстані [3, 6], від визначеного числового співвідношення кількості волокнин (аксонів) у нерві-донорі та нерві-реципієнті – так званий *axon count ratio* (ACR) [19]. Зіставлення результатів клінічного емпіричного (особливо на початкових етапах впровадження методу в 1990-2000 рр.) та історичного (ретроспективного аналізу ефективності методу та його різних методик) застосування СН та даних морфометричних досліджень [19] дозволило стверджувати, що ідеальним співвідношенням між загальною кількістю волокнин у поперечному перетині нерва-донора (НД) та нерва-реципієнта (НР) – ACR – для досягнення ефективного відновлення функції (рухової, зокрема) має становити щонайменше 0,7 до 1 [19]. Морфометричні дослідження [19], проведені протягом останнього десятиріччя, що, власне, й були спрямовані на визначення загальної кількості волокнин у структурі НД та НР на усіх рівнях елементів периферичної нервової системи, дозволили сформувати пул потенційних найбільш ефективних інтра- та екстраплексусних НД [3, 19], відповідно НР, для відновлення ефективною функції верхньої кінцівки.



Рис. 5. Ефективність ізольованої функції *m. biceps brachii* через 13 міс. після виконання *Emanu 3* (S3) та до виконання *Emanu 4* (S4):

В – максимальне згинання в ліктьовому суглобі при довільній активації (скороченні) лише *m. biceps brachii*; D – максимальне згинання в ліктьовому суглобі при довільній активації (скороченні) лише *m. biceps brachii* через 2 міс. після денервації *m. brachialis*; F – максимальне згинання в ліктьовому суглобі при довільній активації (скороченні) лише *m. biceps brachii* через 13 міс. після денервації *m. brachialis*; EF – кут згинання в ліктьовому суглобі (elbow flexion) при максимальному довільному скороченні *m. biceps brachii*; MCF – переміщений вільний шкірно-м'язовий клапоть *m. gracilis*; G – плечовий суглоб; E – ліктьовий суглоб; W – променево-зап'ястковий суглоб

Без упередження зрозумілим є факт, що для відновлення саме рухової функції шляхом реіннервації рухового НР руховий НД має містити в своєму складі якомога більше мієлінізованих (рухових) волокон, аксонів. На жаль, відповідних числових показників ACR для розв'язання вказаної вище ситуативної задачі визначено не було. Однак, ґрунтуючись на результатах роботи J.J. Schreiber et al. [19] можна припустити, що критичне значення ACR і для рухових волокон суттєво не відрізняється і має становити щонайменше 0,7 до 1.

Одним з основних непорушних принципів СН є правило використання одного рухового (чи сенсорного) НД для відновлення функції лише одного рухового (чи сенсорного) НР – один донор – одна функція [20]. Більшість випадків первинної селективної реіннервації органа-ефектора з дотриманням зазначеного вище принципу дозволяє досягти прогнозованого відновлення бажаної рухової (чи сенсорної) функції в прогнозовані терміни [1, 2, 3, 6]. Можливість використання (реіннервованого) нерва, що знову функціонує, як вторинного НД обговорювалась усно лише у вкрай вузьких колах профільних спеціалістів. Відповідно, потенційне використання первинного НР як вторинного НД мало лише суто теоретичне обґрунтування та до цього часу не знайшло відображення в науковій літературі. Виходячи з літературних даних, які чітко визначають терміни настання незворотних (дегенераційних) змін в органі-ефекторі, що забезпечує рухову (чи сенсорну) функції, використання вторинного НД для відновлення дистального (як щодо місця травми, так і щодо первинно реіннервованого органа-ефектора) органа-ефектора є недоцільним. Потенційним реципієнтом (насправді реципієнтом лише рухової функції) вторинного НД може стати неушкоджений м'яз або неушкоджений шкірно-апоневротично-м'язовий комплекс (MCF). Під неушкодженим ми розуміємо донорський м'яз або вказаний вище комплекс, який на момент ухвалення рішення про виконання вторинної реіннервації має непорушене кровопостачання та іннервацію. Були представлені методи подовження (елонгації) [21] НД із метою наближення потенційного донора рухової функції до більш дистальних сегментів (передпліччя чи кисть) кінцівки, де, власне, й планували розмістити MCF. У таких випадках питання наявності необхідної кількості рухових волокон (або загальної кількості волокон) у потенційному НД та й ACR, відповідно, підпорядковувалось загальному правилу – 0,7 до 1 [19].

Представлений випадок із клінічної практики етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки при тотальному варіанті ушкодження плечово-

го сплетення може частково дати відповіді (А) на питання, які раніше не мали відповідей (Q), представлених у наукових літературних джерелах. По-перше (Q1), чи здатний первинний НР на момент відновлення ефективної функції органа-ефектора виступити як вторинний НД, виходячи з наявних об'єктивних клінічних даних. По-друге (Q2), яким чином виключення частини волокон первинного НР (для використання його як вторинного НД) із синергетичної пари органа-ефектора позначиться на ефективності первинно відновленої функції. По-третє (Q3), визначити перспективні шляхи об'єктивізації потенційної можливості використання вторинних НД. По-четверте (Q4), об'єктивно оцінити первинний план етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки, внести зміни для подальшого перспективного використання цієї моделі з урахуванням його переваг і недоліків (помилки) на основі отриманого клінічного досвіду.

A1: відновлення первинного органа-ефектора – м'язів-згиначів у ліктьовому суглобі, а саме *m. biceps brachii* та *m. brachialis* – методом СН було виконано з урахуванням належного (хоча й мінімально допустимого) значення ACR [19] для рухових волокон – 0,75 до 1 (табл. 1). Клінічне ефективне відновлення функції *m. biceps brachii* дозволяло припустити належне відновлення функції більш дистально розташованого *m. brachialis* із цієї синергетичної пари. Голкова ЕНМГ не дозволила в повному об'ємі підтвердити чи спростувати клінічно значуще відновлення *m. brachialis*. Пряме подразнення кінцевих рухових гілок м'язово-шкірного нерва до *m. brachialis* електричним струмом 0,1-0,2 мА при виконанні *Emanu 3 (S3)* дозволило клінічно підтвердити відновлення нервово-м'язового зв'язку, відповідно, підтвердило можливість залучення вказаних вище рухових гілок (первинного НР) як вторинного НД для реіннервації MCF.

A2: виключення частини волокон (кінцевих рухових гілок м'язово-шкірного нерва до *m. brachialis*) первинного НР, що забезпечував ефективне функціонування синергетичної пари *m. biceps brachii* та *m. brachialis*, призвело до тимчасового погіршення відновленої функції згинання в ліктьовому суглобі (рис. 5) у контексті її ефективності [16] та без регресу її силового компонента. Частково збережена функція первинного НР, відновлені силові характеристики *m. biceps brachii* з первинно реіннервованої синергетичної пари згиначів у ліктьовому суглобі дозволили компенсувати втрату ефективності функції протягом короткого часу (рис. 5).

A3: із найбільшою ймовірністю причиною не-ефективної реіннервації MCF стало порушення

**Співвідношення загальної кількості та кількості рухових волокнин
у потенційних нервах-донорах та нерві-реципієнти**

			Потенційні нерви-донори					
			ICN (MAP=30%)		PhN (MAP=27%)		Acc (MAP=30%)	
			загалом	рухових	загалом	рухових	загалом*	рухових**
ACR			1200***	375***	4600	1200	4300	1300
Msc	загалом	26000	0,14:1	-	0,18:1		0,16:1	-
	рухових	1600	-	0,7:1		0,75:1	-	0,55:1

ICN – три міжреберні нерви; PhN – діафрагмальний нерв; Acc – додатковий нерв; MAP – *motor axon proportion*, кількість рухових волокнин у структурі загального стовбура нерва у %; Msc – м'язово-шкірний нерв; ACR – *axon count ratio*, співвідношення кількості волокнин у нерві-донорі та нерві-реципієнти.

* – у загальному стовбурі додаткового нерва [25, 26];

** – на рівні верхнього краю ключиці [25, 26];

*** – в одному міжреберному нерві [27]

принципу, що передбачає наявність належного співвідношення рухових волокнин у НД (вторинному в цьому випадку) та НР [16], оскільки сама методика трансплантації повністю нівелює вплив фактору часу та відстані на ефективність реіннервації. Наявність комплексу клінічних ознак реіннервації синергетичної пари згиначів у ліктьовому суглобі не є достатньою для ухвалення рішення щодо можливості залучення первинного НР як вторинного НД.

Єдиним прийнятним шляхом об'єктивізації готовності вторинного НД стати джерелом достатньої загальної кількості волокон та рухових волокнин, зокрема, для забезпечення належного співвідношення ACR між потенційним НД та НР є морфометричні [22] та гістохімічні методи [19, 21, 23].

A4: первинний план реконструкції, використаний у цьому дослідженні, м'язів плечового поясу та проксимальних сегментів верхньої кінцівки (*Eman 1*, рис. 1, S1) відповідав поставленій задачі, оскільки він здатний був забезпечити ефективне відновлення пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків [10] – згинання в ліктьовому суглобі та стабільність (проте не ефективні рухи) в плечовому суглобі. Первинний план реконструкції, використаний у цьому дослідженні з відновлення складової пріоритетної функції 5-го та 7-го порядків [10], відповідав поставленій задачі, оскільки він здатний був забезпечити стабільність у променево-зап'ястковому та трапецієметакарпальному суглобах (*Eman 2*, рис. 1, S2). Внесення

наступних технічних змін у цю модель етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки дозволить виправити недоліки методів, використаних на *Emani 3* (S3): 1) впровадження морфометричних [22] та гістохімічних [19, 21, 23] експрес-методів визначення кількості волокнин у потенційному НД, первинному чи вторинному для забезпечення належного ACR; 2) із метою уникнення потенційної можливості погіршення відновленої на попередніх етапах функції при використанні первинно реіннервованого НР як вторинного НД необхідно впровадити методику елонгації НД [21] (так звану методику "sitting donor"), що так само не матиме прив'язки до фактору часу, проте первинно зможе забезпечити належний ACR, який, звісно, можна буде об'єктивізувати в динаміці за допомогою морфометричних [19, 21, 22, 23] та гістохімічних [19, 21, 23] експрес-методів. У випадках тотальних варіантів ТУ ПС, таким потенційним НД можуть стати іпсилатеральні гілки додаткового нерва до поперечної порції трапецієподібного м'яза [24] чи гілки до м'яза, що підіймає кут лопатки [24, 25] (табл. 2).

Реіннервація м'язів скапуло-гумеральної групи та відстрочене заміщення м'язів передньої поверхні передпліччя за допомогою трансплантації / реіннервації MCF із використанням одного НД (гілок додаткового нерва) не суперечить принципу один донор – одна функція [20], оскільки процеси перенавчання будуть рознесені у часі, який буде цілком достатнім для реалізації пластичності [28, 29] центральної нервової системи.

Співвідношення загальної кількості та кількості рухових волокнин у потенційних нервах-донорах та нерві-реципієнті

			Потенційні нерви-донори			
			Асс (MAP=30%)		MLAS***	
			загалом*	рухових**	загалом	рухових
ACR			4300	1300	-	1100
Obt	загалом	-	4,7:1	-	-	-
	рухових	940	-	1,4:1	-	1,2:1

Асс – додатковий нерв; MAP – *motor axon proportion*, кількість рухових волокнин у структурі загального стовбура нерва у %; MLAS – м'яз, що підіймає кут лопатки; ACR – *axon count ratio*, співвідношення кількості волокнин у нерві-донорі та нерві-реципієнті.

* – в загальному стовбурі додаткового нерва [25, 26];

** – на рівні верхнього краю ключиці [25, 26];

*** – дві гілки від C3 та C4 до м'яза, що підіймає кут лопатки [25]

Висновки

1. Відновлення глобальної функції верхньої кінцівки передбачає етапну реконструкцію сегментарного апарату, що пов'язано із відсутністю достатньої кількості нервів-донорів рухової функції в безпосередній близькості до бажаного м'яза-ефектора.

2. Клінічні ознаки не можуть слугувати обов'язковою передумовою використання первинно реіннервованого нерва-реципієнта, що забезпечив ефективне відновлення силових характеристик м'яза-ефектора для використання його як джерела вторинного нерва-донора для переміщеного м'язово-шкірного клаптя.

3. Здатність вторинного нерва-донора забезпечити достатню кількість рухових волокнин для реіннервації переміщеного м'язово-шкірного клаптя обов'язково має бути підтверджена об'єктивними даними морфометричних та гістохімічних експрес-методів.

4. Використання вторинного нерва-донора має потенційний ризик погіршення ефективності функції, відновленої на попередніх етапах.

5. Теоретичні засади використання методики "sitting donor" є найбільш перспективними для відновлення функції дистальних сегментів верхньої кінцівки, проте потребують клінічного підтвердження в серії випадків.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

- Moore AM (2014) Nerve transfers to restore upper extremity function: a paradigm shift. *Front. Neurol.* 5:40. DOI: 10.3389/fneur.2014.00040.
- Domeshek LE, Novak CB, Patterson JMM, et al. Nerve Transfers-A Paradigm Shift in the Reconstructive Ladder. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019;7(6):e2290. Published 2019 Jun 25. DOI: 10.1097/GOX.0000000000002290.
- Chuang DC. Brachial plexus injury: nerve reconstruction and functioning muscle transplantation. *Semin Plast Surg.* 2010;24(1):57-66. DOI: 10.1055/s-0030-1253242.
- Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *Int J Mol Sci.* 2020;21(22):8652. Published 2020 Nov 17. DOI: 10.3390/ijms21228652.
- Grinsell D, Keating CP. Peripheral nerve reconstruction after injury: a review of clinical and experimental therapies. *Biomed Res Int.* 2014;2014:698256. DOI: 10.1155/2014/698256.
- Martin E, Senders JT, DiRisio AC, Smith TR, Broekman MLD. Timing of surgery in traumatic brachial plexus injury: a systematic review [published online ahead of print, 2018 May 1]. *J Neurosurg.* 2018;1-13. DOI: 10.3171/2018.1.JNS172068.
- Delgado DA, Lambert BS, Boutris N, et al. Validation of Digital Visual Analog Scale Pain Scoring With a Traditional Paper-based Visual Analog Scale in Adults. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018;2(3):e088. Published 2018 Mar 23. DOI: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00088.
- Matthews WB. Aids to the examination of the peripheral nervous system. *J Neurol Sci.* 1977;33(1-2):299.
- Hata A, Yamada Y, Tanaka R, et al. Dynamic Chest X-Ray Using a Flat-Panel Detector System: Technique and Applications. *Korean J Radiol.* 2021;22(4):634-651. DOI: 10.3348/kjr.2020.1136.
- Siqueira MG, Martins RS. Surgical treatment of adult traumatic brachial plexus injuries: an overview. *Arg Neuropsiquiatr.* 2011;69(3):528-535. DOI: 10.1590/s0004-282x2011000400023.
- Chuang DC. Brachial plexus reconstruction based on

- the new definition of level of injury. *Injury*. 2008;39 Suppl 3:S23-S29. DOI: 10.1016/j.injury.2008.05.012.
12. Bahm J, Noaman H, Becker M: The dorsal approach to the suprascapular nerve in neuromuscular reanimation for obstetric brachial plexus lesions. *Plast Reconstructive Surg*, 115(1):240-244, 2005.
 13. Hayden RJ, Jebson PJ. Wrist arthrodesis. *Hand Clin*. 2005;21(4):631-640. DOI: 10.1016/j.hcl.2005.08.004.
 14. Amadei F. Trapeziometacarpal arthrodesis. *Hand Surg Rehabil*. 2021;40S:S102-S105. DOI: 10.1016/j.hansur.2020.09.010.
 15. Yang Y, Zou XJ, Fu G, et al. Neurotization of free gracilis transfer with the brachialis branch of the musculocutaneous nerve to restore finger and thumb flexion in lower trunk brachial plexus injury: an anatomical study and case report. *Clinics (Sao Paulo)*. 2016;71(4):193-198. DOI: 10.6061/clinics/2016(04)03.
 16. Gates DH, Walters LS, Cowley J, Wilken JM, Resnik L. Range of Motion Requirements for Upper-Limb Activities of Daily Living. *Am J Occup Ther*. 2016;70(1):7001350010p1-7001350010p10. DOI: 10.5014/ajot.2016.015487.
 17. Chao AH, Lamp S. Current approaches to free flap monitoring. *Plast Surg Nurs*. 2014;34(2):52-58. DOI: 10.1097/PSN.0000000000000037.
 18. Strafun S.S. Kliniko-elektromiografichni stadii denervatsiino-reinnervatsiinoho protsesu u miazakh kintsivok pry ushkodzhenni peryferychnykh nerviv / S.S. Strafun, O.H. Haiko // *Travma*. — 2012. — T.13, No4. — S.121–127.
 19. Schreiber JJ, Byun DJ, Khair MM, Rosenblatt L, Lee SK, Wolfe SW. Optimal axon counts for brachial plexus nerve transfers to restore elbow flexion. *Plast Reconstr Surg*. 2015;135(1):135e-141e. DOI: 10.1097/PRS.0000000000000795.
 20. Luft M, Klepetko J, Muceli S, et al. Proof of concept for multiple nerve transfers to a single target muscle. *Elife*. 2021;10:e71312. Published 2021 Oct 1. DOI: 10.7554/eLife.71312.
 21. Bahm J, Ocampo-Pavez C. Free functional gracilis muscle transfer in children with severe sequelae from obstetric brachial plexus palsy. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj*. 2008;3:23. Published 2008 Oct 30. DOI: 10.1186/1749-7221-3-23.
 22. Meyer R, Claussen GC, Oh SJ. Modified trichrome staining technique of the nerve to determine proximal nerve viability. *Microsurgery*. 1995;16(3):129-132. DOI: 10.1002/micr.1920160302.
 23. Hattori Y, Doi K, Kaneko K, Heong TS. Intraoperative measurement of choline acetyltransferase activity to evaluate the functional status of donor nerve during reinnervated free muscle transfer: a preliminary report. *J Hand Surg Am*. 1998;23(6):1034-1037. DOI: 10.1016/S0363-5023(98)80011-7.
 24. Nicoson MC, Franco MJ, Tung TH. Donor nerve sources in free functional gracilis muscle transfer for elbow flexion in adult brachial plexus injury. *Microsurgery*. 2017;37(5):377-382. DOI: 10.1002/micr.30120.
 25. Saltzman EB, Krishnan K, Winston MJ, Das De S, Lee SK, Wolfe SW. A Cadaveric Study on the Utility of the Levator Scapulae Motor Nerve as a Donor for Brachial Plexus Reconstruction. *J Hand Surg Am*. 2021;46(9):812.e1-812.e5. DOI: 10.1016/j.jhsa.2020.11.022.
 26. Gesslbauer B, Hrubby LA, Roche AD, Farina D, Blumer R, Aszmann OC. Axonal components of nerves innervating the human arm. *Ann Neurol*. 2017;82(3):396-408. DOI: 10.1002/ana.25018.
 27. Mahmood B, Marshall D, Wolfe SW, Lee SK, Fufa DT. Anatomic evaluation of the obturator branch to the gracilis muscle to optimize its use as a free functional muscle transfer for elbow flexion reanimation. S50-S51 *The Journal of Hand Surgery*. 2018;43.
 28. Socolovsky M, Malessy M, Lopez D, Guedes F, Flores L. Current concepts in plasticity and nerve transfers: relationship between surgical techniques and outcomes. *Neurosurg Focus*. 2017;42(3):E13. DOI: 10.3171/2016.12.FOCUS16431.
 29. Shen, Jun. (2022). Plasticity of the Central Nervous System Involving Peripheral Nerve Transfer. *Neural Plasticity*. 2022. 10.1155/2022/5345269.

Preconditions for the Successful Segmental Step-Wise Reconstruction of the Global Function of the Upper Extremity in Case of the Complete Brachial Plexus Injury (Case Report)

Hatskyi O.O.¹, Tretiak I.B.¹, Tsymbaliuk V.I.¹, Chyrka Yu.L.², Jiang Hao¹, Tsymbaliuk Ya.V.¹, Tretiakova A.I.¹

¹Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv

²Vynnytsia Yushchenko Regional Psychoneurological Hospital, Vynnytsia

Summary. Background. The prognosis of recovery of the distal muscles (dM) of the upper extremity (UE) in complete brachial plexus injuries (cBPI) after any selective nerve transfer (NT) is poor. Free functioning muscle transfer (FFMT) is deprived of the disadvantages of NT. By combining NT and FFMT one can achieve recovery of the global functionality of UE in cBPI. **Objective:** to define theoretical and clinical preconditions for each stage (S) of the segmental reconstruction of UE in cBPI. **Materials and Methods.** 38 years old male patient 3 months after cBPI underwent NT (S1) of the phrenic to musculocutaneous nerve; branches of the spinal accessory nerve were transferred to axillary and suprascapular nerves. 36 months after S1 the patient underwent wrist (WA) and trapeziometacarpal arthrodesis (TMCA) (S2). 43 months after S1 the patient underwent FFMT of the gracilis muscle (S3). Clinical and neurological, electroneuromyographic (EMG), and X-ray examinations were carried out within the expected time to achieve the expected result

after the corresponding stages of reconstruction. **Results.** 26 months after S1 *m. biceps brachii* and *m. deltoideus* recovered to M4; *m. supra-infraspinatus* ineffectively recovered to M3. A stable arthrodesis effect in WA and TMCA was achieved after 42 months in general. Poor clinical and EMG recovery of the gracilis muscle (S3) within the expected time led to indefinite postponement of S4, with clinical and EMG control every 3 months. **Conclusions.** Clinical signs of functional recovery cannot be a prerequisite for using a primary recipient nerve as a secondary donor nerve; the number of motor fibers in the donor nerve must be confirmed by objective data of morphometric and histochemical express methods; theoretical preconditions of the “sitting donor” technique appear to be the most promising in terms of recovery of dM of UE.

Key words: brachial plexus; injury; nerve transfer; phrenic nerve; musculocutaneous nerve; spinal accessory nerve; obturator nerve; gracilis muscle; free functional muscle transfer.

Віддалені функціональні наслідки лікування переломів дистального метаепіфіза променевої кістки

Науменко Л.Ю.¹, Маметєв А.О.¹✉, Вінник О.О.¹

Резюме. Частота ушкоджень дистального метаепіфіза променевої кістки становить від 16 до 33% усіх переломів кісток скелета, і зростання захворюваності на остеопороз, безумовно, обумовлює тенденцію до підвищення частоти ушкоджень цієї локалізації. Репозиції необхідні близько 53,3% травмованих, серед них половина (26,6%) має великі нестабільні переломи типу В і С, які потребують хірургічного лікування. **Матеріали і методи.** Дослідження проводилося за матеріалами травматологічних пунктів і травматологічних відділень “Міська клінічна лікарня № 2” ДМР м. Дніпро, КНП “Міська клінічна лікарня № 6” ДМР м. Дніпро. З метою оцінки віддалених наслідків проведений ретроспективний аналіз архівних матеріалів 318 пацієнтів з ушкодженням дистального метаепіфіза променевої кістки, в тому числі рентгенограми 271 жінки (85,2%) та 47 чоловіків (14,8%). **Результати.** Проведений аналіз дає підстави стверджувати про наявність залежності віддалених проявів від характеру і тяжкості переломів, якості репозиції або хірургічного лікування. Переломи типу А і С мають виражену тенденцію до розвитку проявів деформуючого артрозу променево-зап'ястного суглоба у віддалений період після травм, що може бути обумовлено наявністю дисконгруентності суглобових поверхонь на тлі залишкових допустимих зміщень фрагментів. **Висновки.** Забезпечення точної репозиції переломів та розширення показань до хірургічного лікування при допустимих зміщеннях кісткових фрагментів при переломах дистального метаепіфіза променевої кістки дозволить знизити частоту і тяжкість проявів артрозу у віддалений період.

Ключові слова: переломи променевої кістки; дистальний метаепіфіз променевої кістки.

Вступ

Переломи дистального метаепіфіза променевої кістки (ДМПК) – одна із найбільш частих локалізацій травм опорно-рухового апарату, різнобічно обґрунтована і вивчена в чисельних наукових дослідженнях. Частота ушкоджень цієї локалізації становить, за даними різних авторів, від 16 до 33% усіх переломів кісток скелета. Збільшення тривалості життя людей та зростання захворюваності на остеопороз, безумовно, будуть сприяти збереженню тенденції до зростання частоти травмування дистального метаепіфіза променевої кістки. Найбільш уразливою категорією постраждалих є люди віком старше 60 років (43%), причому серед них переважно більшість становлять жінки.

За даними С.С. Страфуна, І.М. Зазірного, S. Meena, Z. Al-Amin, репозиції необхідні близько 53,3% травмованих, серед них половина (26,6%) мають вели-

кі нестабільні переломи типу В і С, які потребують хірургічного лікування. Інші 46,7% пацієнтів мають переломи ДМПК без зміщення кісткових фрагментів або ті, величина зміщення яких не перевищує допустимих параметрів [1, 2, 3, 4].

У сучасних реаліях лікувальна тактика при переломах ДМПК визначається амбулаторною ланкою травматологічної допомоги в травмпунктах та приймальних відділеннях лікарень. Вибір оптимального біомеханічно обґрунтованого способу лікування і методично правильне його виконання покладаються на лікаря травмпункту [5, 6, 7].

Провідну роль у лікуванні переломів ДМПК традиційно посідає імобілізаційний метод із проведенням одномоментної репозиції. З впевненістю можна вважати, що одномоментна репозиція не проводиться тільки у випадках переломів без зміщення кісткових фрагментів. Як доводить практика, у більшості пацієнтів виконується одна і більше спроб репозиції незалежно від складності переломів. Хірургічне лікування обирається після невдалих спроб закритої одномоментної репозиції [8, 9, 10, 11].

✉ Маметєв А.О., mametev75@gmail.com

¹Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро

Заслужують на увагу визначення критеріїв ефективності репозиції при переломах зі зміщенням фрагментів та підстави для вибору консервативного лікування. Так, стандартом залишаються і визначені різними авторами найбільш важливі гранично допустимі параметри зміщення відламків після репозиції. За даними С.Н. Chen та J.B. Jupiter, до них належать: кут нахилу суглобової поверхні променевої кістки волярно до 15°, до тилу 5°; внутрішньосуглобова сходінка до 2 мм [12, 13, 14].

Як відомо, суглоби надзвичайно чутливі до навіть незначних відхилень від геометричної форми суглобових поверхонь, що призводить до найближчих чи віддалених несприятливих наслідків [15]. Результати проведених нами попередніх досліджень свідчать, що найбільш уразлива зона для виникнення переломів розташована на відстані 10-18 мм від суглобової поверхні, а частота внутрішньосуглобових ушкоджень має тенденцію до зростання зі збільшенням віку постраждалих [16].

Враховуючи особливості конфігурації суглобових поверхонь ДМПК та проксимального ряду кісток зап'ястка, зазначені гранично допустимі зміщення не забезпечують повною мірою конгруентні взаємовідносини суглобових поверхонь променево-зап'ястного суглоба.

Результати наших багаторічних досліджень хворих із переломами дистального метаепіфіза про-

меневої кістки дають підстави стверджувати про наявність у віддалений посттравматичний період у частини постраждалих функціональних порушень різного ступеня тяжкості, які обумовлені первинними або вторинними зміщеннями [16].

Мета роботи: провести ретроспективний аналіз віддалених наслідків переломів дистального метаепіфіза променевої кістки за суб'єктивними оцінювальними характеристиками пацієнтів, отриманими шляхом анкетування, у зіставленні з вихідними рентгенологічними даними про перенесену травму.

Матеріали і методи

З метою оцінки віддалених наслідків шляхом анкетування та даних рентгенологічного дослідження на період травмування проведений ретроспективний аналіз ушкоджень цієї локалізації у травмованих за період із 2007 по 2022 рік.

Дослідження проводилося за матеріалами травматологічних пунктів і травматологічних відділень "Міська клінічна лікарня № 2" ДМР м. Дніпро, КНП "Міська клінічна лікарня № 6" ДМР м. Дніпро.

Був проведений ретроспективний аналіз рентгенограм та інших архівних матеріалів 318 пацієнтів з ушкодженням дистального метаепіфіза променевої кістки, в тому числі 271 рентгенограми жінок

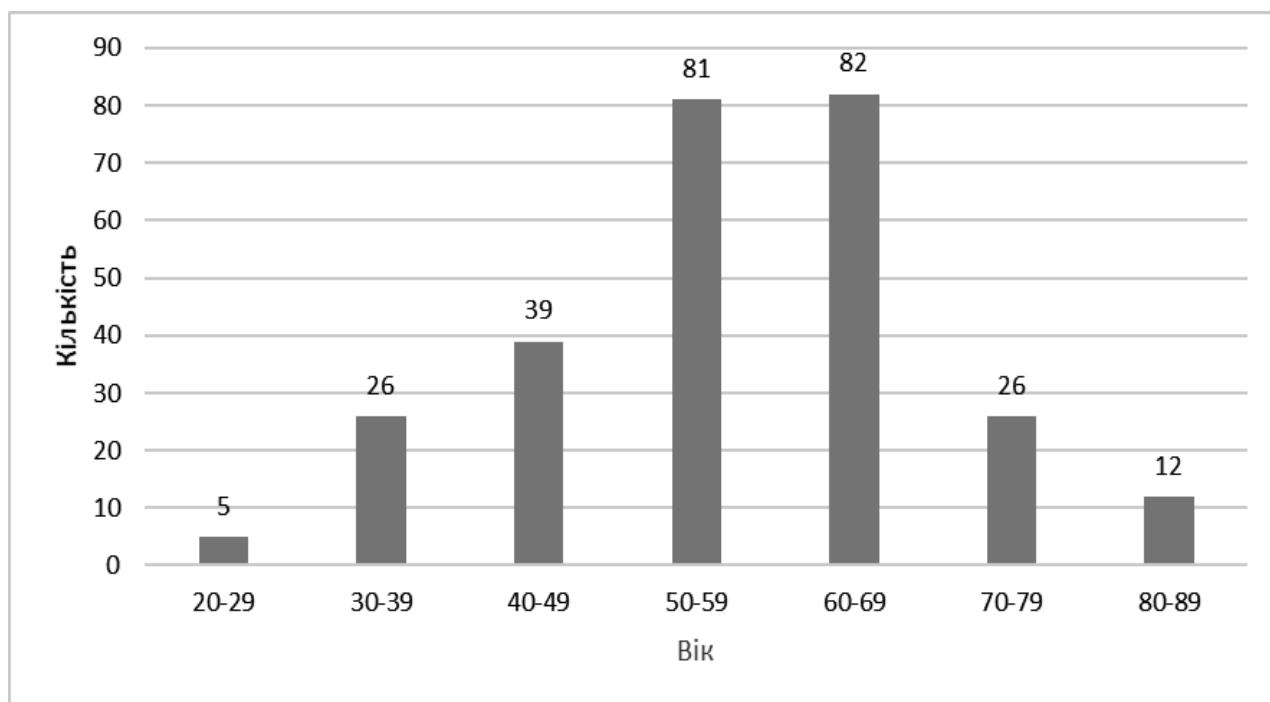


Рис. 1. Розподіл пацієнтів жіночої статі з ушкодженням дистального метаепіфіза променевої кістки за віковими інтервалами

(85,2%) та 47 – чоловіків (14,8%). Віковий діапазон пацієнтів чоловічої статі становив від 20 до 77 років (середній вік $M \pm m$) – $48,3 \pm 2,0$ ($SD=13,9$) року. У пацієнтів жіночої статі віковий діапазон перебував у межах від 20 до 84 років (середній вік – $56,3 \pm 0,78$ ($SD=12,9$) року), таким чином пацієнти жіночої статі були старшими за віком ($p < 0,001$ за t-критерієм).

Дані, наведені на рис. 1, свідчать про переважання пацієнтів жіночої статі у вікових інтервалах 50-59 та 60-69 років (29,9 і 30,3%).

У пацієнтів чоловічої статі діагностовано переломи 11 типів за класифікацією АО/ASIF, у пацієнтів жіночої статі – 18 типів. При цьому максимальні значення в обох групах належать до перелому типу A2.2 (табл. 1).

За даними, наведеними в табл. 1, переважали позасуглобові переломи в обох групах (максимум при переломі типу A2.2). Питома вага переломів, які перебувають у діапазоні A2.3-C3.3, не перевищує 26,2% у пацієнтів жіночої статі і 29,79% – у чоловічої статі ($p > 0,05$).

До складу вибірки для анкетування увійшли 242 пацієнти з переломом типу A2.1, A2.2, A3.1, C2.1, C2.2. Анкетування проводилось із використанням листування, електронних ресурсів опитування. На звернення відреагували 147 респондентів за типом переломів: A2.1 – 40, A2.2 – 80, A3.1 – 10, C2.1 – 12, C2.5 – 5.

Статистична обробка результатів дослідження проводилась за допомогою пакету аналізу даних у MS Excel 2013. Порівняння середніх величин у різ-

Таблиця 1

Розподіл пацієнтів за типом перелому

Тип перелому	Пацієнти жіночої статі (n=271)		Пацієнти чоловічої статі (n=47)		Усього (n=318)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
A2.1	62	22,88	13	27,66	75	23,58
A2.2	138	50,92	20	42,55	158	49,69
A2.3	2	0,74	–	–	2	0,63
A3.1	17	6,27	1	2,13	18	5,66
A3.2	1	0,37	2	4,26	3	0,94
A3.3	2	0,74	1	2,13	3	0,94
B1.1	4	1,48 *	3	6,38 *	7	2,20
B1.3	1	0,37	–	–	1	0,31
B2.1	4	1,48	–	–	4	1,26
B3.2	1	0,37	–	–	1	0,31
B3.3	1	0,37	–	–	1	0,31
C1.2	6	2,21	2	4,26	8	2,52
C1.3	–	–	2	4,26	2	0,63
C2.1	18	6,64	1	2,13	19	5,97
C2.2	7	2,58	1	2,13	8	2,52
C2.3	2	0,74	1	2,13	3	0,94
C3.1	1	0,37	–	–	1	0,31
C3.2	2	0,74	–	–	2	0,63
C3.3	2	0,74	–	–	2	0,63

Примітка: * – достовірні відмінності між показниками ($p < 0,05$)

Таблиця 2

Зведені дані результатів анкетування постраждалих

Характер проявів	Тип А		А 2.1		А 2.2		А 3.1		Тип С		С 1.1		С 2.1		Усього	
	n=130		n=40		n=80		n=10		n=17		n=12		n=5		n=147	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Больові відчуття в зоні перелому при навантаженні	85	65,4	27	67,5	52	65,0	6	60,0	9	52,9	6	50,0	3	60,0	94	63,9
Набряк у зоні перелому	47	36,2	13	32,5	31	38,8	3	30,0	8	47,1	6	50,0	2	40,0	55	37,4
Обмеження рухомості згинання, розгинання	80	61,5	32	80,0*	43	53,8*	5	50,0*	11	64,7	8	66,7	3	60,0	91	61,9
Обмеження кругових рухів	104	80,0	37	92,5*	59	73,8*	8	80,0	13	76,5	8	66,7	5	100	117	79,6
Порушення стабільності в суглобі	26	20,0	11	27,5	13	16,3	2	20,0	4	23,5	2	16,7	2	40,0	30	20,4
Зниження чутливості пальців	25	19,2	8	20,0	14	17,5	3	30,0	6	35,3	3	25,0	3	60,0	31	21,1
Викривлення (деформація) в променево-зап'ястному суглобі	36	27,7	14	35,0	19	23,8	3	30,0	4	23,5	2	16,7	2	40,0	40	27,2
Зниження сили кисті	91	70,0	31	77,5	53	66,3	7	70,0	9	52,9	4	33,3*	5	100*	100	68,0
Обмеження трудової і побутової діяльності	82	63,1*	27	67,5	49	61,3	6	60,0	6	35,3*	3	25,0	3	60,0	88	59,9

Примітка: * – достовірні відмінності між показниками (p<0,05)

них групах проводилось за критерієм Стьюдента (t), відносних – за критерієм згоди Пірсона (χ^2).

Результати

З метою визначення закономірностей віддалених проявів переломів дистального метаепіфіза променевої кістки, пов'язаних із порушенням конгруентності суглобових поверхонь променево-зап'ястного суглоба, нами виділено 9 найбільш значущих, на наш погляд, показників (табл. 2). Давність травми перебувала у межах від 2 до 5 і більше років.

Згідно з даними, наведеними в табл. 2, у більшості постраждалих у віддалений період мали місце наслідки травм, що свідчить про наявність післятравматичного артрозу і впливає на якість життя постраждалих. Порівняння проявів при класифікаційних типах переломів А і С не дає підстав стверджувати про суттєву розбіжність. Разом з цим відомо, що ушкодження типу С є більш складними з внутрішньосуглобовим компонентом, при яких проводилося хірургічне лікування з використанням металоостеосинтезу пластинами.

Забезпечення конгруентних взаємовідносин суглобових поверхонь при типі С після оперативного лікування зумовило зменшення числа осіб із проявами больового синдрому на 12,5% ($p > 0,05$), зниження сили кисті – на 17,1% ($p > 0,05$), обмежень трудової і побутової діяльності – на 27,8% ($p < 0,05$).

Порівняльний аналіз віддалених проявів при переломах типу А виявив достовірні розбіжності лише у показниках обмеження рухомості згинання – розгинання та кругових рухів між підтипом А2.1 і підтипами А2.2, А3.1 (табл. 2).

У підтипах С1.1 і С2.1 відзначається тенденція до збільшення проявів при переломах С2.1, але це зростання відсотків здебільшого пов'язане з незначною кількістю обстежених.

Аналізуючи частоту окремих проявів, слід відзначити досить високий відсоток больових відчуттів – 63,9%. Водночас безпосереднє спілкування з частиною опитуваних показало, що вираженість і частота проявів больових відчуттів у більшості випадків мають помірний характер, а інколи з'являються тільки при значних навантаженнях. Найбільш високим був відсоток обмежень рухомості в променево-зап'ястному суглобі при виконанні кругових рухів – він досягав 79,6%, а згинально-розгинальних – 61,9%. За обсягом обмежень рухомості частіше мали місце обмеження розгинання у променево-зап'ястному суглобі в межах від 5° до 15°.

У комплексі віддалені прояви створюють певні труднощі в побутовій і трудовій діяльності, проте у

значної частини опитаних певний обсяг обмежень міг бути пов'язаний із віком.

Таким чином, проведений аналіз травм ДМПК дає підстави стверджувати про наявність залежності віддалених проявів від характеру і тяжкості переломів, якості репозиції або хірургічного лікування. Відсутність конгруентних взаємовідносин між суглобовими поверхнями після репозиції призводить до формування змін, пов'язаних з артрозом, із відповідною симптоматикою.

Висновки

1. Переломи дистального метаепіфіза променевої кістки за класифікаційними ознаками типу А і С мають виражену тенденцію до розвитку проявів деформуючого артрозу променево-зап'ястного суглоба у віддалений період після травм, що може бути обумовлено наявністю дисконгруентності суглобових поверхонь на тлі залишкових допустимих зміщень фрагментів.

2. Забезпечення точної репозиції переломів та розширення показань до хірургічного лікування при допустимих зміщеннях кісткових фрагментів при переломах дистального метаепіфіза променевої кістки дозволить знизити частоту і тяжкість проявів артрозу у віддалений період.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

1. Страфун СС, Тимошенко СВ. Переломи дистального метаепіфіза лучевої кістки. Київ: Фенікс; 2015. 307с. Strafun SS, Timoshenko SV. Fractures of the distal metaepiphysis of the radius. Kiev: Feniks; 2015. 307s.
2. Зазірний ІМ, Василенко АВ. Біомеханічне моделювання у визначенні міцності фіксації різних видів імплантів при лікуванні внутрішньосуглобових переломів дистального метаепіфіза променевої кістки за типом С3 (біомеханічне дослідження). Травма. 2019;20(2):106-114. Доступно за посиланням: <http://www.mifua.com/archive/article/47779>. Zazirnyi IM, Vasilenko AV. Biomechanical modeling in determining the strength of fixation of various types of implants in the treatment of intra-articular fractures of the distal metaepiphysis of the radius according to type C3 (biomechanical study). Travma. 2019;20(2):106-114. Available from: <http://www.mifua.com/archive/article/47779>.
3. Meena S, Sharma P, Sambharia AK, Dawar A. Fractures of distal radius: an overview. J Family Med Prim Care. 2014 Oct-Dec;3(4): 325-32. PMID: 25657938. DOI: 10.4103/2249-4863.148101
4. Al-Amin Z, Senyürek SA, Van Lieshout EMM, Wijffels MME. Systematic review and pooled analysis of the rate of carpal tunnel syndrome after prophylactic carpal tunnel release in patients with a distal radius fracture. Hand Surg Rehabil. 2018 Jun;37(3):155-159. PMID: 29580685. DOI: 10.1016/j.hansur.2018.02.004

5. Зазірний ІМ, Василенко АВ. Сучасні методи лікування переломів дистального метаепіфіза променевої кістки (огляд літератури). Ортопедія, травматологія та протезування. 2013;(3):107-112. Доступно за посиланням: http://nbuv.gov.ua/UJRN/OpTIP_2013_3_24.
Zazirnyi IM, Vasylenko AV. Modern methods of treatment of fractures of the distal metaepiphysis of the radius (literature review). *Ortopediia, travmatolohiia ta protezuvannia*. 2013;(3):107-112. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/OpTIP_2013_3_24.
6. Бур'янов ОА, Омельченко ТМ, Соболевский ЮЛ. Профилактика та лікування посттравматичного остеоартрозу у хворих з внутрішньо-суглобовими остеохондральними переломами. *Травма*. 2012;13(4):33-9.
Burianov OA, Omelchenko TM, Sobolevskiy YuL. Prevention and treatment of posttraumatic osteoarthritis in patients with intra-articular osteochondral fractures. *Travma*. 2012;13(4):33-9.
7. Bentohami A, van Delft EAK & Vermeulen Jet al. Non- or minimally displaced distal radial fractures in adult patients: three weeks versus five weeks of cast immobilization a randomized controlled trial. *J Wrist Surg* 2019; 8:43-8.
8. Jerrhag D, Englund M, Karlsson MK, Rosengren BE. Epidemiology and time trends of distal forearm fractures in adults – a study of 11.2 million person-years in Sweden. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017 Jun 02;18(1):240. PMID: 28576135. PMCID: PMC5457562. DOI: 10.1186/s12891-017-1596-z
9. Loisel F, Bourgeois M, Rondot T, Nallet J, Boeckstins M, Rochet S, Leclerc G, Obert L, Lepage D. Treatment goals for distal radius fractures in 2018: recommendations and practical advice. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018 Dec;28(8):1465-1468. PMID: 29663104. DOI: 10.1007/s00590-018-2196-9
10. Baruah RK, Islam M, Haque R. Immobilisation of extra-articular distal radius fractures (Colles type) in dorsiflexion: the functional and anatomical outcome. *J Clin Orthop Trauma*. 2015;6:167-72 .
11. Mellstrand Navarro C, Ahrengart L, Törnqvist H, Ponzer S. Volar locking plate or external fixation with optional addition of K-wires for dorsally displaced distal radius fractures: a randomized controlled study. *J Orthop Trauma*. 2016; 30: 217-24.
12. Мателенок ЄМ, Бець ГВ, Бець ІГ. Тактика хірургічного лікування переломів дистального метаепіфізу кісток передпліччя. *Ортопедія, травматологія та протезування*. 2011;(2):76-80.
Matelenok YeM, Bets HV, Bets IH. Tactics of surgical treatment of fractures of the distal metaepiphysis of the bones of the forearm. *Ortopediya, travmatolohiia y protezyrovanye*. 2011;(2):76-80.
13. Бець ІГ. Критерії вибору технологій лікування ушкоджень дистальних метаепіфізів кісток передпліччя. *Травма*. 2018;19(3).
14. Chen CN, Jupiter JP. Management of Distal Radial Fractures. *J. Bone Joint Surg. Am*. 2007;89:2051-2062.
15. Walenkamp MM, Aydın S, Mulders MA, Goslings JC, Schep NW. Predictors of unstable distal radius fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Hand Surg Eur Vol*. 2016; 41:501–515.
16. Науменко ЛЮ, Винник АА. Результаты лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости. *Травма*. 2011;(2):25-29.
Naumenko LYu, Vinnik AA. Results of treatment of fractures of the distal metaepiphysis of the radius. *Travma*. 2011;(2):25-29.

Long-Term Functional Consequences of Treatment of Fractures of the Distal Metaepiphysis of the Radius

Naumenko L.Yu.¹, Mametiev A.O.¹, Vinnyk O.O.¹

¹Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine

Summary. The frequency of damage to the distal metaepiphysis of the radius reaches from 16% to 33% of all fractures of the bones of the skeleton, and the increase in the incidence of osteoporosis definitely maintains the tendency to increase the frequency of damage to this localization. About 53.3% of the injured need repositioning; half of them (26.6%) have large unstable fractures of type B and C, which are subject to surgical treatment. **Materials and Methods.** The study was carried out based on the materials of the trauma centers and trauma departments of the “City Clinical Hospital No. 2” of the DCC (Dnipro) and the MNPE “City Clinical Hospital No. 6” of the DCC (Dnipro). To assess the long-term consequences, a retrospective analysis of archive records of 318 patients with damage to the distal metaepiphysis of the radius was performed, including 271 radiographs of females (85.2%) and 47 males (14.8%). **Results.** The conducted analysis gives grounds to state that remote manifestations depend on the nature and severity of fractures, the quality of reposition or surgical treatment. Fractures of type A and C have a pronounced tendency to develop manifestations of deforming arthrosis of the radiocarpal joint in the remote period

*after the injury, which may be due to the presence of incongruity of the articular surfaces against the background of residual “permissible” displacements of the fragments. **Conclusions.** Ensuring accurate repositioning of fractures and expanding the indications for surgical treatment in case of “permissible” displacement of bone fragments in fractures of the distal metaepiphysis of the radial bone will reduce the frequency and severity of arthrosis in the remote period after the injury.*

Key words: *fractures of the radial bone; distal metaepiphysis of the radial bone.*

УДК: 616.717/718-001.5-06:616.61-008.64-036.12-78-085.38]-07-085-089-035-036.8
 HTTPS://DOI.ORG/10.37647/0132-2486-2022-115-4-43-52

Переломи довгих кісток та мінерально-кісткові розлади у хворих із хронічною хворобою нирок, які лікуються гемодіалізом

Анкі́н М.Л.¹, Петри́к Т.М.², Ладика В.О.¹, Дудар С.Л.^{1,2}✉

Резюме. Актуальність. На межі XX і XXI століть світова спільнота зіткнулася з глобальною проблемою, що має не тільки медичне, але й велике соціально-економічне значення, – пандемією хронічних неінфекційних захворювань, які щорічно забирають мільйони життів, призводять до важких ускладнень, пов'язаних із втратою працездатності та необхідністю витратного лікування. Серед них хронічна хвороба нирок (ХХН), яка посідає важливе місце через значну поширеність у популяції, різке зниження якості життя, високу смертність пацієнтів і яка призводить до необхідності застосування дорогих методів замісної ниркової терапії (ЗНТ). **Мета роботи.** Визначити 3-річну кумулятивну частоту переломів (частка дорослих із переломами стегнової кістки, кісток передпліччя або проксимального відділу плечової кістки) принаймні 1 раз протягом 3 років спостереження, особливості показників рівня кальцію, фосфору, паратгормону (ПТГ), лужної фосфатази та вітаміну D у хворих, які лікуються із застосуванням програмного гемодіалізу і мають переломи довгих кісток. **Матеріали і методи.** Для визначення 3-річної кумулятивної частоти переломів (частка дорослих із переломами стегнової кістки, кісток передпліччя або проксимального відділу плечової кістки) принаймні 1 раз протягом 3 років спостереження було проаналізовано 512 пацієнтів, які лікувались із застосуванням гемодіалізу понад 3 роки. Було констатовано 50 переломів кісток упродовж 2019-2022 рр. (стегнова кістка – 25, гомілка – 6, проксимальна частина плечової кістки – 6, передпліччя – 4, таз – 2, ребра – 2, хребці – 5). **Результати.** Більш детально вивчення показників мінерального обміну проаналізовано у 154 хворих із ХХН V стадії, яким застосовувався гемодіаліз на базі КНП КОР “Київська обласна клінічна лікарня”. Надалі хворі були розподілені на 2 групи: 1) пацієнти, що перебували на гемодіалізі з переломами довгих кісток скелета (n=41: стегнова кістка – 25, гомілка – 6, проксимальна частина плечової кістки – 6, передпліччя – 4) і які лікувались в обласному травматологічному центрі; 2) пацієнти, які не мали переломів скелета (n=118) за період 2019-2022 рр. **Висновки.** Дослідження показало, що 3-річна кумулятивна частота переломів при дослідженні 512 хворих, які лікувались гемодіалізом понад 3 роки, становила 9,76%. У хворих, які мали переломи довгих кісток, у порівнянні з хворими без переломів встановлено підвищені рівні фосфору і ПТГ у сироватці крові та зменшені рівні кальцію та вітаміну D. Рівень лужної фосфатази за наявності переломів вдвічі перевищував аналогічний рівень у групі хворих без переломів (p<0,001). Отримані дані свідчать, що порушення мінерального обміну є предикторами переломів у хворих із ХХН, яким проводиться лікування із застосування гемодіалізу.

Ключові слова: переломи кісток; гемодіаліз; мінерально-кісткові розлади.

Вступ

У нашій країні вільний доступ до діалітичних технологій та сучасних методів обстеження та лікування

діалітичної популяції хворих з'явився тільки в останнє десятиріччя. Питанням лікування та профілактики переломів довгих кісток у таких хворих, на жаль, не приділялося належної уваги, більшість хворих лікувалася консервативно, в той час, як щорічний приріст хворих із переломами кісток, пов'язаних із хронічною хворобою нирок (ХХН), став серйозною проблемою [1, 2]. Хоча щороку публікується безліч досліджень в області мінерально-кісткових розладів,

✉ Дудар С.Л., serg_dudar@ukr.net

¹Національний університет охорони здоров'я України ім. П.Л. Шупика, кафедра ортопедії і травматології № 2, м. Київ

²КНП КОР “Київська обласна клінічна лікарня”, Ортопедично-травматологічний центр, м. Київ

пов'язаних із ХХН (ХХН-МКР), ця проблема залишається далекою від розв'язання. Більшість із кількох обсерваційних досліджень, опублікованих на цю тему, чітко показує, що ризик переломів довгих кісток у багато разів вищий у пацієнтів із ХХН та трансплантованою ниркою у порівнянні зі здоровими суб'єктами [3-6]. Нещодавно проведене дослідження підтвердило цю концепцію та продемонструвало, що частота переломів довгих кісток прогресивно зростає зі зниженням швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ) на ранніх стадіях ХХН [7]. Крім того, повідомлялося, що ризик переломів збільшується у пацієнтів, які перенесли гостре ураження нирок (ГУН), що вимагало лікування із застосуванням гемодіалізу, навіть у випадках повного відновлення функції нирок [8]. Дефіцит інформації щодо переломів довгих кісток у цієї популяції хворих є істотним, з огляду на той факт, що виникнення перелому асоціюється з постійно підвищеним ризиком смерті як у пацієнтів, які перебувають на діалізі, так і у пацієнтів із трансплантованою ниркою [9-13]. З іншого боку, не у всіх хворих із ХХН, які лікуються методами нирково-замісної терапії, трапляються переломи довгих кісток. Саме це спонукає до подальшого вивчення показників мінерального обміну з переломами у хворих, які лікуються методами ЗНТ. Переломи кісток у хворих на ХХН пов'язані з підвищенням рівня госпіталізацій, смертності, зниженням якості життя, більш високим економічним навантаженням. Розуміння складного патогенезу мінерально-кісткових порушень при ХХН (ХХН-МКР) має вирішальне значення для поліпшення короткострокових та довгострокових результатів лікування та реабілітації хворих із патологічними переломами кісток.

Мета роботи: визначити 3-річну кумулятивну частоту переломів (частка дорослих із переломами стегнової кістки, кісток передпліччя або проксимального відділу плечової кістки) принаймні 1 раз протягом 3 років спостереження, особливості показників кальцію, фосфору, паратгормону (ПТГ), лужної фосфатази та вітаміну D у хворих, які лікуються із застосуванням програмного гемодіалізу та мають переломи довгих кісток.

Матеріали і методи

Для визначення 3-річної кумулятивної частоти переломів (частка дорослих із переломами стегнової кістки, кісток передпліччя або проксимального відділу плечової кістки) принаймні 1 раз протягом 3 років спостереження було піддано аналізу 512 хворих, які отримували лікування із застосуванням гемодіалізу понад 3 роки. Було констатовано 50 переломів кісток упродовж 2019-2022 рр. (стег-

нова кістка – 25, гомілка – 6, проксимальна частина плечової кістки – 6, передпліччя – 4, таз – 2, ребра – 2, хребці – 5).

Більш детальне вивчення мінерального обміну проведено у 154 хворих із ХХН V стадії, яким проводився гемодіаліз на базі КНП КОР “Київська обласна клінічна лікарня”. Надалі хворі були розподілені на 2 групи: 1) пацієнти, що перебували на гемодіалізі з переломами довгих кісток скелета (n=41: стегнова кістка – 25, гомілка – 6, проксимальна частина плечової кістки – 6, передпліччя – 4), лікування яких проводилося в обласному травматологічному центрі; 2) хворі, яким проводився гемодіаліз і які не мали переломів скелета (n=113) за період 2019-2022 рр. Критеріями включення хворих до ретроспективного дослідження були: вік понад 18 років, лікування із застосуванням методу гемодіалізу понад 12 місяців. Критеріями виключення вважались: незгода пацієнта на участь у дослідженні, тривалість гемодіалізу менш ніж 12 місяців, лікування в минулому глюкокортикоїдами, статевими гормонами, гострі порушення мозкового та коронарного кровообігу в анамнезі, хронічна серцева недостатність III-IV функціонального класу (за класифікацією NYHA), рівень гемоглобіну <70 г/л, інформація про гострі інфекційні процеси будь-якої етіології, діагностовані впродовж 3 місяців до початку аналізу, онкологічні захворювання, трансплантація нирки в анамнезі, гостра та хронічна печінкова недостатність, психічні розлади. Нами були проаналізовані зміни основних параметрів фосфор-кальцієвого обміну (рівень фосфору, кальцію, ПТГ, ЛФ, вітаміну 25(OH)D – контроль цих показників проводився кожні 3-12 місяців у хворих, які підлягали аналізу. Порівняння показників проводилося в групах хворих, які мали переломи довгих кісток (n=41). Переломи таза, ребер та хребців не бралися до розрахунку. У досліджуваних групах не було виявлено статистично значущої різниці за віком, статтю, нозологією ХХН, тривалістю та адекватністю гемодіалізу (ГД), залишковою функцією нирок (табл. 1).

Пацієнти обох груп отримували лікування із застосуванням сеансів ГД не менш ніж 3 рази на тиждень. Проводилася корекція анемії (препарати еритропоетинів, заліза, фолієвої кислоти за показаннями), артеріальної гіпертензії, за показаннями використовували фосфатзв'язуючі препарати (севеламер або кальціймісткі препарати), для корекції гіперпаратиреозу – кальційміметики (севеламер та етилкальцитид) та альфакальцидол. Хворим на цукровий діабет для контролю рівня глікемії проводилась інсулінотерапія.

Матеріали дослідження були піддані статистичній обробці з використанням методів параметричного і непараметричного аналізу. Накопичення,

Таблиця 1

Характеристика хворих на ХХН VД стадії у групах порівняння

Показник	Основна група (n=41)	Група порівняння (n=118)	P
<i>Причина ХХН</i>			
Гломерулонефрит, n (%)	13 (31)	48 (41)	>0,05
Цукровий діабет, n (%)	16 (39)	45 (38)	>0,05
Пієлонефрит (у т. ч. на тлі полікістозної хвороби нирок), n (%)	7 (17)	15 (13)	>0,05
Інші ураження, n (%)	5 (12)	10 (8)	>0,05
<i>Демографічні показники</i>			
Вік, роки	61 (37;78)	57 (34;65)	>0,05
Чоловіків, n (%)	18 (47)	62 (53)	>0,05
Число пацієнтів віком >60 років, n (%)	22 (53)	34 (29)	0,017
<i>Діаліз-асоційовані показники</i>			
Тривалість лікування ГД, міс.	48,5 (23;78)	51 (22;64)	>0,05
Анурія, (n/%)	28 (73)	62 (52)	>0,05
eKt/V	1,39 (1,32;1,44)	1,38 (1,29;1,42)	>0,05
Число пацієнтів з eKt/V >1,2, (n/%)	35 (92)	113 (96)	>0,05

Примітка: ГД – гемодіаліз, eKt/V (equilibrated Kt/V) – показник адекватності діалізу, при показнику >1,2 гемодіаліз вважається адекватним.

коригування, систематизація вихідної інформації і візуалізація отриманих результатів здійснювалися в електронних таблицях Microsoft Office Excel 2016. Статистичний аналіз проводився з використанням програми STATISTICA 12 (розробник – StatSoft.Inc). Кількісні показники оцінювалися на предмет відповідності нормальному розподілу, для цього використовувався критерій Колмогорова – Смирнова. Оскільки розподіл основної частини параметрів був відмінним від нормального, сукупності кількісних показників описувалися за допомогою значень медіани (Me) та нижнього і верхнього квантилей (Q1;Q3). Номінальні дані описувалися із зазначенням абсолютних значень і процентних часток. Для міжгрупового порівняння кількісних даних двох незалежних вибірок статистичну значущість різниці встановлювали за допомогою U-тесту за методом Манна – Уїтні. Порівняння номінальних даних проводилося за допомогою критерію χ^2 Пірсона, з виправленням Йетса на безперервність при числі

ступенів свободи, що дорівнює 1. Різниця вважалася достовірною при досягнутому рівні значущості $p < 0,05$.

Під час виконання роботи дотримані принципи біоетики, законодавчих норм та вимог щодо проведення біомедичних досліджень.

Результати

3-річна кумулятивна частота переломів при дослідженні 512 хворих, які лікувалися із застосуванням гемодіалізу понад 3 роки, визначалася на основі констатації факту переломів кісток за наступні 3 роки і становила 9,76%. Констатовано переломи стегнової кістки у 25 (50,0%), гомілки – у 6 (12,0%), плечової кістки – у 6 (12,0%), передпліччя – у 4 (8,0%), таза – у 2 (4,0%), ребра і хребця – у 7 (14,0%). Аналіз групи хворих із переломами довгих кісток (n=41) подано в табл. 1. Не брали до аналізу хво-

рих із переломами таза, ребер та хребців. Методи хірургічного лікування визначалися з урахуванням типу перелому, віку пацієнта, вираженості кістково-мінеральних порушень, остеопорозу, супутніх коморбідних станів. Пацієнтам виконували метало-остеосинтез канюльованими гвинтами, пластинами LCP, стегновим стрижнем (PFNA), тотальне цементне ендопротезування.

Лабораторні показники рівня фосфору, кальцію, вітаміну D та лужної фосфатази сироватки у хворих, яким проводиться ГД, залежно від наявності / відсутності переломів подано в табл. 2.

Аналіз показників загального кальцію сироватки крові засвідчив, що в групі хворих із переломами довгих кісток вміст кальцію є достовірно нижчим у пацієнтів із переломами, ніж у групі хворих без переломів (рис. 1).

Зазначимо, що вміст кальцію у пацієнтів із переломами надалі має братися до уваги в лікуванні мінерально-кісткових порушень. Аналіз показників фосфору (рис. 2) у пацієнтів із переломами довгих кісток був істотно вищим, ніж у групі пацієнтів без переломів кісток ($p < 0,05$). Для проведення більш ретельного аналізу усі досліджувані хворі були розподілені на групи за рівнем фосфору. 1-а група – рівень фосфору $< 2,0$ ммоль/л ($n=83$) та 1-б група – рівень фосфору $> 2,0$ ммоль/л ($n=71$). У хворих цих груп був проведений аналіз частоти перело-

мів. Отримані дані свідчили, що в 1-а групі було 12 переломів – 14,45%, у той час, як у 1-б групі було 26 переломів – 36,6%, що майже у 2,5 раза вище в порівнянні з 1-а групою. Отримані дані свідчать, що при високих показниках рівня фосфору частота переломів істотно (у понад 2,5 раза) вища, ніж у групі хворих із меншими показниками фосфору.

Аналіз показників ПТГ сироватки крові показав, що в групі хворих із переломами довгих кісток рівень ПТГ був достовірно вищим у порівнянні з аналогічними показниками у групі хворих без переломів (рис. 3).

Проведено аналіз показників ЛФ у хворих залежно від наявності / відсутності переломів. Рівень ЛФ у групі пацієнтів із переломами довгих кісток достовірно перевищував рівень ЛФ у групі без переломів ($p < 0,001$) (рис. 4).

Проведено аналіз показників рівня вітаміну D сироватки крові хворих залежно від наявності / відсутності переломів. Рівень 25(OH)D у групі хворих із переломами довгих кісток був істотно менше в порівнянні з пацієнтами без переломів кісток ($p < 0,001$) (рис. 5).

Обговорення

Кількість хворих, яка постійно зростає, із тер-

Таблиця 2

Лабораторні показники пацієнтів із ХХН VГД стадії залежно від наявності / відсутності переломів скелета

Лабораторні показники	Група		P
	Основна група (з переломами) (n=41)	Група порівняння (без переломів) (n=113)	
	M±δ (Min-max)	M±δ (Min-max)	
Загальний кальцій крові (N2,15–2,57 ммоль/л)	2,23±0,05 (2,15-2,3)	2,39±0,15 (2,15-2,8)	<0,05
Фосфор крові (N0,87–1,45 ммоль/л)	2,26±0,51 (1,52-3,05)	1,72±0,11 (1,49-1,97)	<0,001
ПТГ (N 10,4-66,5 пг/мл)	772,96±253,61 (371,9-1233,9)	425,75±80,85 (256,9-527,7)	<0,001
ЛФ (53-128 Од/л)	249,45±95,99 (95,8-409,9)	130,54±62,95 (53,4-351,4)	<0,001
Рівень вітаміну D 20-70 пг/мл)	11,9±6,7 (2,3-23,5)	45,2±13 (24,4-91,2)	<0,001

Примітка: ПТГ – паратиреоїдний гормон, ЛФ – лужна фосфатаза

* $p < 0,01$ в порівнянні

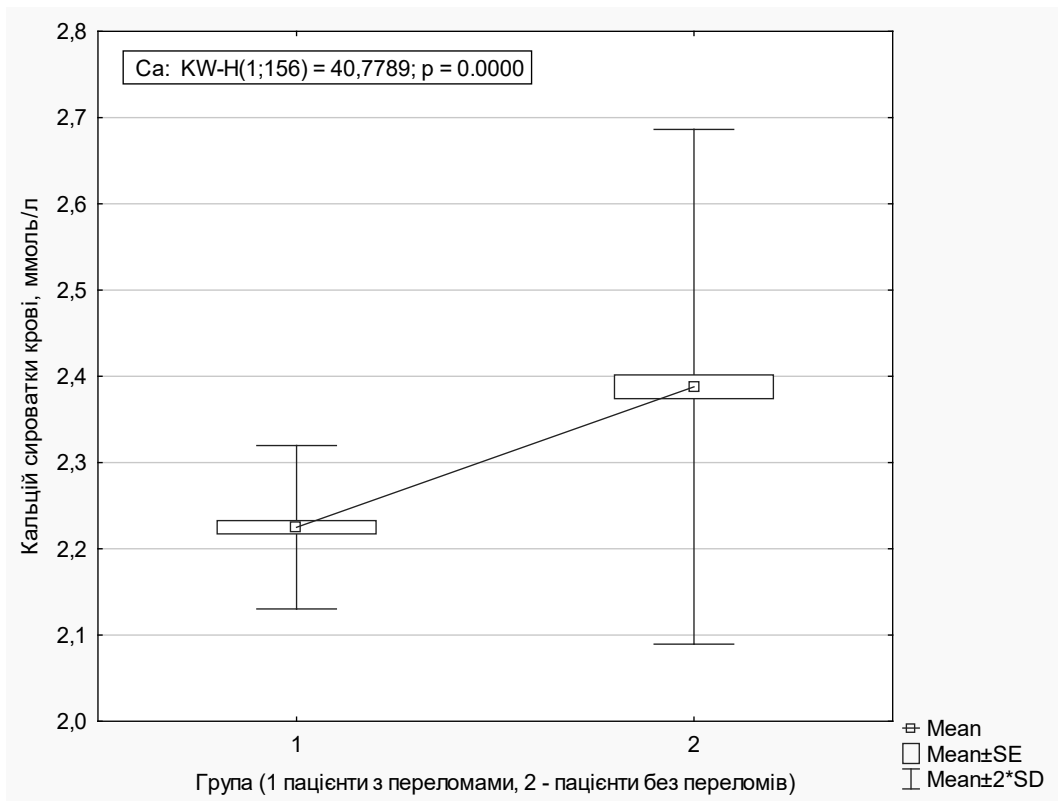


Рис. 1. Вміст кальцію в сироватці крові у пацієнтів із переломами в порівнянні з хворими без переломів

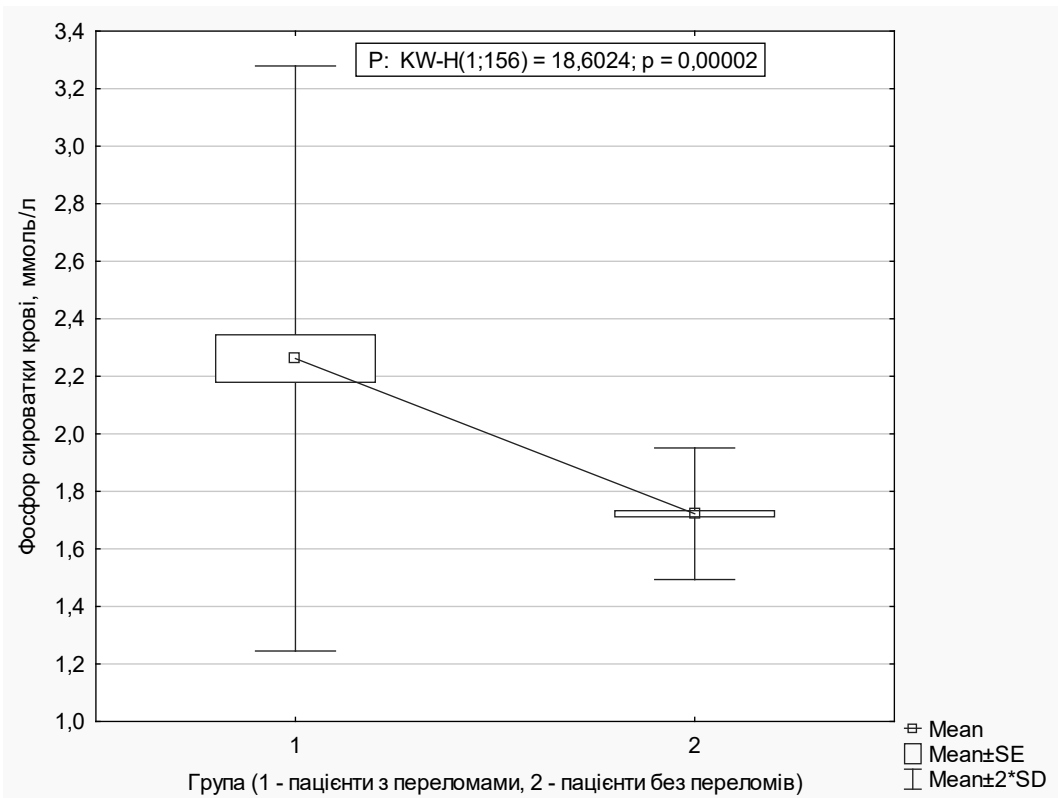


Рис. 2. Вміст фосфору в сироватці крові у пацієнтів на ХХН VГД стадії з переломами в порівнянні з хворими на ХХН VГД без переломів

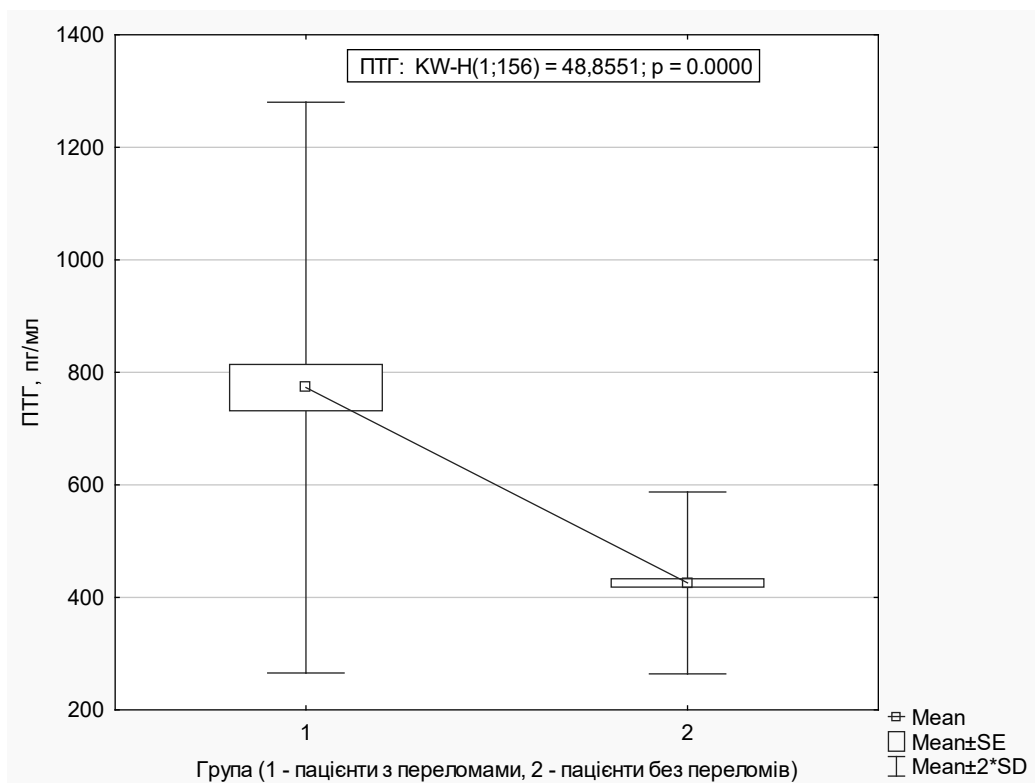


Рис. 3. Вміст паратиреоїдного гормону в сироватці крові у пацієнтів із ХХН ВД із переломами довгих кісток у порівнянні з хворими без переломів

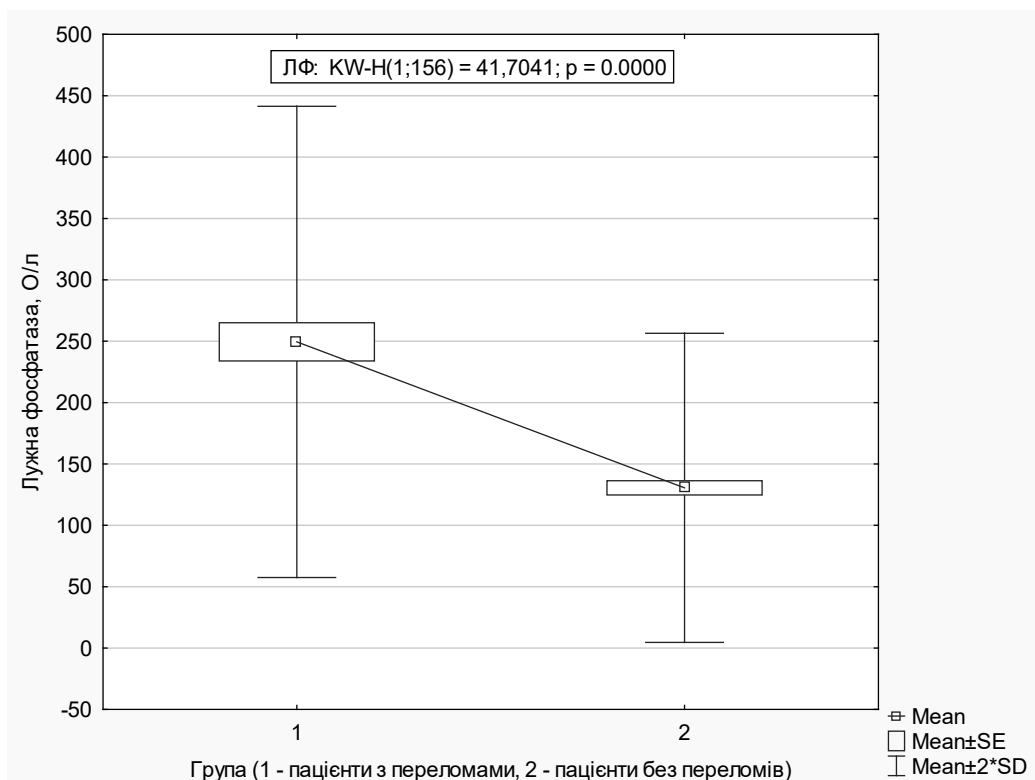


Рис. 4. Вміст лужної фосфатази в сироватці крові у пацієнтів із переломами та у групі пацієнтів без переломів

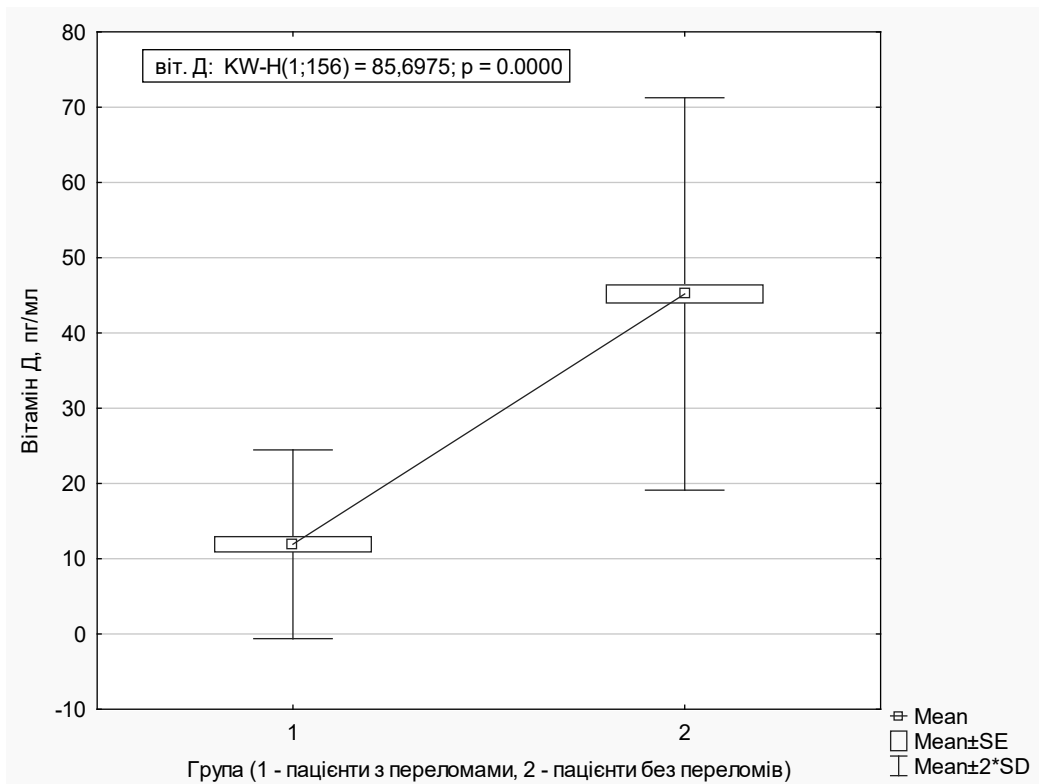


Рис. 5. Показники вітаміну D у сироватці крові у пацієнтів із ХХН 5D стадії з та без переломів

мінальною нирковою недостатністю (ТНН), поширеність і тяжкість ниркових остеодистрофій, що ускладнюють її перебіг, частота переломів, яка збільшується у хворих на ХНН із НЗТ у 3-4 рази порівняно з загальною популяцією, обумовлюють актуальність всебічного вивчення проблем, асоційованих із кістковою патологією при хронічній хворобі нирок. На основі даних Данського Національного нефрологічного реєстру пацієнтів, які лікуються із застосуванням гемодіалізу та після трансплантації нирки, було продемонстровано, що у пацієнтів, які перебувають на діалізі та мають трансплантовану нирку, в 3 та 2 рази вищий ризик переломів відповідно, порівняно зі здоровими суб'єктами. Ця різниця зберігалася навіть після коригування основних особистих та клінічних коваріантів (вік, стать, супутні захворювання, час на діалізі тощо) [14] і неістотно коливалася в часі, незважаючи на серйозні наукові досягнення. Дані, представлені Hensen et al., порівнюють 3 різні періоди часу (2000-2003, 2004-2007, 2008-2011) та свідчать, що частота переломів залишилася повністю не змінною як у пацієнтів, що перебувають на діалізі, так і у пацієнтів із трансплантованою ниркою. Більш старі дослідження до 2000 р. описували 4,4-14-кратний підвищений ризик переломів у пацієнтів, які лікуються нирково-за-

місною терапією (гемодіаліз, перитонеальний діаліз та трансплантація нирки), в порівнянні із загальною популяцією [15, 16]. У данському дослідженні не виявлено такого високого ризику, можливо, він зменшився в цьому тисячолітті. Результати проведених нами досліджень показали, що 3-річна кумулятивна частота переломів при дослідженні 512 хворих, які перебували на ГД понад 3 роки, що визначалася на основі констатації факту переломів довгих кісток за наступні 3 роки, становила 9,76%. Отримані нами дані подібні до результатів дослідження канадських вчених K.L. Naylor et al. [7], які показали, що 3-річна кумулятивна частота переломів у жінок віком понад 65 років при швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ) <15 мл/хв / 1,73 м² становить 9,6%, а у чоловіків – 5,0%. Причому було чітко продемонстровано збільшення показників частоти у міру падіння ШКФ.

Беручи до уваги неоднотайність даних щодо патогенезу переломів у хворих на ХХН, які перебувають на гемодіалізі, ми проаналізували рівні фосфору, кальцію, паратгормону, вітаміну D та лужної фосфатази сироватки крові у хворих на ХХН ГД залежно від наявності / відсутності переломів довгих кісток.

Наші дані показали істотне підвищення рівня фосфору у хворих, які мають переломи довгих кіс-

ток. Слід зазначити, що голландське дослідження, проведене в нормальній популяції [17], свідчить, що підвищення рівня фосфору в сироватці крові навіть у межах нормального діапазону безпосередньо пов'язане з ризиком перелому як у чоловіків, так і у жінок (HR 1,47; 95% ДІ 1,31–1,65 для кожного мг/дл P), незалежно від мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) і прийому препаратів фосфору та після коригування можливих супутніх факторів (ПТГ і FGF23). Рівень фосфору сироватки був обернено пропорційно пов'язаний із МЩКТ у поперековому відділі хребта (переважно трабекулярної кістки) у чоловіків, але не з МЩКТ у шийці стегнової кістки (переважно коркової кістки) незалежно від статі. Особливо цікавим у цьому дослідженні, як і в попередніх дослідженнях [18, 19], є те, що ризик перелому, пов'язаного з рівнем сироваткового фосфору, не залежить від корекції FGF-23, і це свідчить, що саме фосфор може бути причетним до підвищеного ризику переломів у цій когорті хворих.

У пацієнтів із ХХН також відмічено, що при збільшенні концентрації фосфору в сироватці крові на кожні 1 мг/дл ризик госпіталізації з приводу перелому збільшується на 12% [20]. Низка попередніх перекресних досліджень показала, що рівень фосфору був вищим у суб'єктів похилого віку й у пацієнтів із ХХН на гемодіалізі з попередніми остеопоротичними переломами [17, 18] у порівнянні з суб'єктами без переломів, але, наскільки нам відомо, ніяких проспективних досліджень не проводилося. Водночас інші дослідження, що розглядали взаємозв'язок між параметрами мінерального обміну та виникненням переломів у пацієнтів, які перебувають на гемодіалізі, повідомляли лише про незначну роль ПТГ або взагалі про відсутність впливу кальцію та фосфору на ризик переломів [21, 22].

На відміну від цього нами показано, що хворі з ХХН ВГД із переломами довгих кісток мають істотно вищі показники ПТГ, як і ЛФ та найменші показники рівня вітаміну D. Зменшення виведення фосфору через нирки у хворих із ХХН призводить до збільшення FGF23, а це в свою чергу зменшує рівень вітаміну D у сироватці крові, що супроводжується збільшенням ПТГ [16, 23]. Ці зміни відбуваються на дуже ранніх стадіях ХХН, при зменшенні ШКФ <60 мл/хв / 1,73 м² [24]. ПТГ підвищується разом із ЛФ (молекулою, яка найкраще характеризує кісткову гістоморфометрію). Як низькі, так і високі значення ПТГ змінюють оборот (постійний процес мінерального обміну) у кістках і підвищують ризик перелому [25-27]. Високі значення ПТГ корелюють із втратою коркової кістки, збільшуючи ризик перелому, особливо у пацієнтів жіночої статі, яким проводиться ГД [28].

Високий рівень ПТГ за наявності високого або нормального рівня сироваткового фосфору має каталітичну дію на кістку [29], що пов'язано з втратою коркової, а не трабекулярної кістки, і сприяє зміні мікроархітекtonіки кісток. За наявності високого споживання фосфору, низького рівня ПТГ відбувається погіршення обороту кістки [29].

Наші дослідження показали, що рівень ЛФ у групі хворих із переломами довгих кісток достовірно перевищував рівень ЛФ у групі без переломів (p<0,001). Отримані дані збігаються з даними японських колег і підтверджують, що підвищений рівень лужної фосфатази в сироватці крові є ймовірним маркером прискореної метаболічної активності в кістках та асоціюється з більш високим ризиком переломів у хворих на ХХН, яким проводиться гемодіаліз [30].

Наші дані показали низький рівень вітаміну D у хворих, які отримують лікування ГД, що збігається з теоретичними та клінічними дослідженнями. У літературі показано, що рівні вітаміну D нижче 20 нг/мл викликають дефект мінералізації та формування кістки, а рівні вище 40 нг/мл – зниження обміну кісток [31], хоча їхня участь у переломах не була доведена. Фактично лише у кількох дослідженнях проведено аналіз взаємозв'язку між низьким рівнем кальцидіолу та переломами, і також за результатами деяких виявлено, що низькі його рівні збільшують цей ризик [32]. У метааналізі не було виявлено жодної користі від прийому добавок вітаміну D для зменшення переломів у пацієнтів із ХХН [33], хоча це є дуже дискусійною темою для широкої популяції. Нещодавнє дослідження показує збільшення частоти стресових переломів, пов'язаних із низькою концентрацією вітаміну D у сироватці людей нормальної популяції [34].

Розбіжність літературних даних залишає питання: чи є порушення мінерального обміну справжніми предикторами переломів при ХХН? На думку Piergiorgio Messa [35], докази того, що параметри мінерального обміну відіграють головну роль у такому клінічному ускладненні, як переломи, є мізерними та суперечливими і вимагають проведення подальших перспективних досліджень.

Висновки

1. 3-річна кумулятивна частота переломів при дослідженні 512 хворих, які лікувалися із застосуванням ГД понад 3 роки, визначалася на основі констатації факту переломів довгих кісток за наступні 3 роки і становила 9,76%.

2. У хворих, яким проводиться гемодіаліз та які мали переломи довгих кісток, у порівнянні з хворими

ми без переломів достовірно підвищені рівні фосфору і паратиреоїдного гормону в сироватці крові та зменшені рівні кальцію та вітаміну D.

3. Рівень ЛФ (що є ймовірним маркером прискореної метаболічної активності в кістковій тканині) в групі хворих, яким проводиться гемодіаліз і які мали переломи, вдвічі перевищував аналогічний рівень у групі без переломів ($p < 0,001$).

4. Отримані дані свідчать, що порушення мінерального обміну є предикторами переломів у хворих із ХХН, яким проводиться лікування із застосуванням гемодіалізу.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

- Ketteler M, Block GA, Evenepoel P et al. Executive summary of the 2017 KDIGO Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorder (CKD-MBD) guideline update: what's changed and why it matters. *Kidney Int.* 2017;92(1):26–36. DOI: 10.1016/j.kint.2017.04.006.
- Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD-MBD Work Group KDIGO 2017 clinical practice guideline update for the diagnosis, evaluation, prevention, and treatment of chronic kidney disease-mineral and bone disorder (CKD-MBD). *Kidney Int Suppl.* 7 (2017), pp. 1-59. DOI: 10.1016/j.kisu.2017.04.001.
- Alem AM, Sherrard DJ, Gillen DL et al. Increased risk of hip fracture among patients with end-stage renal disease. *Kidney Int.* 2000;58: 396-399.
- Ball AM, Gillen DL, Sherrard D et al. Risk of hip fracture among dialysis and renal transplant recipients. *JAMA.* 2002; 288:3014–3018.
- Maeno Y, Inaba M, Okuno S et al. Significant association of fracture of the lumbar spine with mortality in female hemodialysis patients: a prospective observational study. *Calcif Tissue Int.* 2009;85: 310–316.
- Wakasugi M, Kazama JJ, Taniguchi M et al. Increased risk of hip fracture among Japanese hemodialysis patients. *J Bone Miner Metab* 2013; 31:315–321.
- Naylor KL, McArthur E, Leslie WD et al. The three-year incidence of fracture in chronic kidney disease. *Kidney Int* 2014; 86:810–818.
- Wang WJ, Chao CT, Huang YC et al. The impact of acute kidney injury with temporary dialysis on the risk of fracture. *J Bone Miner Res.* 2014; 29:676–678.
- Abbott KC, Oglesby RJ, Hypolite IO et al. Hospitalizations for fractures after renal transplantation in the United States. *Ann Epidemiol.* 2001;11:450–457.
- Nitsch D, Mylne A, Roderick PJ et al. Chronic kidney disease and hip fracture-related mortality in older people in the UK. *Nephrol Dial Transplant* 2009;24: 1539–1544.
- Rodríguez-García M, Gómez-Alonso C, Naves-Díaz M et al. Vascular calcifications, vertebral fractures and mortality in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant.* 2009; 24: 239–246.
- Tentori F, McCullough K, Kilpatrick RD et al. High rates of death and hospitalization follow bone fracture among hemodialysis patients. *Kidney Int* 2014;85: 166–173.
- Ferro CJ, Arnold J, Bagnall D et al. Fracture risk and mortality post-kidney transplantation. *Clin Transplant* 2015; 29:1004–1012.
- Ditte Hansen, Jonas B. Olesen, Gunnar H. Gislason, Bo Abrahamsen, Kristine Hommel Risk of fracture in adults on renal replacement therapy: a Danish national cohort study. *Nephrology Dialysis Transplantation*, Volume 31, Issue 10, October 2016, Pages 1654–1662. DOI: 10.1093/ndt/gfw073.
- Arneson TJ, Li S, Liu J et al. Trends in hip fracture rates in US hemodialysis patients, 1993–2010. *Am J Kidney Dis* 2013;62:747–754.
- Nair SS, Mitani AA, Goldstein BA et al. Temporal trends in the incidence, treatment, and outcomes of hip fracture in older patients initiating dialysis in the United States. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2013;8: 1336–1342.
- Isakova T, Cai X, Lee J, Katz R, Cauley JA, Fried LF et al. Associations of FGF23 With Change in Bone Mineral Density and Fracture Risk in Older Individuals. *J Bone Miner Res.* 31 (2016), pp. 742-748. DOI: 10.1002/jbmr.2750.
- Block GA, Klassen PS, Lazarus JM et al. Mineral metabolism, mortality, and morbidity in maintenance hemodialysis. *J Am Soc Nephrol.* 15 (2004), pp. 2208-2218. DOI: 10.1097/01.ASN.0000133041.27682.A2.
- Vorland CJ, Stremke ER, Moorthi RN et al. Effects of excessive dietary phosphorus intake on bone health. *Curr Osteoporos Rep.* 15 (2017), pp. 473-482. DOI: 10.1007/s11914-017-0398-4.
- Mirza MA, Karlsson MK, Mellstrom D, Orwoll E, Ohlsson C, Ljunggren O et al. Serum fibroblast growth factor-23 (FGF-23) and fracture risk in elderly men. *J Bone Miner Res.* 26 (2011), pp. 857-864.
- Carrillo-López N, Panizo S, Alonso-Montes C, Román-García P, Rodríguez I, Martínez-Salgado C et al. Direct inhibition of osteoblastic Wnt pathway by fibroblast growth factor 23 contributes to bone loss in chronic kidney disease. *Kidney Int.* 90 (2016), pp. 77-89. DOI: 10.1016/j.kint.2016.01.024 | Medline.
- Stehman-Breen CO, Sherrard DJ, Alem AM et al. Risk factors for hip fracture among patients with end-stage renal disease. *Kidney Int* 2000; 58:2200–2205.
- Danese MD, Kim J, Doan QV et al. PTH and the risks for hip, vertebral, and pelvic fractures among patients on dialysis. *Am J Kidney Dis* 2006;47: 149–156.
- Gonzalez-Parra E, Tuñón J, Egido J, Ortiz A. Phosphate: a stealthier killer than previously thought? *Cardiovasc Pathol.* 21 (2012), pp. 372-381. DOI: 10.1016/j.carpath.2012.02.008 | Medline.
- Jadoul M, Albert JM, Akiba T et al. Incidence and risk factors for hip or other bone fractures among hemodialysis patients in the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study. *Kidney Int.* 70 (2006), pp. 1358-1366. DOI: 10.1038/sj.ki.5001754 | Medline.
- Danese MD, Kim J, Doan QV, Dylan M, Griffiths R, Chertow GM PTH and the risks for hip, vertebral, and pelvic fractures among patients on dialysis. *Am J Kidney Dis.* 47 (2006), pp. 149-156. DOI: 10.1053/j.ajkd.2005.09.024 | Medline.
- Bover J, Ureña P, Aguilar A, Mazzaferro S, Benito S, López-Báez V et al. Alkaline Phosphatases in the Complex Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorders. *Calcif Tissue Int.* 103 (2018), pp. 111-124.
- Russo CR, Taccetti G, Caneva P, Mannarino A, Maranghi P, Ricca M. Volumetric bone density and geometry assessed by peripheral quantitative computed tomography in uremic patients on maintenance hemodialysis. *Osteoporos Int.* 8 (1998), pp. 443-448.

29. Chou FF, Chen JB, Lee CH et al. Parathyroidectomy can improve bone mineral density in patients with symptomatic secondary hyperparathyroidism. *Arch Surg*, 136 (2001), pp. 1064-1068. DOI: 10.1001/archsurg.136.9.1064.
30. Maruyama Y, Taniguchi M, Kazama JJ et al. A higher serum alkaline phosphatase is associated with the incidence of hip fracture and mortality among patients receiving hemodialysis in Japan. *Nephrol Dial Transplant*. 2014;29: 1532–1538. DOI: 10.1093/ndt/gfu055.
31. Coen G, Mantella D, Manni M et al. 25-hydroxyvitamin D levels and bone histomorphometry in hemodialysis renal osteodystrophy. *Kidney Int.*, 68 (2005), pp. 1840-1848. DOI: 10.1111/j.1523-1755.2005.00603.x | Medline.
32. Ambrus C, Almasi C, Berta K et al. Vitamin D insufficiency and bone fractures in patients on maintenance hemodialysis. *Int Urol Nephrol.*, 43 (2011), pp. 475-482. DOI: 10.1007/s11255-010-9723-x | Medline.
33. Nigwekar SU, Bhan I, Thadhani R. Ergocalciferol and cholecalciferol in CKD. *Am J Kidney Dis.*, 60 (2012), pp. 139-156. DOI: 10.1053/j.ajkd.2011.12.035 | Medline.
34. Armstrong RA, Davey T, Allsopp AJ, Lanham-New SA, Oduoza U, Cooper JA et al. Low serum 25-hydroxyvitamin D status in the pathogenesis of stress fractures in military personnel: An evidenced link to support injury risk management. *PLoS One*, 15 (2020).
35. Piergiorgio Messa. Skeletal fractures in patients on renal replacement therapy: how large still is the knowledge gap? *Nephrology Dialysis Transplantation*, Volume 31, Issue 10, October 2016, Pages 1554–1556. DOI: 10.1093/ndt/gfw055.

Long Bone Fractures and Mineral-Bone Disorders in Patients with Chronic Kidney Disease Treated with Hemodialysis

Ankin M.L.¹, Petryk T.M.², Ladyka V.O.¹, Dudar S.L.^{1,2}

¹*Sbulyk National Healthcare University of Ukraine, Department of Orthopedics and Traumatology No. 2, Kyiv*

²*MNPE "Kyiv Regional Clinical Hospital", Orthopedic and Traumatology Center, Kyiv*

Summary. Background. At the turn of the 20th and 21st centuries, the world community was faced with a global problem that has not only medical, but also great social economic significance – a pandemic of chronic non-communicable diseases that annually claim millions of lives, lead to severe complications associated with disability and the need for high-cost treatment. Among them is chronic kidney disease (CKD), which occupies an important place due to its significant prevalence in the population, a sharp decrease in the quality of life, high mortality of patients, and which leads to the need for expensive methods of renal replacement therapy (RRT). **Objective:** to determine the 3-year cumulative fracture rate (proportion of adults with fractures of the femur, forearm, or proximal part of the humerus) at least once during 3 years of follow-up, and the level of calcium, phosphorus, parathyroid hormone (PTH), alkaline phosphatase and vitamin D in patients who are treated with programmed hemodialysis and have long bone fractures.

Materials and Methods: To determine the 3-year cumulative fracture rate (proportion of adults with fractures of the femur, forearm, or proximal part of the humerus) at least once during the 3-year follow-up, 512 patients treated with hemodialysis for more than 3 years were observed. 50 bone fractures were diagnosed during 2019-2022 (femur – 25, tibia – 6, proximal part of the humerus – 6, forearm – 4, pelvis – 2, ribs – 2, vertebrae – 5).

Results. A more detailed study of indicators of mineral metabolism was conducted on 154 patients with CKD stage V who were treated with hemodialysis at the MNPE "Kyiv Regional Clinical Hospital" of the KCC. Subsequently, the patients were divided into 2 groups: (1) patients on hemodialysis with fractures of long bones of the skeleton (n=41: femur – 25, tibia – 6, proximal part of the humerus – 6, forearm – 4) who were treated at the regional trauma center, and (2) patients without skeletal fractures (n=118) in 2019-2022. **Conclusions.** The study showed that the 3-year cumulative fracture rate in a study of 512 patients treated with hemodialysis for more than 3 years was 9.76%. Compared with patients without fractures, patients with fractures of long bones had increased levels of phosphorus and PTH and decreased levels of calcium and vitamin D in the blood serum. The level of alkaline phosphatase in the presence of fractures was twice as high as in the group of patients without fractures (p<0.001). The data indicate that disorders of mineral metabolism are the etiological factors of fractures in patients with CKD who are treated with hemodialysis.

Key words: bone fractures; hemodialysis; mineral and bone disorders.

Особливості виникнення та розвитку інфекційних ускладнень у пацієнтів, які отримали бойові травми опорно-рухової системи (за власним досвідом)

Грицай М.П.¹, Поляченко Ю.В.¹, Цокало В.М.^{1,2}✉, Колов Г.Б.¹,

Євлантьєва Т.А.¹

Резюме. Актуальність. Однією з характеристик бойової травми є потрапляння в глибину рани патогенних мікроорганізмів, шматочків брудної шкіри, одягу, пилу тощо. Поєднання значних дефектів кісток та м'яких тканин, судин і нервів ураженого сегмента кінцівки (опорно-рухового апарату) обумовлює високий відсоток незадовільних результатів лікування, а також і розвиток інфекційних ускладнень. **Мета роботи.** Оцінити характер бойових поранень у пацієнтів впродовж війни в Україні з 2014 року, у яких були інфекційні ускладнення з боку опорно-рухової системи; визначити особливості виникнення та розвитку таких інфекційних ускладнень. **Матеріали і методи.** Проведено аналіз історій хвороби пацієнтів із бойовими пораненнями, у яких виникли інфекційні ускладнення (остеомиєліт, септичний артрит, інфекція області хірургічного втручання (ІОХВ), гнійно-некротична інфекція м'яких тканин та ран) і які лікувалися в клініці кістково-гнійної хірургії ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України" за період від 2014-го до середини 2022 року. **Результати та висновки.** Інфекційні ускладнення при бойових пораненнях переважно виникають первинно як наслідок самого поранення, зважаючи на тяжкість, розповсюдженість ушкодження структур і тканин, вид зброї, якою нанесена травма, та широкий спектр мікроорганізмів, провідну роль серед яких посідає *Staphylococcus aureus*. У контрольній групі інфекційні ускладнення виникали частіше, ніж ІОХВ із подальшим прогресуванням.

Ключові слова: бойове поранення; інфекційні ускладнення.

Вступ

“Важкість інфекції воєнних ран є просто результатом дуже сильного руйнування тканин снарядом, що створює прекрасне живильне середовище для бактерій, з якими не можуть впоратися природні захисні сили організму; і якби хірургу вдалося повністю видалити ці омертвілі тканини, то я цілком упевнений, що інфекція стала б несуттєвою”, – писав лауреат Нобелівської премії з фізіології або медицини 1945 року Александер Флемінг. Актуальності ці слова не втратили і до нашого часу.

У структурі бойової травми воєн і локальних воєнних конфліктів переважають вогнепальні поранення кінцівок, що становить 54-70%. Під час антитерористичної операції на Сході України (до 2022 року) вогнепальні поранення кінцівок становили 62,5% [1].

Поєднання значних дефектів кісток та м'яких тканин, судин і нервів ураженого сегмента кінцівки опорно-рухового апарату обумовлює високий відсоток незадовільних результатів лікування, а також і розвиток інфекційних ускладнень [2]. Ускладнення воєнних ран у вигляді розвитку гнійно-некротичних процесів часто зумовлені помилками діагностики та лікування при вогнепальних ушкодженнях кінцівок [3, 4].

Публікацій, які висвітлюють питання розвитку інфекційних ускладнень, що виникли внаслідок бойових травм опорно-рухової системи впродовж війни в Україні з 2014 року, ми не знайшли. Лише окремі літературні джерела містять інформацію про спробу проведення бактеріологічного моніторингу воєнних ран та бойових поранень [5], або у структурі дослідження вогнепальні поранення не мали провідного значення [6].

Мета роботи: оцінити характер бойових поранень у пацієнтів впродовж війни в Україні з 2014 року, у яких були інфекційні ускладнення з боку

✉ Цокало В.М., vasilijm@gmail.com

¹ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ

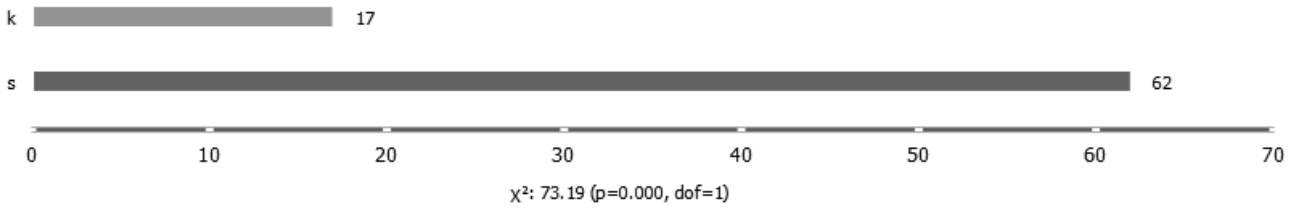


Рис. 1. Діаграма розподілу випадків спостереження за групами

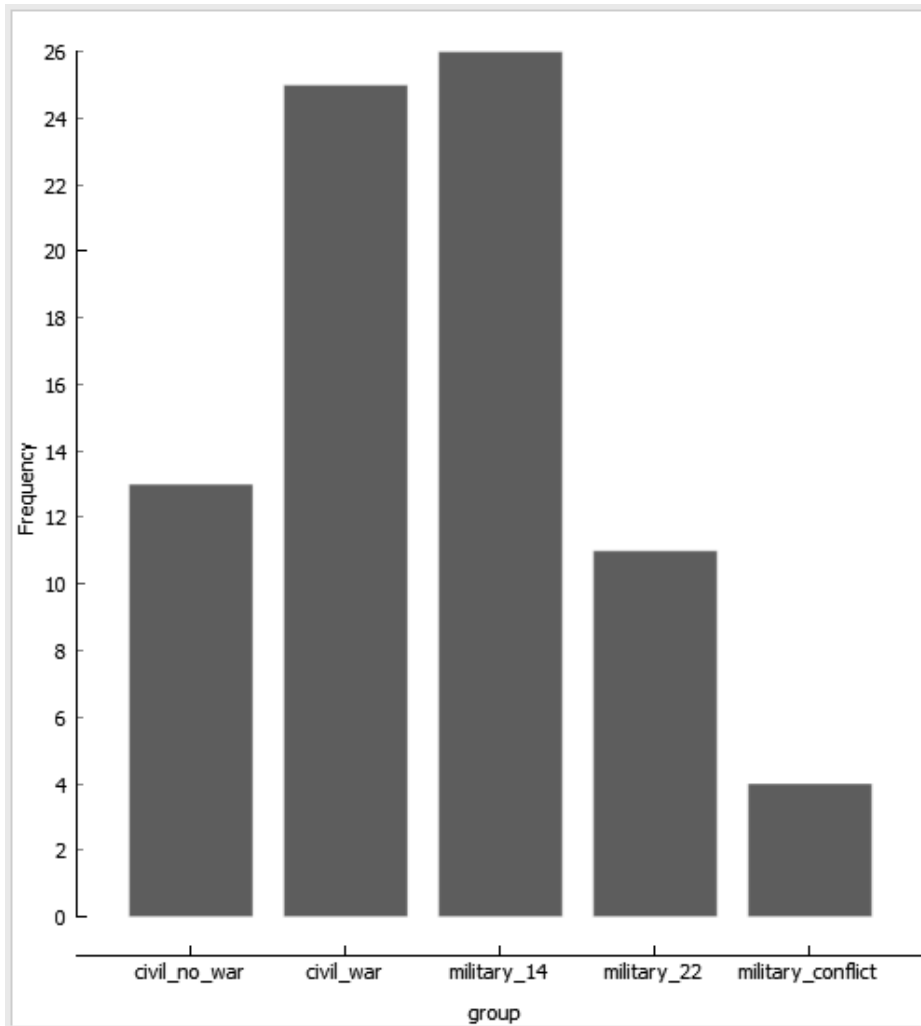
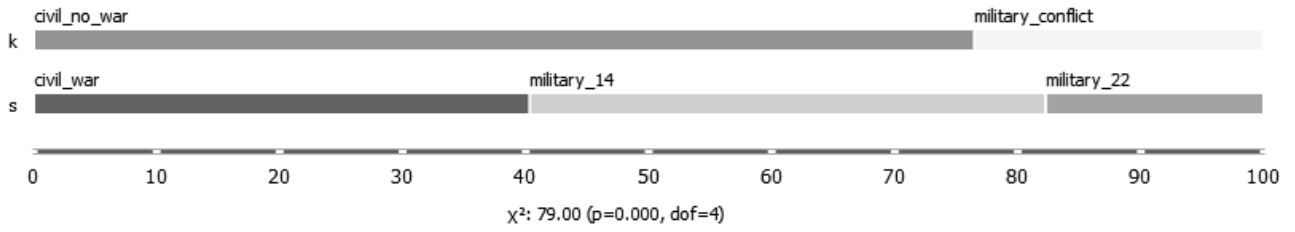


Рис. 2. Порівняння структури розподілу випадків спостереження у групах за критеріями включення та діаграма кількості (частоти) пацієнтів за кожним критерієм (пояснення в тексті)

опорно-рухової системи; визначити особливості виникнення, розвитку та лікування таких інфекційних ускладнень.

Матеріали і методи

Проведено аналіз історій хвороби пацієнтів, яким здійснювалося лікування з приводу ушкоджень з інфекційними ускладненнями (остеомиєліт, септичний артрит, інфекція області хірургічного втручання (ІОХВ), гнійно-некротична інфекція м'яких тканин та ран) у відділі кістково-гнійної хірургії ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України" в період від 2014-го до середини 2022 року.

З метою визначення особливостей виникнення та розвитку інфекційних процесів було проведено порівняння анамнестичних, клінічних та бактеріологічних даних двох груп постраждалих (рис. 1): досліджувана група – бойова травма (s) та контрольна (k).

Досліджувану групу (бойова травма) (62 пацієнти), як проілюстровано на рис. 2, становили:

- поранені військові, що брали участь у бойових діях упродовж неактивної фази війни з рф від 2014-го до лютого 2022 року (42%; "military_14");
- поранені військові, що брали участь у бойових діях упродовж активної фази війни з рф від 24 лютого 2022 року (18%; "military_22");
- поранені цивільні особи, що постраждали внаслідок бойових дій воєнної агресії рф упродовж періоду від 2014-го до середини 2022 року (40%; "civil_war").

Контрольну групу (17 пацієнтів, що лікувались упродовж аналогічного часового періоду від 2014-го до середини 2022 року) становили:

- поранені цивільні особи, що постраждали (отримали поранення) внаслідок подій та обставин, які не мають стосунку до війни (76%; "civil_no_war");
- особи, що лікувались з наслідками поранень, отриманих під час воєнних конфліктів в Афганістані та Лівії (24%; "military_conflict").

У досліджуваній групі (бойова травма) серед пацієнтів було троє жінок: поранені цивільні особи, що постраждали внаслідок бойових дій військової агресії рф у 2014 році (1) та в 2022 році (2). Решта – поранені чоловічої статі.

Як зазначено вище, лікування пацієнтів обох груп проводилось в аналогічний часовий період із застосуванням однакових методик та процедур діагностики, обстеження, хірургії та консервативного медикаментозного впливу, що підтверджується відсутністю статистично значущих відмінностей за часовим критерієм (рис. 3).

Результати

Характеристика бойових поранень

Першою статистично значущою відмінністю (критерій Student's $t=4,529$; $p<0,05$) груп, що аналізувались, є їхній віковий склад (рис. 4): у досліджуваній групі (бойова травма) переважна більшість поранених військових, що брали участь у бойових діях, молодого віку. Тому середнє значення вікового параметра досліджуваної групи ($37,02\pm 10,1$) менше відповідного показника групи контролю ($48,12\pm 8,6$).

Другою закономірною статистично значущою особливістю (критерій $\chi^2 : 20,78$; $p<0,05$) аналізованих груп є їхня відмінність за складом залежно від характеру та механогенезу отриманого поранення (рис. 5), що і стало безпосередньо основою розподілу.

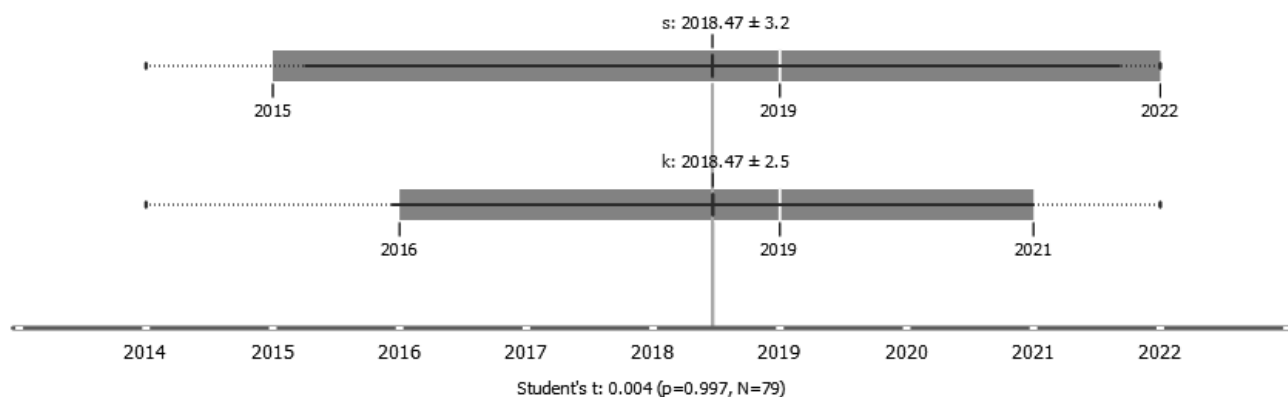


Рис. 3. Коробкова діаграма порівняння груп за часовим критерієм – датами, коли пацієнтам проводилось лікування у клініці (групи: досліджувана (бойова травма) (s) та контрольна (k))

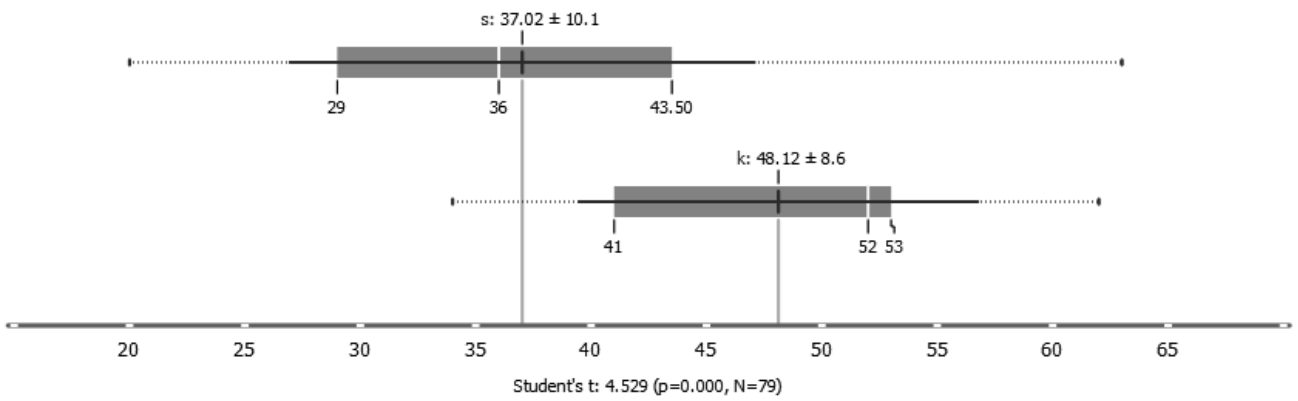


Рис. 4. Коробкова діаграма порівняння груп за віком пацієнтів (групи: досліджувана (бойова травма) (s) та контрольна (k))

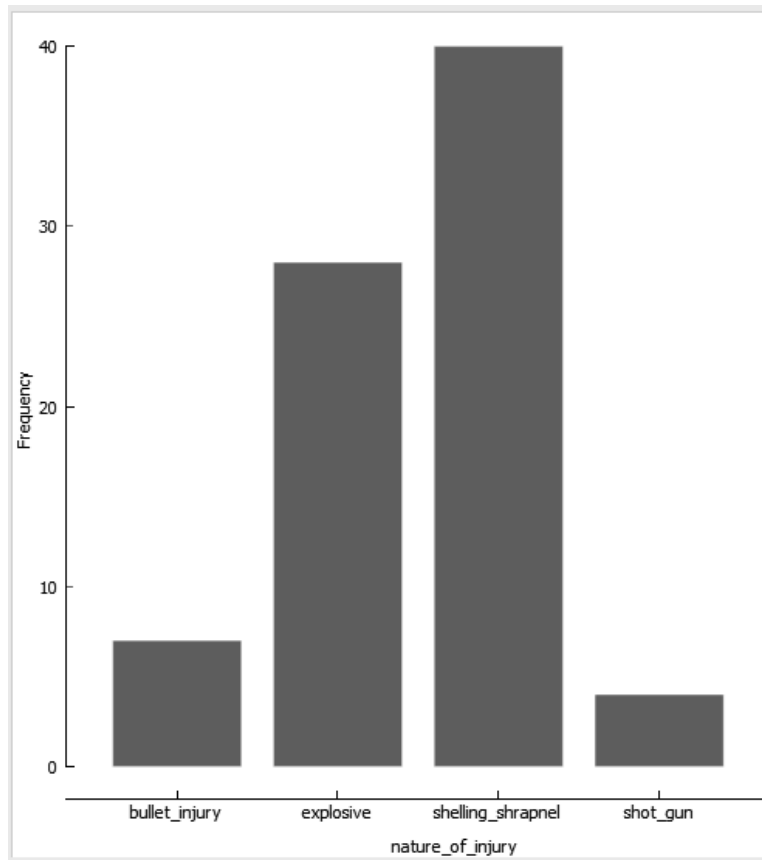
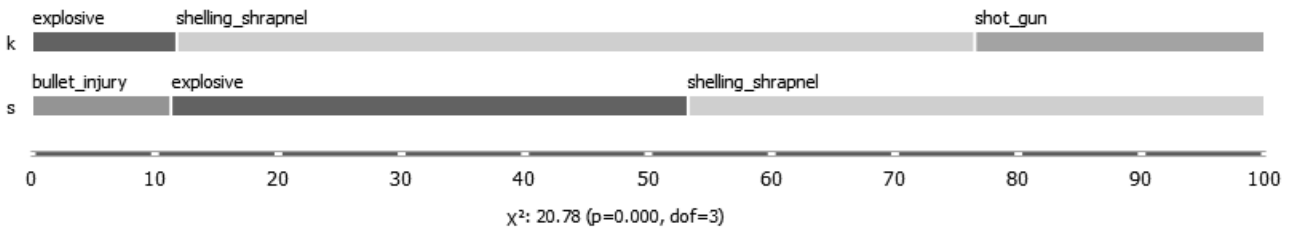


Рис. 5. Порівняння структури розподілу випадків спостереження у групах залежно від характеру та механогенезу отриманого поранення та діаграма кількості (частоти) пацієнтів за кожним із цих критеріїв (пояснення в тексті)

Таблиця 1

Частота та локалізація провідних або додаткових ушкоджень кісткової структури у %

Локалізація	Досліджувана група		Контрольна група	
	провідне ушкодження	додаткове	провідне ушкодження	додаткове
Лопатка, ключиця		1,6		
Плече	19,4	1,6	5,9	
Передпліччя	9,7	9,7		
Кисть		3,2		
Хребет	1,6		5,9	
Таз	3,2	1,6	5,9	5,9
Стегно	30,7	4,8	29,4	11,8
Гомілка	24,2	9,7	47,1	
Стопа	6,5	9,7	5,9	

Випадки, зараховані до досліджуваної групи (бойова травма):

- поранення високоенергетичною бойовою кулею (11,3%; "bullet_injury"),
- вибухові та мінно-вибухові поранення (42%; "explosive"),
- ушкодження уламками, вибуховою хвилею та іншими факторами при артилерійських або ракетних обстрілах (46,7%; "shelling_shrapnel").

Контрольна група натомість представлена випадками:

- вибухових (не мінно-вибухових, а пов'язаних із техногенними надзвичайними подіями) поранень (11,8%; "explosive"),
- ушкодження уламками, вибуховою хвилею та іншими факторами техногенних та побутових вибухів (64,7%; "shelling_shrapnel"),
- вогнепальними низькоенергетичними (дробовики) ушкодженнями (23,5%; "shot_gun").

У 98% пацієнтів були ураження кісток, а лише в 2% – проводилось лікування наявної тільки інфекції м'яких тканин та/або рани. Подвійна локалізація поранень сегментів опорно-рухової системи була в 12,7% випадках, потрійна – 11,4%. Частота та локалізація провідних ушкоджень кісткової структури представлені в табл. 1 і на рис. 6.

У 35,5% випадків у осіб досліджуваної групи та 17,7% контрольної були поранення суглобів (табл. 2). Ушкодження судин зустрічалось практично з однаковою частотою в обох групах: 11,3% та 11,8% відповідно. Деяко нижчою була частота супутнього ушкодження органів черевної порожнини (поранення живота): 9,7% та 6% відповідно.

У травмованих під час та внаслідок активної фази війни значно частіше були поранення нервів (22,6% проти 5,9%), та тільки в цій категорії постраждалих були наявні супутні травми і поранення голови (6,5%) і грудної клітки (9,7%).

Таблиця 2

Частота ушкодження суглобів у %

Суглоб	
Плечовий	3,2
Ліктьовий	4,8
Променево-зап'ястковий	1,6
Кульшовий	4,8
Колінний	3,2
Гомілковостопний	4,8

Особливості виникнення та розвитку інфекційних ускладнень

Згідно з даними аналізу часових та причинно-наслідкових характеристик, ознак і критеріїв, проведено розподіл інфекційних ускладнень, які розвинулись у поранених на етапах лікування (рис. 7), на такі, що:

1) розвинулися первинно як наслідок самого поранення, зважаючи на тяжкість і розповсюдженість ушкодження структур і тканин, проведено лікування та інші фактори (70,8% – досліджувана (бойова травма) та 47,1% – контрольна групи);

2) розвинулися вторинно у відносно більш віддалені періоди часу та/або після проведення етапів хірургічного втручання та/або після застосування

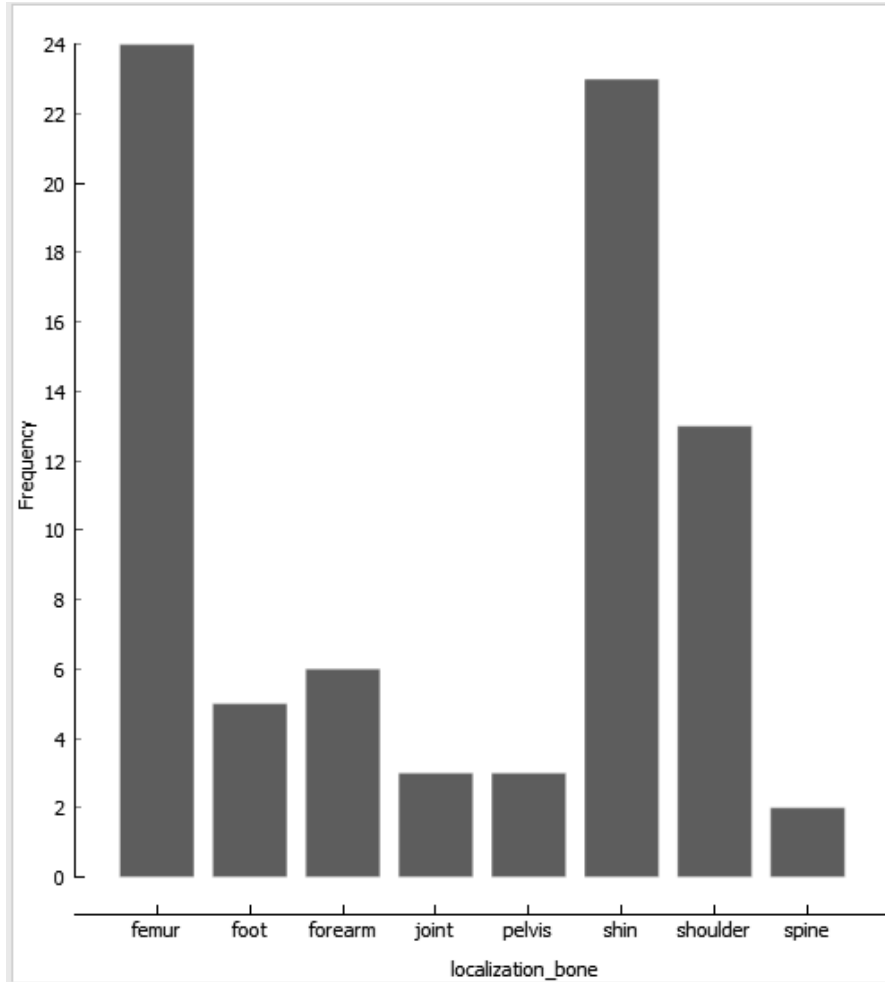
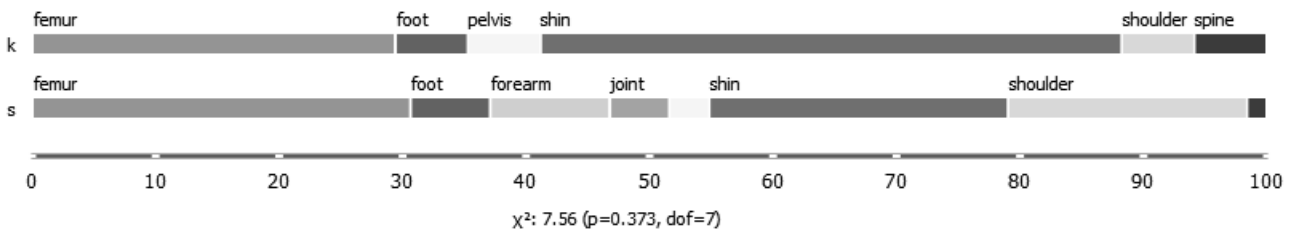


Рис. 6. Порівняння структури розподілу випадків у групах спостереження залежно від локалізації отриманого поранення та діаграма кількості пацієнтів по кожному з цих відділів або сегментів опорно-рухової системи

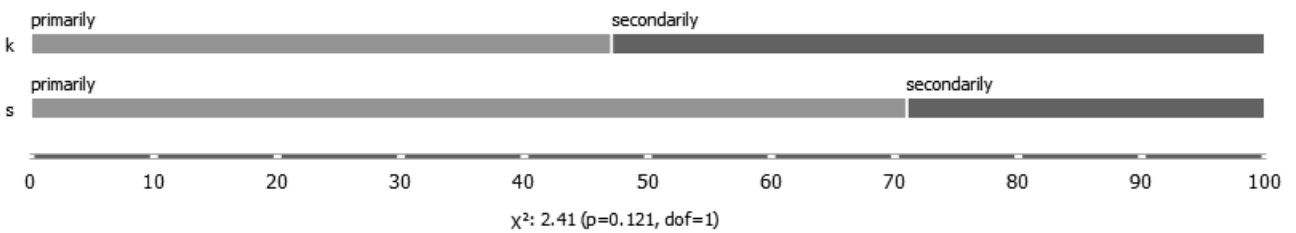


Рис. 7. Порівняння структури розподілу випадків спостереження у групах залежно від часових та причинно-наслідкових характеристик, ознак і критеріїв: розвинулися первинно (primarily), розвинулися вторинно (secondarily)

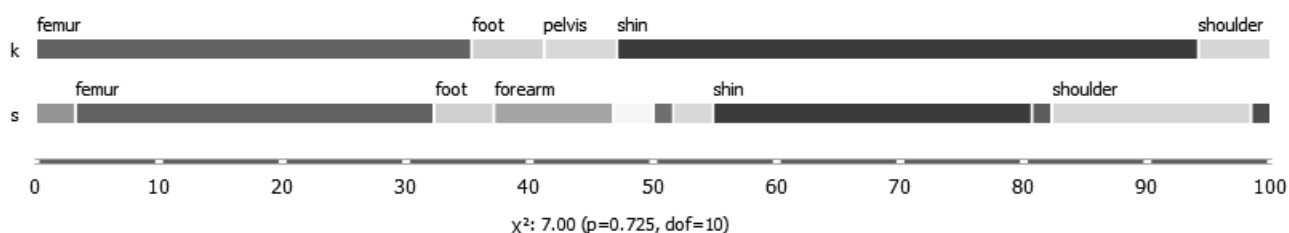


Рис. 8. Порівняння структури розподілу випадків спостереження у групах залежно від локалізації

різних фіксаторів і методик лікування тощо (29,2% – досліджувана (бойова травма) та 52,9% – контрольна групи).

Інфекційне ускладнення, що розвинулося в локусі провідного первинного ушкодження у 92,4% випадків, із розподілом за частотою, як продемонстровано на рис. 8 та в табл. 3. У локусі додаткового – 10,1% (з них тільки в локусі додаткового – 7,6%, а решта (2,5%) – в усіх локусах первинного поранення).

Причини виникнення та розвитку вторинного інфекційного ускладнення (за результатами аналізу часових та причинно-наслідкових характеристик), а в окремих випадках як особливості поєднання факторів, були наступними (рис. 9):

- після тотального ендопротезування як останнього етапу багатоетапного хірургічного лікування поранення кульшового суглоба – 1 випадок (“after_tal”);
- після кісткової аутопластики кісткового дефекту – 2 випадки (“after_bone_grafting”);
- після інтрамедулярного блокованого остеосинтезу уламкового перелому кістки – 7 (8,9%) випадків (“after_nailing”);

- після накісткового остеосинтезу пластиною – 12 (15,2%) випадків (“after_plating”);
- після транспедикулярної фіксації хребта – 1 випадок (“after_transpedicular_fix”).

В одного пацієнта виникло ятрогенне ускладнення (септичний мієліт після спинномозкової анестезії; “iatrogenic myelitis, trophic disorders, bed-sore”) з подальшим розвитком нижньої параплегії, порушення функції тазових органів, вираженого ступеня дистрофії тканин тазового пояса і нижніх кінцівок та агресивного інфекційного запально-некротичного процесу.

Ще в одного пацієнта був рецидивуючий інфекційний процес ампутаційної куки стегна (“stump_infection”), сформованої за вторинних показань на етапах тривалого лікування поширеного поранення нижньої кінцівки.

У двох випадках в осіб контрольної групи інфекційне ускладнення розвинулося у віддалений період після поранення та лікування (“distant_period”), що не дало змоги достеменно визначити причини його виникнення.

Тобто інфекційні ускладнення майже у третини

Таблиця 3

Монолокалізація та частота у % локусів розвитку інфекційного ускладнення

Локалізація	Досліджувана група, % від загальної кількості в групі	Контрольна група, % від загальної кількості в групі
Плечовий суглоб	1,6	
Плече	16,1	5,9
Передпліччя	9,7	
Таз	3,2	5,9
Кульшовий суглоб	3,2	
Стегно	29,0	35,3
Колінний суглоб	1,6	
Гомілка	25,8	47,0
Гомілковостопний суглоб	3,2	
Стопа	4,8	5,9

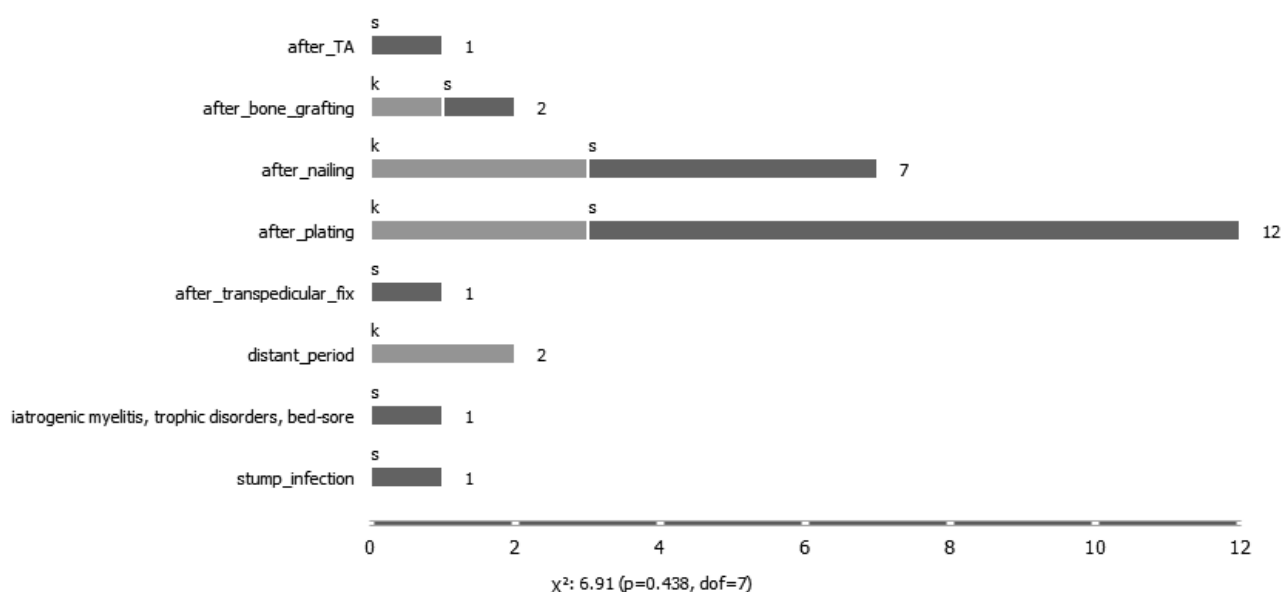


Рис. 9. Діаграма кількості та розподілу за групами пацієнтів за найбільш вагомою і значущою причиною виникнення та розвитку вторинного інфекційного ускладнення

пацієнтів (31,6%) розвинулися вторинно після проведення хірургічних втручань із застосуванням різних занурюваних фіксаторів і/або імплантатів та інвазійних процедур (більшість у процесі конверсії (заміни) методу фіксації кісткових уламків).

Мікробіологічні особливості інфекційних ускладнень

При бактеріологічному дослідженні осередків інфекційного процесу отримано результати, як продемонстровано на рис. 10. Монокультури ідентифі-

Таблиця 4

Частота, з якою був ідентифікований кожний вид мікроорганізмів в аналітичному матеріалі

	Абс.	%
Staphylococcus aureus	27	34,6%
Acinetobacter baumannii	10	12,8%
Pseudomonas aeruginosa	8	10,3%
Enterococcus faecalis	5	6,4%
Enterobacter spp.	4	5,1%
Klebsiella pneumoniae	4	5,1%
S. epidermidis	4	5,1%
Citrobacter diversus	3	3,8%
Klebsiella aerogenes	3	3,8%
Enterobacter cloacae	2	2,6%
Staphylococcus aureus MR	2	2,6%
S. faecalis	1	1,3%
Acinetobacter spp.	1	1,3%
Proteus mirabilis	1	1,3%
Citrobacter freundii	1	1,3%
Escherichia coli	1	1,3%
Escherichia faecium	1	1,3%

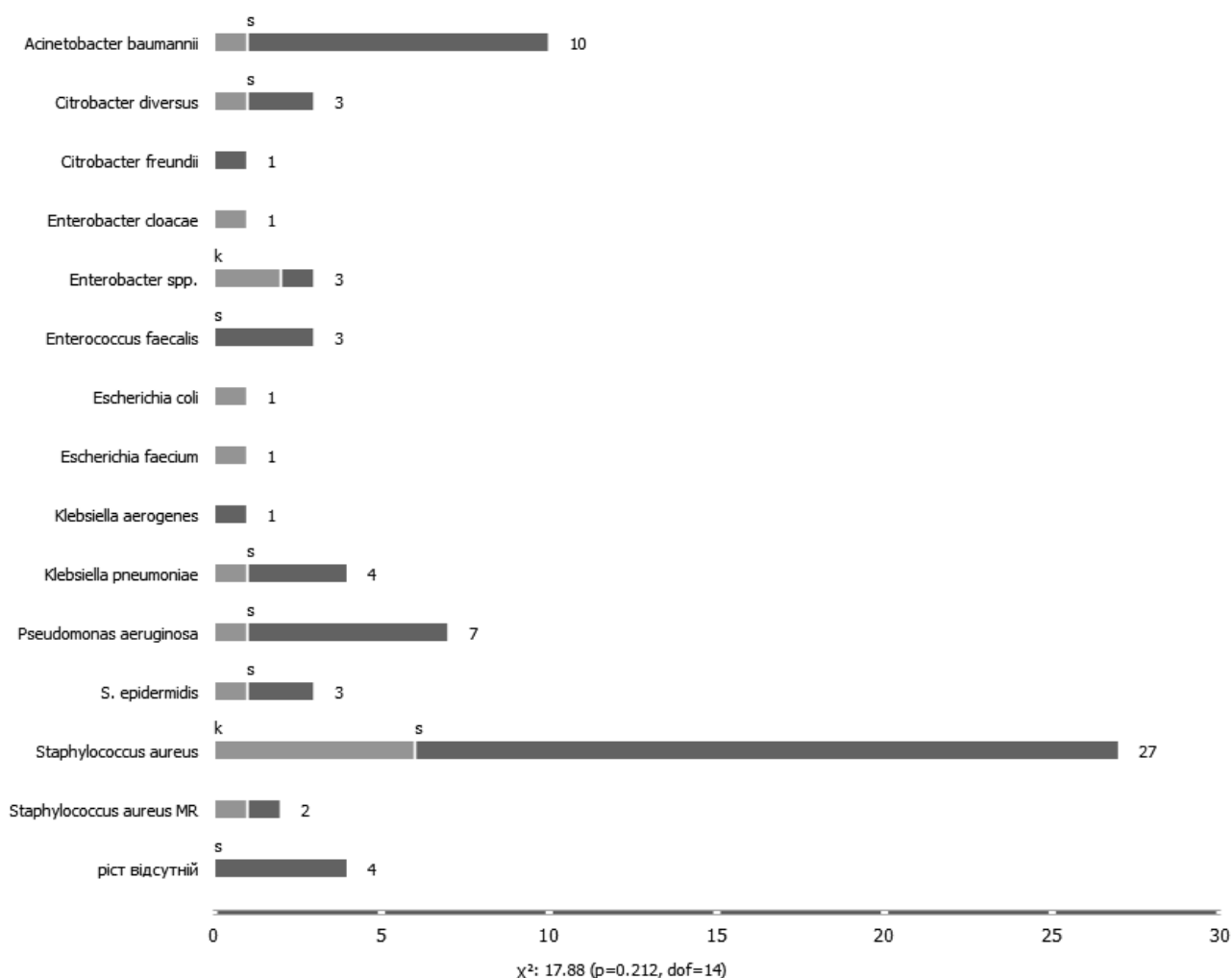


Рис. 10. Діаграма кількості та розподілу за групами пацієнтів за етіологічним чинником інфекційного процесу, який було ідентифіковано при бактеріологічному дослідженні

ковано у 72,2% випадків, мікробні асоціації – 12,7%, ріст відсутній – 5,1%, у решті випадків із різних причин дані були недоступними.

Мікробні асоціації характеризувалися поєднаннями мікроорганізмів, що продемонстровано на рис. 11, які були виявлені у пацієнтів досліджуваної групи (бойова травма), окрім одного випадку.

Частота, з якою ідентифікували кожний різновид мікроорганізмів, наведена в табл. 4 та на рис. 12. Найбільш часто інфекційний процес був спричинений *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Enterococcus faecalis*. При цьому не було статистично значущих відмінностей у групах дослідження, не було статистично значущої залежності від механогенезу травмування, локалізації фокуса ураження, супутніх уражень та поранень, інших факторів і критеріїв, окрім підгруп, виділе-

microorganism_1	microorganism_2
Citrobacter diversus	Acinetobacter spp.
S. epidermidis	S. Faecalis, Proteus mirabilis
Enterococcus faecalis	Enterobacter spp.
Pseudomonas aeruginosa	Enterobacter cloacae
Acinetobacter baumannii	S. epidermidis
Staphylococcus aureus	Enterococcus faecalis
Staphylococcus aureus	Klebsiella aerogenes
Staphylococcus aureus	Enterococcus faecalis
Citrobacter diversus	Klebsiella aerogenes
Staphylococcus aureus	Pseudomonas aeruginosa

Рис. 11. Етіологічні чинники (мікробні асоціації) інфекційного процесу, які були ідентифіковані при бактеріологічному дослідженні осередків (кожен рядок таблиці – окремий пацієнт)

них за причинно-наслідковими характеристиками й ознаками (критерій χ^2 : 8,16; $p=0,043$) (рис. 13). А саме: відмінність полягає у великій кількості виділення штамів *Acinetobacter baumannii* у пацієнтів підгрупи первинних інфекційних ускладнень – у поранених впродовж активної фази війни з рф 2022 року (ANOVA: 4,084; $p=0,012$) (рис. 14).

Як зазначено вище, відмінності видового складу мікроорганізмів у групах були статистично незначущі, що зумовлено великою кількістю видів збудників – етіологічних чинників інфекційного процесу та невеликою кількістю випадків за більшістю з них, але за відсотковим співвідношенням – групи суттєво відрізнялись (рис. 12б). У досліджуваній групі (бойова травма) більш часто щодо контрольної були ідентифіковані *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecalis*, ріст відсутній, та *Pseudomonas aeruginosa*. Натомість у контрольній групі більш часто щодо до-

сліджуваної були ідентифіковані: *Enterobacter spp.*, *Escherichia coli*, *Escherichia faecium*, *Enterobacter cloacae* та *Staphylococcus aureus MR*.

Тема і мета цього аналітичного дослідження охоплює далеко не весь спектр актуальних питань такої складної проблеми і, звичайно, не може містити повного висвітлення всіх нагальних нюансів етіопатогенезу та діагностики. Кожному з цих розділів може (і повинна) бути присвячена не одна дисертаційна чи/або науково-дослідна робота.

Обговорення

У процесі проведення та оцінки результатів аналізу найбільш суттєвим постало питання, яке, на думку авторів, потребує обговорення і дискусії: **бойова політравма**: поліструктурна травма кінцівки, мно-

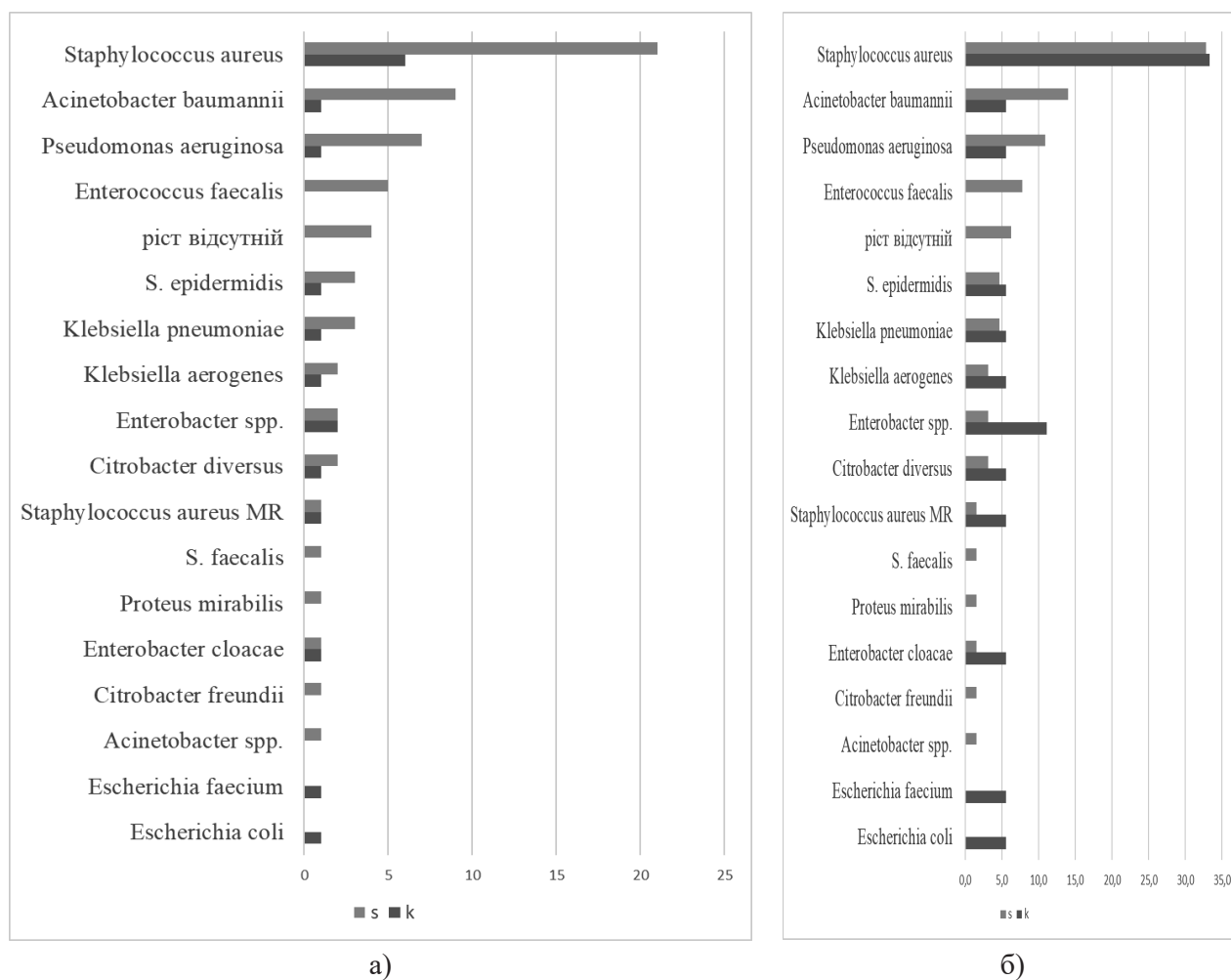


Рис. 12. Частота (кількість в абс. числах (а) і % (б)) та розподіл за групами кожного різновиду мікроорганізмів – етіологічних чинників інфекційного процесу, які були ідентифіковані при бактеріологічному дослідженні осередків

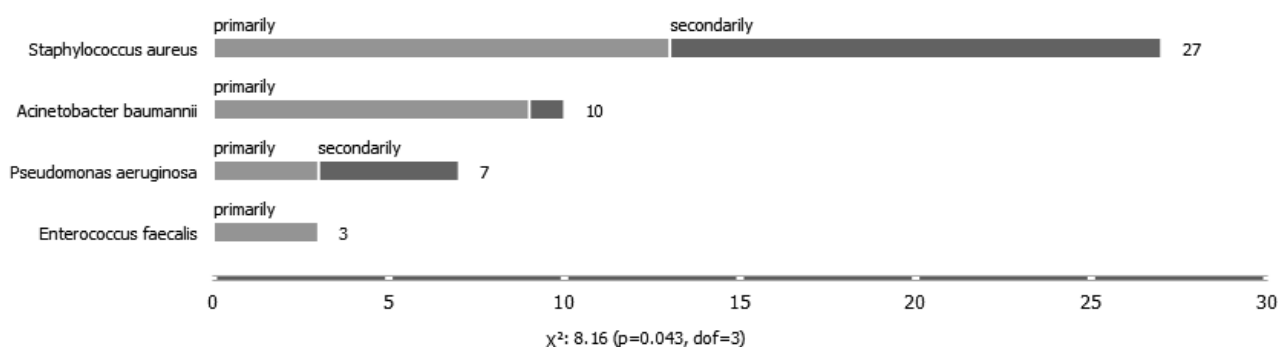


Рис. 13. Діаграма кількості та розподілу за групами різновидів мікроорганізмів, ідентифікованих при бактеріологічному дослідженні осередків, що найбільш часто були етіологічним чинником інфекційного процесу

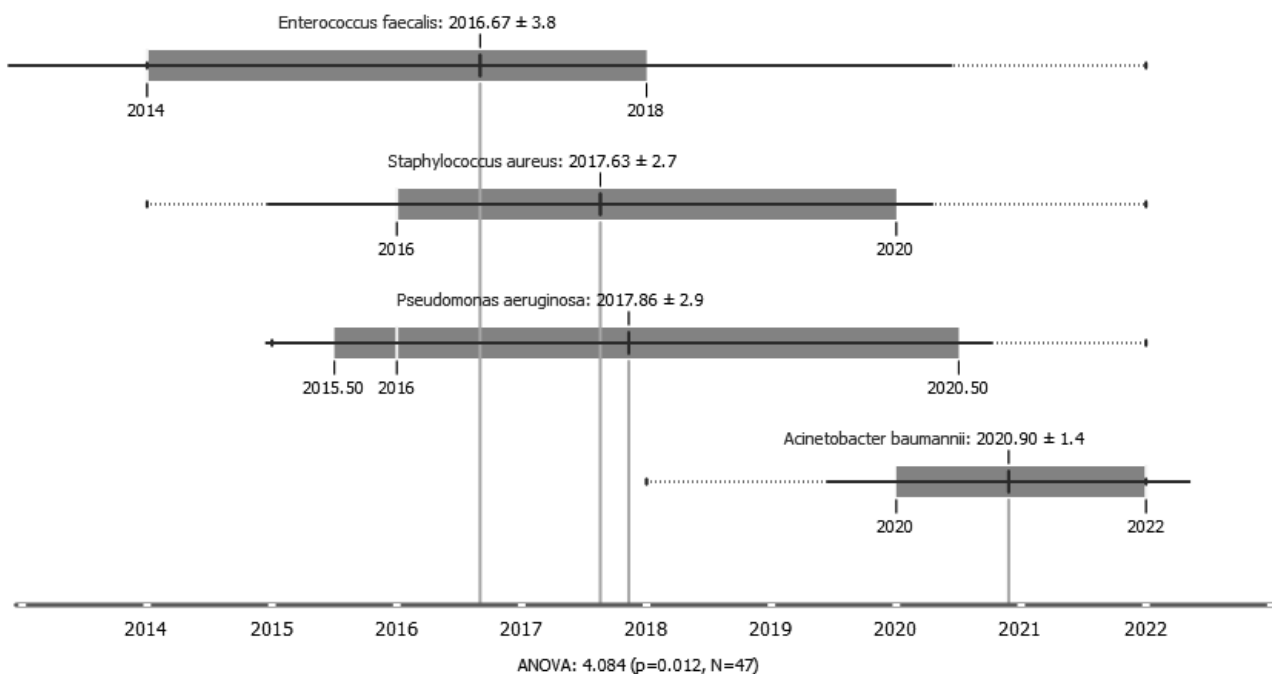


Рис. 14. Коробкова діаграма порівняння за часовим критерієм кількості видів мікроорганізмів, ідентифікованих при бактеріологічному дослідженні осередків, що найбільш часто були етіологічним чинником інфекційного процесу

жинні та поєднані ушкодження – як профілакувати та мінімізувати можливість виникнення і розвитку інфекційних ускладнень (остеомієліт, септичний артрит, інфекція області хірургічного втручання, гнійно-некротична інфекція м'яких тканин та ран) у пацієнтів, що отримали бойові поранення?

Бойова політравма

Проблема лікування пацієнтів із бойовою хірургічною травмою залишається важливою та однією з найскладніших у хірургії: в структурі

дуже велика частка множинних і поєднаних поранень, що призводить до суттєвих труднощів у лікувально-евакуаційному забезпеченні, складнощів у наданні хірургічної допомоги та призводить до помилок і ускладнень [Хоменко І.П., Верба А.В., Хорошун Е.М.]. За даними цих авторів, множинний, поєднаний та комбінований характер структури поранень за рахунок високоенергетичної зброї становить 43,9% із переважанням ушкоджень кінцівок за рахунок мінно-вибухової

травми (62,5%). За тяжкістю поранень тяжкі та вкрай тяжкі – 14,5%.

У матеріалі нашого аналітичного дослідження бойова хірургічна високоенергетична травма – вибухові, мінно-вибухові поранення тяжкого та вкрай тяжкого ступеня й ушкодження уламками, вибуховою хвилею та іншими факторами при артилерійських або ракетних обстрілах – становила 88,7%. Це вказує на суттєву роль самого поранення (тяжкість, поширеність) для виникнення і розвитку інфекційних ускладнень як взагалі, так і з боку опорно-рухової системи зокрема.

Характерним для сучасної вогнепальної травми (особливо на полі бою), коли переважно застосовується важке артилерійське озброєння великої потужності, є виняткова тяжкість поранень, часто несумісних із життям. Переважна кількість поранень – це поєднані і множинні травми (70%), що особливо властиво для вибухових поранень та ушкоджень [7]. Структура причин смерті військовослужбовців у перші два роки війни в Україні, встановлена автором [7], була наступною: вибухова травма – 65,7%, кульові поранення – 15,2%, авіатравма – 4,2%, ушкодження тупими предметами – 1,5%, дія високої температури – 2,1%, механічна асфіксія – 1,0%, отруєння – 0,9%, автотравма – 0,3%. Ще в 0,9% випадків – ненасильницька смерть унаслідок захворювань (кардіоміопатія, гостра недостатність кровообігу, розрив аневризми грудного відділу аорти, пневмонія). За локалізацією найчастіше зустрічалися сполучені осколкові поранення внаслідок застосування артилерійських снарядів, мін із мінометів різних систем та калібрів, ракетних систем залпового вогню, гранат із гранатометів тощо, коли були ушкодження голови, тулуба і кінцівки (близько 60%), а також спостерігались ізольовані поранення ший, торакальні, абдомінальні, торакоабдомінальні поранення кінцівок з ушкодженнями кісток та магістральних судин. Безпосередня причина смерті (близько 85%) була пов'язана зі смертельними тілесними ушкодженнями, несумісними з життям, масивною крововтратою, шоком тяжкого ступеня, гемопневмотораксом, опіками 90-100% поверхні тіла [7].

За даними авторів (Усенко О.Ю., Салютін Р.В., Галич С.П., Лаврик А.С., Мазур А.П.) [8] поранення військовослужбовців та цивільних осіб у теперішній війні мають множинний характер ураження м'яких тканин, кістково-м'язового комплексу, внутрішніх органів, нервово-судинних стволів як моно-, так і в комбінації з ураженням декількох областей тіла (поєднані травми) та значною за обсягом руйнацією кістково-м'язового скелета і внутрішніх органів. Спостерігаються дві тенденції: перша – поранені з ураженням м'яких тканин у поєднанні з

травмою кістково-м'язової системи та судинно-нервових пучків; друга – ураження органів грудної та/або черевної порожнини в поєднанні з об'ємними дефектами м'яких тканин, магістральних судин та кісток. Спостерігається також зсув відсотка легких поранень у бік поранень середнього та тяжкого ступеня. На рівень високоспеціалізованої медичної допомоги поранені поступають у стадії антибіотикорезистентності до інфекційних агентів (особливо до протеза, синьогнійної палички, ацинетобактеру), з наслідками контузії тканин поза зоною візуальних ушкоджень, що зумовлює складності при діагностиці порушення функцій важливих структур і тканин, та з порушеннями мікроциркуляції при збереженому магістральному кровотоці. Навіть при пораненнях у м'які тканини склепіння черепа рановий снаряд спричиняє механічний вплив на череп, передаючи йому частину своєї енергії та викликаючи у багатьох поранених закриті ушкодження мозку, в тому числі і дуже тяжкі (у 45,5% було діагностовано травматичні зміни мозку (струс, забій, стиснення)) [9]. За несприятливих військово-тактичних умов або неадекватного надання медичної допомоги можуть виникати тяжкі ускладнення у вигляді крововтрати і гнійні тяжкі ускладнення у вигляді остеомієліту кісток черепа, менінгоенцефаліту й абсцесу мозку [9].

Зважаючи на специфіку нашої клініки (кістково-гнійної хірургії) й установи взагалі (травматологія та ортопедія) і на приналежність до найостаннішого етапу евакуації та лікування (високоспеціалізованої медичної допомоги), в структурі наших пацієнтів є переважно постраждали з тяжкими ускладненими пораненнями опорно-рухової системи, але відсоток множинних (24,1%), поєднаних (поранення голови – 6,5%, грудної клітки – 9,7%, живота – 9,7%) та поліструктурних уражень (поранення суглобів – 35,5%, нервів – 22,6%, судин – 11,3%) суттєво значущий, хоча насправді може і не відображати всієї реальної картини “бойової політравми”.

Продовжуючи цей складний напрямок дискусії (питання бойової політравми), з точки зору більш чіткого розуміння причин та обставин розвитку інфекційних ускладнень як обґрунтування своїх висновків та узагальнень наводимо результати досліджень колег. Герасименко О.С. [10] у своїй роботі вказує, що бойові травми живота становлять 6,93%; переважають вогнепальні осколкові поранення (74,6%), які мають проникаючий (61,6%), множинний (49,7%) або поєднаний (30,8%) характер. При цьому ушкодження органів черевної порожнини спостерігались у 62,3%. У 19,5% випадків були торакоабдомінальні поранення (з них з ушкодженням органів грудної клітини – 52,8%). Частота поранень грудної клітки, за даними Гержик К.П. [11], у загальній структу-

рі бойової хірургічної травми становить 7,5-11,7%. За механізмом виникнення переважали осколкові поранення (43,4%), за характером – непроникаючі поранення (38,9%), за видом – поєднані поранення грудної клітки (40,3%). Множинні ушкодження становлять 20,8%, поєднані – 36,7%. Поранення двох анатомо-функціональних ділянок – 36,7%, трьох – 16,3%, чотирьох – 2,1%, переважало поєднання з пораненнями кінцівок – 49,0%.

Гіпотеза про можливу залежність етіології інфекційних ускладнень поранень опорно-рухової системи (зважаючи на структуру різновиду мікроорганізмів – етіологічних чинників інфекційного процесу, які були ідентифіковані при бактеріологічному дослідженні осередків у матеріалі нашого аналітичного дослідження) від поєднання з пораненнями грудної клітки та особливо живота не підтвердилась – ми не отримали будь-якої статистично значущих зв'язків у підгрупах, виділених за вище зазначеними критеріями.

Не менш важливим аспектом питання бойової політравми є поліструктурна травма кінцівки, оскільки такі поранення потребують нестандартних підходів та рішень у тактиці лікування, яке повинне проводитись на етапі високоспеціалізованої медичної допомоги. Тривале та іноді необґрунтоване лікування на етапі кваліфікованої медичної допомоги часто призводить до помилок і ускладнень, у тому числі й інфекційних. У структурі санітарних втрат військовослужбовців із вогнепальними пораненнями, за даними Клапчук Ю.В. [12], частка поранень кінцівки становить 64,9%, вогнепальні поранення великих суглобів – 17,2%, з переважанням колінних суглобів (55,6%). Відсоток уражень гомілковостопного суглоба – 14,4%, плечового – 13,3%. Не менша, за даними авторів [13], у структурі вогнепальних ушкоджень верхньої кінцівки на рівні плече – ліктьовий суглоб частка поліструктурних проникаючих поранень ліктьового суглоба (24,4%), більшість із яких належала до III-IV ступенів тяжкості із тяжкими ушкодженнями з утворенням дефектів тканин. У структурі бойової травми ліктьового суглоба [14] більшість становили поєднані (52%) та множинні (40%) ушкодження, ізольовані поранення зафіксовано лише у 8% випадків, які супроводжувались вогнепальним переломом кісток у 60%. Вогнепальні ушкодження нервів і судин діагностовано в 28% випадках.

За даними літератури [15], при вогнепальних пораненнях кінцівок у 9-25% випадків страждають периферичні нерви. Ушкодження судинно-нервових пучків при вогнепальних та мінно-вибухових травмах мали місце у 28% випадків [2]. Найчастіше відбувались ушкодження артерії та кістки – у 40%, 20% – артерії та нерва, 19% – ізольовані ушкодження артерій, 12% – артерії та вени, 7% – повне ушкодження

судинно-нервового пучка (артерія, вена та нерв), та 2% – ушкодження великих вен [2].

Loskutov O., Bilyi S., Daragan R. [5], аналізуючи особливості лікування вогнепальних поранень кисті, які в сучасних умовах становлять 9-25%, вказують на їхню поліструктурність та на частоту ускладнень унаслідок розвитку ранової інфекції або некрозу тканин 32,8%.

У матеріалі нашого аналітичного дослідження поранення суглобів зустрічалось у 35,5% випадків, а структура локалізації дещо відрізнялась: із більшою частотою інфекційні ускладнення зустрічались у пацієнтів, у яких були ушкодження ліктьового, кульшового та гомілковостопного суглобів. Усі ці випадки були складними, поширеними пораненнями кінцівок (дистальний відділ плеча та передпліччя внаслідок ушкодження уламками, гомілка та стопа у разі мінно-вибухових травм) або нижньої кінцівки та таза, поєднані з ушкодженням області живота (кульшовий суглоб), а інфекційний процес розвинувся первинно, що знову підтверджує негативну роль тяжкості і поширеності самого поранення. Ушкодження судин та/або нервів зустрічалось нами в 11,3% та 22,6% відповідно. Тяжкість вогнепальних переломів довгих кісток і супутніх ушкоджень у 62,4% випадків, на думку авторів [4], зумовлює їхній ускладнений клінічний перебіг.

Такі постраждали (з поширеними, глибокими пораненнями, зі значними дефектами тканин та/або некрозом, ураженням суглобів та судинно-нервових пучків) у найкоротші терміни після стабілізації життєво важливих функцій повинні бути доставлені на рівень високоспеціалізованої медичної допомоги, за наявного обґрунтування та за можливості безпосередньо до клінічного центру, де є умови лікування інфекційних ускладнень. Це підтверджується і даними ретроспективного аналізу автора й обґрунтування обсягу та характеру хірургічної допомоги військовослужбовцям унаслідок сучасних бойових дій [16], оскільки операції, направлені на лікування інфекційних ускладнень, виконувались у 21,3% випадків уже на II та III етапах евакуації. Лікування постраждалих із множинними вогнепальними переломами довгих кісток у 8,9-19,6% випадків [4] супроводжувалися незадовільними результатами (остеоміеліт, несправжній суглоб, контрактури, укорочення, деформації кінцівок). Хронічний остеоміеліт у 5,7% випадків був причиною незадовільних результатів лікування поранених із вогнепальними переломами довгих кісток [17]. Розвиток гнійно-некротичних ускладнень, що потребував виконання повторних хірургічних обробок, а у деяких випадках – виконання ампутації ураженого сегмента, часто відбувався через помилки та ускладнення діагностики і лікування місцевого гіпертензив-

ного ішемічного синдрому при вогнепальних ушкодженнях кінцівок (особливо нижніх) [3]. Вогнепальні поранення, особливо ті, що супроводжуються переломами кісток, входять до групи високого ризику щодо розвитку компартмент-синдрому. Перш за все це травми, особливо переломи, вивихи та вогнепальні поранення в зоні ліктьового та колінного суглобів [18]. На фоні поєднаного вогнепального ушкодження тулуба та кінцівок (60%) або лише за умов ізольованого їх поранення (40% випадків) розвиток компартмент-синдрому мав підгострий перебіг, що ускладнювало його діагностику [6].

Такий стан проблеми бойової політравми спричиняє велику кількість ускладнень і потребує кваліфікованої та спеціалізованої хірургічної допомоги із залученням фахівців мультидисциплінарних хірургічних напрямів – від абдомінальних до судинних хірургів, від травматологів до хірургів реконструктивно-відновного та пластично-естетичного профілю [8]. Звичайно, перелік спеціальностей фахівців далеко не повний. При виникненні ускладнень, а особливо інфекційних, такий перелік мусить бути доповнений мікробіологами, імунологами, клінічними фармакологами, спеціалістами з візуалізувальної та лабораторної діагностики та ще багатьма фахівцями.

Висновки

Таким чином, виникнення та розвиток інфекційних ускладнень у пацієнтів, які отримали бойові поранення, мають певні особливості.

1. Інфекційне ускладнення, яке розвивається у поранених, має характер:

- гнійно-некротичної інфекції м'яких тканин та/або рани;

- остеомієліту;

- септичного артрити,

що виникає переважно первинно, як наслідок самого поранення, зважаючи на тяжкість і розповсюдженість ушкодження структур і тканин та інших факторів.

У поранених цивільних осіб, що постраждали (отримали подібні за механогенезом поранення) внаслідок подій та обставин, які не мають стосунку до війни, інфекційне ускладнення виникає частіше як інфекція області хірургічного втручання (ІОХВ) із подальшим прогресуванням та розвитком остеомієліту та/або септичного артрити вторинно у відносно більш віддалені періоди часу після поранення та/або після проведення одного чи декількох етапів хірургічних втручань та/або після застосування різних фіксаторів і методик лікування тощо.

2. Інфекційне ускладнення бойового поранення переважно розвивається за наявності у постраждалого:

- розповсюджених, глибоких, зі значними дефектами тканин та/або некрозу первинно інфікованих ран;

- поліструктурної травми кінцівки з ураженням м'яких тканин, капсульно-зв'язкового апарату, сухожилків, кісток, суглобів, судин, нервів;

- множинних (подвійні та потрійні локалізації поранень сегментів опорно-рухової системи) та/або поєднаних ушкоджень (супутні травми і поранення голови, грудної клітки, живота),

- які є наслідком високоенергетичного поранення:

- бойовою кулею;

- вибуховою хвилею та іншими факторами вибухів;

- уламками при мінно-вибухових пораненнях, артилерійських або ракетних обстрілах.

3. Етіологічними чинниками інфекційного процесу при ускладненні бойового поранення є широкий спектр мікроорганізмів із провідною роллю та місцем *Staphylococcus aureus*, але зі значно більшою частотою ідентифікувались такі різновиди мікроорганізмів, як: *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Enterococcus faecalis*, або ж мікробні асоціації.

4. Профілакувати і мінімізувати можливість виникнення та розвитку інфекційних ускладнень у пацієнтів, що отримали бойові поранення, можна лише злагодженою роботою відповідальних спеціалістів на всіх етапах надання допомоги із застосуванням виважених та науково обґрунтованих сучасних медичних знань, досягнень, методів і методик, а особливо дотримуючись показань та зважаючи на перестороги до їхнього проведення.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

1. Рошчін ІГ, Мазуренко ОВ, Гуменюк КВ, Кузьмін ВЮ, Сличко ІЙ, Іванов ВІ, та ін. Єдині протоколи надання екстреної медичної допомоги як елемент цивільно-військової взаємодії на територіях проведення спеціальних операцій в Україні. ТРАВМА. 2021;21(2):66-79. DOI: 10.22141/1608-1706.2.21.2020.202236.

Roshchin IH, Mazurenko OV, Humeniuk KV, Kuzmin VYu, Slychko IY, Ivanov VI, et al. Unified protocols for providing emergency medical aid as an element of civil-military interaction in the territories of special operations in Ukraine. TRAVMA. 2021;21(2):66-79. DOI: 10.22141/1608-1706.2.21.2020.202236. [in Ukrainian].

2. Борзих НО. Хірургічне лікування поранених з поліструктурними вогнепальними травмами верхньої кінцівки та їх наслідками [Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора медичних наук]. Київ; ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України"; 2018.

Borzykh NO. Surgical treatment of the wounded with

polystructural gunshot injuries of the upper limb and their consequences [Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia doktora medychnykh nauk]. Kyiv; DU "Instytut travmatologii ta ortopedii NAMN Ukrainy"; 2018. [in Ukrainian].

3. Страфун СС, Лакша АМ, Шипунов ВГ, Борзих НО, Ложкін Ю. Помилки та ускладнення діагностики та лікування місцевого гіпертензивного ішемічного синдрому при вогнепальних ушкодженнях нижніх кінцівок. ТРАВМА. 2021;20(4):105-112. DOI: 10.22141/1608-1706.4.20.2019.178754.

Strafun SS, Laksha AM, Shypunov VH, Borzykh NO, Lozhkin IO. Errors and complications of diagnosis and treatment of local hypertensive ischemic syndrome with gunshot injuries of the lower extremities. ТРАВМА. 2021;20(4):105-112. DOI: 10.22141/1608-1706.4.20.2019.178754. [in Ukrainian].

4. Гайко ГВ, Страфун СС, Курінний ІМ. Помилки та ускладнення лікування вогнепальних уражень кінцівок. Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2018;(2): 4-8.

Haiko HV, Strafun SS, Kurinnyi IM. Errors and complications in the treatment of gunshot wounds of the extremities. Visnyk ortopedii, travmatologii ta protezuvannia. 2018;(2): 4-8. [in Ukrainian].

5. Лоскутов АЕ, Белый СИ, Дараган РИ. Особенности лечения огнестрельных ранений кисти в современных условиях. Ортопедия, травматология и протезирование. 2018;(2):57-62. DOI: 10.15674/0030-59872018257-62.

Loskutov AYe, Belyy SI, Daragan RI. Features of the treatment of gunshot wounds of the hand in modern conditions. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 2018;(2):57-62. DOI: 10.15674/0030-59872018257-62. [in Russian].

6. Бур'янов ОА, Грицай МП, Омельченко ТМ, Ярмолюк ЮО. Вибір антибактеріальної терапії у пацієнтів з відкритими та вогнепальними пошкодженнями кінцівок та їх ускладненнями. Літопис травматології та ортопедії. 2017;1-2(35-36):113-118.

Burianov OA, Hrytsai MP, Omelchenko TM, Yarmoliuk YuO. The choice of antibacterial therapy in patients with open and gunshot injuries of the limbs and their complications. Litopys travmatologii ta ortopedii. 2017;1-2(35-36):113-118. [in Ukrainian].

7. Савченко СВ. Механізми і причини смерті військовослужбовців унаслідок бойових дій в зоні АТО за результатами аналізу протоколів судово-медичних експертиз; Медичне забезпечення антитерористичної операції: науково-організаційні та медико-соціальні аспекти: збірник наукових праць. За заг. ред. академіків НАН України Цимбалока ВІ та Сердюка АМ. К.: ДП "НВЦ "Пріоритети", 2016. 316 с.

Savchenko SV. Mechanisms and causes of the death of servicemen as a result of hostilities in the ATO zone according to the results of the analysis of forensic medical examination protocols; Medychne zabezpechennia antyterorystychnoi operatsii: naukovo-orhanizatsiini ta medyko-sotsialni aspekty: zbirnyk naukovykh prats. Za zah. red. akademikiv NAN Ukrainy Tymbaliuka VI ta Serdiuka AM. K.: DP "NVTs "Priorytety", 2016. 316 s. [in Ukrainian].

8. Усенко ОЮ, Салютін РВ, Галич СП, Лаврик АС, Мазур АП. Мультидисциплінарний підхід до лікування мінно-вибухових травм в умовах високоспеціалізованої хірургічної клініки; Медичне забезпечення антитерористичної операції: науково-організаційні та медико-соціальні аспекти: збірник наукових праць. За заг. ред. академіків НАН України Цимбалока ВІ та Сердюка АМ. К.: ДП "НВЦ "Пріоритети", 2016. 316 с.

Usenko OYu, Saliutin RV, Halych SP, Lavryk AS, Mazur AP. A multidisciplinary approach to the treatment of mine and

explosive injuries in the conditions of a highly specialized surgical clinic; Medychne zabezpechennia antyterorystychnoi operatsii: naukovo-orhanizatsiini ta medyko-sotsialni aspekty: zbirnyk naukovykh prats. Za zah. red. akademikiv NAN Ukrainy Tymbaliuka VI ta Serdiuka AM. K.: DP "NVTs "Priorytety", 2016. 316 s. [in Ukrainian].

9. Данчин ОГ, Поліщук МЄ, Данчин ГО. Особенности организации нейрохирургической помощи при вогнепальних пораненнях м'яких тканин склепіння черепа в широкомасштабних війнах і локальних військових конфліктах; Медичне забезпечення антитерористичної операції: науково-організаційні та медико-соціальні аспекти: збірник наукових праць. За заг. ред. академіків НАН України Цимбалока ВІ та Сердюка АМ. К.: ДП "НВЦ "Пріоритети", 2016. 316 с.

Danchyn OH, Polishchuk ME, Danchyn HO. Features of the organization of neurosurgical care for gunshot wounds of the soft tissues of the cranial vault in large-scale wars and local military conflicts; Medychne zabezpechennia antyterorystychnoi operatsii: naukovo-orhanizatsiini ta medyko-sotsialni aspekty: zbirnyk naukovykh prats. Za zah. red. akademikiv NAN Ukrainy Tymbaliuka VI ta Serdiuka AM. K.: DP "NVTs "Priorytety", 2016. 316 s. [in Ukrainian].

10. Герасименко ОС. Клінічно-організаційні принципи надання хірургічної допомоги та спеціалізоване лікування поранених з бойовою травмою живота в умовах АТО: [автореф. дис на здобуття наук. ступ. д-ра мед. наук]. Київ: ДУ "Нац. ін-т хірургії та трансплантології ім. О. О. Шалімова"; 2021. 51 с.

Herasymenko OS. Clinical and organizational principles of providing surgical care and specialized treatment of the wounded with abdominal combat trauma in ATO conditions: [avtoref. dys na zdobuttia nauk. stup. d-ra med. nauk]. Kyiv: DU "Nats. in-t khirurgii ta transplantologii im. O. O. Shalimova"; 2021. 51 s. [in Ukrainian].

11. Гержик КП. Відеоторакоскопічні оперативні втручання при бойових пораненнях та травмах органів грудної клітки: [автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. мед. наук]. Київ. Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика; 2020. 27 с.

Herzhuk KP. Videothoracoscopic surgery for combat wounds and chest injuries: [avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. kand. med. nauk]. Kyiv. Nats. med. akad. pislidyplom. osvity im. P. L. Shupyka; 2020. 27 s. [in Ukrainian].

12. Клапчук ЮВ. Санітарні втрати військовослужбовців із вогнепальними пораненнями великих суглобів. ТРАВМА. 2021;22(1):47-51. DOI: 10.22141/1608-1706.1.22.2021.226413. Klapchuk YuV. Sanitary losses of servicemen with gunshot wounds of large joints. ТРАВМА. 2021;22(1):47-51. DOI: 10.22141/1608-1706.1.22.2021.226413. [in Ukrainian].

13. Борзих НО, Страфун ОС, Власенко МО. Хірургічне лікування поранених із вогнепальними проникними ушкодженнями ліктьового суглоба. Ортопедия, травматология и протезирование. 2018;(1):29-33. DOI:10.15674/0030-59872018129-33.

Borzykh NO, Strafun OS, Vlasenko MO. Surgical treatment of the wounded with penetrating gunshot injuries of the elbow joint. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 2018;(1):29-33. DOI: 10.15674/0030-59872018129-33. [in Ukrainian].

14. Лоскутов ОЕ, Доманський АМ, Жердев ІІ, Лущня СЛ. Особенности надання медичної допомоги хворим із вогнепальними пораненнями ліктьового суглоба. Ортопедия, травматология и протезирование. 2021;(1):5-8. DOI: 10.15674/0030-5987202115-8.

Loskutov OYe, Domanskyi AM, Zherdiev II, Lushnia SL. Peculiarities of providing medical assistance to patients with

gunshot wounds of the elbow joint. *Ortopediya, travmatolohiia y protezuvannya*. 2021;(1):5–8. DOI: 10.15674/0030-5987202115-8. [in Ukrainian].

15. Страфун СС, Борзих НО, Гайко ОГ, Борзих ОВ, Гайович ВВ, Цимбалюк ЯВ. Приоритетні напрями хірургічного лікування поранених з ушкодженням периферичних нервів верхньої кінцівки при поліструктурних травмах. *ТРАВМА*. 2021;19(3):75–80. DOI: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136410. Strafun SS, Borzykh NO, Haiiko OH, Borzykh OV, Haiovych VV, Tsybaliuk YaV. Priority areas of surgical treatment of the wounded with damage to the peripheral nerves of the upper extremity in case of polystructural injuries. *TRAVMA*. 2021;19(3):75–80. DOI: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136410. [in Ukrainian].

16. Марцинковський ІП. Наукове обґрунтування обсягу та характеру хірургічної допомоги військовослужбовцям внаслідок сучасних бойових дій на етапах медичної допомоги [Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук]. Вінниця; ДЗ “Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України”, Вінниц. нац. мед. ун-т ім. МІ Пирогова; 2020. 198 с.

Martsynkovskiy IP. Scientific substantiation of the volume and nature of surgical assistance to servicemen as a result of modern hostilities at the stages of medical assistance [Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata medychnykh nauk]. Vinnytsia; DZ “Ukrainskyi naukovo-praktychnyi tsentr ekstremoi medychnoi dopomohy ta medytsyny katastrof MOZ Ukrainy”, Vinnyts. nats. med. un-t im. MI Pyrohova; 2020. 198 s. [in Ukrainian].

17. Korol S. Кісткова пластика в системі спеціалізованого лікування поранених з бойовими травмами кінцівок. *ТРАВМА*. 2021;19(1):20-26. DOI: 10.22141/1608-1706.1.19.2018.126659. Korol S. Bone grafting in the system of specialized treatment of the wounded with combat injuries of the extremities. *TRAVMA*. 2021;19(1):20-26. DOI: 10.22141/1608-1706.1.19.2018.126659. [in Ukrainian].

18. Страфун СС, Бур'янов ОА, Борзих ОВ, Долгополов ОВ, Лисак АС, Шипунов ВГ, Ярмолюк ЮО, укладачі. Компаратмент-синдром при вогнепальних пораненнях кінцівок: методичні рекомендації. ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця МОЗ України, Українська військово-медична академія МО України, Головний військово-медичний клінічний центр “Головний військовий клінічний госпіталь” МО України, розробники. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*. 2022;(1):72-85.

Strafun SS, Burianov OA, Borzykh OV, Dolhopolov OV, Lysak AS, Shypunov VH, Yarmoliuk YuO, ukladachi. Compartment syndrome in gunshot wounds of the extremities: methodical recommendations. DU “Instytut travmatolohii ta ortopedii NAMN Ukrainy”, Natsionalnyi medychnyi universytet imeni O.O. Bohomoltsia MOZ Ukrainy, Ukrainska viiskovo-medychna akademiia MO Ukrainy, Holovnyi viiskovo-medychnyi klinichnyi tsentr “Holovnyi viiskovyi klinichnyi hospital” MO Ukrainy, rozrobnyky. *Visnyk ortopedii, travmatolohii ta protezuvannia*. 2022;(1):72-85. [in Ukrainian].

Features of the Occurrence and Development of Infectious Complications in Patients with Combat Injuries of the Musculoskeletal System (according to the Own Experience)

Hrytsai M.P.¹, Poliachenko Yu.V.¹, Tsokalo V.M.¹, Kolov H.B.¹, Yevlantiyeva T.A.¹

¹SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, Kyiv

Summary. Background. One of the characteristics of a combat injury is the penetration of pathogenic microorganisms, pieces of dirty skin, clothes, dust, etc. into the depth of the wound. The combination of significant defects of bones and soft tissues, vessels and nerves of the affected segment of the limb (musculoskeletal system) causes a high percentage of unsatisfactory treatment results, as well as the development of infectious complications.

Objective: to evaluate the nature of combat wounds in patients who had infectious complications in the musculoskeletal system during the war in Ukraine since 2014; to determine the features of the occurrence and development of such infectious complications.

Materials and Methods. An analysis of case reports of patients with combat wounds with infectious complications (osteomyelitis, septic arthritis, surgical site infection (SSI), purulent-necrotic infection of soft tissues and wounds) who were treated at the Department of Bone-Purulent Surgery of the State Institution “Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine” for the period from 2014 to mid-2022 was carried out. **Results and Conclusions.** Infectious complications in combat wounds mostly arise primarily as a result of the wound itself, taking into account the severity, extent of damage to structures and tissues, the type of weapon used to inflict the injury, and a wide spectrum of microorganisms, among which *Staphylococcus aureus* plays a leading role. In the control group, infectious complications occurred more often than SSI with further progression.

Key words: combat injury; infectious complications.

Ceramic-on-Ceramic Bearings in Total Joint Arthroplasty. Part 3

Zazirnyi I.M.¹

Summary. Total hip arthroplasty (THA) currently provides durable long-term outcomes, but osteolysis secondary to polyethylene wear debris remains a fundamental cause of aseptic loosening and revision. Conventional polyethylene failed to provide a suitable bearing for young active patients requiring joint replacement because of the significant demands they place on such bearings. Strategies to reduce friction and wear debris lead to the development of ceramic bearings in THA. The next decade is unlikely to see a paradigm shift in the materials used for THA. Instead, the challenges will be aimed at improving surgical technique in terms of component orientation to improve reproducibility and achieve superior patient outcomes. The optimum bearing surface is one with very low wear rates, a low coefficient of friction, scratch resistance, and is biologically inert. It is also one that can safely accommodate larger femoral head sizes to minimize dislocation rates without damaging the taper junction. Such a material already exists with modern ceramic bearings.

Key words: total hip arthroplasty; total knee arthroplasty; ceramics; polyethylene; surface bearing.

Total hip arthroplasty (THA) currently provides durable long-term outcomes, but osteolysis secondary to polyethylene wear debris remains a fundamental cause of aseptic loosening and revision. Conventional polyethylene failed to provide a suitable bearing for young active patients requiring joint replacement because of the significant demands they place on such bearings. Strategies to reduce friction and wear debris lead to the development of ceramic bearings in THA.

Ceramic head and liner fractures

Ceramic head and liner fractures are associated with massive metallosis and exposure of the local tissues to particles of titanium or cobalt-chromium alloy from the metallic components. Earlier generations of alumina ceramic heads had a reported risk for fracture between 0.26% and 13.4%; however, for newer implants (BioloX Forte), the reported fracture rate is much lower at 0.004 to 0.015% [1]. Fourth-generation alumina delta ceramics now exhibit a fracture risk of 0.002% for the head and 0.02% for the liner, and these typically occur due to malseating prior to impaction [2].

The risk of ceramic liner fracture in new generation ceramic materials has been reported to be between 0% and 5.3%, with a higher incidence among sandwich-type ceramic cups than 1-piece components. Szymanski et al. who reported 5.3% (7/132) of ceramic liner fractures (sandwich

type implant) at a mean 32 months after the surgery also revealed clinical risk factors for fracture [3]. These included excessive weight, advanced age, dislocation, prosthetic impingement, and increased postoperative hip offset. In an FDA multicenter study, new composite ceramic materials (BioloX Delta alumina-on-alumina ceramic; one-piece component) exhibited no ceramic fracture within 3 years of follow-up [4]. However, these materials have a relatively short clinical history, so further monitoring is necessary.

Fracture is a catastrophic complication of a ceramic articulation. As discussed, ceramic bearings have evolved over the past four decades. Each generation has shown advancements in terms of manufacturing and composition to address the limitations of the previous iterations. First-generation ceramics had fracture rates of between 10% and 13% [5]. Zirconia ceramics showed greater fracture resistance, but this was offset by inferior wear properties. The reported rate of fracture with BIOLOX forte for both femoral heads and acetabular liners was approximately 0.02% [6].

Squeaking

Another concern remains squeaking of ceramic bearings. This potentially affects the patient's quality of life and survivorship of the implant due to revision of the squeaky hip. Noises emanating from ceramic bearings (usually clicking and squeaking) have been reported with rates that vary from 0% to 33%.

Currently there are several theories on the origin of squeaking but the exact mechanism is still unclear, and is

✉ Zazirnyi I.M., zazirny@ukr.net

¹Center of Orthopedics, Traumatology and Sports Medicine of "Feofaniya" Clinical Hospital of the Agency of State Affairs, Kyiv

likely multifactorial. Some authors reported that squeaky hips are associated with younger active, heavier, and taller patients [7]. Stanat et al. revealed an association with a particular prosthetic design that enabled neck impingement on the metallic rim of the cup [8]. Similarly, Restrepo et al. found a clear relationship between the prevalence of squeaking and the type of femoral component implanted [9]. Alternatively, there are studies that did not report any squeaky hips even after 10 years of follow-up. Other explanations for ceramic-on-ceramic (COC) squeaking include localized “striped” wear, changes of fluid film lubrication conditions, and femoral head microseparation [10]. As a ceramic head passes over the wear stripe, it could generate a vibration and the metallic parts (femoral stem and acetabular shell) amplify this vibration by resonating, resulting in an audible sound. This explanation is consistent with the fact that COC squeaking does not occur until an average of fourteen to eighteen months after surgery. Finally, squeaking could be generated by the rolling/sliding motion of the femoral head inside the liner in the current generation of COC THAs [11]. Manufacturers have introduced acetabular shells with different liner materials that are interchangeable, possibly leading to a diameter mismatch in some cases that allows a rolling/sliding mechanism. Regardless of which theory is plausible, noisy hips can occur in up to 33% of hips with COC bearings; fortunately, clinically the problem is often minor in the majority of patients and revision surgery is indicated only occasionally.

Damage of the ceramic rim

Direct contact between the neck of the stem and the rim of the ceramic liner during range of motion can result in a rim damage. Ceramic fragments can then impose themselves between the ceramic surfaces contributing to accelerated wear. Under some circumstances forceful impingement can even result in dislocation of THA. Stafford et al. revised 6 hips with COC THAs; three of which were revised for impingement-related complications including recurrent dislocation [12].

Survivorship and osteolysis

COC has very low wear rates both for linear and volumetric wear. It is also resistant to third body wear. Excellent clinical outcomes have been observed with COC bearings. Hamilton et al. [13] reported mid-term results of alumina delta COC bearings at 5.3 years follow-up with a mean Harris hip score of 94.4. Kim et al. [14] reported 10-year follow-up in 277 patients of 50 years old, and reported higher survivorship without evidence of osteolysis or ceramic fracture, and excellent patient satisfaction. Studies assessing third-generation alumina forte had previously reported little or no osteolysis at up to 10 years [15]. In addition, Walter et al. [16] reported minimal osteolysis even with bearings in high wear scenarios such as edge loading.

Survivorship studies comparing COC and metal-on-polyethylene (MOP) showed 26% of the patients with conventional polyethylene had osteolysis at 10 years compared with none of the ceramic patients [15]. Survivorship at 10 years comparing COC and metal-on-highly cross-linked polyethylene (MoHXLPE), showed significantly lower wear rates for the ceramic combination [17]. This is attributed to the scratch profile of metal femoral heads that form raised asperities when damaged, which dramatically increased polyethylene wear. A randomized control trial of COC vs. ceramic-on-HXLPE at 10 years by Beaupre et al. [18] shows excellent results for both combinations, but more revisions were seen in the polyethylene group due to dislocation. This may be in part due to the use of smaller 28-mm heads more commonly for CoHXLPE to ensure an adequate depth of polyethylene in smaller acetabular components. Similar results for these bearing combinations have been reported by both Kim et al. [19] and Epinette and Manley [20], with excellent outcome and no osteolysis at 10–12 years.

Head size and dislocation

Ceramic acetabular liners can accommodate larger femoral heads without the concern of increased volumetric wear. These larger heads improve the potential range of motion and have a greater jump distance, theoretically decreasing the dislocation rate. This should be balanced by an appreciation of the reduction in articular arc that can occur with some acetabular shell designs when coupled with ceramic liners. Increased thickness at the base of the ceramic liner can result in lateralization of the center of rotation and consequently reducing the jump distance [21]. The Joint registry of Australia suggests trends toward a lower revision rate with larger head sizes [22]. Attempts to use larger head sizes with newer HXLPE have resulted in reports of rim fracture and brittleness, due to the thinner depth of polyethylene and also by the extent of the cross-linking. These HXLPE liners achieve their cross-linking by undergoing exposure to a variable dose of gas plasma irradiation before re-melting. The dose of radiation aims to permit moderate cross-linking to minimize wear, with only a modest decrease in fatigue strength. Re-melting attempts to eliminate free radicals, but it may affect the ultimate tensile strength and potentially increase the risk of fracture [23].

Noise generation

The use of hard-on-hard bearings has led to reports of noise generation. Squeaking and grinding have been reported in several outcome studies to varying degrees [24]. The typical incidence of squeaking from ceramic bearings is reported to be between 0.5% and 20% [25]. The noise is not associated with pain or functional impairment and its cause is multifactorial (functional component orienta-

tion, patient factors, and surgeon factors). The squeaking is believed to be the result of vibrations from intermittent stick-slip friction. Retrieval studies have postulated that edge loading is the cause of this noise generation and is a consequence of suboptimal component placement, impingement, and micro-separation [26].

A study by McDonnell et al. [24] looked at the noise generated from large diameter Delta motion COC bearings and identified 21% of patients reporting squeaking. EBRA analysis of these 206 patients found the noise to be more common in those patients with an increased range of motion, ligamentous laxity, and patients with decreased cup abduction angles and anteversion.

Studies have demonstrated that even radiologically well-positioned implants can exhibit a squeak [24]. The relevance of sagittal pelvic kinematics and its effect on implant orientation during functional activities has been studied [27]. Dynamic imaging pre-operatively may help identify those patients who are at risk of impingement or edge loading during daily activities. Edge loading is not unique to ceramic-on-ceramic bearings. It is equally likely to occur in malorientated impinging MOP or COP bearings producing creep deformation, wear, and potentially late dislocation [28]. Optimum determination of component orientation specific to the patient is likely to significantly reduce this noise phenomenon and further improve the outcome and wear rates of all bearing combinations [29].

Retrieval studies looking at stripe wear in ceramic components observed that even with abnormal contact mechanics, volumetric wear with ceramic was significantly below the threshold that polyethylene bearings must exceed to stimulate osteolysis [30]. Additionally, ceramic wear particle size, even under suboptimal edge-loading conditions, is unable to stimulate macrophage activation and TNF alpha production required for osteolysis due to its size [31]. Analysis of bearings without visible stripes suggests wear rates of 0.1 µm at up to 30 months from implantation, therefore if edge loading can be prevented with COC bearings then wear could be eliminated [16].

Taper corrosion

Taper corrosion and fretting have been well described in modular hip components [32]. Ceramic is electrochemically inert, so it shows minimal fretting and corrosion compared with matched cohorts of cobalt chrome counter-parts. When fretting is observed with ceramic bearings, it occurs at the apex of the trunnion, and when as metal heads, it occurs around the middle and base [33]. For both these reasons, ceramic heads are less likely to cause trunnionosis and the resultant adverse local reaction that can contribute to the failure of modular metal combinations [34].

Infection

Some early level 3 data has suggested that ceramic bearings have potentially a lower risk of periprosthetic deep joint infection [35]. Caution is required when interpreting such a finding, with compounding variables such as ASA and BMI influencing the data, but the theory is related to the low surface roughness and subsequently reduction in bacterial adhesion.

Health economics

Ceramic bearings result in minimal or no osteolysis and therefore protect against revision surgery for aseptic loosening from wear debris, and the resultant financial implications of these secondary procedures. The only advantage to using MOP is cost, given it exhibits significantly inferior wear characteristics. Surgeons and health economists must ascertain the best implant type for patients of varying activity levels and life expectancy to ensure that hip arthroplasty surgery is cost effective and equitable for all.

Outcomes

Catastrophic failure of an all-ceramic femoral component in a THA has yet to be reported. Clinical trials in the United States that began in the 1990s have not reported an *in vivo* failure of a femoral head.

In a French study, well-functioning alumina THA implants showed no osteolysis at 18.5 years after surgery [36].

At 10-year follow-up after cementless primary THA, another study showed that alumina ceramic-on-ceramic bearings demonstrated a good implant survival rate, good function, a low implant wear rate, and no further radiographic evidence of failure [37]. In a third follow-up study of third-generation ceramic bearings after 10 years, researchers found results that compared favorably with other bearing surfaces [38].

In a study of the 2- to 9-year results of alumina ceramic-on-ceramic THA, Murphy et al. reported that implant survivorship for all hips with aseptic revision of any component was 96% at 9 years, whereas survivorship for hips without previous surgery was 99.3% [39]. The incidence of implant-related complications was 1.7%.

D'Antonio et al., describing the 5-year results of a prospective randomized study comparing alumina ceramic bearings with cobalt-chrome (CoCr)-on-polyethylene (PE) bearings, reported that revision for any reason occurred in 2.7% of the patients with alumina bearings and 7.5% of those with CoCr-on-PE bearings [40]. Osteolysis was reported in 1.4% of the patients with alumina bearings and in 14.0% of those with CoCr bearings. Ceramic bearings had fewer revisions and less osteolysis, and they had no failures at an average follow-up of 5 years.

The largest independent study of ceramic-on-ceramic bearings analyzed data on 223,362 bearings in the Nation-

al Joint Registry. It concluded that the latest generation of ceramics has reduced the risk of head fracture, but not of liner fracture [41].

Yoo et al., in a study evaluating the clinical and radiological outcomes, ceramic-related complications, and survivorship in 85 patients who underwent 100 cementless THAs with the use of a BIOLOX delta liner-on-BIOLOX forte head articulation at a minimum follow-up of 10 years, reported no fractures of the ceramic liner or head, no measurable ceramic wear, and no pelvic or femoral osteolysis [41].

In a randomized prospective study, Kim et al. compared the long-term (mean follow-up, 17.1 years; range, 15-18) functional, radiographic, and CT scan outcomes and implant survivorship of COC THA versus ceramic-on-highly cross-linked polyethylene THA (COHXLPE THA) in the same 133 patients; all were younger than 55 years of age and each of them underwent COC THA of one hip and COHXLPE THA of the other [42]. Mean Harris hip scores, pain scores, and patient satisfaction scores were comparable in the two groups. No osteolysis was recorded on in either group. Component survival rates were high (>97%) in both groups.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interest towards the present article.

References

1. Huet R, Sakona A, Kurtz SM. Strength and reliability of alumina ceramic femoral heads: Review of design, testing, and retrieval analysis. *J Mech Behav Biomed Mater* 2011;4(3):476-83.
2. Walter WL, O'toole GC, Walter WK, Ellis A, Zicat BA. Squeaking in ceramic-on-ceramic hips: the importance of acetabular component orientation. *Journal of Arthroplasty* 2007;22:496-503.
3. Szymanski C, Gueriot S, Boniface O, Deladerriere JY, Luneau S, Maynou C. Sandwich type ceramic liner fracture rate with the Atlas III socket: A study of 144 primary total hip replacements at a mean 74 months' follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;97(5):494-500.
4. Hamilton WG, McAuley JP, Dennis DA, Murphy JA, Blumenfeld TJ, Politi J. THA with Delta ceramic on ceramic: results of a multicenter investigational device exemption trial. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(2):358-66.
5. Willmann G. Ceramic femoral head retrieval data. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2000;379:22-8.
6. Sadoghi P, Pawelka W, Liebensteiner MC, et al. The incidence of implant fractures after total hip arthroplasty. *International Orthopaedics* 2014; 38:39-46.
7. Sexton SA, Yeung E, Jackson MP, Rajaratnam S, Martell JM, Walter WL, Zicat BA, Walter WK. The role of patient factors and implant position in squeaking of ceramic-on-ceramic total hip replacements. *J Bone Joint Surg Br* 2011; 93(4):439-42.
8. Stanat SJ, Capozzi JD. Squeaking in third- and fourth-generation ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty: meta-analysis and systematic review. *J Arthroplasty* 2012;27(3):445-53. Epub 2011 Jun 14. Review.
9. Restrepo C, Post ZD, Kai B, Hozack WJ. The effect of stem design on the prevalence of squeaking following ceramic-on-ceramic bear-

- ing total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92(3):550-7.
10. Glaser D, Komistek RD, Cates HE, Mahfouz MR. Clicking and squeaking: in vivo correlation of sound and separation for different bearing surfaces. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90 Suppl 4:112-20.
11. Currier JH, Anderson DE, Van Citters DW. A proposed mechanism for squeaking of ceramic-on-ceramic hips. *Wear* 2010;269(11-12):782-9.
12. Stafford GH, Islam SU, Witt JD. Early to mid-term results of ceramic-on-ceramic total hip replacement: analysis of bearing-surface-related complications. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(8):1017-20.
13. Hamilton WG, McAuley JP, Dennis DA, et al. THA with Delta ceramic on ceramic results of a multicenter investigational device exemption trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2010;468:358.
14. Kim YH, Park JW, Kim JS. Alumina Delta-on-Alumina Delta bearing in cementless total hip arthroplasty in patients aged 50 years. *Journal of Arthroplasty* 2016;31(10):2209-14 [pii: S0883-55403(16)30763-X].
15. D'Antonio JA, Capello WN, Naughton M. Ceramic bearings for total hip arthroplasty have high survivorship at 10 years. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2012;470:373-81.
16. Walter WL, Insley GM, Walter WK, Tuke MA. Edge loading in third generation alumina ceramic-on-ceramic bearings: stripe wear. *Journal of Arthroplasty* 2004;19:402-13.
17. Higuchi Y, Hasegawa Y, Seki T, Komatsu D, Ishiguro N. Significantly lower wear of ceramic-on-ceramic bearings than metal-on-highly cross-linked polyethylene bearings: a 10- to 14- year follow-up study. *Journal of Arthroplasty* 2016;31:1246-50.
18. Beaupre LA, Al-Houkail A, Johnston DW. A randomized trial comparing ceramic-on-ceramic bearing vs ceramic-on-crossfire-polyethylene bearing surfaces in total hip arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 2016;31:1240-5.
19. Kim YH, Park JW, Kulkarni SS, Kim YH. A randomised prospective evaluation of ceramic-on-ceramic and ceramic-on-highly cross-linked polyethylene bearings in the same patients with primary cementless total hip arthroplasty. *International Orthopaedics* 2013;37:2131-7.
20. Epinette JA, Manley MT. No differences found in bearing related hip survivorship at 10-12 years follow-up between patients with ceramic on highly cross-linked polyethylene bearings compared to patients with ceramic on ceramic bearings. *Journal of Arthroplasty* 2014;29:1369-72.
21. Jeffers JR, Roques A, Taylor A, Tuke MA. The problem with large diameter metal-on-metal acetabular cup inclination. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases* 2009;67:189-92.
22. Mayer SW, Wellman SS, Bolognesi MP, Attarian DE. Late liner disassociation of a Pinnacle system acetabular component. *Orthopaedics* 2012;35:e561-5.
23. McDonnell SM, Boyce G, Bar J, Young D, Shimmin AJ. The incidence of noise generation arising from the large-diameter Delta Motion ceramic total hip bearing. *The Bone & Joint Journal* 2013;95-B:160-5.
24. Jarrett CA, Ranawat AS, Bruzzone M, et al. The squeaking hip: a phenomenon of ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2009;91-A:1344-9.
25. Walter WL, Kurtz SM, Esposito C, et al. Retrieval analysis of squeaking alumina ceramic-on-ceramic bearings. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume* 2011;93- B:1597-601.
26. Pierrepoint JW, Feyen H, Miles BP, Young DA, Baré JV, Shimmin AJ. Functional orientation of the acetabular component in ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty and its relevance to squeaking. *The Bone & Joint Journal* 2016;98-B:910-6.

27. Isaac GH, Dowson D, Wroblewski BM. An investigation into the origins of time- dependent variation in penetration rates with Charnley acetabular cups: wear, creep or degradation? Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H 1996;210:209–16.
28. Spencer-Gardner L, Pierrepont J, Topham M, Baré JV, McMahon S, Shimmin AJ. Patient-specific instrumentation improves the accuracy of acetabular component placement in total hip arthroplasty. *The Bone & Joint Journal* 2016;98- B:1342–6.
29. Dumbleton JH, Manley MT, Edidin AA. A literature review of the association between wear rate and osteolysis in total hip arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 2002;17:649.
30. Hatton A, Nevelos JE, Matthews JB, et al. Effects of clinically relevant alumina ceramic wear particles on TNF-alpha production by human peripheral blood mononuclear phagocytes. *Biomaterials* 2003;24:1193.
31. Shulman RM, Zywił MG, Gandhi R, et al. Trunnionosis: the latest culprit in adverse reactions to metal debris following hip arthroplasty. *Skeletal Radiology* 2015;44:433.
32. Tan SC, Lau AC, Del Balso C, Howard JL, Lanting BA, Teeter MG. Tribocorrosion: ceramic and oxidized zirconium vs cobalt-chromium heads in total hip arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 2016;31:2064–71.
33. Lindgren JU, Brismar BH, Wikstrom AC. Adverse reaction to metal release from a modular metal-on-polyethylene hip prosthesis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume* 2011;93(10):1427–30.
34. Pitto RP, Sedel L. Periprosthetic joint infection in hip arthroplasty: is there an association between infection and bearing surface type? *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2016;474:2213–8.
35. Hamadouche M, Boutin P, Daussange J, Bolander ME, Sedel L. Alumina-on-alumina total hip arthroplasty: a minimum 18.5-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2002 Jan. 84 (1):69-77.
36. Yeung E, Bott PT, Chana R, Jackson MP, Holloway I, Walter WL, et al. Mid-term results of third-generation alumina-on-alumina ceramic bearings in cementless total hip arthroplasty: a ten-year minimum follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2012 Jan 18. 94 (2):138-44.
37. Lau YJ, Sarmah S, Witt JD. 3-rd generation ceramic-on-ceramic cementless total hip arthroplasty: a minimum 10-year follow-up study. *Hip Int.* 2017 Jul. 29.
38. Murphy SB, Ecker TM, Tannast M. Two- to 9-year clinical results of alumina ceramic-on-ceramic THA. *Clin Orthop Relat Res.* 2006 Dec. 453:97-102.
39. D'Antonio J, Capello W, Manley M, Naughton M, Sutton K. Alumina ceramic bearings for total hip arthroplasty: five-year results of a prospective randomized study. *Clin Orthop Relat Res.* 2005 Jul. (436):164-71.
40. Howard DP, Wall PDH, Fernandez MA, Parsons H, Howard PW. Ceramic-on-ceramic bearing fractures in total hip arthroplasty: an analysis of data from the National Joint Registry. *Bone Joint J.* 2017 Aug. 99-B (8):1012-1019.
41. Kim YH, Park JW. Eighteen-Year Follow-Up Study of 2 Alternative Bearing Surfaces Used in Total Hip Arthroplasty in the Same Young Patients. *J Arthroplasty.* 2020 Mar. 35 (3):824-830.
42. Yoo JI, Ha YC, Kim DH, Lee YK, Koo KH. Total Hip Arthroplasty Using Hybrid Ceramic Bearing: A Minimum 10-Year Follow-up Study. *Indian J Orthop.* 2019 Sep-Oct. 53 (5):637-640.

Керамо-керамічні пари тертя в тотальному ендопротезуванні суглобів. Частина 3

Зазірний І.М.¹

¹Центр ортопедії, травматології та спортивної медицини Клінічної лікарні “Феофанія” Державного управління справами, м. Київ

Резюме. Тотальне ендопротезування кульшового суглоба сьогодні забезпечує довгострокові результати, але остеоліз, що виникає внаслідок зношування поліетилену, залишається основною причиною асептичної нестабільності та ревізії. Звичайний поліетилен не зміг забезпечити відповідний темп зношування для молодих активних пацієнтів, які потребують тотального ендопротезування через значні навантаження, що у таких хворих діють на пари тертя в штучному суглобі. Стратегії зменшення тертя та зношування приводять до розвитку керамічних пар тертя для тотального ендопротезування суглобів. У наступне десятиріччя навряд чи відбудеться зміна парадигми у матеріалах, що використовуються для тотального ендопротезування суглобів. Рішення будуть спрямовані на удосконалення хірургічної техніки з точки зору орієнтації компонентів, щоб покращити умови функціонування ендопротезів і досягти кращих результатів для пацієнтів. Оптимальні поверхні штучного суглоба – це поверхня з дуже низьким рівнем стирання, низьким коефіцієнтом тертя, стійкістю до подряпин і біологічною інертністю. Вони також дають змогу збільшити розмір головки стегнової кістки, щоб мінімізувати частоту вивиху без пошкодження конічного з'єднання голівки і ніжки протеза. Таким матеріалом, що задовольняє сучасні вимоги до суглобових поверхонь штучних суглобів, є сучасна кераміка.

Ключові слова: тотальне ендопротезування кульшового суглоба; тотальне ендопротезування колінного суглоба; кераміка; поліетилен; тертя поверхонь.

Інформаційне повідомлення

Об'єктивізація критеріїв до заміни методу фіксації при лікуванні переломів у пацієнтів із бойовою травмою кінцівок

Бур'янов О.А., Ярмолюк Ю.О., Грищай М.П., Клатчук Ю.В., Лось Д.В.,
Омельченко Т.М., Колов Г.Б., Деркач С.О.

Стабільна позавогнищева фіксація виступає надійним підґрунтям для виконання етапної заміни методів фіксації (за необхідності).

З метою закриття м'якотканинних дефектів кінцівок необхідно використовувати міопластичні оперативні втручання: торако-дорзальний, суральний, променевиї, ліктьовий клапоть, переміщення медіальної чи латеральної головок *m. gracilis* тощо.

Перед проведенням конверсії апарат зовнішньої фіксації демонтується, кінцівка іммобілізується, в тому числі використовується система скелетного витягу.

Надалі пацієнту виконуються перев'язки з метою контролю за станом після стрижневих отворів та простежуються етапи загоєння ран аж до моменту повного відходження корок. Оптимальний термін від моменту демонтажу апарата до подальшого оперативного втручання становить приблизно 10-14 днів, але цей термін є умовним, оскільки чіткий термін встановлюється індивідуально залежно від особливостей регенераторних систем організму.

Ця шкала враховує особливості, характер, перебіг травми, ступінь порушення кровообігу та бальну оцінку відповідно до їхніх характеристик.

Слід враховувати розміри рани при вогнепальному пораненні, якщо рана до 5 см – 0 балів, від 5 до 10 см – 1 бал та від 10 до 20 см і більше 20 см – 3 бали. Наступним критерієм стало визначення наявності набряку при плануванні конверсії, якщо набряк відсутній – це відповідає 0 балів, незначна пастозність – 1 бал, помірно виражений набряк – 3 бали. Важливим критерієм є тривалість загоєння вогнепальної рани: 20-30 днів – 0 балів, 30-40 днів – 1 бал, 40-60 днів – 3 бали. Ділянка оперативного втручання при плануванні конверсії, якщо спостерігаються зміцнілі рубці – 0 балів, незняті шви та наявність отворів від АЗФ – 3 бали, ознаки запалення сегмента кінцівки – 5 балів. Також звертали увагу на наявність трофічних змін шкірних покри-

вів кінцівки: відсутні – 0 балів, незначно виражені – 1 бал, помірно виражені – 3 бали, трофічні виразки – 5 балів. Окрема увага приділялася стану тканин сегмента в ділянці виконання конверсії, якщо без особливостей – 0 балів, наявність переміщених клаптів – 1 бал, рубцево-шкіряний дефект – 2 бали, м'язовий дефект – 3 бали, наслідки компартмент-синдрому (ішемія, клінічні прояви) – 5 балів. Одним із критеріїв є визначення наявності сторонніх тіл: за умови відсутності – 0 балів, невеликого розміру одиничні – 1 бал, невеликого розміру множинні – 3 бали, кулі, великі осколки та кулі в ділянці цього сегмента – 5 балів.

Окрема увага приділяється супутній патології: варикозне розширення вен – 1 бал, облітеруючі захворювання магістральних судин – 2 бали, цукровий діабет: компенсована форма – 3 бали, декомпенсована форма – 5 балів. Структурні зміни кісток за умови відсутності змін – 0 балів, за наявності ознак локального остеопорозу – 1 бал, генералізованого остеопорозу – 3 бали. Ступінь запальних змін у ділянці видалених стрижнів (шпиць): відсутні – 0 балів, локальні запальні зміни м'яких тканин – 3 бали, стрижневий остеомієліт – 5 балів.

Ушкодження магістральних артерій сегмента при пораненні з ознаками ішемії сегмента: якщо відсутні – 0 балів, відновлення кровотоку після ушкодження – 1 бал, часткова відсутність кровотоку (перев'язка артерії) – 5 балів. Наявність флеботромбозу: відсутній – 0 балів, посттромбофлебичний синдром – 3 бали, наявний на цей час – 5 балів. Важлива увага приділялася характеристичі мікрофлори під час первинного бактеріологічного дослідження ранового вмісту: не виявлено – 0 балів, грампозитивна мікрофлора – 2 бали, грамнегативна мікрофлора – 3 бали, мультирезистентна мікрофлора – 5 балів. Наявність позитивної динаміки нормалізації температури тіла протягом часу лікування вогнепальної рани: якщо наявна, з тенденцією до нормалізації – 0 балів, хвилеподібна – 1 бал, відсутня – 5 балів. Температура тіла при плануванні конверсії: 36,5⁰-36,9⁰С – 0 балів, 37,0⁰-37,3⁰С – 3 бали, 37,4⁰-37,7⁰С – 5 балів.

Таблиця 1

Шкала можливості виконання заміни методу фіксації переломів

Критерії	Характеристика	Бали
Розміри рани при вогнепальному пораненні	До 5 см 1 ст за Gustilo	0
	Від 5 до 10 см 2 ст Anderson	1
	Від 10 до 20 см 3 ст	3
	Більше 20 см	
Наявність набряку при плануванні конверсії	Відсутній	0
	Незначна пастозність	1
	Помірно виражений	3
Тривалість загоєння вогнепальної рани	До 40 днів	0
	30-45 днів	1
	45-60 днів	3
Ділянка оперативного втручання при плануванні конверсії	Зміцнілі рубці	0
	Незняті шви, отвори від АЗФ	3
	Ознаки запалення сегмента кінцівки	5
Трофічні зміни шкірних покривів кінцівки	Відсутні	0
	Незначно виражені	1
	Помірно виражені	3
	Трофічні виразки	5
Стан тканин сегмента в ділянці виконання конверсії	Без особливостей	0
	Наявність переміщених клаптів	1
	Рубцево-шкіряний дефект	2
	М'язовий дефект	3
	Наслідки компартмент-синдрому (ішемія, клінічні прояви)	5
Наявність сторонніх тіл	Відсутні	0
	Невеликого розміру, одиничні	1
	Невеликого розміру, множинні	3
	Кулі, великі осколки в ділянці цього сегмента	5
Супутня патологія	Варикозне розширення вен	1
	Облітеруючі захворювання магістральних судин	2
	Цукровий діабет: компенсована форма	3
	декомпенсована форма	5
Структурні зміни кісток	Відсутні	0
	Ознаки локального остеопорозу	1
	Ознаки генералізованого остеопорозу	3
Ступінь запальних змін у ділянці видалених стрижнів (шпиць)	Відсутні	0
	Локальні запальні зміни м'яких тканин	3
	Стрижневий остеомієліт	5
Ушкодження магістральних артерій сегмента при пораненні з ознаками ішемії сегмента	Відсутні	0
	Відновлення кровотоку після ушкодження	1
	Часткова відсутність кровотоку (перев'язка артерії)	5
Наявність флеботромбозу	Відсутній	0
	ПТФС	3
	Наявний зараз	5

Критерії	Характеристика	Бали
Характеристика мікрофлори під час первинного бактеріологічного дослідження ранового вмісту	Не виявлено	0
	Грампозитивна мікрофлора	2
	Грамнегативна мікрофлора	3
	MRSA	5
Позитивна динаміка нормалізації температури тіла протягом часу лікування вогнепальної рани	Наявна, з тенденцією до нормалізації	0
	Хвилеподібна	1
	Відсутня	5
Температура тіла при плануванні конверсії	36,5 ^o -36,9 ^o C	0
	37,0 ^o -37,3 ^o C	3
	37,4 ^o -37,7 ^o C	5
Рівень С-реактивного протеїну при плануванні конверсії	0–10 mg/L	0
	До 50 mg/L	3
	Більше 50 mg/L	5
Рівень White blood cells при плануванні конверсії	До 8 × 10 ⁹	0
	9-10 × 10 ⁹	3
	10 × 10 ⁹ і більше	5
Рівень ШОЕ при плануванні конверсії	До 15 мм/год	0
	15-30 мм/год	3
	Більше 30 мм/год	5

Важливе визначення лабораторних маркерів запалення при плануванні конверсії: рівень С-реактивного протеїну: 0–10 mg/L – 0 балів, до 50 mg/L – 3 бали, більше 50 mg/L – 5 балів; абсолютна кількість лейкоцитів: до 8-10 × 10⁹ – 3 бали, 10 × 10⁹ – 3 бали, 10 × 10⁹ і більше – 5 балів. Показник ШОЕ (швидкість осідання еритроцитів): до 15 мм/год – 0 балів, 15-30 мм/год – 3 бали, більше 30 мм/год – 5 балів. Ці маркери запалення дають змогу зрозуміти індивідуальні особливості перебігу патологічного процесу.

Згідно зі шкалою: показник 0 балів характеризує впевненість у можливості виконанні конверсії, 1 бал – суттєво не впливає на планування конверсії, показник 2 бали характеризує можливий вплив цієї характеристики на планування конверсії, 3 бали – дає можливість сумніватись у доцільності виконання конверсії, 5 балів вказує на неможливість виконання конверсії.

Завершальний етап – сумація всіх отриманих показників і проведення оцінки. Таким чином, інтервал 0-7 – конверсія можлива, 8-10 – під питанням (сумація балів не виключає її можливість, але потребує додаткового обстеження чи корекції лікувальних призначень), більше 10 – конверсія протипоказана.

Вибір методу остеосинтезу привертає окрему увагу, оскільки кожен із них має певні переваги незалежно від умов місцевого й загального характеру.

Розрізняють два основні види остеосинтезу:

- внутрішній (занурений) – метод лікування переломів за допомогою різних імплантатів, які фіксують кісткові уламки всередині тіла пацієнта, імплантатами виступають штифти (стрижні), пластини, гвинти, шпиці, серкляжі;

- зовнішній (позавогнищевий) – метод остеосинтезу, коли кісткові уламки з'єднують за допомогою дистракційно-компресійних апаратів та стрижневих апаратів зовнішньої фіксації.

Інтрамедулярний остеосинтез переважно застосовується при переломах діафіза довгих кісток. Його перевагами є: мінімальна травматичність, досягнення міцної фіксації за рахунок блокування гвинтами в ділянках кістки проксимальніше і дистальніше перелому з можливістю навантажувати кінцівку через декілька тижнів після оперативного втручання.

Остеосинтез за допомогою гвинтів та пластин може бути застосований при переломах із довгою площиною зламу (косі та гвинтоподібні переломи), та у ділянках дистального та проксимального метаепіфізів довгих кісток.

При цьому кісткові дефекти можуть заміщуватися за рахунок: аутотрансплантатів, алло- та ксенотрансплантатів, використання остеокондуктивного матеріалу PEEK і використання PRP, PRF, Stimulan, Bioglass та пластики дефектів малоомілковою кісткою на судинній ніжці.

Апарати позавогнищевої фіксації як на основі шпиль, так і на основі стрижнів мають суттєві переваги через малу додаткову травматизацію тканин ушкодженого сегмента та невеликий термін її виконання, що загалом суттєво зменшує травматичність оперативного втручання і робить їх незамінними при тяжкому стані постраждалого, особливо при множинних та поєднаних ушкодженнях. У таких ситуаціях апарати виконують роль не тільки первинного остеосинтезу, а і методу остаточного лікування (за умови досягнення оптимальної репозиції кісткових уламків).

Можливим є і первинне застосування методу компресійно-дистракційного остеосинтезу за Лізаровим, запропонованого автором для лікування вогнепальних переломів за наявності первинного кісткового дефекту або при дефекті м'яких тканин. Наразі цей спосіб лікування є недоцільним, оскільки не надає адекватний доступ до рани. Більш доцільно використовувати стрижневі системи з їхнім перемонтажем у шпиль-стрижневі. При первинному кістковому дефекті понад 5 см виконується операція ПХО та фіксація сегмента апаратом зі збережен-

ням його довжини. Після загоєння рани заміщення кісткового дефекту реалізується шляхом остеотомії одного з фрагментів на рівні метафіза з переміщенням проміжного фрагмента і компресією між основними відламками (дистракційно-компресійний послідовний остеосинтез). При первинному кістковому дефекті менше ніж 5 см після операції ПХО, під час якої проводиться зіставлення кінців фрагментів до поперечної форми перелому, сегмент фіксується апаратом, можливе використання цементних спейсерів, а після загоєння рани відповідно до оцінки виконання конверсії за шкалою використовується технологія Masquelet або застосовується техніка за Лізаровим.

При первинному дефекті м'яких тканин та кістки закриття рани досягається за рахунок абсолютного вкорочення сегмента кінцівки по довжині з подальшою фіксацією відповідною зовнішньою системою. Після загоєння рани відновлення довжини кінцівки відбувається завдяки остеотомії та дистракції АЗФ. Після досягнення відповідної довжини сегмента кінцівки в окремих випадках виконується конверсія методу фіксації.

УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ В ЖУРНАЛІ “ВІСНИК ОРТОПЕДІЇ, ТРАВМАТОЛОГІЇ ТА ПРОТЕЗУВАННЯ”

Шановні автори!

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

Усі матеріали повинні бути оформлені відповідно до таких вимог:

1. Рукопис.

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

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

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

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

1.4. Мова публікації. До публікації в журналі приймаються рукописи українською та англійською мовами. Метадані статті публікуються двома мовами (українською та англійською). При наборі тексту латиницею важливо відповідно встановлювати її на клавіатурі.

Наприклад, неприпустимо замінювати латинську букву “i” українською літерою “і”, незважаючи на візуальну ідентичність.

2. До обов'язкових структурних елементів статті належать:

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

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

2.2. **Резюме (реферат) складається двома мовами (українською та англійською).** Авторське резюме до статті є основним джерелом інформації у вітчизняних і зарубіжних інформаційних системах і науково-метричних базах даних, в яких індексується журнал. Обсяг резюме має становити близько 250 слів або 2000 тисячі знаків. Резюме повинно бути структурованим і включати обов'язкові рубрики: “Актуальність”; “Мета дослідження”; “Матеріали і методи”; “Результати”; “Висновки”. Обсяг розділу “Результати” повинен становити не менше 50% від загального обсягу. Резюме оглядів, лекцій, дискусійних статей складаються у довільній формі.

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

2.3. **Ключові слова (Key words).** Необхідно вказати 3-6 слів або словосполучень, відповідних змісту роботи, які сприятимуть індексуванню стат-

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

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

2.5. **Текст статті.** Структура повного тексту рукопису, присвяченого опису результатів оригінальних досліджень, повинна відповідати загальноприйнятим шаблонам і містити обов'язкові розділи: “Вступ”; “Мета”; “Матеріали і методи”; “Результати”; “Обговорення”; “Висновки”.

2.6. **Пристатейний список літератури – “Література”.** Оптимальна кількість цитованих робіт в оригінальних статтях і лекціях становить 20-30 джерел, в оглядах – 40-60 джерел. Бажано цитувати оригінальні роботи, опубліковані протягом останніх 5-7 років у зарубіжних періодичних виданнях. Також намагайтеся звести до мінімуму посилання на тези конференцій, монографії. У список літератури не включаються неопубліковані роботи, офіційні документи, рукописи дисертацій, підручники і довідники. Повинна бути представлена додаткова інформація про статті – DOI, PubMed ID та ін. Якщо в списку менше половини джерел мають індекси DOI, стаття не може бути опублікована в міжнародному науковому журналі. Посилання повинні перевірятися перед комплектацією списку використаних джерел через сайт <http://www.crossref.org/guestquery> або <https://scholar.google.com.ua>.

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

Джерела з кириличним написанням необхідно дублювати англійським варіантом; наводять офіційну назву видання латиницею або транслітеровану, якщо немає офіційної.

У списку всі роботи перераховуються в порядку цитування, а не в алфавітному порядку. Список літератури **оформляється відповідно до Vancouver style, ознайомитись з яким можна за посиланням (https://ula.org.ua/images/uba_document/programs/academ_integrety/Academ_4_12_red1.pdf).**

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

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

Супровідна документація. До оригінальної статті додаються: супровідний лист від керівництва установи, в якому проводилося дослідження; декларація про наявність або відсутність конфлікту інтересів; авторська угода. Ці документи в електронному (відсканованому) вигляді надсилаються на електронну адресу редакції разом зі статтею, яка подається до публікації.

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

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

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

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

Стаття має бути ретельно відредагована і вивірена автором. Перед відправкою рукопису ретельно

но перевірте і переконайтеся, що усі вищезгадані вимоги виконані.

Автори несуть відповідальність за наукове та літературне редагування поданого матеріалу, цитат і посилань, але редакція залишає за собою право на власне редагування статті (наукового і літературного характеру, а також на скорочення статті, що не перекручує її зміст) чи відмову авторові у публікації, якщо поданий матеріал не відповідає за формою або змістом вищезгаданим вимогам. Матеріали, що не відповідають наведеним стандартам публікацій у журналі “Вісник ортопедії, травматології та протезування”, не розглядаються та не повертаються. Дискети, диски, рукописи, рисунки, фотографії та інші матеріали, надіслані в редакцію, не повертаються. Статті, автори яких є передплатниками журналу, публіку-

ються позачергово (при наданні копії квитанції про передплату).

Порядок прийому матеріалів для публікації:

формальна експертиза (відповідність тексту Вимогам, викладеним вище) та експертиза на наявність плагіату. Автор отримує повідомлення на електронну пошту про відповідність / невідповідність надісланого матеріалу Вимогам.

Якщо матеріал статті відповідає Вимогам, його рецензують за процедурою double-blind і автор в триденний термін отримує лист-повідомлення про можливість / неможливість включення статті до публікації у журналі. Негативна рецензія, зауваження та пропозиції рецензента надсилаються автору.

Матеріали для публікації надсилайте на електронну адресу: atou@ukr.net.

Адреса редакції: 01601, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.
Тел.: (044) 486-42-49, 486-60-65, тел./факс: (044) 486-66-28, e-mail: atou@ukr.net.

Засновники та їх адреса: ВГО “Українська асоціація ортопедів-травматологів”,
ВГО “Українська асоціація спортивної травматології,
хірургії коліна та артроскопії”, ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”,
01601, м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27.

Видається 4 рази на рік. Мова видання: українська, англійська.

Сфера розповсюдження — загальнодержавна.

Мед. коректор Грабар Н. М. Літ. редактор — Ковальова Г. О. Технічний секретар — Полякова М. Б.

Переклад англійською — Кравченко О. М.

Підписано до друку 12.04.2023 р. Наклад 1000 прим. Ціна договірна.

Верстка та друк: ТОВ “Видавнича компанія “Наш формат”, (067) 235-22-56.