



ISSN 0132-2486

ВІСНИК

ортопедії, травматології та протезування

2

113 | 2022

український науково-практичний журнал

ВГО "УКРАЇНЬКА АСОЦІАЦІЯ
ОРТОПЕДІВ-ТРАВМАТОЛОГІВ"

ВГО "УКРАЇНЬКА 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

2 (113) – 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

2 (113) – 2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

M.L. Ankin (Київ)
O.A. Bur'yanov (Київ)
O.G. Gayko (Київ)
G.V. Gayko (Київ)
S.I. Gerasymenko (Київ)
V.V. Григоровський (Київ)
M.P. Грицай (Київ)
Ю.М. Гук (Київ)
К.Н. ван Дайк (Амстердам, Нідерланди)
O.V. Долгополов (Київ)
I.M. Зазірний (Київ)
A.V. Калашніков (Київ)
В.Г. Климовицький (Донецьк)
M.O. Корж (Харків)
I.M. Курінний (Київ)
O.E. Лоскутов (Дніпро)
С. Магомедов (Київ)
В.Й. Марчинський (Варшава, Польща)
Ф. Нейрет (Ліон, Франція)
Д.А. Найланд (Луїсвілл, США)
В.В. Поворознюк (Київ)
Ю.В. Поляченко (Київ)
В.О. Радченко (Харків)
I.V. 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. ISSN 0132-2486.
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 № 7 від 12.07.2022 р.)

ЗМІСТ

Страфун С.С., Лисак А.С., Гузоватий О.Ю. Вивчення в експерименті впливу введення аспірату кісткового мозку в денервованій м'яз (клінічні прояви денервації кінцівки)	Strafun S.S., Lysak A.S., Huzovatyi O.Yu. Experimental Study of the Bone Marrow Aspirate Injection Effect into Denervated Muscle (Clinical Manifestations of Limb Denervation)	4	4
Безрученко С.О., Долгополов О.В., Юрійчук Л.М., Ярова М.Л., Богдан С.В., Сіфоров Д.В. Результати хірургічного лікування хворих із застарілими вивихами акроміального кінця ключиці	Bezruchenko S.O., Dolhopolov O.V., Yuriichuk L.M., Yarova M.L., Bohdan S.V., Siforov D.V. Results of Surgical Treatment of Patients with Chronic Acromioclavicular Joint Dislocations	11	11
Гайко О.Г., Третяков Р.А., Лисак А.С. МРТ-діагностика уражень плечового сплетення	Haiko O.G., Tretiakov R.A., Lysak A.S. MRI Diagnosis of the Brachial Plexus Lesions	21	21
Герасименко С.І., Полулях М.В., Дуда М.С., Бабко А.М., Герасименко А.С., Полулях Д.М., Пшеничний Т.Є., Гужевський І.В. Хірургічне лікування тофусної подагри	Herasymenko S.I., Poluliakh M.V., Duda M.S., Babko A.M., Herasymenko A.S., Poluliakh D.M., Pshenychnyi T.Ye., Huzhevskiy I.V. Surgical Treatment of Patients with Tophus Gout	32	32
Кудрін А.П. Ретроспективний аналіз лікування хворих із больовим синдромом при остеохондрозі грудного відділу хребта	Kudrin A.P. Retrospective Analysis of the Treatment of Patients with Pain in Osteochondrosis of the Thoracic Spine	42	42
Герцен Г.І., Ременюк Ю.К., Білоножкін Г.Г., Сікорська М.В. Обґрунтування використання екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії при лікуванні переломів кісток з уповільненим зрощенням, псевдоартрозів	Hertsen H.I., Remeniuk Yu.K., Bilonozhkin H.H., Sikorska M.V. Rationale for the Use of Extracorporeal Shock Wave Therapy in the Treatment of Delayed Union of Bone Fractures and Pseudoarthrosis	48	48

Нехлопочин О.С., Чешук Є.В., Вороді М.В., Цимбалюк Я.В., Карпінський М.Ю., Яресько О.В. Біомеханічний стан оперованого грудопоперекового переходу при латерофлексії 58	Nekhlopchyn O.S., Cheshuk Ye.V., Vorodi M.V., Tsybaliuk Ya.V., Karpinskyi M.Yu., Yaresko O.V. Biomechanical State of the Operated Thoracolumbar Junction in Lateroflexion 58
Філіпчук В.В., Суворов В.Л., Мельник М.В., Зябловський Є.В. Методика вивчення зони контакту головки стегнової кістки з кульшовою западиною у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща 68	Filipchuk V.V., Suvorov V.L., Melnyk M.V., Ziablovskiy Ye.V. The Method of Contact Area Assessment between the Femoral Head and Acetabulum in Children that Takes into Account Triradiate Cartilage 68
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	LITERATURE REVIEW
Zazirnyi I.M. Ceramic-on-Ceramic Bearings in Total Joint Arthroplasty. Part 1 74	Зазірний І.М. Керамо-керамічні пари тертя в тотальному ендопротезуванні суглобів. Частина 1 74
Kalashnikov A.V., Lazarenko Yu.V., Kalashnikov O.V. Proximal Femoral Fractures: Structure, Factors of Occurrence, and Treatment Principles (Literature Review) 80	Калашніков А.В., Лазаренко Ю.В., Калашніков О.В. Переломи проксимального відділу стегнової кістки: структура, чинники виникнення та принципи лікування (Огляд літератури) 80
ІНФОРМАЦІЯ	INFORMATION
Конгрес ESSKA у сорокову річницю її заснування (Париж, Франція) 86	ESSKA congress at the 40th anniversary of the foundation (Paris, France) 86
Умови публікації в журналі “Вісник ортопедії, травматології та протезування” 88	Terms of Publication in the Journal “Visnyk Ortopedii, Travmatolohii ta Protezuvannia” 88

УДК: [616.833-001-06:616.74-009]:616-018.1*712.4*57.089.6
 HTTPS://DOI.ORG/10.37647/0132-2486-2022-113-2-4-10

Вивчення в експерименті впливу введення аспірату кісткового мозку в денервованій м'яз (клінічні прояви денервації кінцівки)

Страфун С.С.¹, Лисак А.С.¹✉, Гузоватий О.Ю.²

Резюме. Актуальність. Травми периферійних нервів кінцівок – це потенційно інвалідизувальні ураження, що становлять близько 2-3% серед усіх травм. З метою вивчення клінічних проявів денервації кінцівки на ранньому та пізньому етапах нами було проведено експериментальне дослідження. **Мета.** В експерименті вивчити вплив введення аспірату червоного кісткового мозку в цільові м'язи на перебіг денерваційно-реіннерваційних процесів шляхом визначення клінічних проявів денервації (наявність трофічних виразок, набряку чи гіпотрофії м'язів) кінцівки. **Матеріали і методи.** Експеримент проведено на 36 кролях, які були розподілені на 4 групи: група псевдооперованих тварин, 1-ша група – нейротомія та нейрорафія сідничного нерва, 2-га група – одномоментне введення аспірату кісткового мозку, 3-я група – відстрочене введення аспірату кісткового мозку. Виявлення гіпотрофії чи набряку голілки виконували шляхом визначення відсоткового співвідношення окружності голілки прооперованої та інтактною кінцівкою. Клінічні прояви денервації кінцівки фіксували під час огляду експериментальних тварин перед їхнім виведенням з експерименту. **Результати.** При порівнянні кількості ускладнень у 1-й та 2-й групах кількість ускладнень денерваційного процесу була більшою у 1-й. Водночас різниці між 1-ю та 3-ю, а також 2-ю і 3-ю групами виявлено не було. При порівнянні показників гіпотрофії виявлено різницю між 1-ю та 2-ю групами, а також достовірну різницю ($p < 0,05$) між 1-ю та 3-ю групами з переважанням явищ гіпотрофії у 2-й та 3-й групах. **Висновки.** Введення аспірату кісткового мозку у цільові м'язи під час оперативного втручання та на ранніх етапах реіннервації сприяло зменшенню клінічних проявів денерваційного процесу. Відстрочене введення аспірату кісткового мозку в цільові м'язи достовірно ($p < 0,05$) сприяло зменшенню набряку денервованих цільових м'язів кінцівки.

Ключові слова: аспірат кісткового мозку; денервація; гіпотрофія; трофічна виразка; аутофагія.

Вступ

Травми периферійних нервів кінцівок – це потенційно інвалідизувальні ураження, що становлять близько 2-3% серед усіх травм [1, 2]. Згідно з даними різних авторів, частота виникнення травм периферійних нервів кінцівок становить приблизно від 13 до 23 постраждалих на 100 000 населення на рік та призводить до значного, а інколи і довічного зниження функції кінцівки [3]. Щорічно в США виконується близько 50 000 оперативних втручань на пери-

ферійних нервах кінцівок [2]. Проте незважаючи на всі досягнення сучасної хірургії периферійних нервів, ефективного відновлення функції кінцівки після таких травм вдається досягти далеко не у всіх пацієнтів. За даними Wang та співавторів, до 33% серед усіх травм периферійних нервів мають неефективне відновлення [1]. Аналізуючи свій досвід роботи, S.E. Maskinon та A.L. Dellon визначили, що ефективного відновлення функції верхньої кінцівки вдалось досягти лише у 40% випадків [4]. Провівши метааналіз літератури у 2005 році, A.C. Ruijs виявив, що задовільної функції цільових м'язів при мікрохірургічному відновленні периферійного нерва вдається досягти лише у 51,6% пацієнтів [5].

Поширеність травм периферійних нервів кінцівок та результати щодо ефективності відновлення функ-

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

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

²Опікове відділення з пластичною хірургією та відновно-реконструктивною ортопедією КП "Рівненська обласна клінічна лікарня імені Юрія Семенюка Рівненської обласної ради", м. Рівне

ції кінцівки після мікрохірургічного шва або пластики нерва (які вважаються “золотим стандартом”) [6, 7] лише підкреслюють актуальність обраної проблеми. У першу чергу негативні результати пов’язані не лише з особливістю регенерації периферійної нервової системи [8, 9], але і зі змінами в дистальному кінці нерва [2, 10, 11], нейро-м’язових синапсах [12] та безпосередньо самих цільових м’язах [13, 14]. Саме відносно невеликий відсоток задовільного відновлення функції кінцівки і сприяє подальшому пошуку різноманітних методів покращення результатів реіннервації та хірургії периферійних нервів в цілому.

Велика кількість досліджень на сьогодні проводиться щодо застосування можливих фармакологічних [15, 16, 17] та фізіотерапевтичних агентів [18], які можуть сприяти покращенню регенерації нерва. Окрім того, значна кількість авторів вбачає подальший розвиток хірургії периферійних нервів саме в досягненнях регенеративної медицини [19, 20] та їхній комбінації з класичними хірургічними методиками [3].

У 2014 році Hogenboom та співавтори опублікували результати застосування стовбурових клітин кісткового мозку в денервованій м’яз у пацієнтів з ушкодженнями плечового сплетення. Вони визначили потенційну здатність до диференціації стовбурових клітин кісткового мозку у сателітні клітини міоцитів [21].

Нами було проведено це експериментальне дослідження з метою вивчення клінічних проявів денервації кінцівки на ранньому та пізньому етапах із та без введення аспірату червоного кісткового мозку в цільові м’язи на різних строках денерваційно-реіннерваційного процесу.

Мета роботи – в експерименті вивчити вплив введення аспірату червоного кісткового мозку в цільові м’язи на перебіг денерваційно-реіннерваційних процесів шляхом вивчення клінічних проявів денервації (наявність трофічних виразок, набряку чи гіпотрофії м’язів) кінцівки.

Матеріали і методи

Експеримент виконувався на 36 кролях, середній вік яких становив $11,52 \pm 1,87$ місяця та маса – $3,26 \pm 0,35$ кг, з однаковим гендерним розподілом між групами. Експериментальна модель шва нерва при його гострому ураженні була взята за основу та модифікована шляхом накладання мікрохірургічних швів таким чином, щоб досягти максимально несприятливих умов для регенерації (два шви накладались через усю товщу сідничного нерва зі значним натягом та без адаптації його країв). Експериментальні тварини були розподілені на 4 групи (по 9 тварин у групі). Експериментальне дослідження передбачало виведення з експерименту піддослідних тварин (по 3 з кожної групи) через 8, 12 та 16 тижнів від моменту оператив-

ного втручання. Групи були розподілені наступним чином:

– *група псевдооперованих тварин* – під час оперативного втручання виконувалась ревізія та мобілізація сідничного нерва на рівні проксимальної третини стегна, без втручання на нерві;

– *1-ша дослідна група* – під час операції виконували ревізію, мобілізацію, перетин правого сідничного нерва на рівні проксимальної третини стегна та подальше накладання мікрохірургічних швів на нерв;

– *2-га дослідна група* – оперативне втручання доповнювалось введенням аспірату червоного кісткового мозку у цільові м’язи (*m. gastrocnemius* та *m. tibialis anterior*) справа;

– *3-й дослідній групі* проводили відстрочене (на 7-му тижні після операції, що збігалось з початком реіннервації) введення аспірату червоного кісткового мозку у цільові м’язи (*m. gastrocnemius* та *m. tibialis anterior*) справа.

Протокол оперативного втручання на сідничному нерві. Операційне поле по задній поверхні правого стегна та кульшового суглоба пострижене від шерсті, тричі (по 1,5 хвилини) оброблене дезінфектантом. Виконано лінійний хірургічний доступ у проекції сідничного нерва. За допомогою хірургічного затискача типу “москіт” здійснено мобілізацію правого сідничного нерва на рівні проксимальної третини стегна, після чого різким рухом скальпеля проведено його одномоментне пересічення. З використанням операційного збільшувального бінокюляра (збільшення $\times 3,5$) монофіламентною хірургічною ниткою, що не розсмоктується, накладено два мікрохірургічних шви нерва за типом “кінець-в-кінець”. З метою погіршення умов для регенерації аксонів через зону шва нерва шви накладено через всю товщу сідничного нерва зі значним натягом та без адаптації його кінців. Ушивання шкіри виконано безперервним обвивним швом із використанням монофіламентної хірургічної нитки, що не розсмоктується. Операційне поле тричі оброблене дезінфектантом.

Протокол отримання аспірату червоного кісткового мозку та введення його в цільові м’язи. У 5 мл шприц набрано 0,2 мл 4% розчину АСД-А. За допомогою голки діаметром 1,2 мм виконано прокол шкіри в області проекції великого вертлюга стегнової кістки кроля. Далі прокручувальними рухами виконано просвердлювання зовнішнього кортикального шару стегнової кістки та занурення голки до внутрішнього кортикального шару. За допомогою провідника товщиною 0,9 мм голку прочищено від залишків кістки, що потрапили всередину. До голки під’єднано шприц та виконано забір 2 мл аспірату кісткового мозку. Голку видалено, місце проколу оброблене дезінфектантом. Аспірат кісткового мозку очищено від частинок спонгіозної кісткової тканини завдяки фільтру-подрібнювачу для аспірату підшкірної жирової клітковини.

До шприца з аспіратом кісткового мозку під'єднано ін'єкційну голку товщиною 0,6 мм. Аспірат кісткового мозку введено в цільові м'язи (*m. gastrocnemius* та *m. tibialis anterior*) справа.

Наявність гіпотрофії чи набряку цільових м'язів гомілки виявляли шляхом визначення відсоткового співвідношення окружності гомілки прооперованої та інтактної кінцівок. Визначення окружності гомілки проводилось на КТ-сканах тазових кінцівок експериментальних тварин.

Комп'ютерна томографія виконувалась на апараті Philips Brilliance 16.

Робота з DICOM зображеннями та відповідні розрахунки проводились у програмі RadiAnt DICOM Viewer версії 2020.2.3 (64-bit).

При дослідженні КТ-зрізів (рис. 1) розрахунки виконували на аксіальних зрізах на 2 см дистальніше суглобової щілини колінного суглоба. Для розрахунків вираженості гіпотрофії м'язів проводили вимірювання окружності оперованої кінцівки (справа) та інтактної (зліва). Після чого визначали відсоткове співвідношення прооперованої кінцівки до інтактної (окружність якої було прийнято за 100%) і тим самим виявляли рівень гіпотрофії.

Окрім того, за даними КТ-досліджень проводилось визначення наявності переломів кісток гомілки чи стопи денервованої кінцівки та таких ускладнень, як неправильна консолідація перелому (1 кірль, 1 група) чи наявність хибного суглоба кісток гомілки (1 кірль, 1 група).

Клінічні прояви денервації кінцівки, а саме наявність трофічних виразок (рис. 2а) чи ознак аутофагії частин денервованої кінцівки (рис. 2б), фіксували під

час огляду експериментальних тварин перед їхнім виведенням з експерименту. Для виявлення клінічних проявів денервації кінцівки проводилось вимірювання розмірів трофічних виразок та фотофіксація ускладнень, що супроводжують денервацію.

З метою об'єктивізації та можливості підрахунку клінічних проявів денервації кінцівки нами було створено бальну систему ускладнень, що виникли в експериментальних тварин внаслідок денерваційних змін (табл. 1).

Статистичний аналіз отриманих результатів проводився в програмі Microsoft Excel пакету Microsoft Office 365. З метою опису параметрів було використано наступні методи описової статистики: центральна тенденція (середнє значення), діапазон, позитивна та негативна похибка. Визначення достовірності різниці між групами проводили за допомогою U-критерію Манна – Уїтні. Результати наведені у вигляді таблиць.

Експериментальне дослідження було схвалено комісією з біоетики ДУ "Інститут травматології та ортопедії", протокол № 1 від 19.06.2020 року. Члени комісії дійшли погодженої думки, що матеріали, представлені в статті, отримані в процесі виконання дослідження з дотриманням біоетичних вимог згідно з Гельсінською конвенцією Ради Європи про права людини та біомедицину і відповідних Законів України.

Експериментальне дослідження проводилось відповідно до правил "Regulations on the animal use of in research biomedical research", "European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes" та "Guide for the Care and Use of Laboratory Animals".

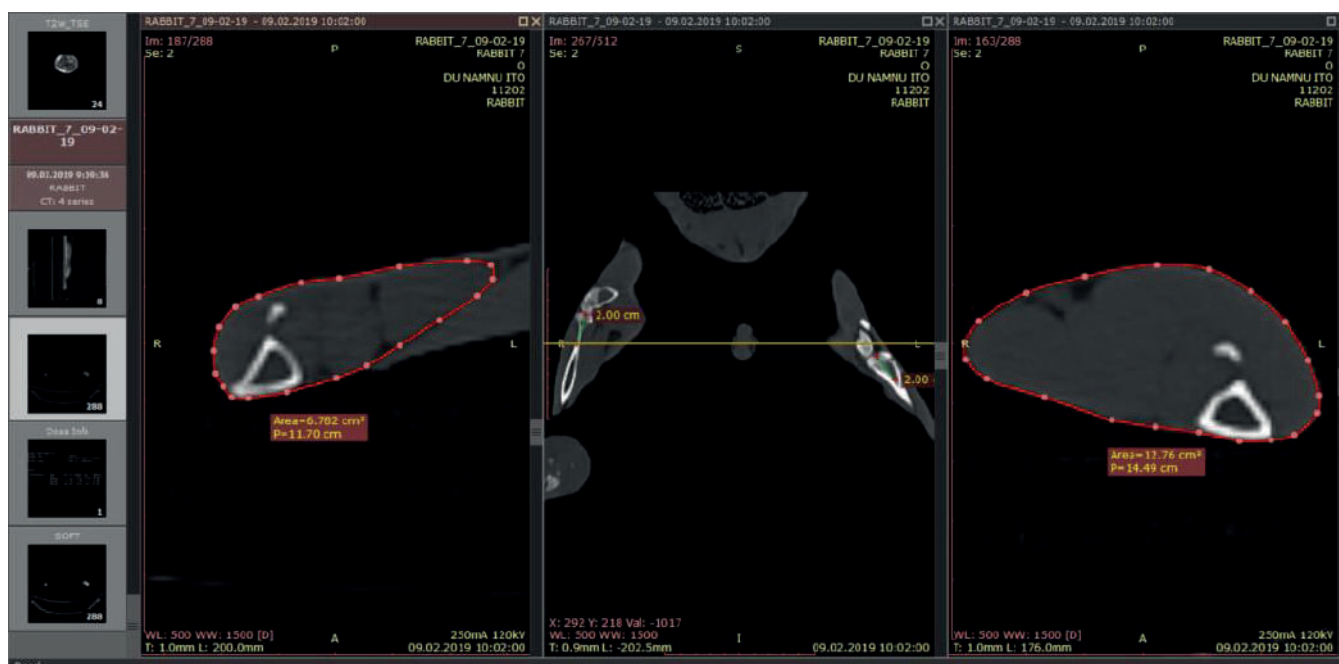


Рис. 1. Проведення розрахунків за КТ-сканами




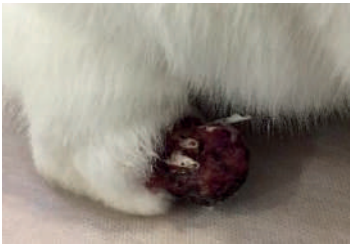


а)

б)

Рис. 2. Клінічні прояви денервації кінцівки: а) типова трофічна виразка спричинена денервацією шкірних покривів; б) ознаки аутофагії частин денерованої кінцівки

Таблиця 1

Бальна система оцінки ускладнень, що виникли внаслідок денервації кінцівки

Критерій	Бал	Типовий прояв ускладнення
Наявність трофічної виразки на шкірі прооперованої кінцівки площею до 1 см ²	1	Трофічна виразка площею до 1 см ² 
Наявність трофічної виразки понад 1 см ² або ознак аутофагії частин денерованої кінцівки	2	Ознаки аутофагії передніх відділів стопи денерованої кінцівки 
Неправильно консолидований перелом кісток гомілки	3	На КТ-реконструкції визначається неправильне зрощення кісток правої гомілки зі значними осьовими та ротаційними порушеннями 
Несправжній суглоб кісток гомілки	4	Ознаки несправжнього суглоба кісток правої гомілки 

Таблиця 2

Результати вимірювань відсоткового співвідношення гіпотрофії м'язів гомілки та кількості балів ускладнень, що виникли внаслідок денервації кінцівки

	8 тижнів		12 тижнів		16 тижнів		Загалом балів	Середній % гіпотрофії
	Бали ускладнень	% гіпотрофії	Бали ускладнень	% гіпотрофії	Бали ускладнень	% гіпотрофії		
1-ша група	0	80,91	0	80,20	2	69,06	14	75,56
	1	58,73	3	98,47	1	79,32		
	4	57,04	2	82,37	1	73,91		
2-га група	1	44,70	0	60,40	0	74,06	6	67,21
	0	53,51	1	90,43	1	74,24		
	1	78,85	0	54,90	2	73,84		
3-я група	1	53,15	1	54,58	1	71,58	8	65,91
	0	51,22	2	73,15	0	69,76		
	1	61,16	1	87,96	1	70,64		
Загалом балів	9		10		9		28	
Середній % гіпотрофії		59,92		75,83		72,93		69,56

Результати

Дані результатів вимірювання відсоткового співвідношення гіпотрофії прооперованої та інтактної гомілки за даними комп'ютерної томографії тазових кінцівок кролів, а також кількість балів ускладнень, що виникли внаслідок денервації кінцівки, наведені в табл. 2. Показники, отримані в групі псевдооперованих тварин (де не виконувалось нейротомії сідничного нерва), не відрізнялись від показників неоперованих кінцівок.

Більш наочні результати гіпотрофії м'язів гомілки піддослідних тварин наведені на діаграмі (рис. 3).

Обговорення

Аналізуючи дані оцінки ускладнень, що виникли внаслідок денервації, ми виявили різницю з тенденцією до достовірності ($p=0,07$) між кількістю ускладнень у 1-й та 2-й групах із більшою кількістю ускладнень внаслідок процесу денервації в 1-й. Водночас

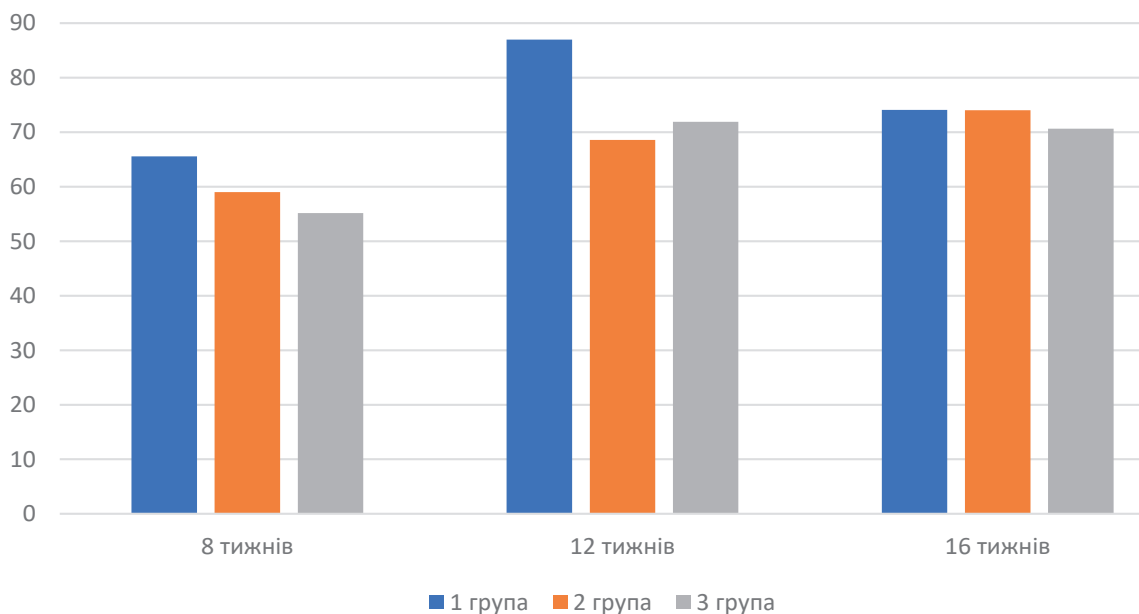


Рис. 3. Динаміка гіпотрофії м'язів гомілки

достовірної різниці чи тенденції до достовірності різниці між 1-ю та 3-ю, а також 2-ю і 3-ю групами виявлено не було.

При порівнянні показників відсоткового співвідношення гіпотрофії прооперованої кінцівки до інтактної було виявлено різницю з тенденцією до достовірності ($p=0,08$) між 1-ю та 2-ю групами, а також достовірну різницю ($p<0,05$) між 1-ю та 3-ю групами з переважанням явищ гіпотрофії у 2-й та 3-й групах. Водночас достовірної різниці між 2-ю та 3-ю групами виявлено не було.

Оскільки гостра фаза денервації скелетного м'яза при ураженні периферійного нерва супроводжується вираженим набряком [22], більший об'єм гомілки прооперованої кінцівки у 1-й групі (де не виконували введення аспірату червоного кісткового мозку) у порівнянні з іншими групами (в яких виконувалось введення аспірату кісткового мозку) нами було розцінено як набряк скелетних м'язів.

Подібний патерн визначених нами змін, а саме менший відсоток гіпотрофії при більшій кількості ускладнень, пов'язаних із денерваційними змінами у 1-й групі, може бути пов'язаний саме з гострим періодом денерваційно-реіннерваційного процесу. Водночас достовірно більше виражена гіпотрофія прооперованих кінцівок, проте з меншою кількістю ускладнень, пов'язаних із денерваційними змінами в групах, у яких виконувалось введення аспірату червоного кісткового мозку, може бути викликана тим, що введення стромальних стовбурових клітин у цільові м'язи зменшує ознаки денерваційних змін та сприяє покращенню реіннервації цих м'язів.

Оскільки дизайн нашого дослідження передбачав виведення з експерименту дослідних тварин через 8, 12 та 16 тижнів після оперативного втручання, ми не могли відстежувати істинну динаміку змін окремих тварин на різних етапах денерваційно-реіннерваційного процесу, а лише реєстрували клінічні прояви денервації кінцівки.

Обмеження цього дослідження: головним обмеженням нашого експериментального дослідження було те, що його дизайн передбачав виведення тварин з експерименту через 8, 12 та 16 тижнів після оперативного втручання, через що відстежувати "натуральну історію" клінічних проявів денервації кінцівки на різних етапах денерваційно-реіннерваційних змін було неможливо.

Перспективи дослідження: перспективним, на нашу думку, є проведення експериментального дослідження, яке передбачає здійснення вимірювань у одних і тих самих піддослідних тварин, що дозволить краще простежити істинний характер клінічних проявів денервації на різних етапах денерваційно-реіннерваційного процесу з та без введення аспірату кісткового мозку, а також проведення дослідження на більшій кількості експери-

ментальних тварин, що дозволить підтвердити або спростувати виявлені нами тенденції.

Висновки

Введення аспірату кісткового мозку у цільові м'язи під час оперативного втручання та на ранніх етапах реіннервації сприяло зменшенню клінічних проявів денерваційного процесу, таких як набряк м'язів, наявність трофічних виразок, ознак аутофагії частин кінцівки та ін.

Встановлено, що кількість ускладнень у групі, де не виконували введення аспірату кісткового мозку, переважала кількість ускладнень в інших групах та мала певну тенденцію до достовірності ($p=0,07$) у порівнянні з групою, де введення аспірату кісткового мозку виконували під час оперативного втручання на сідничному нерві.

Відстрочене введення аспірату кісткового мозку в цільові м'язи достовірно ($p<0,05$) сприяло зменшенню набряку денервованих цільових м'язів кінцівки.

Питання впливу аспірату кісткового мозку на денерваційно-реіннерваційні процеси, що відбуваються у скелетних м'язах, потребує подальшого більш поглибленого та комплексного вивчення.

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

References:

1. Wanga ML, Rivlin M, Graham JG, Beredjikian PK. Peripheral nerve injury, scarring, and recovery. *Connective Tissue Research*. 2018; 1-7. DOI: 10.1080/03008207.2018.1489381.
2. Modrak M, Talukder H, Gurgenchvili K, Noble M, Elfar JC. Peripheral nerve injury and myelination: potential therapeutic strategies. *J Neurosci Res*. 2020; 98(5): 780-795. DOI: 10.1002/jnr.24538.
3. Sullivan R, Dailey T, Duncan K, Abel N, Borlongan CV. Peripheral Nerve Injury: Stem Cell Therapy and Peripheral Nerve Transfer. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016;(17): 1-12. DOI: 10.3390/ijms17122101.
4. Mackinnon SE, Dellon AL. *Surgery of the Peripheral Nerve*. Mackinnon SE, editor. New York: Thieme; 1988.
5. Ruijs ACJ, Jaquet JB, Kalmijn S, Giele H, Hovius SER. Median and ulnar nerve injuries: a meta-analysis of predictors of motor and sensory recovery after modern microsurgical nerve repair. *Plast Reconstr Surg*. 2005; 116(2): 484-494. DOI: 10.1097/01.prs.0000172896.86594.07.
6. Kubiak CA, Kung TA, Brown DL, Cederna PS, Kemp SWP. State-of-the-Art Techniques in Treating Peripheral Nerve Injury. *Plast Reconstr Surg*. 2018; 141(3): 702-710. DOI: 10.1097/PRS.0000000000004121.
7. Lopes B, Sousa P, Alvites R, Branquinho M, Sousa AC, Mendonça C, et al. Peripheral Nerve Injury Treatments and Advances: One Health Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(2): 1-27. DOI: 10.3390/ijms23020918.

8. Yang X, Liu R, Xu Y, Ma X, Zhou B. The Mechanisms of Peripheral Nerve Preconditioning Injury on Promoting Axonal Regeneration. *Neural Plast.* 2021; 2021: 1-9. DOI: 10.1155/2021/6648004.
9. Hatzenbuehler J. Peripheral Nerve Injury. *Current Sports Medicine Reports.* 2015; 14(5): 356–357. DOI: 10.1249/jsr.0000000000000186.
10. Menorca RMG, Fussell TS, Elfar JC. Peripheral Nerve Trauma: Mechanisms of Injury and Recovery. *Hand Clin.* 2013; 29(3): 317–330. DOI: 10.1016/j.hcl.2013.04.002.
11. Chen P, Piao X, Bonaldo P. Role of macrophages in Wallerian degeneration and axonal regeneration after peripheral nerve injury. *Acta Neuropathologica.* 2015; 130(5): 605–618. DOI: 10.1007/s00401-015-1482-4.
12. Kumai Y, Ito T, Matsukawa A, Yumoto E. Effects of denervation on neuromuscular junctions in the thyroarytenoid muscle. *Laryngoscope.* 2005; 115(10): 1869-1872. DOI: 10.1097/01.mlg.0000177076.33294.89.
13. Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *International Journal of Molecular Sciences.* 2020; 21(22): 1-24. DOI: 10.3390/ijms21228652.
14. Finkelstein DI, Dooley PC, Luff AR. Recovery of muscle after different periods of denervation and treatments. *Muscle Nerve.* 1993; 16(7): 769-777. DOI: 10.1002/mus.880160712.
15. Divac N, Aksić M, Rasulić L, Jakovčevski M, Basailović M, Jakovčevski I. Pharmacology of repair after peripheral nerve injury. *Int J Clin Pharmacol Ther.* 2021; 59(6): 447-462. DOI: 10.5414/CP203893.
16. Bolandghamat S, Behnam-Rassouli M. Recent Findings on the Effects of Pharmacological Agents on the Nerve Regeneration after Peripheral Nerve Injury. *Curr Neuropharmacol.* 2020; 18(11): 1154–1163. DOI: 10.2174/1570159X18666200507084024.
17. Hussain G, Wang J, Rasul A, Anwar H, Qasim M, Zafar S, et al. Current Status of Therapeutic Approaches against Peripheral Nerve Injuries: A Detailed Story from Injury to Recovery. *International Journal of Biological Sciences.* 2020; 16(1): 116–134. DOI: 10.7150/ijbs.35653.
18. Gordon T, English AW. Strategies to promote peripheral nerve regeneration: electrical stimulation and/or exercise. *European Journal of Neuroscience.* 2016; 43(3): 336–350. DOI: 10.1111/ejn.13005.
19. Yu T, Xu Y, Ahmad MA, Javed R, Hagiwara H, Tian X. Exosomes as a Promising Therapeutic Strategy for Peripheral Nerve Injury. *Curr Neuropharmacol.* 2021; 19(12): 2141-2151. DOI: 10.2174/1570159X19666210203161559.
20. Kubiak CA, Grochmal J, Kung TA, Cederna PS, Midha R, Kemp SWP. Stem-cell Based Therapies to Enhance Peripheral Nerve Regeneration. *Muscle & Nerve.* 2020; 61(4): 449-459. DOI: 10.1002/mus.26760.
21. Hogendoorn S, Duijnsveld BJ, van Duinen SG, Stoel BC, van Dijk JG, Fibbe WE, et al. Local injection of autologous bone marrow cells to regenerate muscle in patients with traumatic brachial plexus injury. *Bone Joint Res.* 2014; 3(2): 38-47. DOI: 10.1302/2046-3758.32.2000229.
22. Sallomi D, Janzen DL, Munk PL, Connell DG, Tirman PF. Muscle denervation patterns in upper limb nerve injuries: MR imaging findings and anatomic basis. *American Journal of Roentgenology.* 1998; 171(3): 779–784. DOI: 10.2214/ajr.171.3.9725316.

Experimental Study of the Bone Marrow Aspirate Injection Effect into Denervated Muscle (Clinical Manifestations of Limb Denervation)

Strafun S.S.¹, Lysak A.S.¹, Huzovatyi O.Yu.²

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

²Burn Department with Plastic Surgery and Reconstructive Orthopedics, CE "Rivne Regional Clinical Hospital Named after Yurii Semenyuk of Rivne Regional Council", Rivne

Summary. Relevance. Peripheral nerve injuries are potentially disabling lesions, which account for about 2-3% of all injuries. In order to study the clinical manifestations of limb denervation in the early and late stages, we conducted an experimental study. **Objective:** in the experiment, to study the effect of bone marrow aspirate injection into the target muscles on denervation-reinnervation processes by studying the clinical manifestations of denervation (presence of trophic ulcers, edema, or muscle wasting). **Materials and Methods.** The experiment was performed on 36 rabbits, which were divided into four groups: a group of pseudo-operated animals, group 1 (neurotomy and sciatic nerve suture), group 2 (on-time injection of bone marrow aspirate), and group 3 (delayed injection of bone marrow aspirate). Detection of hypotrophy or edema of the tibia was performed by determining the percentage of leg circumference of the operated on and intact limbs. Clinical manifestations of limb denervation were recorded during the examination of experimental animals before their euthanasia. **Results.** When comparing the number of complications in group 1 and group 2, more complications of the denervation process was observed in group 1. At the same time, no difference was found between group 1 and group 3, as well as between group 2 and group 3. When comparing the indicators of hypotrophy, the difference between group 1 and group 2, as well as a significant difference ($p < 0.05$) between group 1 and group 3, with a predominance of hypotrophy in group 2 and group 3 were revealed. **Conclusions.** The injection of bone marrow aspirate into the target muscles during surgery and in the early stages of reinnervation helped to reduce the clinical manifestations of the denervation process. Delayed administration of bone marrow aspirate to target muscles significantly ($p < 0.05$) helped to reduce edema of denervated target muscles.

Key words: bone marrow aspirate; denervation; hypotrophy; trophic ulcer; autophagy.

Результати хірургічного лікування хворих із застарілими вивихами акроміального кінця ключиці

Безрученко С.О.¹✉, Долгополов О.В.¹, Юрійчук Л.М.¹, Ярова М.Л.¹,
Богдан С.В.¹, Сіфоров Д.В.¹

Резюме. Актуальність. Лікування застарілих (хронічних) вивихів в акроміально-ключичному суглобі залишається дискусійним питанням і варіює від застосування консервативних методик до широких реконструктивних втручань. **Мета дослідження.** Провести клініко-інструментальну оцінку результатів хірургічного лікування хворих із застарілими вивихами акроміального кінця ключиці. **Матеріали і методи.** Проведено ретроспективний аналіз лікування 41 пацієнта із застарілим вивихом акроміального кінця ключиці (давність травми понад 3 тижні). Досліджувані були розподілені на 2 групи: I група – 19 пацієнтів (46,3%), яким було проведено динамічний тип фіксації вивиху акроміального кінця ключиці та аутотендопластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба і дзьобоподібно-ключичних зв'язок; II група – 22 пацієнти (53,7%), яким була проведена фіксація вивиху акроміального кінця ключиці спеціалізованою пластиною та аутотендопластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба і дзьобоподібно-ключичних зв'язок. Середній вік пролікованих пацієнтів становив $34,1 \pm 11,2$ року (від 18 до 70 років), переважали чоловіки – 36 пацієнтів (87,8%). Оцінка функціональних результатів лікування проводилась за допомогою шкали Oxford Shoulder, шкали Constant – Murley та шкали Acromioclavicular Joint Instability Scoring System. **Результати.** Середній показник за шкалою Oxford Shoulder безпосередньо до оперативного втручання становив 33,3 і 31,5 бала ($p=0,347$) та наприкінці спостереження – $46 \pm 2,6$ і $46,1$ бала ($p=0,934$), середній показник за шкалою Constant – Murley до оперативного втручання становив $68,9 \pm 12,4$ і $69,7 \pm 14,5$ бала ($p=0,863$) та наприкінці спостереження $94,2 \pm 7,7$ і $96,5 \pm 3,9$ бала ($p=0,291$), середній показник за шкалою Acromioclavicular Joint Instability Scoring System безпосередньо до оперативного втручання становив $31,3 \pm 9,5$ і $25,1 \pm 8,2$ бала ($p=0,087$) та наприкінці спостереження $79,9 \pm 16,7$ і $75,7 \pm 9,1$ бала ($p=0,422$) в I та II групі відповідно. Супутні внутрішньосуглобові пошкодження плечового суглоба було діагностовано в 68,4% пацієнтів, найбільш поширені – пошкодження передньо-верхньої частини суглобової губи лопатки та теносиновіт сухожилка довгої голівки двоголового м'яза плеча. Ускладнення лікування були зафіксовані в обох групах спостереження, проте не потребували додаткових реконструктивних втручань. **Висновки.** Використання малоінвазивної динамічної методики фіксації або відкритих методів фіксації спеціалізованою пластиною у поєднанні з реконструкцією зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок сухожилковими аутотрансплантатами забезпечує добрі віддалені функціональні результати.

Ключові слова: акроміально-ключичний суглоб; застарілий хронічний вивих.

Вступ

Вибір ідеальної методики реконструкції вивихів акроміально-ключичного суглоба залишається предметом обговорення через відсутність кон-

сенсусу щодо оптимального методу лікування [1]. Акроміально-ключичний суглоб є критичним компонентом ланцюга, який з'єднує верхню кінцівку з тулубом, бере участь у забезпеченні рухливості та сили верхньої кінцівки [2]. Незважаючи на просту концепцію, багатий вибір хірургічних методик, описаних у науковій літературі, залишається достатньо високий відсоток незадовільних результа-

✉ Безрученко С.О., drbezruchenko@gmail.com

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

тів лікування. Так, у 42,9% хворих спостерігаються несприятливі клінічні результати у вигляді стійкої горизонтальної нестабільності після анатомічної реконструкції травматичних розривів дзьобоподібно-ключичної зв'язки [3]. При магнітно-резонансному дослідженні плечового та акроміально-ключичного суглоба у післяопераційний період виявлено, що тільки в 50% пацієнтів настало зрощення дзьобоподібно-ключичних зв'язок [4]. Від 20 до 40% пацієнтів із вивихом акроміального кінця ключиці, які були проліковані оперативним шляхом, незалежно від техніки оперативного втручання не отримали відмінних клінічних результатів, залишились скарги на біль, швидку втомлюваність, наявність косметичного дефекту ділянки акроміально-ключичного суглоба [5]. Застарілі вивихи є наслідком відстроченого (понад 3 тижні з дня травми), невдалого консервативного або оперативного лікування [6]. Хронічна нестабільність акроміально-ключичного суглоба сприяє розвитку дискінезії лопатки або SICK синдрому (порушення статичного положення та кінематики лопатки під час рухів у плечовому суглобі, як наслідок – динамічні зміни сухожилків ротаторної манжети плеча, нижньомедіальної частини лопатки, яка виступає, що в кінцевому підсумку призводить до хронічного болювого синдрому) [7, 8]. І дотепер немає “золотого стандарту” та тривають пошуки оптимальшого методу лікування застарілих вивихів акроміально-ключичного суглоба.

Мета – провести клініко-інструментальну оцінку результатів оперативного лікування хворих із застарілим вивихом акроміального кінця ключиці, яким було використано фіксацію спеціалізованою пластиною і динамічними методами з аутотендопластикою зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок.

Матеріали і методи

Проведено ретроспективний аналіз лікування 41 хворого, які перебували на стаціонарному лікуванні з 2010 по 2021 р. у відділенні мікрохірургії та реконструктивно-відновної хірургії верхньої кінцівки ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України” з діагнозом “застарілий вивих акроміального кінця ключиці”. Дані історій хвороби були оброблені згідно з вимогами комітету з біоетики ДУ “ІГО НАМН України” (протокол № 2 засідання комісії з біоетики ДУ “ІГО НАМНУ” від 12 травня 2022 р.). Критерії включення: застарілі (хронічні) вивихи акроміального кінця ключиці (термін від моменту травми понад 3 тижні) з наявністю горизонтальної та вертикальної нестабільності в акроміально-ключичному суглобі, травма-

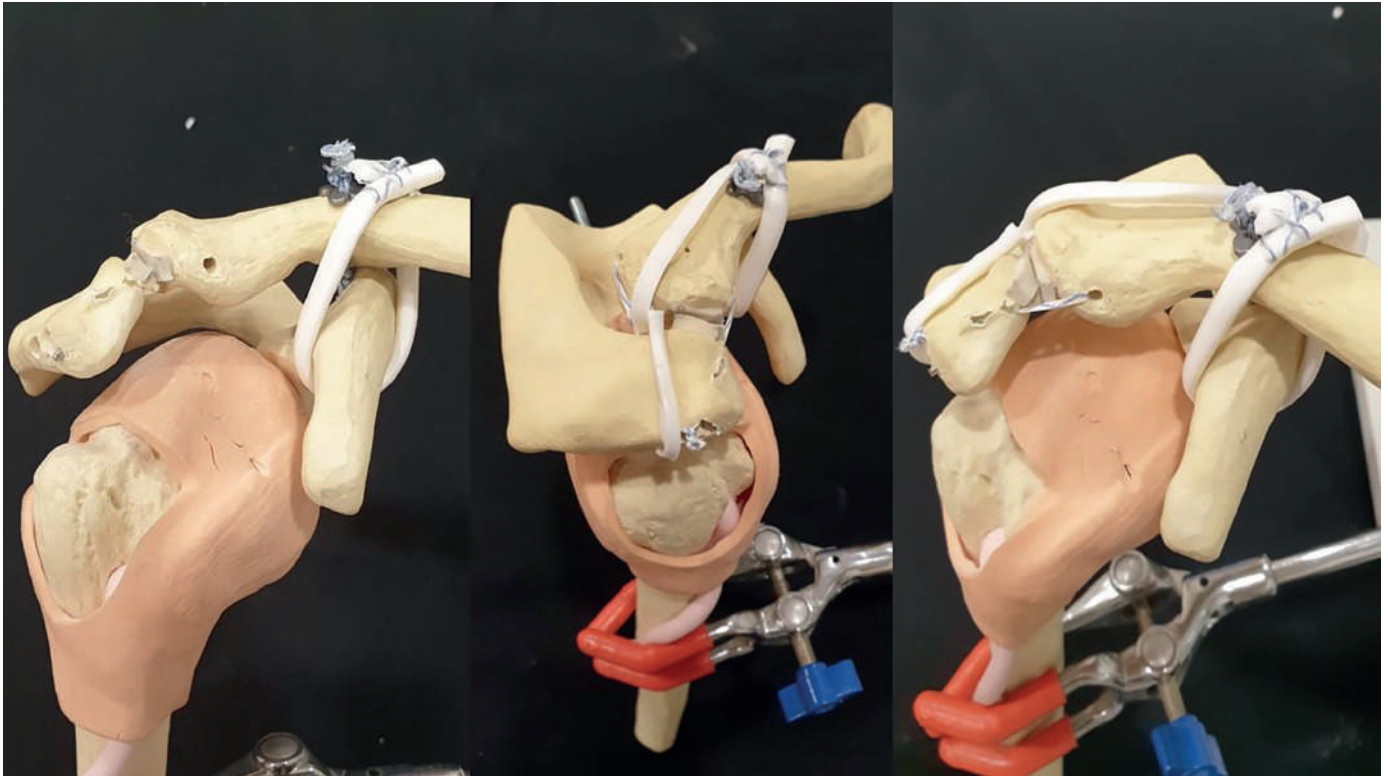
тичний генез пошкодження, ізолювана травма, хірургічне втручання на попередніх етапах лікування з метою усунення вивиху акроміального кінця ключиці, інформована згода пацієнта щодо хірургічного втручання та післяопераційного спостереження. Критерії виключення: травматичні вивихи акроміального кінця ключиці (давність травми до 3 тижнів), вивих акроміального кінця ключиці I-II типу за класифікацією Rockwood, наявність відкритої травми, наявність супутніх переломів ключиці, лопатки або плечової кістки, патологічний генез вивиху акроміального кінця ключиці, відсутність можливості участі у післяопераційному спостереженні. Хворі були розподілені на 2 групи: I група – 19 пацієнтів (46,3%), яким було проведено динамічний тип фіксації вивиху акроміального кінця ключиці, аутотендопластика дзьобоподібно-ключичних зв'язок (вертикальна стабілізація) та серкляж й аутотендопластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба (горизонтальна стабілізація) (рис. 1); II група – 22 пацієнти (53,7%), яким була проведена фіксація вивиху акроміального кінця ключиці спеціалізованою пластиною, аутотендопластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба (горизонтальна стабілізація) і дзьобоподібно-ключичних зв'язок (вертикальна стабілізація) (рис. 2).

Середній вік пролікованих пацієнтів становив $34,1 \pm 11,2$ року (від 18 до 70 років), переважали чоловіки – 36 пацієнтів (87,8%). Основні характеристики пацієнтів наведені в табл. 1.

У табл. 2 наведено розподіл оперативних втручань, які проводились пацієнтам обох груп із застарілим вивихом акроміального кінця ключиці.

Усім хворим виконували стандартне клініко-інструментальне обстеження: рентгенографія акроміально-ключичного суглоба в 3 проекціях (проекція Zanca, проекція Alexander, аксіальна проекція), ультразвукове дослідження (УЗД) акроміально-ключичного суглоба з використанням провокаційних тестів, МРТ плечового та акроміально-ключичного суглобів на апаратах із силою магнітного поля 1,5 Тл у сагітальній, коронарній та фронтальній проекціях у режимах T1, T2, Pd та Pdfatsat [9, 10].

Відповідно до основних методологічних положень використовували стандартний комплекс реабілітаційних процедур, метою якого було відновлення амплітуди рухів, збільшення сили м'язів плечового поясу, повернення до повноцінної фізичної активності, який проводився в три етапи. На першому іммобілізаційному етапі (0-6 тижень) проводилась фіксація верхньої кінцівки в м'якій пов'язці Дезо, в перші 2 тижні дозволялись рухи в ліктьовому та кистьовому суглобі, пальцях кисті, з 3-го тижня – пасивні рухи в плечовому суглобі: згинання та відведення до 90°. На другому



а)

б)

в)

Рис. 1. Схематичне зображення динамічного типу фіксації вивиху акроміального кінця ключиці: а) пластика дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд спереду; б) пластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд збоку; в) пластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд спереду



а)

б)

в)

Рис. 2. Схематичне зображення фіксації вивиху акроміального кінця ключиці спеціалізованою пластиною та гвинтами: а) пластика дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд спереду; б) пластика зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд спереду; в) пластика зв'язок акроміально-акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичних зв'язок, вигляд згори

Таблиця 1

Характеристика пацієнтів із застарілим (хронічним) вивихом акроміального кінця ключиці

Характеристика	I група	II група	P-values
Кількість пацієнтів	19	22	–
Вік, роки	32,4±9,1	35,4±12,9	0,125
Стать (чоловіки / жінки)	18 / 1	18 / 4	0,217
Правий / лівий / обидва акроміально-ключичні суглоби	12 / 7 / 0	11 / 11 / 0	0,898
Середній термін від моменту травми до операції, днів	463,9±905,6	309,6±427,5	0,001
Довжина доступу, см	3,3±2,6	8,1±3,5	<0,05

Таблиця 2

Розподіл оперативних втручань при застарілому (хронічному) вивиху акроміального кінця ключиці

Клінічна група	Назва операції	Кількість хворих	
		абс.	%
I група	Артроскопія плечового суглоба, дебрідмент, закрите вправлення вивиху акроміального кінця ключиці з вертикальною стабілізацією (динамічною системою фіксації) та пластиною дзьобоподібно-ключичних зв'язок	6	14,6
	Артроскопія плечового суглоба, дебрідмент, закрите вправлення вивиху акроміального кінця ключиці з вертикальною стабілізацією (динамічною системою фіксації) та аутогендопластикою дзьобоподібно-ключичних зв'язок + горизонтальна стабілізація: серкляж з аутогендопластикою зв'язок акроміально-ключичного суглоба	13	31,7
Усього:		19	46,3
II група	Відкрите вправлення вивиху акроміального кінця ключиці з фіксацією спеціалізованою пластиною та гвинтами	13	31,7
	Відкрите вправлення вивиху акроміального кінця ключиці, фіксація спеціалізованою пластиною, аутогендопластика дзьобоподібно-ключичної зв'язки	7	17,1
	Відкрите вправлення вивиху акроміального кінця ключиці з фіксацією спеціалізованою пластиною та гвинтами, аутогендопластика дзьобоподібно-ключичної та акроміально-ключичних зв'язок	2	4,9
Усього:		22	53,7

функціональному етапі (6-12 тижнів) дозволявся вільний пасивний діапазон рухів у плечовому суглобі з активною допомогою. На третьому тренувальному етапі (>12 тижнів) дозволялися вправи для укріплення та зміцнення м'язів плечового поясу [11, 12]. Реабілітаційні протоколи I та II групи принципово відрізнялись термінами проведення, пацієнтам II групи рекомендовано було проведення тренувального періоду після видалення металофіксаторів.

Оцінка функції кінцівки проводилась за допомогою загальноприйнятих та поширених шкал оцінки: Oxford Shoulder Score (Patient completed, заповнюються пацієнтом), Constant – Murley

Score, Acromioclavicular Joint Instability (ACJI) Scoring System (Clinician completed, заповнюються лікарем-куратором) [13, 3, 14]. Шкала Oxford Shoulder Score – це специфічний опитувальник, який включає 12 запитань, що стосуються функціонального стану плечового суглоба, болювого синдрому та соціально-психологічного статусу пацієнта. Кожний блок включає 4 запитання, відповіді оцінюються за 5-бальною шкалою Likert (від 0 до 4). Результат суми балів становить 0-48, при цьому 48 є найкращим результатом, кількість балів від 0 до 19 оцінюється як незадовільний результат, 20-29 – задовільний, 30-39 – добрий, 40-48 – відмінний. Шкала Constant – Murley Score (CS) –

це загальноприйнятий функціональний опитувальник, який був створений із метою оцінки загального та функціонального статусу нормального або пошкодженого плечового суглоба. Максимальна кількість балів – 100, мінімальна – 8. Порівнювали хвору та здорову кінцівки. Поганим результатом вважали різницю у 30 балів, 30-21 бал – задовільним, 20-11 балів – добрим, менш ніж 11 балів – відмінним. Шкала Acromioclavicular Joint Instability (ACJI) Scoring System – специфічна шкала для оцінки функціонального стану акроміально-ключичного суглоба, описана Scheibel et al. в 2011 році. Максимальна кількість балів – 100: біль (20 балів), діяльність у повсякденному житті (10 балів), косметика (10 балів), рентгенологічна оцінка (35 балів).

Статистична обробка результатів дослідження наведена у вигляді електронної таблиці у програмі Microsoft® Excel для Microsoft 365 MS, після чого дані було оброблено методами математичної статистики із використанням програмного забезпечення Statistica 13.0 (“StatSoft”, США). Для опису груп застосовувалась описова статистика: розраховували середнє, похибку середнього та середньоквадратичне відхилення. Визначення достовірності різниці між групами проводили за допомогою U-критерію Манна – Уїтні. Статистичний аналіз результатів реабілітаційного лікування хворих було проведено із застосуванням однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) із використанням критерію достовірно значущої різниці за Тьюки (Tukey). Різницю параметрів вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

Результати

Було проаналізовано результати лікування 41 пацієнта із застарілим вивихом акроміального кінця ключиці. Основними скаргами всіх пацієнтів були больовий синдром при фізичному навантаженні, косметичний дефект, який локалізувався в ділянці акроміально-ключичного суглоба, відчуття нестабільності акроміального кінця ключиці при спробі віджимання від полу та на брусах, швидка втомлюваність верхньої кінцівки. На етапі передопераційного обстеження та під час артроскопічної ревізії плечового суглоба супутні внутрішньосуглобові ушкодження були виявлені у 13 пацієнтів (68,4%) I групи: пошкодження передньо-верхньої частини суглобової губи лопатки за типом SLAP I у 6 пацієнтів (31,6%), SLAP II у 5 пацієнтів (26,3%), теносиновіт сухожилка довгої голівки двоголового м'яза плеча у 7 пацієнтів (36,8%), часткове пошкодження сухожилка на-

достового м'яза плеча за типом PASTA у 3 пацієнтів (15,8%), *Pulley lesion* (пошкодження зв'язок, що утримують сухожилок довгої голівки двоголового м'яза плеча) II тип за Habermeyer у 2 пацієнтів (10,5%). На попередніх етапах лікування були проведені наступні оперативні втручання: у 3 пацієнтів (15,8%) I групи – фіксація спеціалізованою пластиною Hook (n=1), фіксація системою DogBone (n=2) та у 8 пацієнтів (36,4%) II групи – фіксація спеціалізованою пластиною Hook (n=2), фіксація спицями та залізним дротом за Вебер (n=4), черезсуглобова фіксація акроміально-ключичного суглоба гвинтом (n=2).

Для відновлення вертикальної стабільності акроміально-ключичного суглоба було проведено ауто-тендопластику дзьобоподібно-ключичних зв'язок трансплантатом сухожилка *m. semitendinosus* у 20 пацієнтів (48,8%), сухожилком *m. palmaris longus* у 4 пацієнтів (9,7%), сухожилком *m. gracilis* в 1 пацієнта (2,4%), сухожилком *m. extensor indicis proprius* в 1 пацієнта (2,4%). Для відновлення горизонтальної стабільності акроміально-ключичного суглоба було проведено ауто-тендопластику зв'язок акроміально-ключичного суглоба трансплантатом сухожилка *m. semitendinosus* у 9 пацієнтів (21,9%), сухожилком *m. gracilis* у 5 пацієнтів (12,2%), сухожилком *m. flexor carpi radialis* в 1 пацієнта (2,4%). Додатково був використаний серкляж зв'язок акроміально-ключичного суглоба шовним матеріалом 2-mm × 54-inch Arthrex FiberTape.

Термін спостереження за хворими I та II групи від операції до кінцевих результатів спостереження становив $15,7 \pm 7,2$ місяця та $24,1 \pm 10,1$ місяця ($p < 0,05$). Термін спостереження за хворими I групи (термін від операції до кінцевих результатів спостереження) та II групою (термін від операції з видаленням фіксаторів до кінцевих результатів спостереження) становив $15,7 \pm 7,2$ та $16,6 \pm 8,8$ місяця відповідно ($p = 0,412$).

За результатами, отриманими після обробки даних рентгенологічного обстеження хворих у передопераційний період, встановлено, що в проекції Zanca дзьобоподібно-ключична відстань (coraco-clavicular distance) була $15,9 \pm 5,7$ мм та $17,7 \pm 5,5$ мм ($p = 0,312$), відстань між верхнім краєм акроміального відростка лопатки та верхнім краєм акроміального кінця ключиці була $13,1 \pm 5,4$ мм та $13,9 \pm 4,9$ мм ($p = 0,618$), відстань між нижнім краєм акроміального відростка лопатки та нижнім краєм акроміального кінця ключиці була $10,2 \pm 4,2$ мм та $10,8 \pm 4,2$ мм ($p = 0,619$); в проекції Alexander: дзьобоподібно-ключична відстань (coraco-clavicular distance) була $15,2 \pm 3,6$ мм та $16,2 \pm 6,4$ мм, відстань перекриття акроміально-ключичного суглоба (overlapping length of acromioclavicular joint (OL_{AC})) була $1,4 \pm 8,2$ мм та

Функціональні результати лікування пацієнтів із застарілим вивихом акроміального кінця ключиці

Функціональні шкали оцінки	I група	II група	P-value
Шкала Oxford Shoulder, перед операцією, бали	31,5±7,7	33,3±4,2	0,347
Шкала Oxford Shoulder, наприкінці спостереження, бали	46±2,6	46,1±1,6	0,934
Шкала Constant – Murley, перед операцією, бали	68,9±12,4	69,7±14,5	0,863
Шкала Constant – Murley, наприкінці спостереження, бали	94,2±7,7	96,5±3,9	0,291
Шкала Acromioclavicular Joint Instability Scoring System, перед операцією, бали	31,3±9,5	25,1±8,2	0,087
Шкала Acromioclavicular Joint Instability Scoring System, наприкінці спостереження, бали	79,9±16,7	75,7±9,1	0,422

1,3±10,1 мм ($p=0,975$); в аксіальній проекції: відстань між переднім краєм акроміального відростка лопатки та акроміальним кінцем ключиці була 2,8±1,3 мм та 2,5±1,1 мм ($p=0,401$) в I та II групі відповідно. Результати рентгенологічного обстеження під час кінцевого спостереження становили в проекції Zanca: дзобоподібно-ключична відстань (coraco-clavicular distance) була 10,1±3,4 мм та 11,1±2,8 мм ($p=0,393$), відстань між верхнім краєм акроміального відростка лопатки та верхнім краєм акроміального кінця ключиці була 7,5±3,2 мм та 7,6±5,3 мм ($p=0,983$), відстань між нижнім краєм акроміального відростка лопатки та нижнім краєм акроміального кінця ключиці була 5,4±3,1 мм та 8,1±4,4 мм ($p=0,172$); в проекції Alexander: дзобоподібно-ключична відстань (coraco-clavicular distance) була 9,6±3,4 мм та 14,3±4,2 мм ($p<0,05$), відстань перекриття акроміально-ключичного суглоба (overlapping length of acromioclavicular joint (OL_{AC})) була 8,4±7,6 мм та 2,2±5,5 мм ($p<0,05$); в аксіальній проекції: відстань між переднім краєм акроміального відростка лопатки та акроміальним кінцем ключиці була 2,5±0,7 мм та 2,1±0,6 мм ($p=0,074$) в I та II групі відповідно.

Аналіз функціональних результатів за шкалою Oxford Shoulder, Constant – Murley та Acromioclavicular Joint Instability Scoring System показав достовірно позитивну динаміку лікування пацієнтів в обох групах під час проведення фінального огляду (табл. 3).

Функціональний результат за шкалою Oxford Shoulder в II групі в термін перед операцією з приводу фіксації вивиху акроміального кінця ключиці та операції з приводу видалення металофіксаторів становив 33,3±4,2 та 35,9±3,8 бала ($p=0,058$), за шкалою Constant – Murley становив 69,7±14,5 та 74,9±7,7 ($p=0,208$) відповідно. Достовірної різниці не виявлено, оскільки під час фіксації вивиху

акроміального кінця ключиці спеціалізованою пластиною пацієнтам не була рекомендована активна елевація та згинання верхньої кінцівки в плечовому суглобі понад 90°, зберігався больовий синдром за рахунок наявності металофіксатора. За шкалою Acromioclavicular Joint Instability Scoring System результат становив 25,1±8,2 та 68,1±9,9 бала ($p<0,05$). Різниця показників була достовірною завдяки фіксації вивиху акроміального кінця ключиці спеціалізованою пластиною, завдяки якій в усіх пацієнтів акроміальний кінець ключиці був у вправленому положенні.

Проведено аналіз результатів реабілітаційного лікування 28 пацієнтів (68,3%), із них I групи 11 пацієнтів (57,9%) та II групи 17 пацієнтів (77,3%) із застарілим (хронічним) вивихом акроміального кінця ключиці, які були розподілені за такими критеріями:

- реабілітаційне лікування (заняття з лікарем лікувальної фізкультури амбулаторно або у реабілітаційному відділенні) за стандартною методикою відповідно до запропонованого протоколу лікування – “Стандартний протокол” (6 пацієнтів (17,9%) I групи та 10 пацієнтів (24,4%) II групи);

- реабілітаційне лікування самостійно за наданими рекомендаціями за стандартною методикою відповідно до запропонованого протоколу реабілітації – “Самостійний протокол” (4 пацієнти (9,6%) I групи та 5 пацієнтів (12,2%) II групи);

- реабілітаційне лікування за стандартною методикою відповідно до запропонованого протоколу реабілітації не проходили, в післяопераційний період іммобілізація верхньої кінцівки не проводилась – “Без реабілітації” (1 пацієнт (2,4%) I групи та 2 пацієнти (4,9%) II групи).

Аналізуючи дані діаграми пацієнтів I та II групи (рис. 3), можна зазначити, що елевація верхньої кінцівки у пацієнтів I групи, які проходили

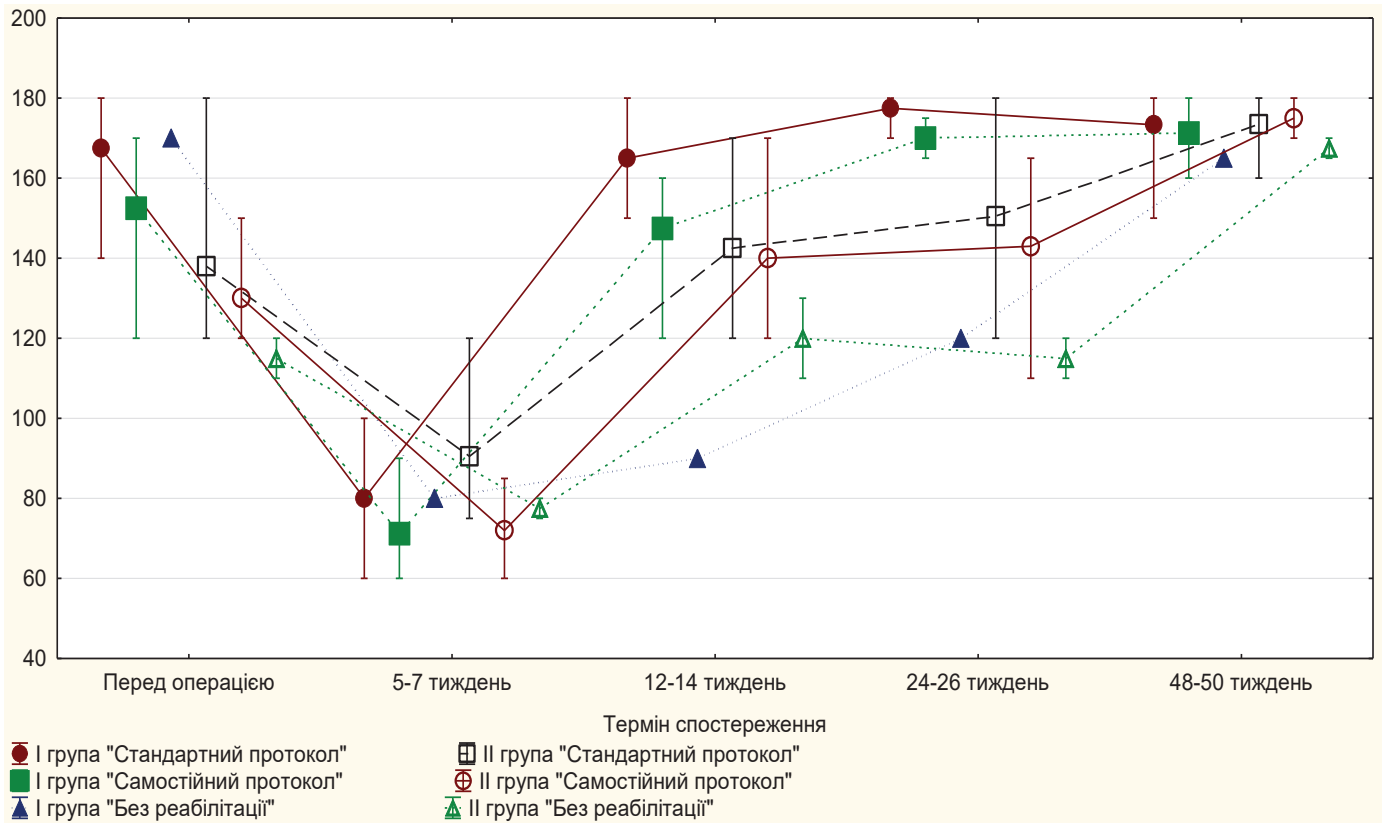


Рис. 3. Діаграма. Порівняльний аналіз кінематики елевації верхньої кінцівки залежно від програми реабілітації під час контрольних оглядів: до операції, на 5-7, 12-14, 24-26 та 48-50 тижні у пацієнтів із застарілим (хронічним) вивихом акроміального кінця ключиці

реабілітаційне лікування за програмою “Стандартний протокол” та “Самостійний протокол” достовірно збільшувалась на кожному контрольному огляді та досягла свого максимуму $173,3^0 \pm 11,7^0$ та $173,5^0 \pm 6,3^0$ через 48-50 тижнів спостереження, статистичної різниці результатів між групами не виявлено ($p=0,971$). Пацієнти обох груп, які ігнорували рекомендації з приводу реабілітаційного протоколу, мали достовірно нижчі результати елевації верхньої кінцівки на контрольних оглядах в порівнянні з тими пацієнтами, що дотримувались рекомендацій, та при фінальному огляді ($p<0,05$). У пацієнтів II групи через 12 та 24 тижні результати елевації верхньої кінцівки достовірно відрізнялись ($p<0,05$) від пацієнтів I групи за рахунок фіксації спеціалізованою пластиною, наявності ротаційної та привідної контрактури плечового суглоба.

Аналіз результатів лікування виявив ускладнення в обох групах. I група: 5 пацієнтів (26,3%) із рецидивом або підвивихом акроміального кінця ключиці, 7 пацієнтів (36,8%) із посттравматичним деформуючим артрозом акроміально-ключичного суглоба II-IV ступеня за Kellgren – Lawrence, в 1 пацієнта (5,3%) інфекція ділянки оперативного втручання, йому було проведено консервативне

лікування (дебрідмент, перев'язки та антибіотики перорально (Levofloxacin 500 мг протягом 3 тижнів)), у 2 пацієнтів (10,5%) була латералізація, й у 1 пацієнта (5,3%) – медіалізація положення фіксатора на дзьобоподібному відростку лопатки, у 2 пацієнтів (10,5%) було розширення каналу фіксатора (Tunnel widening). II група: у 17 пацієнтів (77,%) спостерігався посттравматичний деформуючий артроз акроміально-ключичного суглоба II-IV ступеня за Kellgren – Lawrence, у 15 пацієнтів (68,2%) – остеоліз акроміального відростка лопатки за рахунок гачка спеціалізованої пластини, у 6 пацієнтів (27,3%) був остеоліз акроміального кінця ключиці, у 8 пацієнтів (36,4%) – повторний вивих або підвивих в акроміально-ключичному суглобі, у 2 пацієнтів (9,1%) – інфекція ділянки оперативного втручання. Проте не було значних ускладнень, таких як перелом ключиці, акроміального або дзьобоподібного відростка лопатки, які б призвели до реконструктивних втручань.

Обговорення

У 1861 р. Е. Соорер та ін. вперше описали методику хірургічного лікування вивихів акроміально-

го кінця ключиці [15]. У 1941 р. Mumford популяризував методику ізольованої резекції дистального відділу ключиці для лікування хронічного вивиху в акроміально-ключичному суглобі, проте остання не отримала широкого розповсюдження через розвиток ще більшої нестабільності суглоба. Незважаючи на незадовільні результати лікування у вигляді ізольованої процедури, сьогодні методика Mumford широко використовується як етап у лікуванні хронічної нестабільності та деформуючого артрозу акроміально-ключичного суглоба [16]. У 1968 р. Neviaser та Cadenat описали методику транспозиції фрагмента дзьобоподібного відростка лопатки разом із сухожилками *m. coracobrachialis* та *biceps brachii* з фіксацією до зовнішнього краю ключиці. Транспонований сухожилок виконував роль депресора ключиці та не відновлював біомеханіку акроміально-ключичного суглоба [17, 18]. У 1972 р. Weaver та Dunn описали транспозицію дзьобоподібно-акроміальної зв'язки з фіксацією до акроміального кінця ключиці [19]. Було проведено декілька модифікацій цієї методики: додаткова фіксація спеціалізованою пластиною, фіксація шовним матеріалом PDS, фіксація динамічним типом фіксації [20]. Клінічні результати були однакові, проте перевага PDS та динамічних типів фіксації у відсутності необхідності другої операції з приводу видалення фіксатора [21]. Незважаючи на прийнятні функціональні результати, біомеханічні дослідження показали, що транспозиція дзьобоподібно-акроміальної зв'язки має лише 25% нативної міцності дзьобоподібно-ключичної зв'язки. У 2001 р. Jones та ін. опублікували методику анатомічного відновлення дзьобоподібно-ключичної зв'язки сухожилним аутоотрансплантатом *m. semitendinosus* [22]. Біомеханічні дослідження довели важливість анатомічного відновлення та пластики дзьобоподібно-ключичних зв'язок сухожилними трансплантатами [23]. Scheibel та ін. довели необхідність відновлення зв'язок акроміально-ключичного суглоба як горизонтального стабілізатора, оскільки незрощення цих зв'язок призводить до хронічного больового синдрому та порушення функції плечового суглоба в післяопераційний період [3].

Однією з переваг артроскопічно-асистованого втручання є можливість діагностики і відновлення супутньої внутрішньосуглобової патології плечового суглоба, яка, за даними наукових публікацій, діагностується від 19,9 до 53% пацієнтів із травматичними вивихами акроміального кінця ключиці [24, 25]. У нашому дослідженні супутні пошкодження було діагностовано у 68,4% пацієнтів, найбільш поширеними були пошкодження передньо-верхньої частини суглобової губи лопатки SLAP I та II типу та теносиновіт сухожилка довгої голівки

двоголового м'яза плеча, що потребували активної хірургічної тактики. Відповідно, навіть при відкритому лікуванні вивихів акроміального кінця ключиці рекомендовано виконувати діагностично-лікувальну артроскопію плечового суглоба.

Протягом багатьох років методика реабілітації хворих, яким виконано реконструктивні оперативне відновлення структур акроміально-ключичного суглоба, неодноразово змінювалась. Це було пов'язано з постійним удосконаленням технологій оперативного втручання, переходом від повного знерухомлення акроміально-ключичного суглоба до динамічних методик фіксації зі збереженням анатомічних рухів у суглобі. Провідні фірми-виробники фіксаторів вивиху акроміального кінця ключиці рекомендують іммобілізацію верхньої кінцівки в післяопераційний період на період від 4 до 6 тижнів. У нашому дослідженні у пацієнтів, які проходили реабілітаційне лікування згідно з протоколом, відмічено швидке відновлення функції плечового суглоба та зменшення кількості можливих післяопераційних ускладнень. Збільшення терміну іммобілізації прооперованої кінцівки до 6 тижнів у хворих після реконструктивних операцій на акроміально-ключичному суглобі сприяло формуванню кращого зрощення між сухожилним аутоотрансплантатом та кісткою, що тим самим покращило функціональні результати лікування.

Висновки

Дотримання протоколу клініко-інструментальної діагностики, чітких показань до відповідного хірургічного та реабілітаційного лікування забезпечує добрі функціональні результати. Використання динамічної методики фіксації вивиху акроміального кінця ключиці приводить до більш швидкого початку функціонального та тренувального періоду реабілітаційного лікування, сприяє кращим косметичним результатам та не потребує повторного оперативного втручання з приводу видалення металофіксаторів. Аналіз функціональних результатів лікування пацієнтів із вивихом акроміального кінця ключиці за шкалою Oxford Shoulder, Constant – Murley та Acromioclavicular Joint Instability Scoring System показав позитивну динаміку та не виявив достовірної різниці показників ($p > 0,05$) при використанні динамічної методики фіксації та спеціалізованої пластини з біологічною аугментацією зв'язок акроміально-ключичного суглоба та дзьобоподібно-ключичної зв'язки під час проведення фінального огляду.

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

References

- Garcia AV, Castillo FS, Giordani ME, Mura J. Anteroinferior bundle of the acromioclavicular ligament plays a substantial role in the joint function during shoulder elevation and horizontal adduction: A finite element model. *J Orthop Surg Res.* 2022 Feb 5;17(1):73. DOI: 10.1186/s13018-022-02966-0. PMID: 35123523; PMCID: PMC8818233
- Keener JD. Acromioclavicular joint anatomy and biomechanics. *Oper Tech Sports Med.* 2014 Sep; 22(3): 210-13. DOI: 10.1053/j.otsm.2014.02.018.
- Scheibel M, Dröschel S, Gerhardt C, Kraus N. Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *The Am J Sports Med.* 2011 Jul;39(7):1507-16. DOI: 10.1177/0363546511399379.
- Faria RS, Ribeiro FR, Amin BO, Tenor Junior AC, Costa MP, Filardi Filho CS, et al. Acromioclavicular dislocation: post-operative evaluation of the coracoclavicular ligaments using magnetic resonance. *Rev Bras Ortop.* 2015 Apr 24;50(2):195-9. DOI: 10.1016/j.rboe.2015.04.007. PMID: 26229916; PMCID: PMC4519617.
- Cano-Martínez JA, Nicolás-Serrano G, Bento-Gerard J, Marín FP, Grau JA, Antón ML. Chronic acromioclavicular dislocations: multidirectional stabilization without grafting. *JSES Int.* 2020 May 26;4(3):519-531. DOI: 10.1016/j.jseint.2020.04.014. PMID: 32939479; PMCID: PMC7479045.
- Weinstein DM, McCann PD, McIlveen SJ, Flatow EL, Bigliani LU. Surgical Treatment of Complete Acromioclavicular Dislocations. *Am J Sports Med.* 1995 May-Jun;23(3):324-31. DOI: 10.1177/036354659502300313. PMID: 7661261.
- Carbone S, Postacchini R, Gumina S. Scapular dyskinesia and SICK syndrome in patients with a chronic type III acromioclavicular dislocation. Results of rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015 May;23(5):1473-80. DOI: 10.1007/s00167-014-2844-5. Epub 2014 Jan 24. PMID: 24458335.
- Murena L, Canton G, Vulcano E, Cherubino P. Scapular dyskinesia and SICK scapula syndrome following surgical treatment of type III acute acromioclavicular dislocations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013 May;21(5):1146-50. DOI: 10.1007/s00167-012-1959-9. Epub 2012 Mar 30. PMID: 22461014.
- Minkus M, Hann C, Scheibel M, Kraus N. Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander views and correlation with clinical and radiological parameters in patients with acute acromioclavicular joint instability. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017 Jun;137(6):845-852. DOI: 10.1007/s00402-017-2691-1. Epub 2017 Apr 17. PMID: 28417201.
- White LM, Ehmann J, Bleakney RR, Griffin AM, Theodoropoulos J. Acromioclavicular Joint Injuries in Professional Ice Hockey Players: Epidemiologic and MRI Findings and Association With Return to Play. *Orthop J Sports Med.* 2020 Nov 19;8(11):2325967120964474. DOI: 10.1177/2325967120964474. PMID: 33283007; PMCID: PMC7686611.
- Cote MP, Wojcik KE, Gomlinski G, Mazzocca AD. Rehabilitation of acromioclavicular joint separations: operative and nonoperative considerations. *Clin Sports Med.* 2010 Apr;29(2):213-28, vii. DOI: 10.1016/j.csm.2009.12.002. PMID: 20226315.
- LeVasseur MR, Mancini MR, Berthold DP, Cusano A, McCann GP, Cote MM, et al. Acromioclavicular Joint Injuries: Effective Rehabilitation. *Open Access J Sports Med.* 2021 May 28;12:73-85. DOI: 10.2147/OAJSM.S244283. PMID: 34093044; PMCID: PMC8169819.
- Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res.* 1987 Jan;(214):160-4. PMID: 3791738.
- Dawson J, Rogers K, Fitzpatrick R, Carr A. The Oxford shoulder score revisited. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009 Jan;129(1):119-23. DOI: 10.1007/s00402-007-0549-7. Epub 2008 Jan 9. PMID: 18183410.
- Cooper E. New method of treating long standing dislocations of the scapuloclavicular articulation. *Am J Med Sci.* 1861;1:389-92.
- Mumford EB. Acromioclavicular dislocation A new operative treatment. *J Bone Joint Surg.* 1941 Oct;23(4):799-802.
- Neviaser S. Acromioclavicular dislocation treated by transference of the coraco-acromial ligament. A long-term follow-up in a series of 112 cases. *Clin Orthop Relat Res.* 1968 May-Jun;58:57-68. PMID: 5666868.
- Cadenat F. The treatment of dislocations and fractures of the outer end of the clavicle. *Int Clin.* 1917; 1: 145-169.
- Weaver JK, Dunn HK. Treatment of Acromioclavicular Injuries, Especially Complete Acromioclavicular Separation. *J Bone Joint Surg Am.* 1972 Sep;54(6):1187-94. PMID: 4652050.
- Verstift DE, Somford MP, van Deurzen DE, van den Bekerom MP. Review of Weaver and Dunn on treatment of acromioclavicular injuries, especially complete acromioclavicular separation. *J ISAKOS.* 2021 Mar;6(2):116-119. DOI: 10.1136/jisakos-2019-000299. Epub 2020 Sep 24. PMID: 33832985.
- Boström Windhamre HA, von Heideken JP, Une-Larsson VE, Ekelund AL. Surgical treatment of chronic acromioclavicular dislocations: a comparative study of Weaver-Dunn augmented with PDS-braid or hook plate. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010 Oct;19(7):1040-8 DOI: 10.1016/j.jse.2010.02.006. Epub 2010 May 10. PMID: 20452245.
- Jones P, Lemos J, Schepsis. Salvage of failed acromioclavicular joint reconstruction using autogenous semitendinosus tendon from the knee. *Am J Sports Med.* 2001 Mar-Apr;29(2):234-7. DOI: 10.1177/03635465010290022001. PMID: 11292052.
- Motamedi AR, Blevins FT, Willis MC, McNally TP, Shahinpoor M. Biomechanics of the coracoclavicular ligament complex and augmentations used in its repair and reconstruction. *Am J Sports Med.* 2000 May-Jun;28(3):380-4. DOI: 10.1177/03635465000280031701. PMID: 10843132.
- Jensen G, Millett PJ, Tahal DS, Al Ibadi M, Lill H, Katthagen JC. Concomitant glenohumeral pathologies associated with acute and chronic grade III and grade V acromioclavicular joint injuries. *Int Orthop.* 2017 Aug; 41(8):1633-1640. DOI: 10.1007/s00264-017-3469-3. Epub 2017 Apr 28. PMID: 28455736.
- Ruiz Ibán MA, Moreno Romero MS, Diaz Heredia J, Ruiz Díaz R, Muriel A, López-Alcalde J. The prevalence of intraarticular associated lesions after acute acromioclavicular joint injuries is 20%. A systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021 Jul;29(7):2024-2038. DOI: 10.1007/s00167-020-05917-6. Epub 2020 Mar 16. PMID: 32179968.

Results of Surgical Treatment of Patients with Chronic Acromioclavicular Joint Dislocations

Bezruchenko S.O.¹, Dolhopolov O.V.¹, Yuriichuk L.M.¹, Yarova M.L.¹, Bobdan S.V.¹, Siforov D.V.¹
¹SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

Summary. Relevance. Treatment of chronic acromioclavicular joint dislocations remains a controversial issue and ranges from conservative treatment to extensive reconstruction. **Objective:** to compare clinical and radiographic results of surgical treatment of patients with chronic acromioclavicular joint dislocation. **Materials and Methods.** A retrospective analysis of 41 patients with chronic acromioclavicular joint dislocation was performed (time from the injury was more than 3 weeks). The patients were divided into two groups: group I (19 patients, 46.3%), which underwent arthroscopically assisted dynamic type of acromioclavicular joint dislocation stabilization with acromioclavicular and coracoclavicular ligaments augmentation, and group II (22 patients, 53.7%), which underwent fixation of acromioclavicular joint dislocation with Hook-plate and acromioclavicular and coracoclavicular ligaments augmentation. The mean age at surgery was 34.1 ± 11.2 years (range 18-70 years). Most of the patients were males – 36 patients (87.8%). Clinical outcomes were assessed using the Oxford Shoulder Score, Constant – Murley Score, and Acromioclavicular Joint Instability Scoring System. **Results.** The mean Oxford Shoulder score before surgical treatment was 31.5 ± 7.7 points and 33.3 ± 4.2 points ($p=0.347$), and at the final follow-up 46 ± 2.6 points and 46.1 ± 1.6 points – in group I and group II, respectively. The mean Constant – Murley score before surgical treatment was 68.9 ± 12.4 points and 69.7 ± 14.5 points ($p=0.863$), and at the final follow-up 94.2 ± 7.7 points and 96.5 ± 3.9 points ($p=0.291$). The mean Acromioclavicular Joint Instability Scoring System score before surgical treatment was 31.3 ± 9.5 points and 25.1 ± 8.2 points ($p=0.087$), and at the final follow-up 79.9 ± 16.7 points and 75.7 ± 9.1 points ($p=0.422$), respectively. Concomitant intra-articular injuries of the shoulder joint were diagnosed in 68.4% of patients; the most common injuries were SLAP injury and long head of biceps tendonitis. Complications of treatment were noted in both groups, but there were no complications that would require additional reconstructive. **Conclusions.** Arthroscopic assisted dynamic fixation techniques or open fixation techniques with a specialized plate in combination with the reconstruction of acromioclavicular ligaments and coracoclavicular ligaments by tendon autografts provides good long-term functional results.

Key words: acromioclavicular joint; chronic dislocation.

MPT-діагностика уражень плечового сплетення

Гайко О.Г.¹, Третьяков Р.А.¹✉, Лисак А.С.¹

Резюме. Ураження плечового сплетення (брахіоплексопатія) вважається однією з найбільш тяжких патологій верхньої кінцівки, яка призводить до грубого порушення функції та стійкої інвалідності хворого. МРТ-діагностика є методом першої лінії візуалізації нормальної анатомії та патологічних станів плечового сплетення (ПС). **Мета.** Оптимізувати діагностику патології ПС на основі вивчення діагностичних можливостей МРТ. **Матеріали і методи.** Проведено ретроспективний аналіз МРТ-даних 62 пацієнтів із травматичним ушкодженням плечового сплетення (1-ша група) та 23 пацієнтів з ураженнями ПС нетравматичного генезу (2-га група). МРТ-обстеження проводилося на магнітно-резонансному томографі Achieva Philips із напруженістю магнітного поля 1,5 Тл з використанням послідовностей T1, T2 зважених зображень (33), 3D T2 DRIVE послідовністю з високим ступенем роздільної здатності, STIR 33 в аксіальних, сагітальних та корональних проекціях. **Результати.** МР-картина брахіоплексопатій була різноманітною, залежала від етіології ураження, рівня, ступеня тяжкості ушкодження ПС. При аналізі МРТ-досліджень пацієнтів 1-ї групи прегангліонарне ушкодження ПС було виявлено у 39 хворих (62,9%), ушкодження на рівні стовбурів – у 8 (12,9%), пучків – у 15 (24,2%). У 2-й групі порушення функції ПС було пов'язано з виявленими пухлинами нервових структур, інфільтрації, компресії ПС пухлиною інших органів чи метастазом у 21 хворого (84%), із променевим ураженням ПС – у 2 (8,7%) та виникло внаслідок захворювання – невралгічної атрофії – у 2 (8,7%). МРТ надала змогу провести диференційну діагностику патології, визначити характер та ступінь тяжкості ураження нервових структур. **Висновки.** МРТ є ефективним методом діагностики ураження ПС, завдяки якому можна визначити рівень і ступінь тяжкості ушкодження та на ранніх етапах обґрунтувати тактику подальшого лікування такої категорії хворих.

Ключові слова: плечове сплетення; МРТ; брахіоплексопатія; ураження структур плечового сплетення.

Вступ

Ураження плечового сплетення (брахіоплексопатія) вважається однією з найбільш тяжких патологій верхньої кінцівки, яка може призводити до грубого порушення функції та стійкої інвалідності хворого. Порушення функції плечового сплетення може бути наслідком травм та різних захворювань. Нетравматичні ураження можуть мати різний генез і спостерігаються у людей різного віку, натомість травматичні ушкодження більшою мірою притаманні молодим, активним людям працездатного віку. Частота випадків закритих травм плечового сплетення у США становить 0,64-3,9, у Великій Британії – 0,58, в Японії – 0,17-0,22, у Швейцарії – 0,3-0,75, у Чехії та Словаччині – 0,2, а у Бразилії – 1,75 на 100 000 населення на рік [1].

Сьогодні МРТ-діагностика є методом першої лінії для візуалізації нормальної анатомії та патологічних станів плечового сплетення (ПС) [2]. Постійні вдосконалення МР-сканерів, котушок і технології імпульсної послідовності надали можливість виконувати рутинне обстеження різних органів та структур та отримувати якісне зображення. Маючи знання про нормальну анатомію ПС та про патологічні стани, що здатні призвести до порушення його функції, використовуючи нові технології обстеження на високопольних томографах, рентгенологи можуть надати цінні дані для неврологів, нейрохірургів та травматологів-ортопедів.

Магнітно-резонансна нейрографія (МРН) – це комплекс зображень магнітно-резонансних послідовностей для візуалізації периферійних нервів та оцінки навколишніх структур. МРН дозволяє диференціювати м'які тканини, візуалізувати нервові

✉ Третьяков Р.А., 4437803@gmail.com

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

структури у 3 вимірах та проводити ранню оцінку стану цільових ключових м'язів залежно від характеру зміни їх МР-сигналу.

Незважаючи на значний накопичений світовий досвід у лікуванні патології ПС, питання діагностики та диференційної діагностики брахіоплексопатії сьогодні залишається досить актуальним.

Мета – оптимізувати діагностику патології ПС на основі вивчення діагностичних можливостей магнітно-резонансної томографії (МРТ).

Матеріали і методи

Проведено ретроспективний аналіз МРТ-даних 62 пацієнтів із травматичними ураженнями плечового плетення (1-ша група: середній вік – $25,2 \pm 1,8$ року) та 23 пацієнтів з ураженнями нетравматичного характеру (2-га група: середній вік – $42,1 \pm 2,1$ року). В обох групах переважали чоловіки – 54 (87,1%) та 13 (56,5 %) відповідно.

МРТ-обстеження проводилося на магнітно-резонансному томографі Achieva виробництва Philips із напруженістю магнітного поля 1,5 Тл із використанням послідовностей T1 та T2 зважених зображень, 3D T2 DRIVE послідовністю з високим ступенем роздільної здатності (T2 weighted turbo spin echo sequence) в протоколі T2W VISTA у Philips, STIR послідовністю з пригніченням сигналу від жирової тканини. При дослідженні була використана котушка (різновидність / призначення котушок – “для тіла”, “Body Coil”). Отримані зображення в аксіальних, сагітальних та корональних проекціях та деякі зображення з можливістю реконструкції в будь-якій площині дозволяли одержати інформацію як безпосередньо про структури плечового сплетення, так і про стан корінців шийного відділу хребта. Окрім МРТ, деяким пацієнтам виконували мультидетекторну комп'ютерну томографію (МДКТ) на 16-зрізовому комп'ютерному томографі Brilliance CT 16 slices Philips для оцінки анатомії (при підозрі на наявність додаткових шийних ребер, подовження поперечних виростків чи екзостозів шийних хребців); для оцінки судинних структур над- та підключичної ділянки (КТ-ангіографія); оцінки функції діафрагми, яка забезпечує наповнення легень повітрям – спирометрична функція (у разі ураження діафрагмального нерва при виконанні функціонального рентгенівського дослідження визначається відсутність руху діафрагми при вдиху-видиху); та також у разі підозри на неопластичне ураження для визначення первинного неопластичного вогнища та/або метастатичного ураження інших органів та тканин.

Результати та обговорення

При аналізі МРТ-досліджень пацієнтів 1-ї групи (62 пацієнти) розподіл травматичних уражень плечового сплетення був наступним:

а) прегангліонарні ушкодження (авульсія корінців) – 39 пацієнтів (62,9%), з яких:

– авульсія корінців за “верхнім типом” (корінці C5-C7) – 12 пацієнтів;

– авульсія корінців за “нижнім типом” (корінці C7-T1) – 6 пацієнтів;

– тотальна авульсія корінців (корінці C5-T1) – 21 пацієнт.

б) ушкодження стовбурів ПС – 8 пацієнтів (12,9%).

в) ушкодження пучків ПС – 15 пацієнтів (24,2%).

Переважну кількість випадків із прегангліонарним ушкодженням ми пов'язували з тим, що найчастіше на МРТ-обстеження скеровуються пацієнти з підозрою на тяжку ступінь ушкодження ПС, особливо – авульсію корінців.

У 2-й групі (23 пацієнти) серед встановлених причин у пацієнтів із нетравматичними ураженнями плечового сплетення були:

– пухлини нервових структур, інфільтрація та/або компресія плечового сплетення пухлиною – 19 пацієнтів (82,6 %);

– променеве ураження ПС – 2 пацієнти (8,7%);

– невралгічна аміотрофія – 2 пацієнти (8,7%).

Для розуміння МРТ-патології важливим є знання нормальної анатомії ПС (рис. 1) та МРТ-зрізів плечового сплетення в нормі (рис. 2). Плечове сплетення починається із задніх (чутливих) та передніх (рухливих) корінчиків, що відходять від C5-T1 сегментів спинного мозку (рис. 1).

Об'єднуючись, корінчики утворюють корінці, які виходять зі спинномозкового каналу. Далі передні гілки спинномозкових нервів C5-C6 зливаються, утворюючи верхній стовбур, середній стовбур є продовженням корінця C7, а нижній стовбур утворюється шляхом об'єднання корінців C8 та T1 (рис. 1). Проходячи у підключичний простір, стовбури діляться на передні та задні відділи. Передні відділи верхнього та середнього стовбурів утворюють латеральний пучок (що розташовується з латеральної сторони підключичної артерії), передній відділ нижнього стовбура продовжується у медіальний пучок (який розташовується з медіальної сторони підключичної артерії та між артерією та однойменною веною), а задній пучок (розташовується позаду підключичної артерії) утворюється шляхом об'єднання задніх відділів усіх стовбурів.

Після виходу на плече від латерального пучка відходить м'язово-шкірний нерв, від медіального – ліктьовий нерв, а латеральний та медіальний пучки, зливаючись, утворюють серединний нерв (рис. 1).

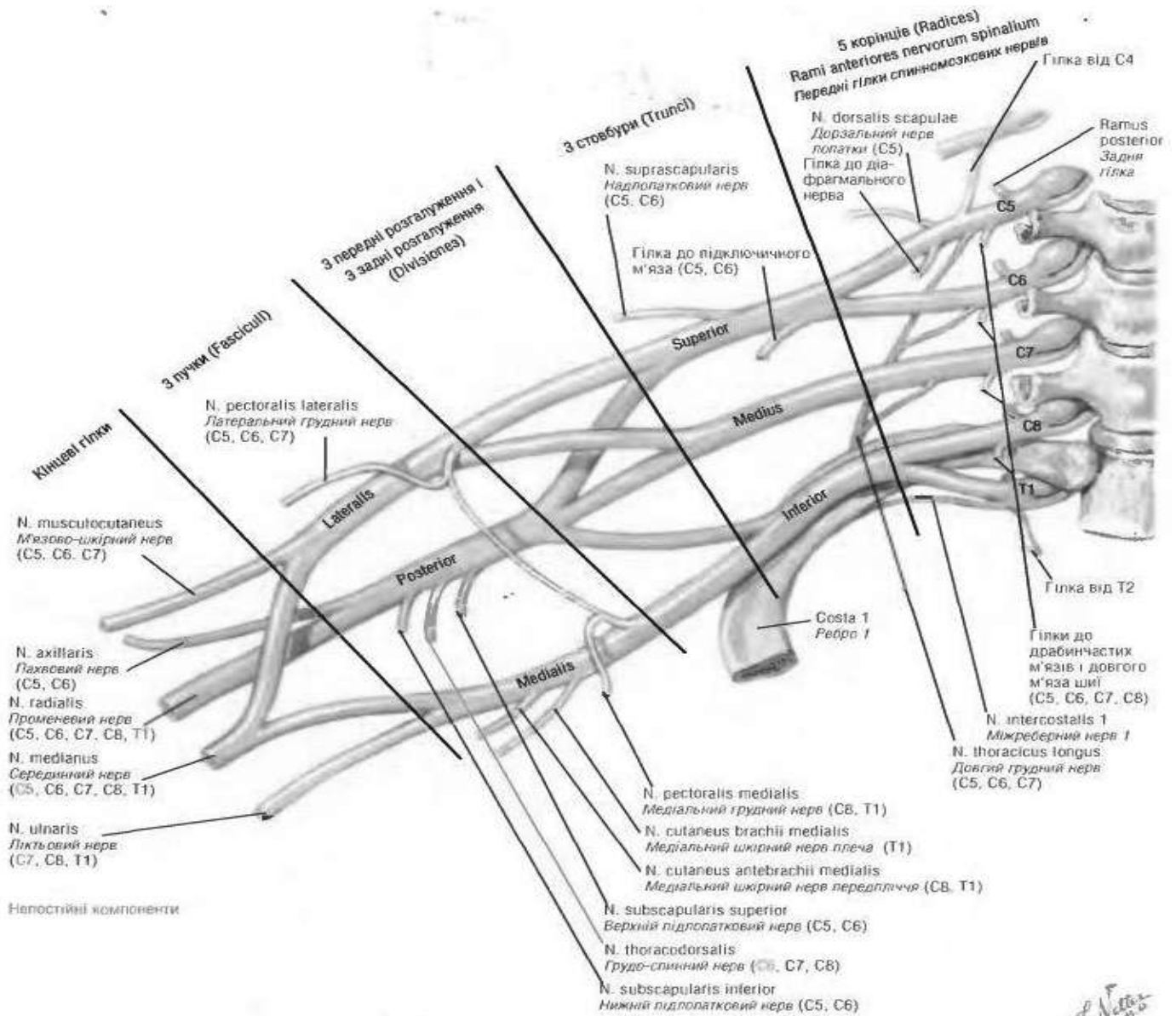
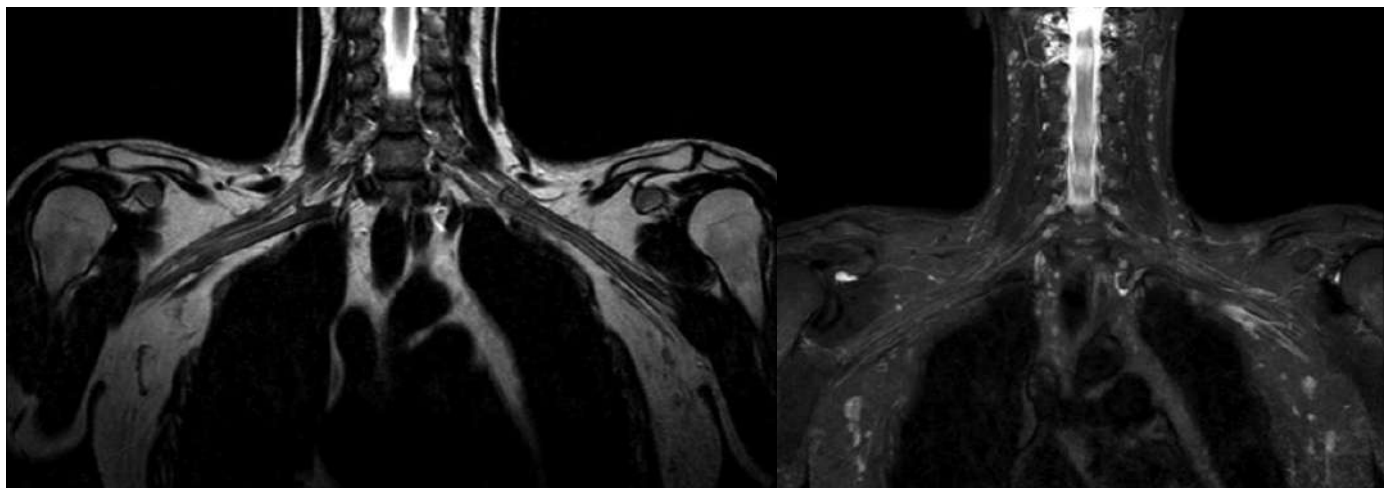


Рис. 1. Анатомія ПС у нормі



а)

б)

Рис. 2. На МР-томограмах структури ПС у нормі в корональній проекції: а) у режимі T2 33; б) у режимі STIR 33

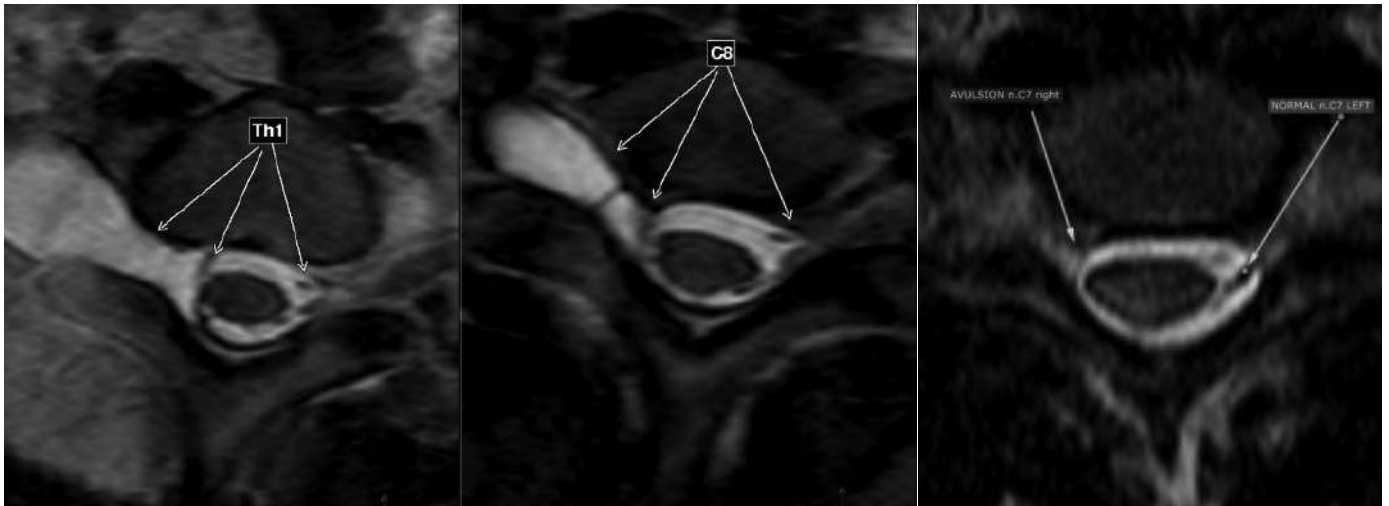


Рис. 3. На МР-томограмах у режимі T2 33 в аксіальній проекції визначається відрив правих корінців C7, C8, Th1 та псевдоменингоцеле (праворуч) на рівнях правих корінців C8, Th1

За характером та механізмом виділяють відкриті та закриті травми, за рівнем – надключичні та підключичні ушкодження ПС [3]. Травма ПС може призводити до авульсії корінців, відриву передніх гілок спинномозкових нервів, тракційного ураження або забою нервових структур у складі стовбурів чи пучків. Рідше спостерігаються розриви структур плечового сплетення.

У 39 (62,9%) хворих 1-ї групи виявлено авульсію корінців, що зараховують до прегангліонарних ушкоджень ПС.

До МРТ-ознак авульсії належать:

- порушення цілісності нервових корінців, які визначаються на зображеннях 3D T2 DRIVE (послідовність із високим ступенем роздільної здатності та можливістю мультипланарної реконструкції) та у 30% випадках мають вигляд відриву лише передніх чи лише задніх корінчиків [4] (рис. 3);
- наявність псевдоменингоцеле з чітко вираженим T2-гіперінтенсивним МР-сигналом, який характерний для спинномозкової рідини (рис. 4);
- зміщення спинного мозку в здоровий бік.

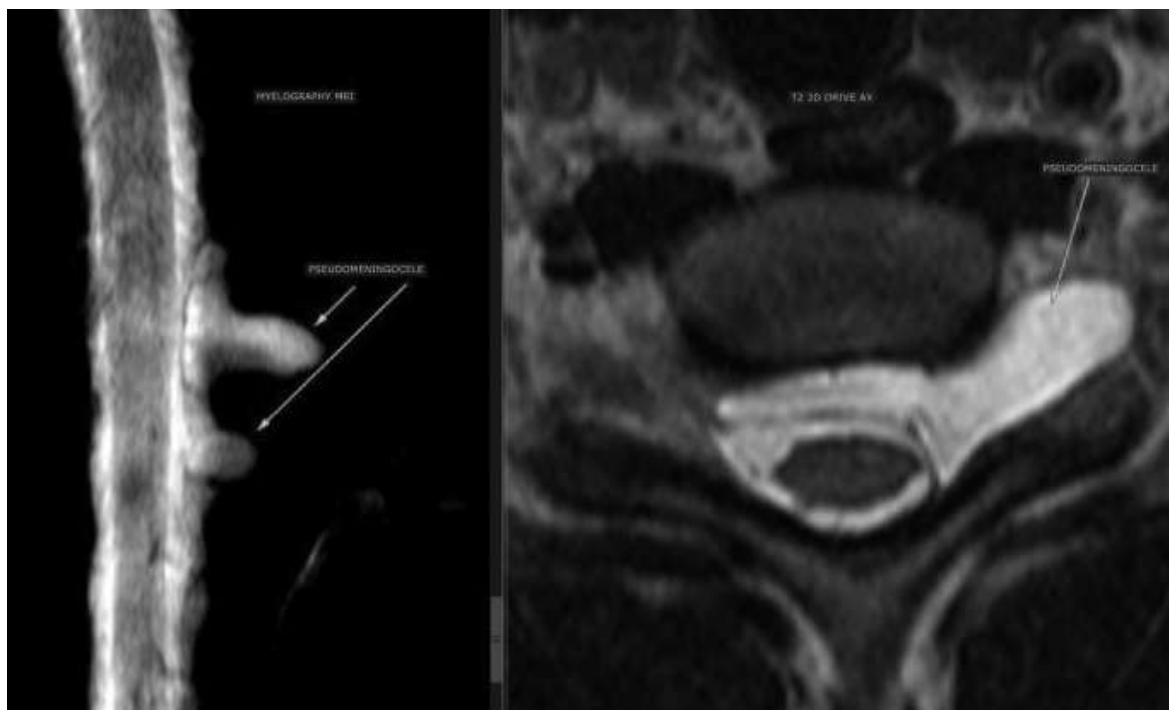


Рис. 4. На МР-томограмі визначається псевдоменингоцеле з чітко вираженим T2-гіперінтенсивним МР-сигналом, який характерний для спинномозкової рідини

Ушкодження стовбурів було виявлено у 8 (12,9%) пацієнтів. На МР-зображеннях воно визначалося у вигляді порушення цілісності нервового стовбура та набряку навколишніх м'яких тканин, що призводило до збільшення інтенсивності МР-сигналу у режимі STIR (рис. 5).

МР-ознаки відділення корінців від спинного мозку в дуральному мішку або в міжхребцевих отворах, а також анатомічний розрив структур плечового сплетення є абсолютними показаннями до хірургічного втручання у ранні терміни після травми.

Підключичні ураження пучків плечового сплетення переважно є внутрішньостовбуровими ушкодженнями (аксонотмезис різного ступеня тяжкості) та виникають внаслідок тракції нервових структур. МРТ-картина підключичних уражень була досить різноманітною і залежала від механізму, давності травми, ступеня тяжкості ушкодження невральних структур. При МРТ-дослідженні ми визначали набряк нервових структур та периневральної клітковини, фіброз (рис. 6), у деяких випадках – післятравматичні інкапсульовані гематоми, які спричиняли компресію структур плечового сплетення (рис. 7). На МР-зображеннях такі ураження проявлялися переважно посиленням МР-сигналу в STIR режимі, а гематоми – наявністю додаткових об'ємних структур у товщі плечового сплетення чи навколишніх м'яких тканин.

До чинників, які найчастіше призводять до уражень плечового сплетення нетравматичного генезу, зараховують пухлини, компресію чи інфільтрацію метастазами злоякісних пухлин та післяпроменевої фіброз. До нетравматичних брахіоплексопатій зараховують також синдром



Рис. 5. На МР-томограмі у режимі STIR 33 у корональній проекції визначається порушення цілісності стовбурів правого ПС та набряк навколишньої периневральної клітковини

грудного виходу, плексопатію аутоімунного генезу тощо.

У 2-й групі пацієнтів у 19 (82,6%) порушення функції ПС було пов'язано з виявленими МРТ-ознаками пухлини нервових структур (рис. 8) чи інфільтрації та/або компресії плечового сплетення пухлиною інших органів чи метастазом (рис. 9).



Рис. 6. На МР-томограмі у режимі STIR 33 у корональній проекції визначається набряк нервових структур

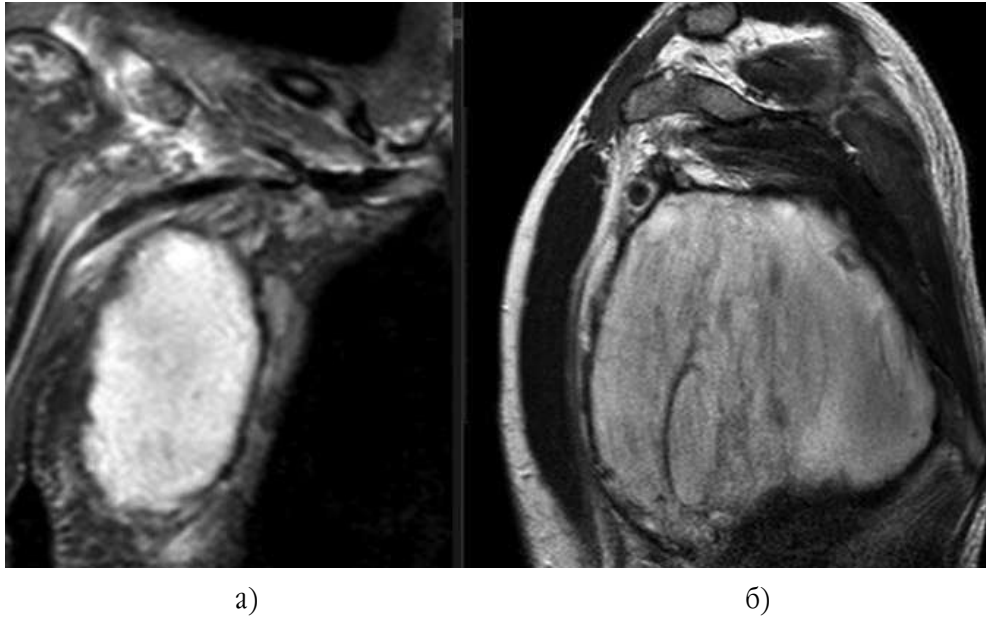


Рис. 7. На МР-томограмах у режимі STIR 33 визначається гематома правої аксиллярної ділянки правого плечового сплетення: а) у корональній проекції; б) у режимі T2 у сагітальній проекції

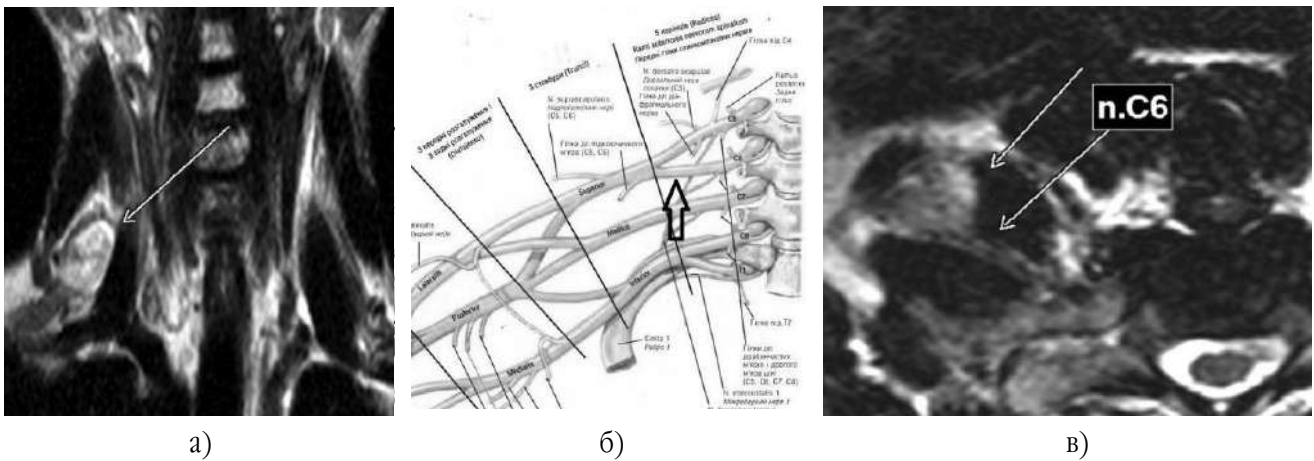


Рис. 8. На МР-томограмі невринома передньої гілки нерва С6 справа: а) режим T2 33 в корональній проекції; б) схематичне зображення правого плечового сплетення з місцем локалізації невриноми (стрілка); в) режим T2 в аксіальній проекції

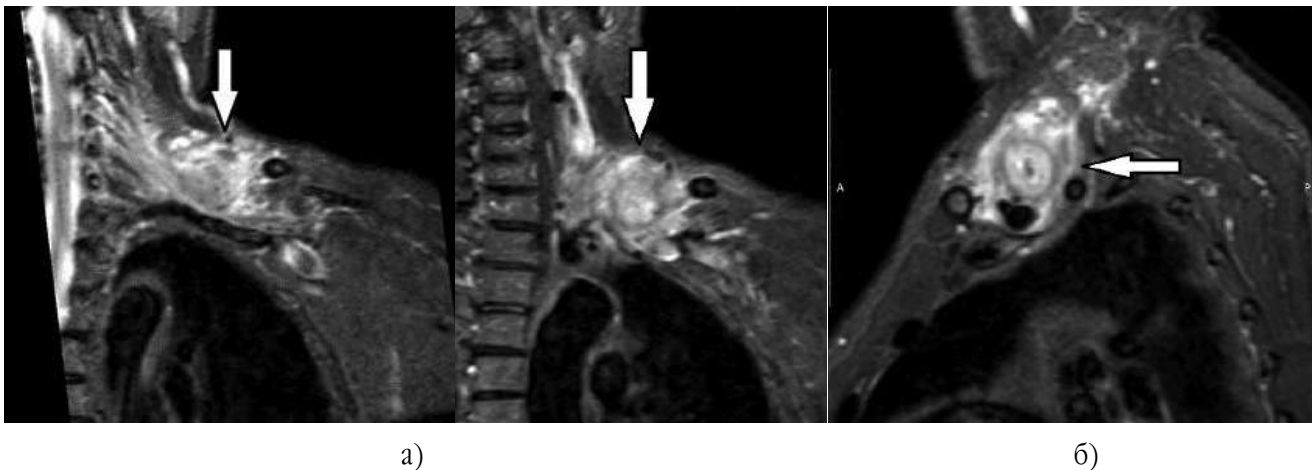


Рис. 9. На МР-томограмах у режимі STIR інфільтрація лівого плечового сплетення лімфомою: а) у корональній проекції; б) у сагітальній проекції

У нашому дослідженні переважали випадки метастатичного ураження плечевого сплетення. Карцинома молочної залози викликала плексопатію шляхом метастазування в аксилярну область (рис. 10), апікальних сегментів легень – у підключичну ділянку, а підшлункової залози – у ребра (рис. 11) [5].

Пухлини голови та шії також можуть вражати плечове сплетення як через пряму інфільтрацію (рис. 12), так і через метастатичне поширення. В одному з наших випадків причиною ураження ПС було метастазування карциноми потових залоз.

Первинні пухлини нервової тканини не є частою патологією. За даними літератури, доброякісні утворення (шваннома, нейрофіброма тощо) переважають над злоякісними (нейрофібросаркома тощо) [6]. У нашому дослідженні спостерігали тільки 2 випадки первинної пухлини структур ПС (рис. 13-15). Диференційна діагностика злоякісних та доброякісних первинних пухлин нервових структур досить складна. Великі розміри, неоднорідна структура та нечіткі контури – головні ознаки злоякісності процесу.

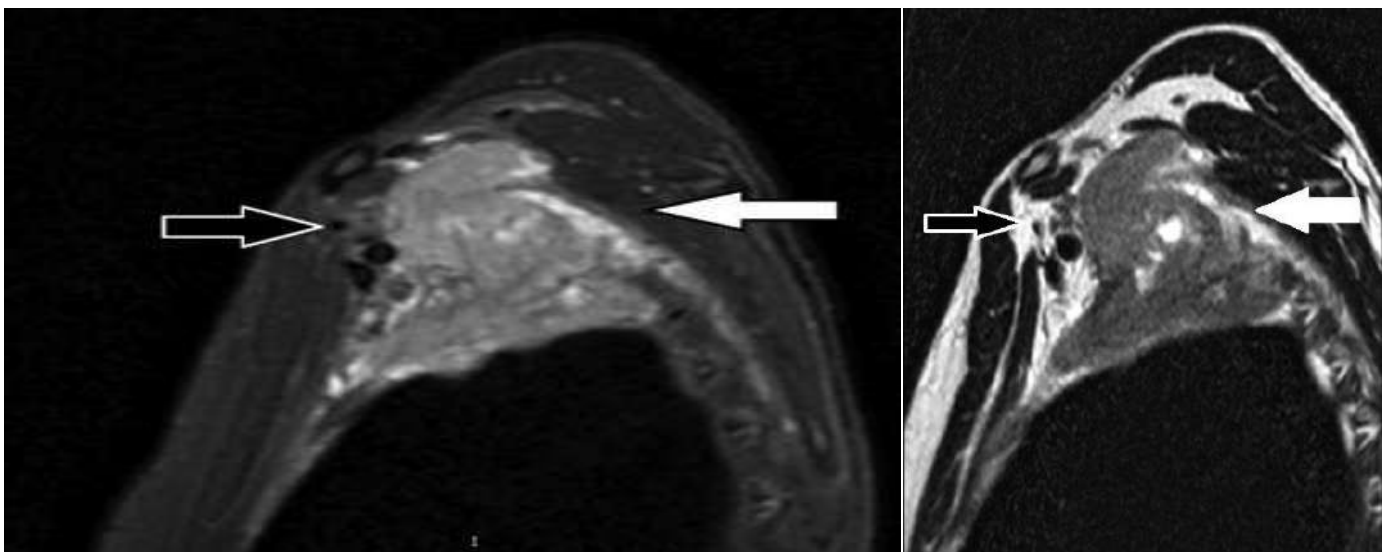


Рис. 10. На МР-томограмах у режимі STIR та T2 у сагітальній проекції визначається метастатичне ураження ребер (первинна пухлина – аденокарцинома молочної залози)

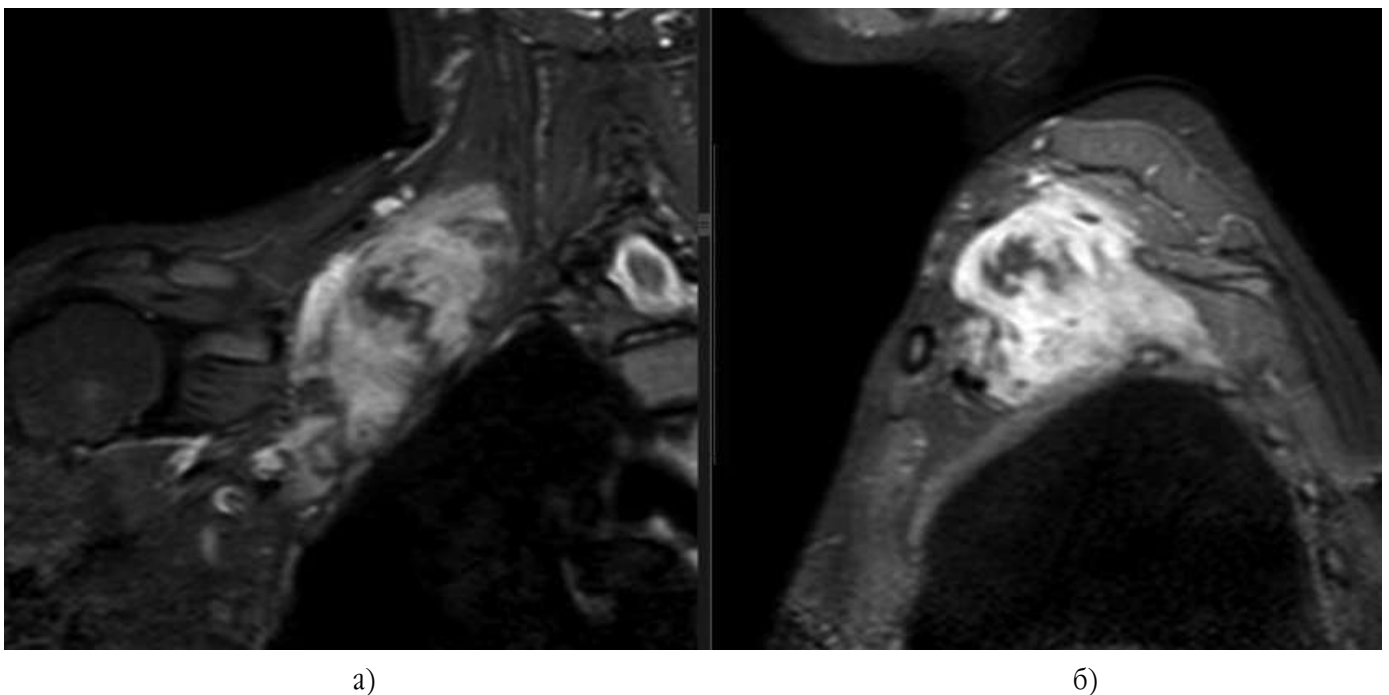
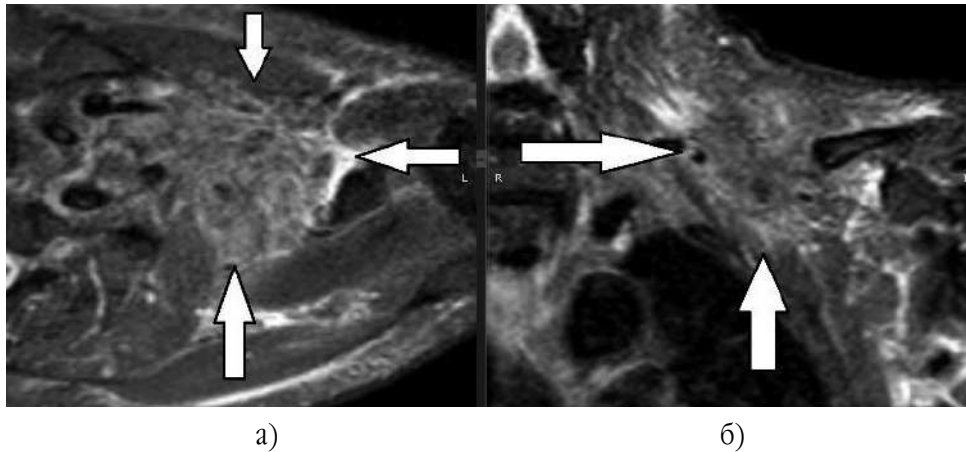


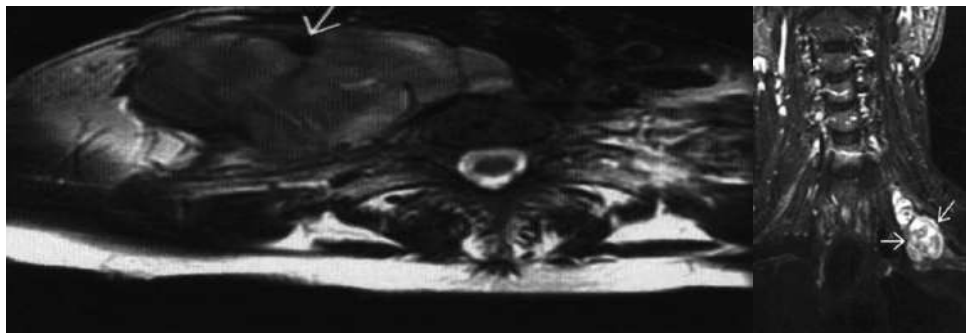
Рис. 11. На МР-томограмах у режимі STIR візуалізується метастатичне ураження ребер (первинна пухлина – аденокарцинома підшлункової залози): а) у корональній проекції; б) у сагітальній проекції



а)

б)

Рис. 12. На МР-томограмах у режимі STIR визначається метастатичне ураження надключичної ділянки (первинна пухлина – аденокарцинома потових залоз): а) в аксіальній проекції; б) у корональній проекції



а)

б)

Рис. 13. На МР-томограмах визначається нейрофібросаркома ПС: а) у режимі T2 33 в аксіальній проекції; б) у режимі STIR 33 у корональній проекції

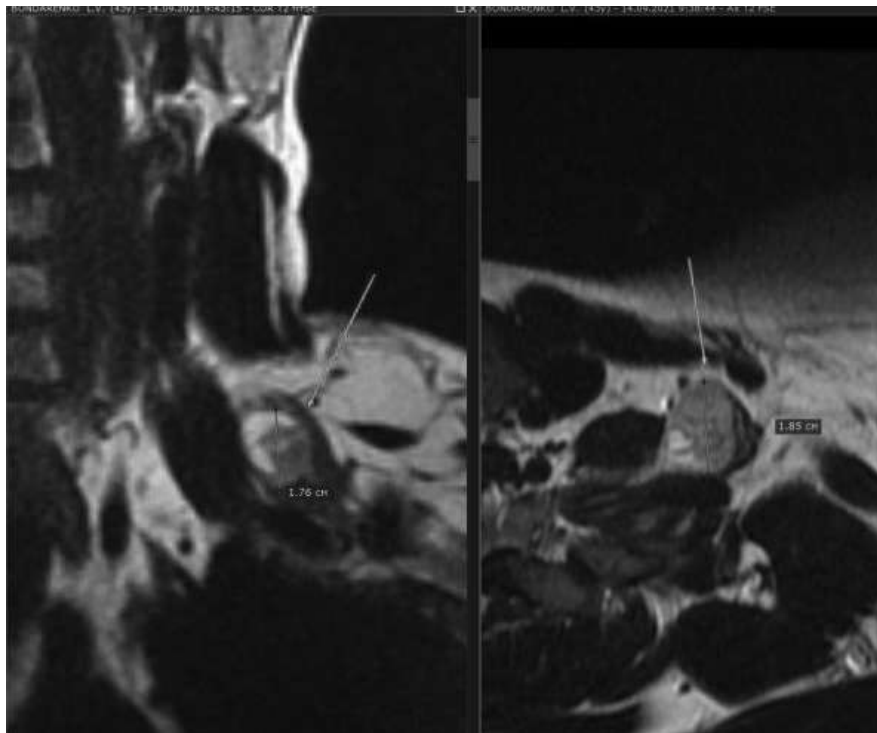


Рис. 14. На МР-томограмах у режимі T2 у корональній проекції визначається нейрофіброма верхнього стовбура лівого плечового сплетення

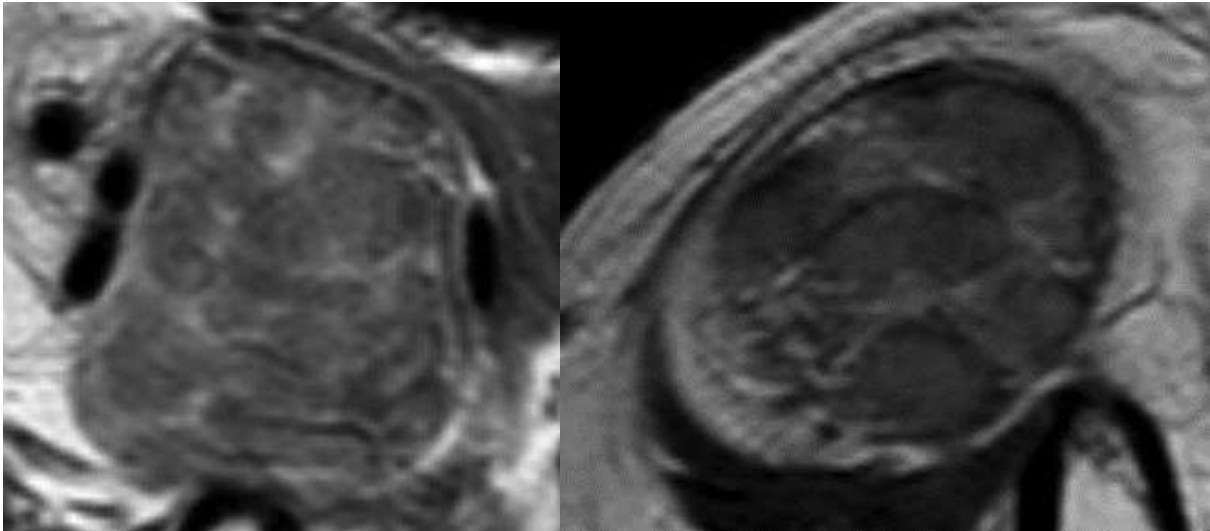
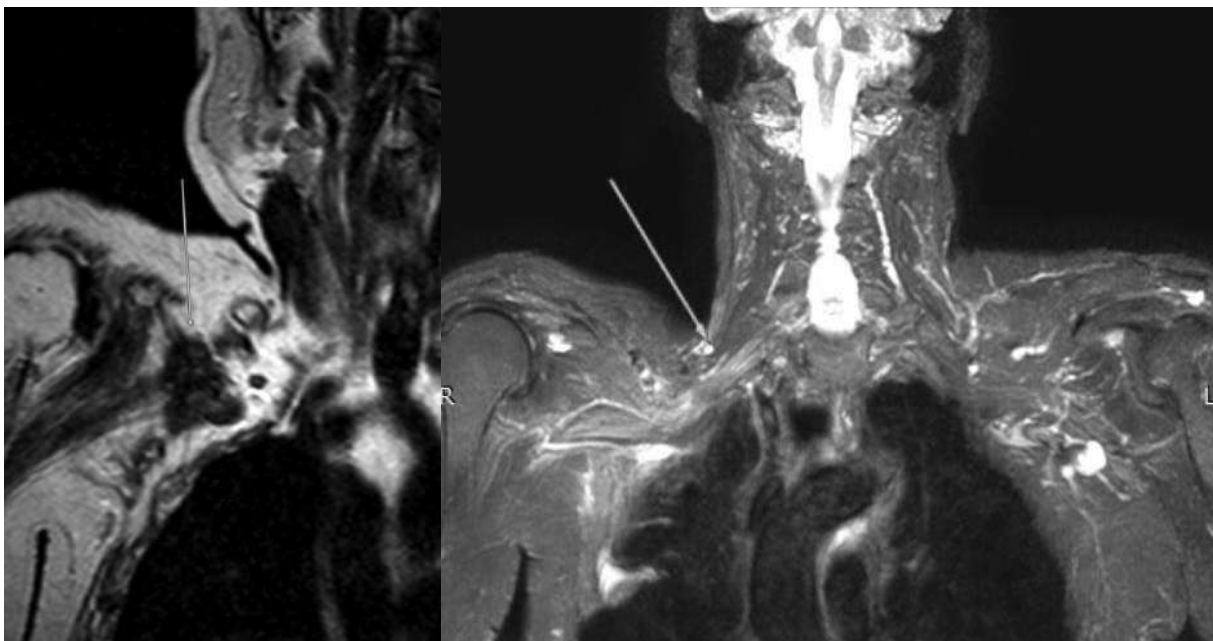


Рис. 15. На МР-томограмах у режимі Т2 у сагітальній проекції визначається шваннома латерального пучка плечового сплетення

Виділяють множинні та солітарні нейрофіброми. Множинні периферійні нейрофіброми характерні для нейрофіброматозу 1-го типу і не викликають особливих труднощів у діагностиці. Солітарну нейрофіброму складно диференціювати зі шванною на МРТ. Обидві мають зміни у нерві з подібними змінами МР-сигналу. Нейрофіброма частіше має неоднорідну структуру (рис. 14). Навпаки, “фасцикулярний знак”, визначений на Т2 зважених зображеннях, із кільцями периферійної гіперінтенсивності, може свідчити про наявність шванноми (рис. 15).

Променеве ураження ПС, викликане хронічним запаленням уражених нервів після променевої терапії лікування раку, спостерігали у 2 випадках у терміни до 1 року після лікування (рис. 16). Але слід пам'ятати, що інтервал часу між променевою терапією та проявами променевої плексопатії може становити від декількох місяців до 10 років та більше [7].

До основних МРТ-ознак плексопатії, спричиленої радіацією, належать дифузне потовщення нервів та накопичення контрасту після введення гадолінію.



а)

б)

Рис. 16. На МР-томограмах визначається післяпроменевий фіброз стовбурів та пучків правого плечового сплетення: а) у режимі Т2 у корональній проекції; б) у режимі STIR у корональній проекції

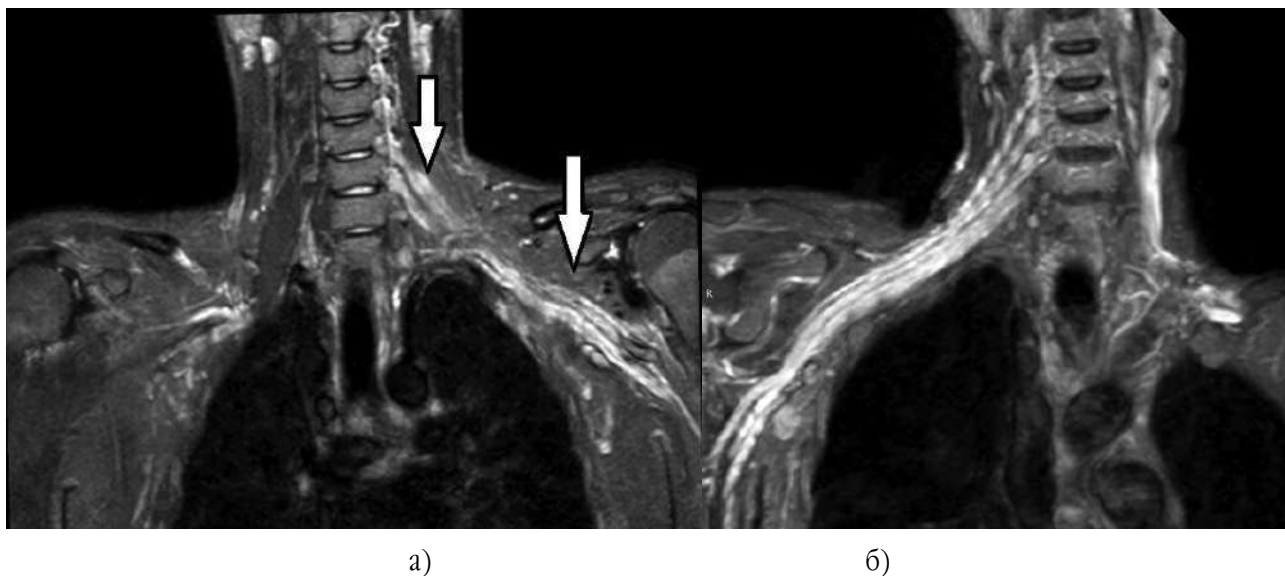


Рис. 17. На МР-томограмах у режимі STIR 33 у корональній проекції визначається дифузний набряк та потовщення структур: а) лівого ПС; правого ПС

Ідіопатична брахіальна плексопатія, також відома як невралгічна аміотрофія або синдром Парсонажа – Тернера, – це запальне захворювання ПС. Етіологія достовірно невідома. Пацієнти, які мають гострий початок больового синдрому та оніміння, з часом можуть відзначати розвиток слабкості у м'язах верхньої кінцівки [8, 9]. У 2 пацієнтів із клінічним діагнозом “невралгічна аміотрофія” на МРТ визначали дифузний набряк та потовщення нервових структур ПС (рис. 17), а також набряк м'язів, який характеризувався гіперінтенсивним сигналом у режимі STIR 33. У таких випадках необхідно диференціювати з іншими денерваційними процесами та післяпроменевим ураженням.

Таким чином, МРТ є високоінформативним методом візуалізації ПС та навколишніх структур [2]. У разі травматичного ушкодження ПС, особливо у випадках підозри на корінцеву авульсію, МРТ є методом вибору для ранньої діагностики цієї патології. До переваг МР-томографії можна зарахувати високу роздільну здатність у дослідженні м'яких тканин, можливість багатоплощинного дослідження, неінвазивність, відсутність іонізуючого випромінювання.

МРТ плечового сплетення може виконуватися як на сканерах 1,5 Тл, так і на 3 Тл із використанням комбінації двовимірних (2D) та тривимірних (3D) методик [10]. Послідовності відновлення 2D короткої інверсії (STIR) є частиною протоколів візуалізації на 1,5 Тл-сканерах. Однак вони мають певні недоліки, включаючи субоптимальну просторову роздільну здатність, виникнення пульсаційних артефактів та погану диференціацію між нервами та кровеносними судинами, що перевершує STIR на 3 Тл-сканерах, оскільки він має кращі співвідно-

шення сигнал / шум. SPAIR також демонструє більш рівномірне пригнічення жиру, ніж STIR, у більших полях зору, таких як плечове сплетення. 3D STIR зображення є більш інформативним та оптимальним для діагностики ПС, його можна виконувати як на сканерах 1,5 Тл, так і на 3 Тл. Це дозволяє проводити багатопланові реконструкції відносно поздовжньої осі нервового стовбура, що може краще продемонструвати будь-які патологічні зміни в порівнянні з двовимірними методами.

Завдяки постійному вдосконаленню МР-сканерів, котушок та технології імпульсної послідовності можна отримувати рутинне та одночасно якісне зображення ПС. Маючи знання про анатомію плечового сплетення в нормі та патології, рентгенологи дають можливість клініцистам більш точно та у більш ранні терміни після травми чи захворювання визначити характер та ступінь тяжкості ураження ПС [11].

Висновки

Порушення функції плечового сплетення може бути наслідком травм та різних захворювань. МРТ-дослідження доповнює клінічні дані та покращує диференційну діагностику патології ПС.

МРТ-дослідження – ефективний метод діагностики ураження плечового сплетення різного генезу, який надає змогу визначити рівень та ступінь тяжкості ушкодження та на ранніх етапах обґрунтувати тактику лікування такої категорії хворих.

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

References

1. Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcova A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2020 Apr;43(2):443-452. DOI: 10.1007/s10143-018-1009-2.
2. Hendrik W van Es HW, Bollen TL, van Heesewijk HPM. MRI of the brachial plexus: a pictorial review. *Eur J Radiol.* 2010 May;74(2):391-402. DOI: 10.1016/j.ejrad.2009.05.067.
3. Цимбалюк ВІ, Гайко ГВ, Сулій ММ, Страфун СС. Хірургічне лікування ушкоджень плечового сплетення. Тернопіль: Укрмедкнига; 2001. 212 с. Tsybaliuk VI, Haiko HV, Sulii MM, Strafun SS. Surgical treatment of brachial plexus injuries. Ternopil: Ukrmedknyha; 2001. 212 s. [in Ukrainian].
4. Carvalho GA, Nikkha G, Matthies C, Penkert G, Samii M. Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries: value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging. *J Neurosurg.* 1997;86:69-76. DOI: 10.3171/jns.1997.86.1.0069.
5. Kim J, Jeon JY, Choi YJ, Choi JK, Kim SB, Jung KH, et al. Characteristics of metastatic brachial plexopathy in patients with breast cancer. *Support Care Cancer.* 2020 Apr;28(4):1913-8.
6. Lusk MD, Kline DG, Garcia CA. Tumors of the brachial plexus. *Neurosurgery.* 1987 Oct;21(4):439-53.
7. Morris BA, Burr AR, Anderson BM, Howard SP. Late Radiation Related Brachial Plexopathy After Pulsed Reduced Dose Rate Reirradiation of an Axillary Breast Cancer Recurrence. *Pract Radiat Oncol.* 2021 Oct;11(5):319-22.
8. Sumner AJ. Idiopathic brachial neuritis. *Neurosurgery.* 2009 Oct;65(4):A150-152.
9. Farr E, D'Andrea D, Franz CK. Phrenic Nerve Involvement in Neuralgic Amyotrophy (Parsonage-Turner Syndrome). *Sleep Med Clin.* 2020 Dec;15(4):539-43.
10. Fan YL, Othman MIB, Dubey N, Wilfred CG. Magnetic resonance imaging of traumatic and non-traumatic brachial plexopathies. *Singapore Med J.* 2016 Oct;57(10):552-60. DOI: 10.11622/smedj.2016166
11. Lutz AM, Gold G, Beaulieu C. MR imaging of the brachial plexus. *Neuroimaging Clin N Am.* 2014 Feb;24(1):91-108.

MRI Diagnosis of the Brachial Plexus Lesions

Haiko O.G.¹, Tretiakov R.A.¹, Lysak A.S.¹

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

Summary. Damage to the brachial plexus (brachial plexopathy) is considered one of the most severe pathologies of the upper limb, which can lead to gross impairment of function and permanent disability of the patient. Today, MRI diagnostics is the first-line method for visualizing normal anatomy and pathological conditions of the brachial plexus (BP). **Objective:** to optimize the diagnosis of BP pathology based on the study of diagnostic capabilities of magnetic resonance imaging (MRI). **Materials and Methods.** A retrospective analysis of MRI data of 62 patients with traumatic injury of the BP (group 1) and 23 patients with lesions of non-traumatic genesis (group 2) was performed. The MRI examination was performed on a PHILIPS Achieva magnetic resonance tomograph with a magnetic field strength of 1.5 T using sequences of T1 and T2 weighted images (33), a 3DT2 DRIVE sequence with a high degree of resolution, and STIR sequences in axial, sagittal and coronal projections. **Results.** The MRI picture of brachial plexopathies was quite diverse and depended on the etiology of the lesion, the level and severity of damage to neural structures. When analyzing the MRI studies of patients of group 1, preganglionic lesion was detected in 39 patients (62.9%); 8 patients (12.9%) had trunks lesion and 15 patients (24.2%) had cords lesion. In group 2, BP dysfunction associated with detected MRI signs of a tumor of nerve structures or infiltration and/or compression of the brachial plexus by a tumor of other organs or a metastasis was detected in 21 patients (84%); BP dysfunction resulted from radiation therapy in 2 patients (8.7%) and from the disease – neuralgic amyotrophy – in 2 patients (8.7%). The use of MRI made it possible to carry out a differential diagnosis of pathology and to determine the nature, extent and degree of severity of damage to nervous structures. **Conclusions.** MRI examination is an effective method of diagnosing the brachial plexus pathology, which makes it possible to determine the level, extent and severity of the damage, and to justify the further treatment of this category of patients at the early stages.

Key words: brachial plexus; MRI; brachial plexopathy; brachial plexus lesion.

Хірургічне лікування тофусної подагри

Герасименко С.І.¹, Полулях М.В.¹, Дуда М.С.¹✉, Бабко А.М.¹, Герасименко А.С.¹,
Полулях Д.М.¹, Пшеничний Т.Є.¹, Гужевський І.В.¹

Резюме. Вступ. Сучасні діагностичні засоби, комплексне ортопедичне лікування, профілактика ускладнень та адекватна реабілітація хворих із хронічною подагрою можуть знизити частоту та тяжкість загострень захворювання, запобігти розвитку вторинного деформуючого артрозу, зберегти працездатність, покращити соціальну адаптацію пацієнтів та знизити частоту отримання інвалідності хворих працездатного віку. **Мета дослідження.** Покращити результати лікування пацієнтів із хронічною тофусною подагрою за рахунок розробки показань до хірургічного лікування та удосконалення наявних методів сучасного ортопедичного лікування. **Матеріали і методи.** Матеріалом для дослідження став аналіз результатів діагностики та лікування 58 хворих із встановленим діагнозом "хронічна тофусна подагра", які з 2012 по 2021 рік проходили обстеження та лікування у відділах ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України" (м. Київ). Вік пацієнтів становив від 30 до 80 років (середній вік $58,4 \pm 5,3$ року). Усі хворі були розподілені на дві групи – основну та контрольну. До основної групи увійшли 27 хворих, яким було проведено, окрім консервативних методів, хірургічне лікування. До контрольної групи увійшов 31 хворий із хронічною тофусною подагрою, яким оперативне втручання не проводилось. Для розробки, обґрунтування показань та візуалізації ступеня тяжкості патологічного процесу всім хворим було проведено сонографічне обстеження, прооперованим пацієнтам виконували патоморфологічне дослідження видалених тканин. **Результати.** Результати проведених патоморфологічних досліджень дозволили системно оцінити динаміку морфологічних змін у тканинах суглоба при тофусній подагрі, уточнити особливості перебігу запального процесу, стадійність формування тофусів та визначити наслідки їх впливу на структурно-функціональний стан тканин ураженого суглоба. **Висновки.** Хірургічне лікування в комплексі з консервативним дозволило достовірно зменшити активність захворювання у порівнянні з контрольною групою, досягти більш швидкого зниження рівня сечової кислоти, зменшити кількість та тривалість загострень незалежно від тривалості захворювання, зменшити прояви больового синдрому, покращити якість життя, зменшити частоту інвалідизації.

Ключові слова: подагра; тофуси; артроскопія; ендпротезування.

Вступ

Захворювання суглобів є достатньо серйозною соціально-економічною проблемою, значущість якої визначається не лише широкою розповсюдженістю, але й ураженням переважно осіб працездатного віку. Значна частка цих захворювань належить до так званих сольових артропатій, серед яких найчастіше зустрічається подагра. Подагра – це хронічне захворювання, що прогресує, яке характеризується підвищенням рівня сечової кислоти в крові (гіперурикемією) і відкладанням у тканинах

опорно-рухового апарату та внутрішніх органах натрієвої солі сечової кислоти (уратів) із розвитком гострого артриту та утворенням подагричних вузликів (тофусів) [1, 3, 7, 9].

В останні роки розповсюдженість подагри збільшилась у 10-20 разів порівняно із ХХ ст. На сьогодні поширеність подагри серед населення у світі становить від 0,06 до 4,2% [2, 4].

Стойка гіперурикемія призводить до кристалізації уратів, що відкладаються в суглобових бурсах, сухожилках, зв'язках, шкірі, нирках. Кристали проникають у хрящі і синовіальну оболонку, де накопичуються у вигляді голчатих кристалів сечокислового натрію (тофуси). Тофуси мають різну кількість, локалізацію, розмір та ступінь зрілості і є депо сечо-

✉ Дуда М.С., maхximca35@gmail.com

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

Таблиця 1

Розподіл хворих залежно від кількості загострень на рік

Групи хворих	Кількість загострень на рік						Усього	
	1-2 загострення		2-5 загострення		понад 6 загострень			
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Основна	2	3,4	13	22,4	12	20,7	27	46,6
Контрольна	4	6,9	15	25,9	12	20,7	31	53,4
Усього	6	10,3	28	48,3	24	41,4	58	100,0

вої кислоти (яке безпосередньо впливає на рівень гіперурикемії, частоту та ступінь тяжкості загострень подагри), призводять до порушення функції суглобів, кінцівок та стійкої втрати працездатності, а у важких випадках – до ранньої інвалідації хворих [1, 2, 6, 8]. У сучасній літературі хірургічне лікування подагри зводиться до операцій, які направлені на покращення функції суглобів або усунення косметичних дефектів, майже не зустрічаються роботи, які б вивчали вплив тофусів на тяжкість перебігу подагри у пацієнтів із хронічною тофусною подагрюю [5, 6, 9].

Аналіз даних літератури показав, що для діагностики та лікування хронічної подагри використовують методи, які не відповідають сучасним вимогам медичної науки. Досі не систематизовано комплекс діагностичних та ортопедичних методів, не вивчено значення наявних тофусів в організмі як депо уратів та їх вплив на частоту та інтенсивність загострень хронічної подагри.

Мета дослідження – покращити результати лікування хворих із хронічною тофусною подагрюю шляхом удосконалення діагностики та розробки показань до хірургічного лікування, вивчити вплив хірургічного лікування на перебіг тофусної подагри.

Матеріали і методи

Матеріалом для дослідження став аналіз результатів діагностики та лікування 58 хворих із встановленим діагнозом “хронічна тофусна подагра”, які з 2012 по 2021 рік проходили обстеження та лікування у відділах ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”. Вік пацієнтів становив від 30 до 80 років (середній вік $58,4 \pm 5,3$ року). Усі хворі були чоловічої статі. Пацієнти були розділені на дві групи – основну та контрольну. До основної групи ввійшли 27 хворих, яким, окрім консервативного, було проведено хірургічні методи лікування. До контрольної групи ввійшов 31 пацієнт із хронічною тофусною подагрюю, яким оперативне втручання

не проводилось. Розподіл хворих за групами, віком, стажем захворювання, кількістю рецидивів, ступенем активності оцінювався за критерієм Пірсона (χ^2) і був однотипним ($p > 0,05$) (табл. 1).

Середня тривалість загострення серед пацієнтів, які брали участь у дослідженні, становила $16,8 \pm 1,5$ днів. У хворих основної підгрупи середня тривалість загострення становила $16,6 \pm 1,7$ днів, у хворих контрольної підгрупи – $17,1 \pm 1,2$ днів (табл. 2).

Таблиця 2

Розподіл хворих залежно від тривалості рецидивів захворювання, (днів)

Групи хворих	Тривалість захворювання, роки		
	до 5 років	5-10 років	понад 10 років
Основна	13	13,7	19,1
Контрольна	9,75	14,4	20

Серед пацієнтів основної підгрупи переважав поліартритичний варіант ураження – 23 хворих (39,7%). Олігоартрит зустрічався у 4 хворих (6,9%) Хворих із моноартритом у цій підгрупі не було.

У пацієнтів контрольної підгрупи також значно переважали хворі з поліартритом – 27 хворих (46,5%), олігоартрит зустрічався у 3 (5,2%) та моноартрит – в 1 (1,7%) випадку (табл. 3).

Таким чином, частка моноартритичного ураження серед пацієнтів основної підгрупи становила 0%, олігоартритичного – 14,8% та 85,2% – поліартритичного. Частка моноартритичного ураження у пацієнтів контрольної підгрупи становила 3,2%, олігоартритичного – 9,7% та 87,1% – поліартритичного.

Розподіл пацієнтів у групах за віком, тривалістю захворювання, кількістю рецидивів, ступенем активності оцінювався за критерієм Пірсона (χ^2) і був однотипним ($p > 0,05$). Для визначення статистично значущої різниці між окремими групами виборки використовувався U-критерій Манна – Уїтні, для оцінки кореляції – коефіцієнт кореляції Пірсона. Розрахунки частоти градацій ознак і наступний ста-

Розподіл хворих залежно від характеру ураження суглобів

Групи хворих	Кількість уражених суглобів						Усього	
	моноартрит		олігоартрит		поліартрит			
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Основна	0	0	4	6,9	23	39,7	27	46,6
Контрольна	1	1,7	3	5,2	27	46,5	31	53,4
Усього	1	1,7	7	12,1	50	86,2	58	100,0

тистичний аналіз проводились за методом Є.В. Гублера та О.А. Генкіна. При статистичних дослідженнях визначались: середня арифметична; δ – середнє квадратичне відхилення; m_x – середня похибка середньої величини; Me – медіана; min – мінімальне значення варіанти; max – максимальне значення варіанти; ген (при $t=3$) – довірчі межі середньої величини при вірогідності 99,7%; ген (при $t=2$) – довірчі межі середньої величини при вірогідності 95,5%; m_p – середня похибка відносної величини; $P_{ген}$ (при $t=3$) – довірчі межі відносної величини при вірогідності 99,7%; $P_{ген}$ (при $t=2$) – довірчі межі відносної величини при вірогідності 95,5%, I – інформативність ознаки.

Для оцінки загального стану хворого та анатомо-функціонального стану уражених суглобів до та після проведеного лікування нами були використані загальні та спеціальні методи обстеження пацієнтів з акцентом на поставлені задачі лікування. Визначали активність запального процесу, наявність тофусів, обмеження функціональної активності пацієнта та аналіз якості життя хворих за допомогою опитувальника EQ-5d-5L, їх динаміка у процесі лікування.

З метою розробки та обґрунтування показань та візуалізації ступеня тяжкості патологічного процесу всім хворим було проведено сонографічне обстеження, прооперованим хворим виконували патоморфологічне дослідження видалених тканин.

Результати дослідження та їх обговорення

Проведення сонографії дозволяє при подагрі дозволяє візуалізувати патологічні утворення (тофуси), м'язову тканину, сухожилки, зв'язки, хрящову тканину, ексудат у суглобах, стан синовіального шару суглобової капсули, кісткову тканину, судинно-нервові пучки тощо. При вивченні тофусів звертали увагу на локалізацію, тургор тканин, ехогенність тканин над суглобом, васкуляризацію, зміни суглобових поверхонь.

У процесі розвитку подагри нами визначені сонографічні прояви подагри у хворих із тофусною подагрою при дослідженні суглобів та тофусів. Залежно від сонографічних змін нами запропоновано класифікацію тофусів відповідно до стадії їх зрілості. Було виділено три стадії зрілості тофусів.

При I стадії зрілості за даними сонографічного дослідження спостерігали ділянки овальної або неправильної округлої форми з нечіткими контурами підвищеної ехогенності, яка визначається анатомо-топографічними особливостями суглоба, форма якого була практично не змінена, але, як правило, деформувалася при натисканні датчиком сонографа, у суглобовій капсулі виявляли посилену васкуляризацію (рис. 1).

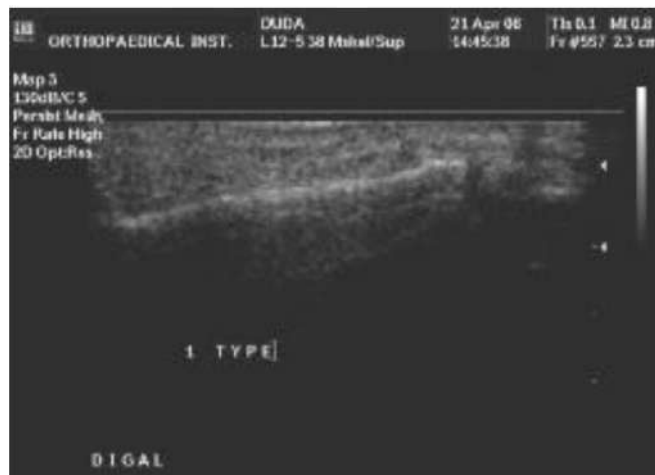


Рис. 1. Перша стадія сонографічних проявів подагри у хворих із гострим та тофусним подагричним артритом

У II стадії за даними сонографії ехонегативна суглобова щілина повністю заповнювалася ехопозитивною тканиною внаслідок відкладання уратів, інфільтративних та проліферативних клітинних процесів, розростання синовіальних ворсин та складок, потовщення синовіального та волокнистого шарів суглобової капсули за рахунок нерівномірного розростання фіброзної тканини, яка майже не піддавалася деформації при натисканні датчиком сонографа (рис. 2).

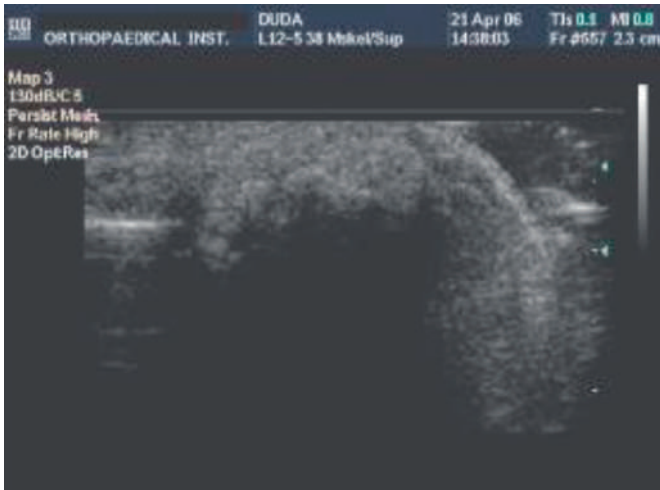


Рис. 2. Друга стадія сонографічних проявів подагри у хворих із гострим та тофусним подагричним артритом

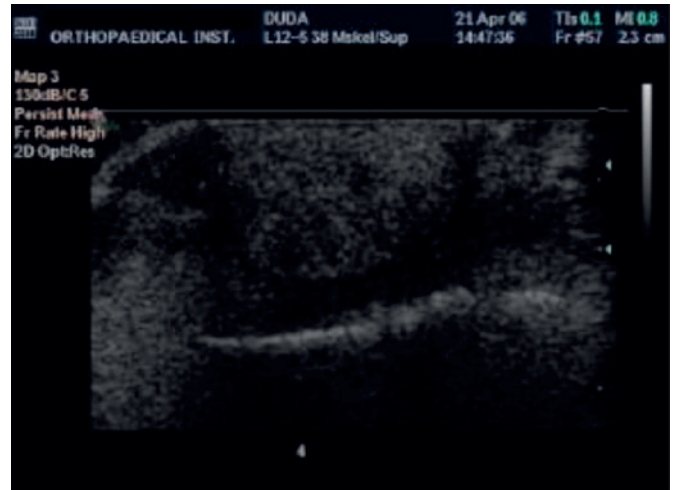


Рис. 3. Третя стадія сонографічних проявів подагри у хворих із гострим та тофусним подагричним артритом

При III стадії за даними сонографічного дослідження ехопозитивність суглобової капсули наближалася місцями до рівня ехопозитивності кісткової тканини суглобових відділів кісток, але містила нерівномірні неправильної форми з нечіткими краями ділянки значного зниження ехопозитивних утворень (рис. 3).

У процесі роботи було визначено кореляцію результатів сонографічної діагностики та патоморфологічних досліджень. Ряд останніх був проведений хворим із хронічною тофусною подагрою із різними проявами захворювання. Результати дозволили більш системно оцінити динаміку морфологічних змін у тканинах суглоба при тофусній подагрі, уточнити особливості перебігу запального

процесу, формування тофусів та визначити наслідки їх впливу на структурно-функціональний стан тканин ураженого суглоба.

На підставі отриманих даних було встановлено стадійність розвитку морфологічних змін у тканинах суглоба.

Перша стадія характеризується гострим запаленням, у перебігу якого можна прослідкувати наступні фази:

- відкладення уратів сечової кислоти в тканини суглобової капсули (рис. 4);
- інфільтрація суглобових тканин макрофагами (моноцити та лімфоцити), гістіоцитами, плазматичними клітинами та іншими мононуклеарами, а також гігантськими клітинами (рис. 5);

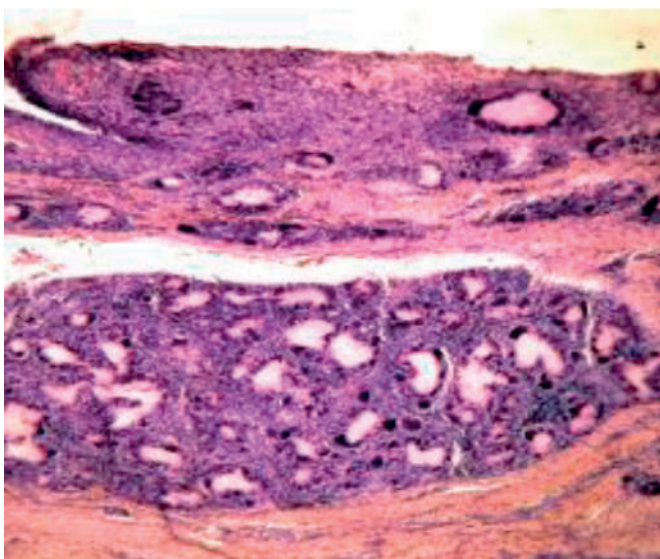


Рис. 4. Відкладення уратів сечової кислоти в тканини суглобової капсули

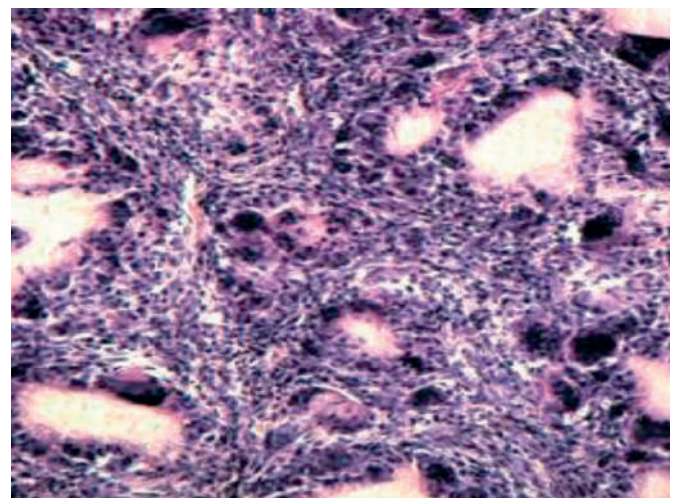


Рис. 5. Інфільтрація суглобових тканин макрофагами (моноцити та лімфоцити), гістіоцитами, плазматичними клітинами та іншими мононуклеарами, а також гігантськими клітинами

– проліферація клітин суглобової капсули (синовіоцити, фібробласти та ін.) (рис. 6). Ці морфологічні зміни відповідають I стадії зрілості тофусів за сонографічною класифікацією (див. рис. 1).

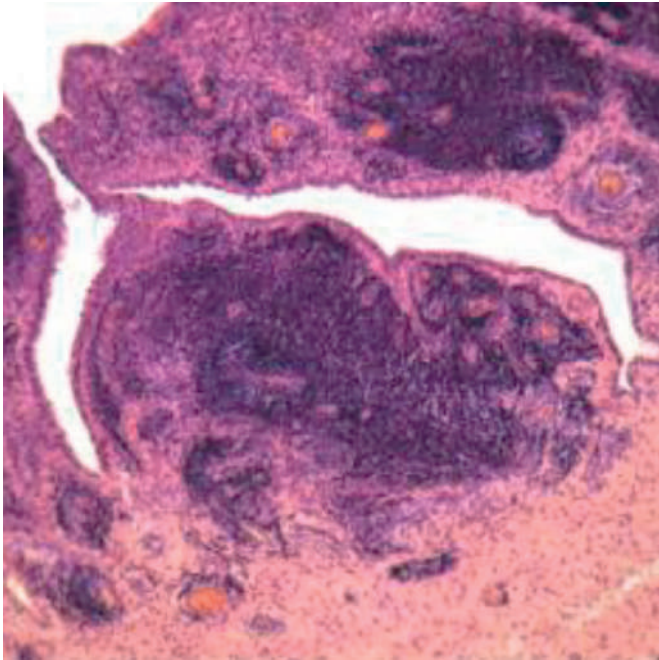
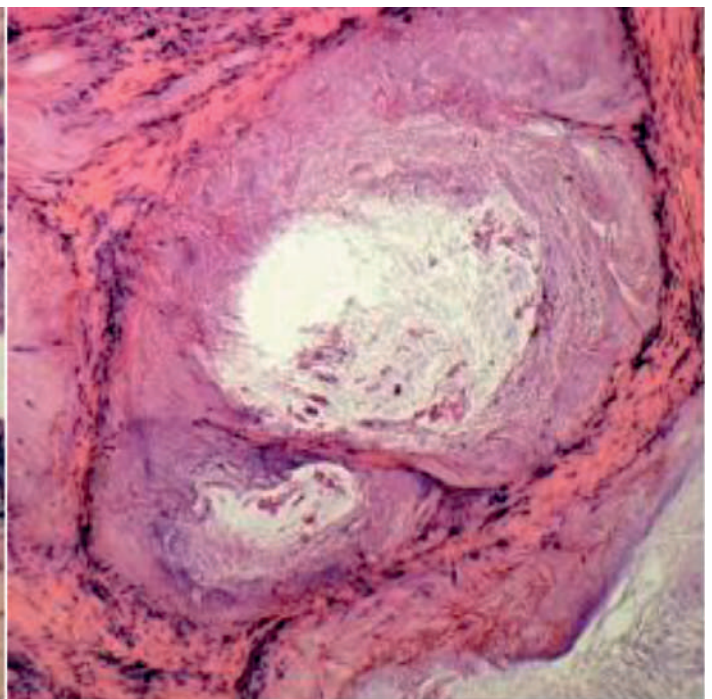
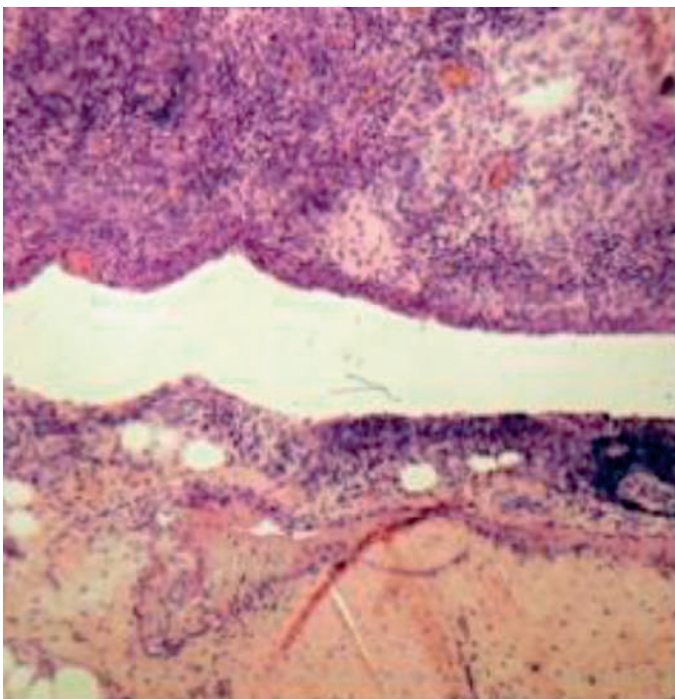


Рис. 6. Проліферація клітин суглобової капсули

На другій стадії відмічається фібротизація тканин суглобової капсули (рис. 7а, б). Ці морфологічні зміни відповідають II стадії зрілості тофусів сонографічної класифікації (див. рис. 2).



а) б)
Рис. 7а, б. Фібротизація тканин суглобової капсули

На третій стадії розвиваються дегенеративно-некротичні та деструктивні зміни суглобової капсули з поступовим розповсюдженням їх на інші структурно-функціональні суглобові та позасуглобові тканинні структури та/або розкриття тофусу з виходом назовні крейдоподібних мас (рис. 8а, б). Ці морфологічні зміни відповідають III стадії зрілості тофусів сонографічної класифікації (див. рис. 3).

Виявлені нами сонографічні і морфологічні зміни та запропонована класифікація відповідно до стадії зрілості тофусів дозволили розробити показання до хірургічного лікування хронічної тофусної подагри.

Показання до хірургічного лікування хворих на подагру:

- наявність тофусів II та III стадії зрілості;
- хронічний рецидивуючий синовіт (2-3 рази на рік) резистентний до консервативної терапії з ознаками проліферативних процесів;
- контрактури, нестабільність суглобів у результаті літичних процесів;
- вторинний деформуючий артроз 3-4-ї стадії.
- косметичні дефекти.

Основною метою лікування хворих на подагру було зниження рівня сечової кислоти. Урат-знижувальна терапія була спрямована не лише на стійке лікування гіперурикемії, а й на запобігання прогресуванню подагри, протирецидивну дію та можливий зворотний розвиток тофусних відкладень. Урикодепресивна терапія має на меті запобігти відкладенням кристалів урату натрію та

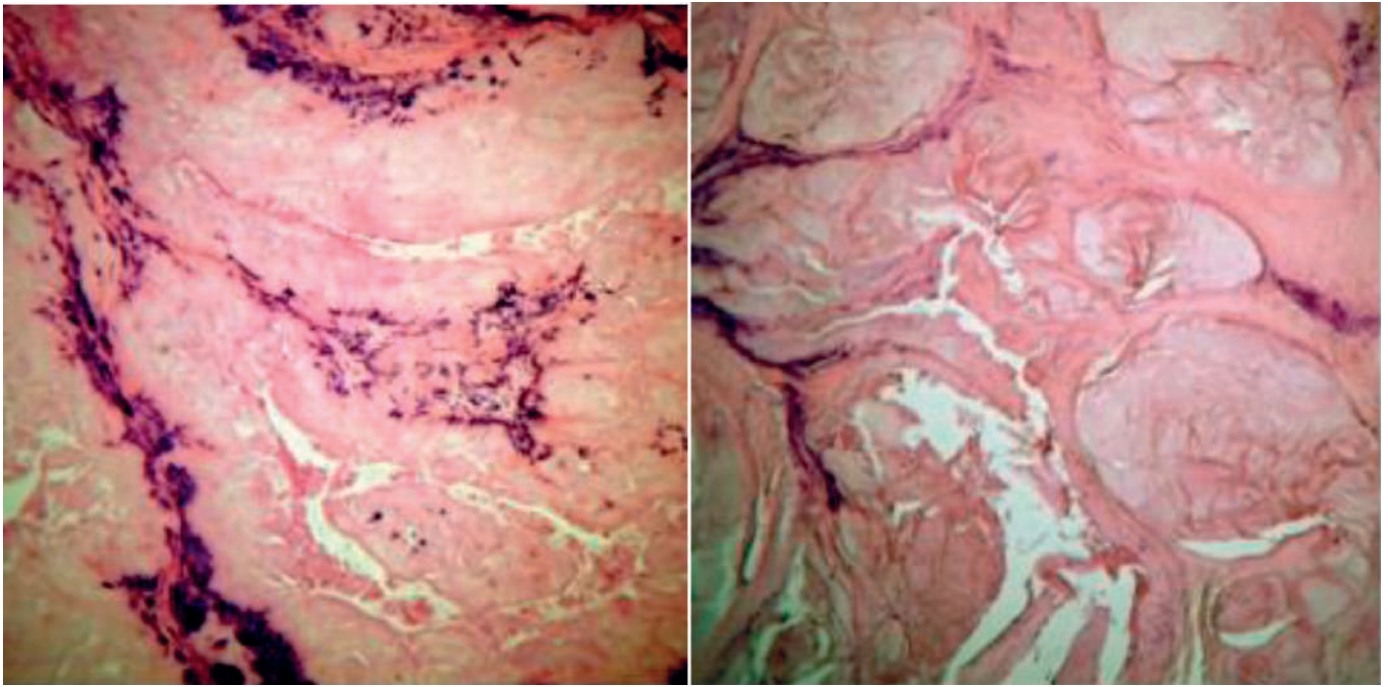


Рис. 8а, б. Дегенеративно-некротичні та деструктивні зміни суглобової капсули

сприяти розчиненню наявних відкладень. А хірургічне лікування було складовою частиною комплексного лікування.

Вибір методу оперативного лікування залежав від стадії патологічного процесу в ураженому суглобі та периакулярних тканинах.

На ранніх стадіях патологічного процесу застосовували лікувально-профілактичні оперативні втручання (видалення тофусів, синовектомія, синовкапсулоектомія), а на більш пізніх – реконструктивно-відновні операції та ендопротезування.

Хірургічне лікування полягало у видаленні осередків накопичення солей сечової кислоти максимально радикально. Переважна більшість операцій проводиться на міжфалангових суглобах кисті та стопи, в ділянці ліктьового суглоба, а також плюс-

нефалангових суглобах стопи, включає артроскопічні втручання на колінному та гомілковостопному суглобах, ендопротезування великих суглобів. Оперативне лікування виконано 27 хворим, яким загалом проведено 101 оперативне втручання. Характер та кількість проведених оперативних втручань представлено в табл. 4.

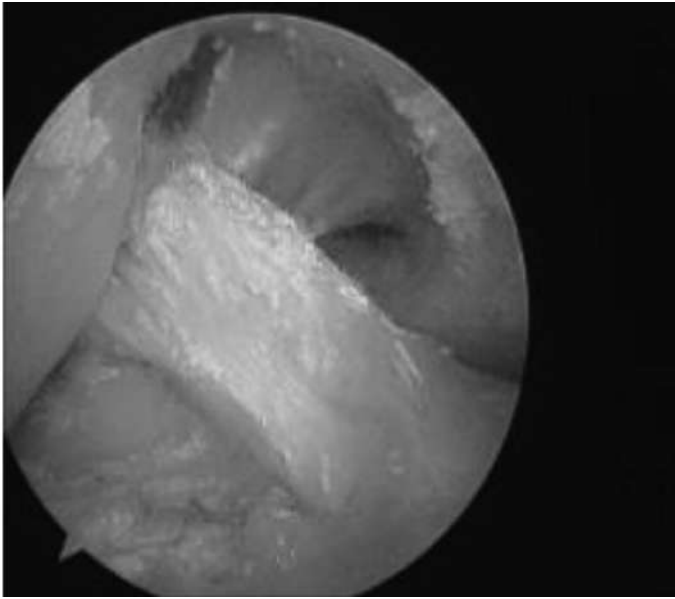
Нами було прооперовано 11 хворих із хронічним проліферативним синовітом колінних суглобів та 5 хворих із синовітом гомілковостопних суглобів із застосуванням артроскопічної техніки.

При проведенні артроскопії звертали увагу на стан синовіальної оболонки, її колір, товщину, судинну реакцію, характер ворсин, зміни хрящового покриву, наявність різних включень. При синовіті визначали характер ексудату (колір, прозорість,

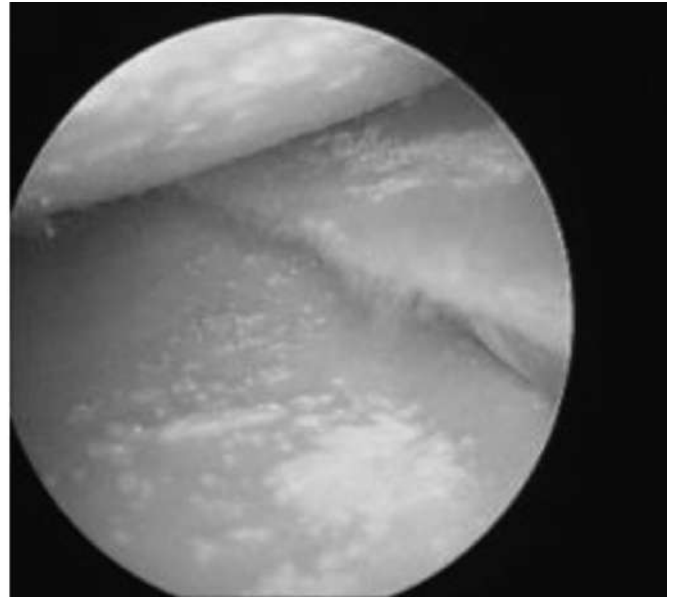
Таблиця 4

Характер та кількість проведених оперативних втручань

Назва операції	Локалізація	Кількість операцій
Висічення тофусів	Міжфалангові суглоби кисті	27
	Плюснефалангові суглоби стопи та міжфалангові суглоби стопи	20
	Ділянка ліктьової бурси	18
Артроскопія та синовектомія	Колінний суглоб	11
	Гомілковостопний суглоб	5
Ендопротезування великих суглобів	Кульшовий	7
	Колінний	13



а)



б)

Рис. 9а, б. Артроскопічна картина ураження хрестоподібних зв'язок та меніска

в'язкість, наявність включень). Процедуру починали з промивання суглоба достатньою кількістю фізіологічного розчину з метою видалення надлишків синовіальної рідини, фіброзних нашарувань та пластівців. Після проведеного лаважу розпочинали ревізію суглобової порожнини. Зміни, виявлені під час втручання, як клінічний приклад хворого з подагрою – хронічним синовітом колінних суглобів, представлено на рис. 9а, б.

Видалення тофусів міжфалангових суглобів кисті та стопи проводили із звичайного доступу. Після розсічення шкіри за можливості намагалися виділити тофус, не пошкоджуючи його капсулу, відсепарували тофус від інших тканин та видаляли

його повністю. За відсутності такої можливості та при ураженні сухожилків проводили видалення тофусних відкладень ложкою Фолькмана у повному обсязі. При виражених деструктивних змінах капсули суглоба, хряща та кістки виконували артропластику суглоба з метою відновлення об'єму рухів в уражених суглобах та стабілізації суглоба. Після виконання артротомії проводили висічення зміненої синовіальної оболонки, суглобової капсули, тофусних відкладень, роз'єднання та формування суглобових поверхонь.

Клінічний приклад хворого з хронічною тофусною подагрою, наявністю тофусів міжфалангових суглобів наведено на рис. 10а, б, 11.



а)



б)

Рис. 10. а) вигляд тофусів міжфалангових суглобів;
б) рентгенологічна картина тофусів міжфалангових суглобів



Рис. 11. Вигляд кистей після оперативного лікування

Нами вивчено вплив хірургічного лікування на перебіг тофусної подагри та проведено порівняльний аналіз із результатами консервативного лікування.

До початку лікування в основній групі переважали пацієнти з 2 ступенем активності – 59,3%, після проведеного лікування через 30 днів визначалось зниження активності процесу до 0-1 ступеня (100%). У хворих контрольної групи на фоні проведеного лікування вдалося досягти зниження активності процесу до 0-1 ступеня у 48,6% випадків (табл. 5).

Аналізуючи в загальному динаміку показників сечової кислоти сироватки крові пацієнтів обох груп, виявлено її достовірне зниження внаслідок проведеного лікування. Так, середній рівень сечової кислоти у пацієнтів основної групи на 30 добу після початку лікування становив 522,67 мкмоль/л, а у хворих контрольної групи – 553,85 мкмоль/л. У динаміці спостерігалась чітка тенденція до подальшого зниження рівня сечової кислоти, та через 6 міс. лікування її середній рівень становив 362,4 мкмоль/л у хворих основної та 457,6 мкмоль/л у хворих контрольної групи (рис. 12).

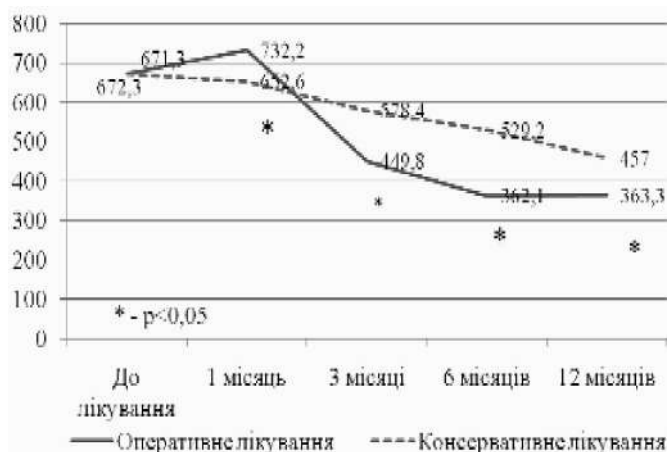


Рис. 12. Показники динаміки змін рівня сечової кислоти у сироватці крові

Проводилась оцінка тривалості загострення, при цьому у хворих основної групи було визначено скорочення тривалості загострення порівняно з контрольною групою. Середня тривалість загострення у хворих основної групи становила $16,6 \pm 1,1$ дня, у хворих контрольної групи – $17,1 \pm 0,9$ дня (табл. 6).

Таблиця 6

Середня тривалість загострення подагричного артриту

Групи дослідження	До	Через 1 рік після лікування	Оцінка, р
Основна (n=27)	$16,6 \pm 1,1$	$9,95 \pm 0,7$	0,0001
Контрольна (n=31)	$17,1 \pm 0,9$	$14,8 \pm 0,8$	0,072

При оцінці тривалості загострень після проведеного лікування нами було встановлено достовірне скорочення тривалості загострення артриту у хворих основної групи до $9,95 \pm 0,7$ дня. Серед хворих контрольної групи скорочення середньої тривалос-

Таблиця 5

Динаміка зміни активності захворювання під впливом лікування

Активність	До лікування				Після лікування			
	Основна група		Контрольна група		Основна		Контрольна	
	N	%	N	%	N	%	N	%
0	0	0	0	0	12	44,4	6	19,6
1	0	0	3	9,7	15	55,6	9	29,0
2	16	59,3	18	58,0	0	0	11	35,5
3	11	40,7	10	32,3	0	0	5	16,1
Усього	27	100	31	100	27	100	31	100

Примітка: n – кількість пацієнтів, $\chi^2=13,85$, $p=0,0078$ оцінка значущості різниці за частотними характеристиками ступеня активності захворювання

ті загострень було несуттєвим – до $14,8 \pm 0,8$ дня, що достовірно нижче, ніж у хворих основної підгрупи.

Середня кількість загострень у хворих основної групи до початку лікування становила 5,3 рази на рік. Серед хворих із тривалістю захворювання до 5 років середня кількість загострень на рік становила 1,5 рази. У хворих із тривалістю захворювання від 5 до 10 років середня кількість загострень становила 3,1 рази на рік. У хворих зі стажем захворювання понад 10 років цей показник сягав 7,5 рази на рік.

Після проведеного лікування частота загострень скоротилась у хворих незалежно від тривалості захворювання. При тривалості захворювання до 5 років протягом року загострень не спостерігалось. У хворих з анамнезом захворювання до 10 років кількість атак скоротилась до 0,8 рази на рік. Серед хворих з анамнезом подагри понад 10 років цей показник склав 3,8 рази на рік.

Серед хворих контрольної групи також простежувалась тенденція до зниження частоти рецидивів протягом року на фоні проведеного лікування. У хворих із тривалістю захворювання до 5 років середня кількість загострень на рік становила 1. На фоні проведеного лікування протягом року загострень не спостерігалось. У хворих із тривалістю захворювання до 10 років середня кількість загострень становила 3,2 рази на рік. Після проведеного лікування кількість загострень скоротилась до 1,2. При анамнезі захворювання понад 10 років середня кількість загострень становила 7,2 рази на рік. Через рік після початку лікування кількість рецидивів скоротилась до 4,5.

Під час аналізу якості життя хворих основної групи під впливом проведеного лікування за допомогою опитувальника EQ-5d-5L нами було виявлено достовірне покращення. Визначення рівня якості життя проводилось безпосередньо до початку лікування та повторно через 12 міс. Якість життя пацієнтів контрольної групи достовірно не змінилась (табл. 7).

Таблиця 7

Динаміка якості життя за EQ-5d-5L

Групи дослідження	До	Через 1 рік після лікування	Оцінка, р
Основна (n=27)	$0,42 \pm 0,01$	$0,66 \pm 0,04$	0,0001
Контрольна (n=31)	$0,43 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,01$	0,071

Після проведеного хірургічного лікування та продовження адекватної уратзнижувальної терапії вдалося досягти покращення якості життя у 92% хворих у порівнянні з 56% пацієнтів контрольної групи.

Висновки

Класифікація зрілості подагричних тофусів, яка розроблена нами на основі зіставлення результатів сонографічного та патоморфологічного методів досліджень, дозволила розробити показання до оперативного лікування та диференційовано підходити до вибору тактики хірургічного лікування.

Порівняльний аналіз результатів консервативного та хірургічного лікування хворих із тофусною подагрою свідчить, що хірургічне лікування позитивно впливає на тяжкість перебігу тофусної подагри. Відмічалось достовірне зниження рівня сечової кислоти у пацієнтів основної підгрупи на 30 добу після початку лікування до $522,67 \pm 51,2$ мкмоль/л, а у хворих контрольної підгрупи – до $553,85 \pm 52,1$ мкмоль/л. Надалі відмічається чітка тенденція до зниження рівня сечової кислоти, і через 6 міс. лікування середній рівень сечової кислоти становив $354,07 \pm 32,5$ мкмоль/л у хворих основної групи, тоді як у хворих контрольної групи – $479,69 \pm 48,3$ мкмоль/л.

Хірургічне лікування дозволило скоротити тривалість загострення в порівнянні з консервативним лікуванням, так, середня тривалість загострення у хворих основної групи становила $15,3 \pm 1,6$ дня, а у хворих контрольної групи – $16,8 \pm 1,7$ дня, після лікування достовірно скоротилась тривалість загострення у хворих основної підгрупи до $9,1 \pm 0,6$ дня, тоді як у хворих контрольної підгрупи – до $13,1 \pm 1,1$ дня.

Середня кількість загострень у хворих основної підгрупи до початку лікування становила $5,3 \pm 1,4$ рази на рік, контрольної підгрупи – $5,4 \pm 1,1$ рази на рік. Після проведеного лікування кратність загострень скоротилась у хворих усіх підгруп, в основної підгрупи до 0,8 рази та контрольної до 3,2 рази.

Хірургічне лікування в комплексі з уратзнижувальною терапією позитивно впливає на тяжкість перебігу тофусної подагри та дозволяє досягти покращення якості життя у 92% хворих у порівнянні з 56% хворих контрольної групи.

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

References

1. Aslam F, Michet C Jr. My Treatment Approach to Gout. *Mayo Clin Proc.* 2017;92(8):1234-1247. DOI: 10.1016/j.mayocp.2017.05.026.
2. Day RO, Lau W, Stocker SL, Aung E, Coleshill MJ, Schulz M, et al. Management of gout in older people. *J Pharm Pr Res [Internet].* 2019;49(1):90–7. DOI: 10.1002/jppr.1511.

3. Edwards NL, Hochberg MC, Silman AJ, Smolen JS, Weinblatt ME, Weisman MH. Clinical gout. Vol. 2.
4. FitzGerald JD, Dalbeth N, Mikuls T, Brignardello-Petersen R, Guyatt G, Abeles AM, et al. 2020 American college of rheumatology guideline for the management of gout. *Arthritis Care Res (Hoboken)* [Internet]. 2020;72(6):744–60. DOI: 10.1002/acr.24180.
5. Hui M, Carr A, Cameron S, Davenport G, Doherty M, Forrester H, et al. The British society for rheumatology guideline for the management of gout. *Rheumatology (Oxford)* [Internet]. 2017;56(7):e1–20. DOI: 10.1093/rheumatology/kex156.
6. Khanna P, Johnson RJ, Marder B, LaMoreaux B, Kumar A. Systemic urate deposition: An unrecognized complication of gout? *J Clin Med* [Internet]. 2020;9(10):3204.
7. Khimion L, Yashchenko O, Sytiuk T. A modern strategy for managing gout patients. *Simeina medytsyna*. 2019;1(81):6–11.
8. Mizuno T, Hayashi T, Hikosaka S. Efficacy and safety of febuxostat in elderly female patients.
9. Richette P, Doherty M, Pascual E, Barskova V, Becce F, Castañeda-Sanabria J, et al. 2016 updated EULAR evidence-based recommendations for the management of gout. *Ann Rheum Dis* [Internet]. 2017;76(1):29–42. DOI: 10.1136/annrheumdis-2016-209707.

Surgical Treatment of Patients with Tophus Gout

Herasymenko S.I.¹, Poluliakh M.V.¹, Duda M.S.¹, Babko A.M.¹, Herasymenko A.S.¹, Poluliakh D.M.¹, Pshenychnyi T.Ye.¹, Huzhevskiy I.V.¹

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

Summary. Introduction. *Modern diagnostics, comprehensive orthopedic treatment, prevention of complications and adequate rehabilitation of patients with chronic gout can reduce the frequency and severity of exacerbations, prevent the development of secondary osteoarthritis, maintain ability to work, improve social adaptation of patients and reduce their disability. Objective:* to improve treatment results of patients with chronic tofus gout by developing indications for surgical treatment and improving existing methods of modern orthopedic treatment. **Materials and Methods.** *The materials of the study were based on treatment results of 58 patients with a diagnosis of chronic tofus gout, who were observed and treated in clinics of SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine” during 2012-2021. The age of patients ranged from 30 to 80 years (mean age 58.4±5.3 years). All patients were divided into two groups – main and control. The main group included patients (27 patients) who, in addition to conservative methods, underwent surgical treatment. The control group included 31 patients with chronic tofus gout who did not undergo surgery. For the development of indications and visualization of the pathological process severity, all patients underwent sonographic examination; removed tissues after surgery underwent morphological examination. Results.* The results of pathomorphological studies allowed us systematically evaluate the dynamics of morphological changes in joint tissues in tofus gout, to clarify the features of the inflammatory process and the formation of tofus, and to determine the effects of tofus impact on the structural and functional state of tissues in affected joint. **Conclusions.** *Surgical treatment in combination with conservative allows reducing the activity of the disease compared to the control group, to achieve a faster decrease in uric acid serum levels, reduce the number and duration of exacerbations regardless of the duration of the disease, reduce pain, improve quality of life, and reduce or avoid disability in patients.*

Key words: *gout; tofus; arthroscopy; endoprosthesis.*

Ретроспективний аналіз лікування хворих із больовим синдромом при остеохондрозі грудного відділу хребта

Кудрін А.П.¹ ✉

Резюме. Метою цього дослідження було виявлення ознак кардіологічної складової у формуванні хронічного больового синдрому при остеохондрозі грудного відділу хребта. **Матеріали і методи.** Ретроспективно досліджено історії хвороби 434 пацієнтів з остеохондрозом грудного відділу хребта, які проходили обстеження і лікування в умовах ДУ "ІГО НАМН України". Серед них було 207 чоловіків і 227 жінок. На основі опрацювання матеріалів стаціонарних та амбулаторних історій хвороб і консультативних висновків проведено аналіз місця проживання, способу життя пацієнтів, наявності супутньої патології, тривалості захворювання та частоти загострень на рік. Були проаналізовані фактори ризику та скарги хворих з акцентом на характер больового синдрому, проводилась оцінка результатів лікування. **Результати.** На грудний остеохондроз майже рівною мірою страждали чоловіки ($47,7 \pm 2,4\%$) та жінки ($52,3 \pm 2,3\%$) працездатного віку (89,0%). Переважна більшість проживала в містах (88,2%). Найчастіше за локалізацією зустрічався ізольований грудний остеохондроз ($43,3 \pm 0,3\%$) із тривалістю захворювання до 1 року (72,3%) і частотою загострень 1 раз на рік (54,4%). Біль був переважно скимного характеру з іррадіацією в праву половину грудної клітки та праву верхню кінцівку (88,5%). Спостерігали залежність больового синдрому від зміни положення тіла та тривалість за часом від однієї години до кількох діб (92,1%). До факторів ризику розвитку захворювання зараховано гіподинамію – 10,4%, ожиріння – 5,5%, іншу супутню патологію – 4,6%, генетичну схильність та шкідливі звички відповідно у 4,1% та 3,0% випадків. У 90,0% випадків пацієнтам проводилось медикаментозне лікування у вигляді прийому нестероїдних протизапальних препаратів (НПЗП) та анальгетиків. 10,0% лікувались із використанням фізіотерапії (52,7%), масажу (97,2%) та лікувальної гімнастики (91,7%). Поєднання медикаментозних і немедикаментозних методів було у 63,2% пацієнтів. За результатами лікування позитивний ефект відмічено у 87,5% хворих. **Висновки.** Ретельний аналіз отриманих негативних результатів свідчить про наявність у цієї категорії пацієнтів вірогідної супутньої кардіологічної патології, що потребує подальшого вивчення і дослідження.

Ключові слова: больовий синдром у ділянці грудного відділу хребта; біль; остеохондроз.

Вступ

Близько 75-95% населення України хворіє на остеохондроз хребта, й у 12-26% випадків патологія виявляється вже у дітей 10-15-річного віку. Ця хвороба посідає одне з перших місць у структурі захворювань із тимчасовою втратою працездатності й інвалідністю [1]. При аналізі показників багаторічного дослідження відмічається

тенденція до постійного зростання її частоти [2]. Наразі військові дії, що тривають в Україні, потенційно підвищують розвиток і значення цієї патології. Це пов'язано насамперед із вимушеною позицією тіла (під час виконання поставлених завдань) і використанням зброї та амуніції (додаткова вага та навантаження). Це захворювання супроводжується наявністю больового синдрому, саме тому кожна локалізація потребує свого діагностичного підходу.

Патологію грудного відділу хребта досить важко діагностувати насамперед через анатомо-то-

✉ Кудрін А.П., kudrinap16@gmail.com

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

пографічні особливості грудного відділу хребта, який не здійснює рухів завдяки реберному каркасу, що об'єднує грудну клітку в жорсткий циліндр, а також через тісне розташування відносно один одного остистих відростків, які поєднані між собою міцним зв'язковим апаратом. Тому досить часто у грудному відділі хребта остеохондроз розвивається навіть у молодому віці (18-25 років), особливо при збільшеному грудному кифозі. Зазвичай він локалізується на рівні Th3-Th7 [3, 4, 5, 6, 7]. Крім того, для остеохондрозу грудного відділу хребта характерне формування крайових кісткових розростань тіл хребців, направлених перпендикулярно осі хребта нерівномірно по всьому периметру диска як захисна реакція тіл хребців для збільшення площі опору на неповноцінний диск [3, 6, 8].

Торакалгія є досить частою скаргою, з якою пацієнти звертаються до лікаря. Існує безліч причин болю в грудній клітці та за грудинному просторі, тому диференціальна діагностика відіграє дуже важливу роль і є непростим процесом [9]. Отже, на перший план виступають питання диференціальної діагностики при зверненні пацієнта до травматолога-ортопеда в аспекті уточнення виду торакалгії (вертеброгенного та невертеброгенного походження) з визначенням провідної причини та наявності взаємовпливу патологій при їхньому поєднанні [6, 7, 10].

Мета дослідження – виявлення ознак кардіологічної складової у формуванні хронічного больового синдрому при остеохондрозі грудного відділу хребта.

Матеріали і методи

Дослідження проводили на базі відділу реабілітації ДУ "ТГО НАМНУ" у м. Києві. Ретроспективно проаналізовано медичну документацію (стаціонарні та амбулаторні історії хвороб) 434 хворих [11, 12]. Віковий діапазон від 17 до 90 років. Середній вік хворих становив $44,7 \pm 1,5$ року. Середня тривалість захворювання – $1,5 \pm 1,1$ року, лікування – $12 \pm 2,1$ дня. До аналізу не долучали пацієнтів, які мали гостру ізолювану патологію серцево-судинної системи (інфаркт міокарда, стенокардія та ін.), деформуючі та травматичні зміни хребта (сколіоз 3-4 ст., компресійні переломи тіл хребців, деформації грудної клітки та ін.).

Результати та їх обговорення

Під час проведеного дослідження було виявлено, що на грудний остеохондроз майже рівною мірою хворіли жінки ($52,3 \pm 2,3\%$) та чоловіки ($47,7 \pm 2,4\%$) працездатного віку (89,0%), переважна більшість із них проживала в містах (88,2%). Отримані дані збігаються із даними багатьох авторів (Луцик, Вейн, Хабіров), які вивчали цей аспект. Найчастіше за локалізацією зустрічався ізолюваний грудний остеохондроз (43,3%) (рис. 1), хоча такі автори, як А.А. Луцик, Ф.А. Хабіров, отримували більшою мірою дані про поєднання грудного остеохондрозу з шийним. Наші спостереження (статистично недовіряні, оскільки матеріалу недостатньо) свідчать про ймовірний процес збільшення кількості ви-

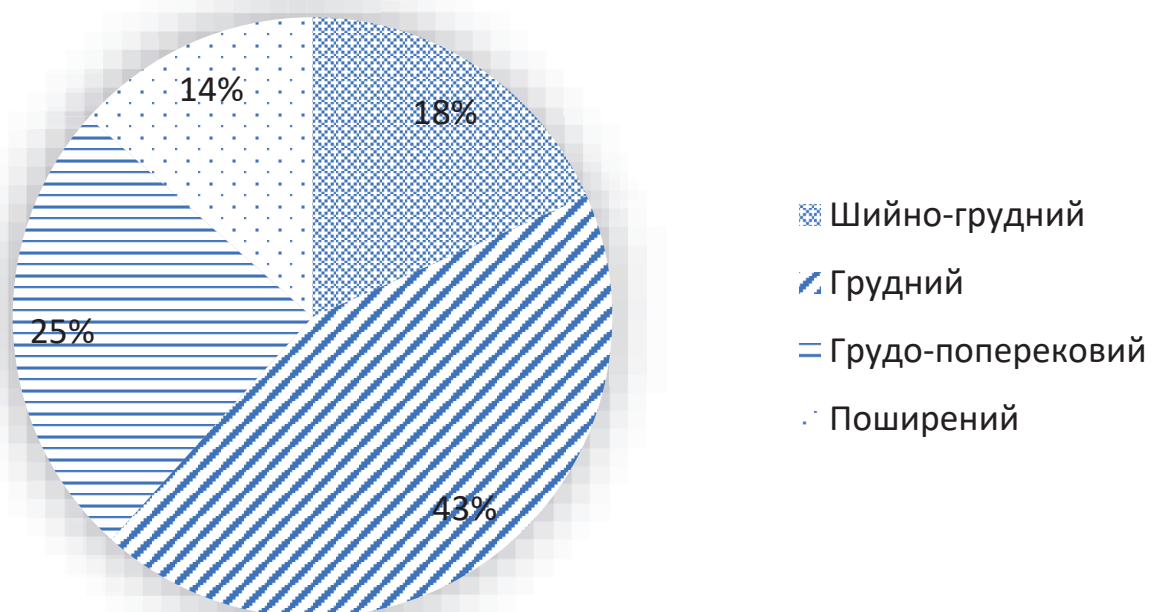


Рис. 1. Локалізація дегенеративно-дистрофічного процесу в хребті (%)

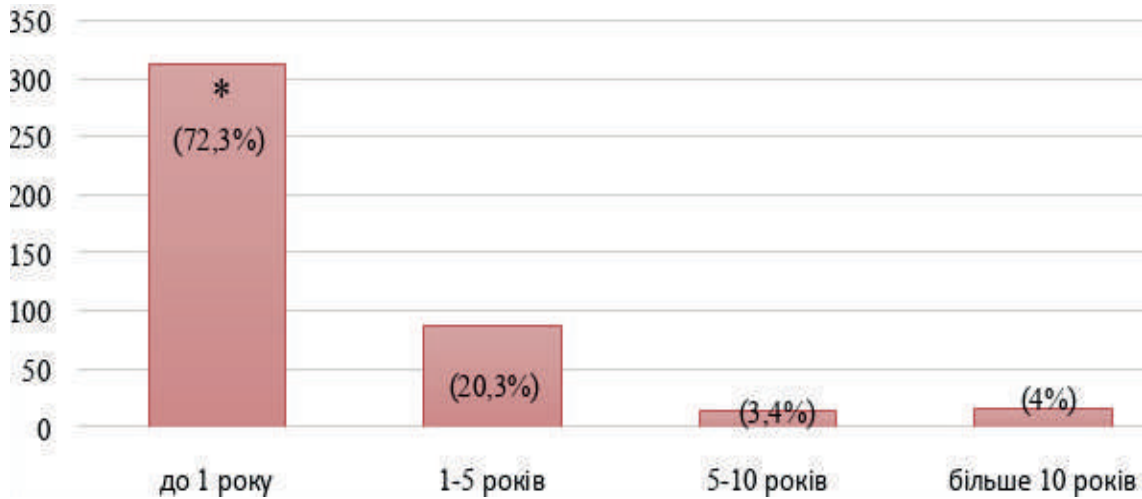


Рис. 2. Розподіл пацієнтів за тривалістю захворювання (n, %) * – P – у порівнянні з тривалістю до 1 року

падків поєднаного остеохондрозу (шийно-грудної локалізації) у військових, що потребує подальшого накопичення матеріалу та його обробки.

Тривалість захворювання до 1 року (72,3%) із частотою загострень 1 раз на рік (54,4%) (рис. 2) зустрічалась найбільш часто ($p < 0,05$).

Біль переважно скимного характеру з іррадіацією в праву половину грудної клітки та праву верхню кінцівку (88,5%) (рис. 3).

Спостерігали залежність больового синдрому від зміни положення тіла та його тривалість за часом від однієї години до кількох діб (92,1%, $p < 0,05$).

До факторів ризику розвитку захворювання зараховується гіподинамія – 10,4%, ожиріння – 5,5%, інша супутня патологія – 4,6%, генетичну схильність та шкідливі звички відповідно 4,1% та 3,0% ви-

падків (рис. 4). На жаль, аналіз наявної документації не дозволив нам отримати повну картину – у 72,4% дані відсутні.

Сьогодні цей показник становить 4,6%, що, за експертною оцінкою, не відповідає дійсності. Це питання буде розглянуто в нашому подальшому дослідженні, оскільки суттєво впливає на результати лікування (рис. 5).

Ретельний аналіз отриманих негативних результатів свідчить про наявність у цієї категорії хворих вірогідної супутньої кардіологічної патології, що потребує подальшого вивчення і дослідження.

У 90% випадків пацієнти застосовували медикаментозне лікування у вигляді прийому нестероїдних протизапальних препаратів (НПЗП) або аналь-

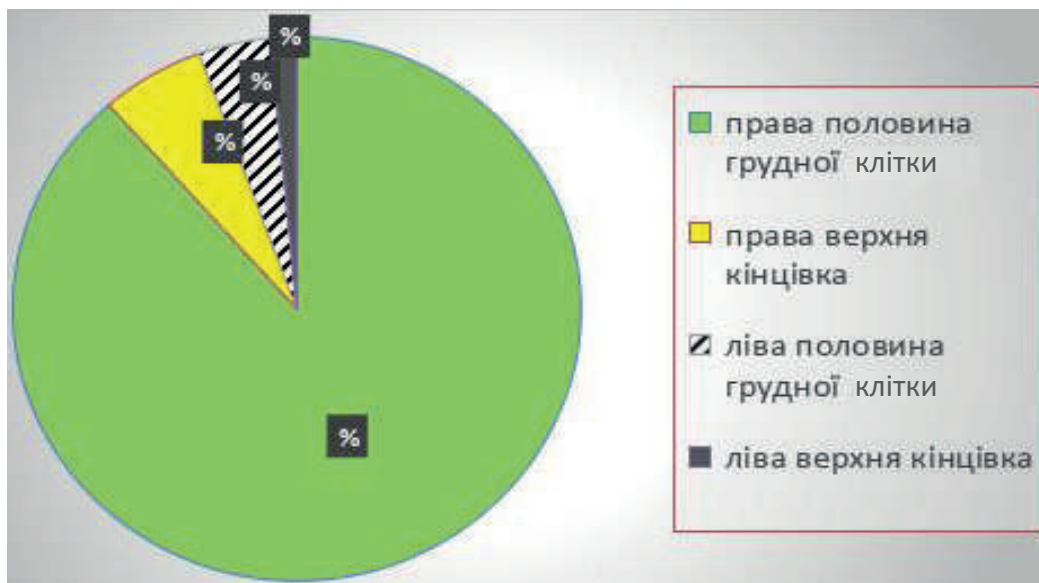


Рис. 3. Іррадіація больового синдрому (%)

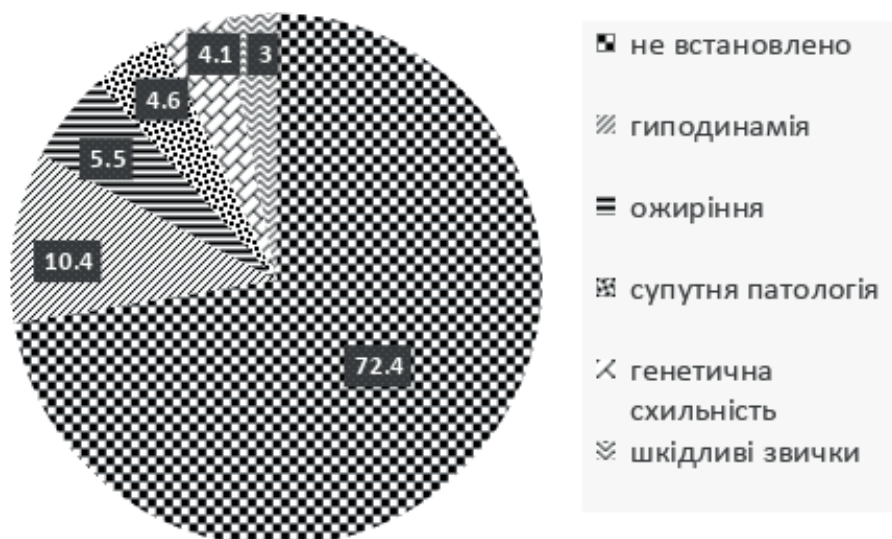


Рис. 4. Фактори ризику розвитку больового синдрому

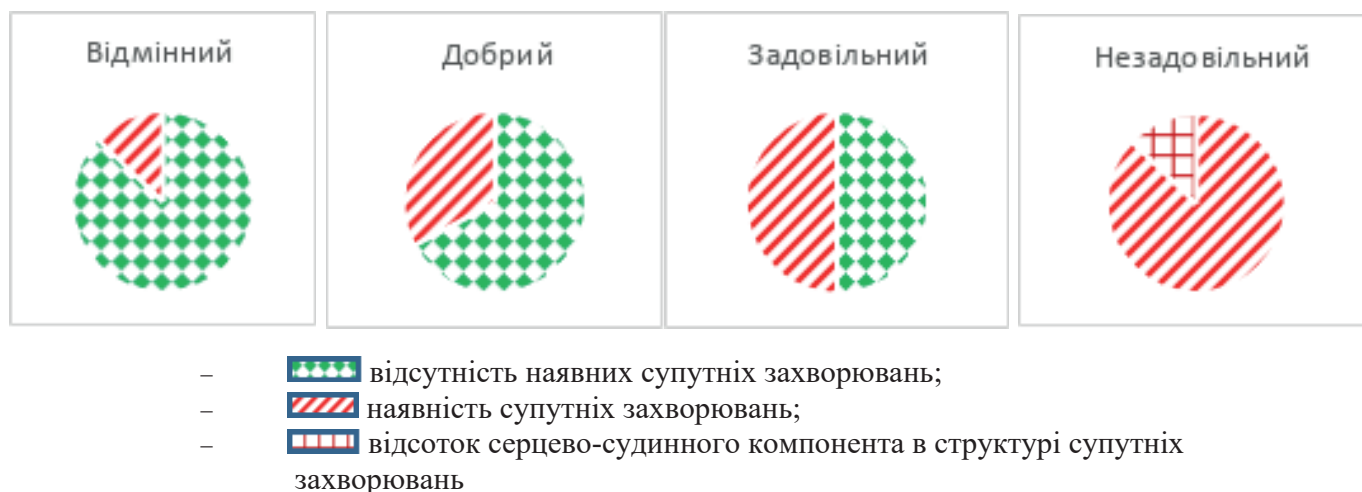


Рис. 5. Частка впливу супутньої патології на результати лікування

гетиків, у той час як 10,0% пацієнтів їх не використовували, а лікувались іншими методами: із використанням фізіотерапії – 52,7%, масажу – 97,2% та лікувальної гімнастики – 91,7%. Медикаментозні та

немедикаментозні методи лікування поєднувались у 63,2% пацієнтів.

За результатами лікування позитивний ефект відмічали 87,5% пацієнтів (табл. 1).

Таблиця 1

Результати лікування (ефективність) хворих із больовим синдромом на фоні остеохондрозу грудного відділу хребта

Показник	Результат				
	відмінний	добрий	задовільний	незадовільний	
Кількість (%)	13,3	44,7	29,5	12,5	
Стать	ч	6,2	18,4	19,7	6,6
	ж	7,1	26,3	22,6	9,1
Середній вік, роки	32±2	39±1	44±1	±2,2	
Давність захворювання, роки	до 1 року	1-5 років	5-10 років	понад 10 років	
	72,3	20,3	3,2	3,7	

Таким чином, значна кількість отриманих незадовільних результатів лікування свідчить про необхідність подальшого вивчення і наукову перспективу розвитку цього питання з метою покращення результатів лікування пацієнтів із больовим синдромом при грудному остеохондрозі хребта.

Висновки

1. Остеохондрозом грудного відділу хребта хворіють майже рівною мірою чоловіки ($47,7 \pm 2,4\%$) і жінки ($52,3 \pm 2,4\%$) працездатного віку (89,0%), тому він потребує удосконалення методів діагностики і лікування з метою скорочення кількості днів непрацездатності та зменшення навантаження на бюджет.

2. За локалізацією найчастіше спостерігали ізольований грудний остеохондроз із тривалістю ($42,6 \pm 0,3\%$ днів) і частотою загострень 1 раз на рік (54,4%). Через наявні військові дії в Україні і вірогідність значного збільшення кількості захворювань і частоти ускладнень ця проблема потребує подальших досліджень та удосконалення методів лікування.

3. До факторів ризику першочергово зараховують гіподинамію – 10,4% та ожиріння – 5,5%. Однак структура чинників, що призводять до розвитку захворювання, потребує додаткового вивчення через військові дії на території України.

4. За результатами лікування позитивний ефект відмічали 67,5% пацієнтів. Ретельний аналіз отриманих негативних результатів свідчить про наявність у цієї категорії хворих вірогідної супутньої кардіологічної патології, що потребує подальшого вивчення і дослідження.

Конфлікт інтересів. Автор декларує відсутність конфлікту інтересів. Ця публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості в жодній формі.

References

1. Пустовойт Б. Сучасні принципи фізичної реабілітації хворих на остеохондроз шийно-грудного відділу хребта. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2018;2(64):50-53.
Pustovoyt B. Modern principles of physical rehabilitation of patients with osteochondrosis of the cervical and thoracic spine. Slobozhanskyi naukovo-sportyvnyi visnyk. 2018;2(64):50-53. [in Ukrainian].
2. Долгополов ОВ, Полішко ВП, Ярова МЛ. Епідеміологія захворювань кістково-м'язової системи в Україні за період 1993-2017 рр. Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2019;(4):101-8. [in Ukrainian].
Dolhopolov OV, Polishko VP, Yarova ML. Epidemiology of diseases of the musculoskeletal system in Ukraine for

the period 1993-2017. Visnyk ortopedii, travmatolohii ta protezuvannia. 2019;(4):101-8.

3. Луцик АА, Шмидт ІР, Пеганова МА. Грудной остеохондроз. Новосибирск: Издатель; 1998. 280 с. [in Russian].
Lutsik AA, Shmidt IR, Peganova MA. Thoracic osteochondrosis. Novosibirsk: Izdatel; 1998. 280 s.
4. Вейн АМ. Патология позвоночника и спинной мозг. М.: Медицина; 1985. Вегетативные нарушения при остеохондрозе позвоночника; с. 197-202.
Veyn AM. Pathology of the spine and spinal cord. M.: Meditsina; 1985. Vegetative disorders in osteochondrosis of the spine; s. 197-202. [in Russian].
5. Левит К, Захсе Й, Янда А. Мануальная медицина. М.: Медицина; 1993. 512 с.
Levit K, Zahse Y, Yanda A. Manual medicine. M.: Meditsina; 1993. 512 s. [in Russian].
6. Орос ММ, Грабар ВВ. Біль у ділянці серця: погляд невролога. Международный неврологический журнал. 2017;7(93):77-81. DOI: 10.22141/2224-0713.7.93.2017.116551.
Oros MM, Hrabar VV. Pain in the area of the heart: a neurologist's view. Mezhdunarodnyi nevrolohycheskyi zhurnal. 2017;7(93):77-81. DOI: 10.22141/2224-0713.7.93.2017.116551. [in Ukrainian].
7. Scheyerer MJ, Werner CML, Veit-Haibach P. The clinical rehabilitation of spine and spinal cord disorders: detection and evaluation using SPECT/CT. Neural Regen Res. 2014 Apr 15;9(8):795-7. DOI: 10.4103/1673-5374.131593.
8. Шмидт ІР. Остеохондроз позвоночника. Этиология и профилактика. Новосибирск: Наука; 1992. 236 с.
Shmidt IR. Osteochondrosis of the spine. Etiology and prevention. Novosibirsk: Nauka; 1992. 236 s. [in Russian].
9. Горбачева СМ, Салато ОВ. "Боль в грудной клетке" на догоспитальном этапе (обзор литературы). Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2012;(4(86) часть 2):220-6.
Gorbacheva SM, Salato OV "Chest pain" at the prehospital stage (literature review). Byulleten VSNTs SO RAMN. 2012;(4(86) chast 2):220-6. [in Russian].
10. Хабиров ФА, Рахматуллина ЭФ, Кочергина ОС. Кардиалгия – взгляд невролога. Практическая медицина. 2020;18(1):43-49. DOI: 10.32000/2072-1757-2020-1-43-49.
Nabirov FA, Rahmatullina EF, Kochergina OS. Cardialgia – the view of a neurologist. Prakticheskaya meditsina. 2020;18(1):43-49. DOI: 10.32000/2072-1757-2020-1-43-49. [in Russian].
11. Рой ІВ, Борзих НО, Катюкова ЛД, Кудрін АП, Бовсунівський ОВ, Медведівська НВ, та ін. Особливості реабілітації пацієнтів з торакалгією на фоні остеохондроза грудного відділу хребта. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія. 2020;(2):86-90. DOI: 10.32652/spmed.2020.2.86-90.
Roi IV, Borzykh NO, Katiukova LD, Kudrin AP, Bovsunovskyi OV, Medvedovska NV, ta in. Peculiarities of rehabilitation of patients with thoracalgia against the background of osteochondrosis of the thoracic spine. Sportyvna medytsyna, fizychna terapiia ta erhoterapiia. 2020;(2):86-90. DOI: 10.32652/spmed.2020.2.86-90. [in Ukrainian].
12. Cassel M, Müller Ju, Moser O, Strempler ME, Reso Ju, Mayer F. Orthopedic Injury Profiles in Adolescent Elite Athletes: A Retrospective Analysis From a Sports Medicine Department. Front Physiol. 2019;10:544. DOI: 10.3389/fphys.2019.00544.

Retrospective Analysis of the Treatment of Patients with Pain in Osteochondrosis of the Thoracic Spine

Kudrin A.P.¹

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

Summary. The purpose of this study was to identify signs of cardiac component in the development of chronic pain in osteochondrosis of the thoracic spine. **Materials and Methods.** Case histories of 434 patients with osteochondrosis of the thoracic spine who underwent examination and treatment in the SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine" were retrospectively studied. Among them were 207 males and 227 females. The materials of inpatient and outpatient medical histories and consultative conclusions were processed. The place of residence, lifestyle of patients, the presence of concomitant pathology, duration of the disease, and the frequency of exacerbations per year were analyzed. Risk factors and complaints of patients with a careful emphasis on the nature of the pain syndrome were studied. The results of treatment were evaluated. **Results.** Males ($47.7 \pm 2.4\%$) and females ($52.3 \pm 2.3\%$) of working age (89.0%) suffered from thoracic osteochondrosis almost equally. The vast majority lived in cities (88.2%). Isolated thoracic osteochondrosis ($43.3 \pm 0.3\%$) with the duration of the disease up to 1 year (72.3%) and the frequency of exacerbations once a year (54.4%) was the most common according to localization. The pain was mainly aching in nature with irradiation to the right half of the chest and right upper extremity (88.5%). The dependence of the pain syndrome on changes in body position and duration over time from one hour to several days was observed (92.1%). Risk factors for the development of the disease include hypodynamia (10.4%), obesity (5.5%), other comorbidities (4.6%), as well as genetic predisposition and bad habits (4.1% and 3.0%, respectively). In 90.0% of cases, the patients received drug treatment – nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and analgesics. 10.0% were treated with physiotherapy (52.7%), massage (97.2%), and therapeutic gymnastics (91.7%). 63.2% of patients were treated using a combination of medical and non-medical methods. According to the outcomes of treatment, a positive effect was noted in 87.5% of patients. **Conclusions.** Careful analysis of the negative outcomes indicates the presence in this category of patients probable concomitant cardiac pathology, which requires further study and examination.

Key words: pain in the thoracic spine; pain; osteochondrosis.

Обґрунтування використання екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії при лікуванні переломів кісток з уповільненим зрощенням, псевдоартрозів

Герцен Г.І.¹, Ременюк Ю.К.²✉, Білоножкін Г.Г.¹, Сікорська М.В.²

Резюме. Актуальність. Порушення процесів кісткоутворення і сьогодні є досить розповсюдженими, досягаючи 2,7-27,1%, тому пошук і використання нових ефективних методів їхнього лікування і профілактики залишаються актуальними. Одним із таких методів є екстракорпоральна ударно-хвильова терапія. Погляди на її вплив на процеси кісткоутворення суттєво відрізняються. **Мета дослідження.** Вивчити в умовах експерименту вплив та механізм дії ударно-хвильової терапії на процеси репаративного остеогенезу, а в клінічних умовах – вплив методу на переломи кісток з уповільненим зрощенням, псевдоартрози. **Матеріали і методи.** В експерименті на кролях після проведення моделі наскрізного дірчастого дефекту проксимального метадіафіза великогомілкової кістки тваринам основної групи на ділянку травми впливали радіальними низькоенергетичними ударними хвилями на 3-ю, 6-ту, 9-ту, 12-ту добу після травми. Результати лікування оцінювали за даними клінічних, рентгенологічних та гістоморфологічних досліджень. Клінічний розділ охоплював 136 хворих із порушенням зрощення переломів довгих кісток, яким попередньо проводили консервативне лікування або остеосинтез. Усім пацієнтам проведено 1-3 сеанси ударно-хвильової терапії з оцінюванням результатів після лікування через 3, 6, 12 місяців на основі рентгенологічних досліджень та функціональної шкали Neer – Crantbath – Shelton. **Результати.** Проведені дослідження показали, що у кролів основної групи через місяць після ударно-хвильової терапії морфологічно відзначалася більша товщина і щільність сформованих кісткових перетинок на ділянці дефекту проксимального метадіафіза великогомілкової кістки, а через 45 діб – більша кількість випадків відновлення його кортикального шару ($p < 0,05$). Після лікування пацієнтів з уповільненим зрощенням переломів кісток ударно-хвильовою терапією через 3 місяці консолідація за допомогою рентгенологічного методу була встановлена у 89,4% випадків, цей показник у наступні терміни дослідження практично не змінювався. За результатами лікування пацієнтів із псевдоартрозами кісток методом ударно-хвильової терапії через 3 місяці рентгенологічно консолідація була встановлена у 46,1% хворих, через 6 місяців – у 75,3%, через 12 місяців – у 80,9%. Наприкінці дослідження також значно покращувалися показники за функціональною шкалою Neer – Crantbath – Shelton. **Висновки.** Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що ударно-хвильова терапія є ефективним неінвазивним методом лікування переломів кісток з уповільненим зрощенням, псевдоартрозів та є альтернативою хірургічному втручання.

Ключові слова: псевдоартрози; уповільнене зрощення кісток; ударно-хвильова терапія.

Вступ

Незважаючи на досягнення в галузі консервативного або хірургічного лікування переломів кісток,

переоцінку стандартів металоостеосинтезу (МОС), а саме надання переваги малоінвазивним “біологічним” методам МОС, порушення процесів кісткоутворення і досі мають відносно високий рівень, досягаючи 2,7-27,1% [1, 2]. Це свідчить про необхідність використання ефективних методів лікування і профілактики порушень репаративного остеогенезу у вигляді уповільненого зрощення переломів кісток, псевдоартрозів.

✉ Ременюк Ю.К., remenjuk.yuk@gmail.com

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

²Медичний центр “Аватаж”, м. Київ

Протягом останніх десятиліть у медицині став широко використовуватися метод ударно-хвильової терапії при лікуванні численних патологічних станів [3, 4, 5]. Також цей фізичний метод зарекомендував себе в галузі ортопедії і травматології як ефективна допомога хворим з адгезивним капсулітом плечового суглоба, ентезопатіями ліктьового суглоба, стилоїдитом, трохантеритом, синдромом попереково-здухвинної зв'язки, ахілоденією, міотонічними синдромами, плантарним фасціїтом та іншою патологією [6, 7, 8]. Автори підкреслюють, що це ефективний метод лікування гострого та хронічного болю у суглобах, сухожиллях і м'язах.

Вплив екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії на процеси кісткоутворення та їхнє порушення у літературі має як позитивні, так і негативні оцінки, причому вони стосуються, як правило, фокусованого, а не радіального застосування цього методу [9, 10]. Також залишається невивченим механізм дії ударних хвиль на процеси репаративного остеогенезу та їхнє порушення. Тому ми вважаємо за доцільне провести експериментальне та клінічне дослідження впливу та механізму дії екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії (ЕРУХТ) на процеси репаративної регенерації кісткової тканини та їх порушення.

Мета – вивчення в умовах експерименту впливу та механізму дії ЕРУХТ на процеси репаративного остеогенезу, а також вивчення в клінічних умовах впливу цього методу на уповільнене зрощення переломів кісток, псевдоартрози.

Матеріали і методи

Експериментальні морфологічні дослідження виконані на 24 дорослих кролях-самцях масою від 2,9 до 3,4 кг, які становили контрольну (12 тварин) та основну (12 тварин) групи. Експерименти на тваринах здійснені відповідно до вимог “Європейської конвенції захисту хребетних тварин, які використовуються з експериментальною та іншою метою” та Закону України № 3447-IV від 21.02.2006 р. “Про захист тварин від жорстокого поводження”. У тварин використана стандартна модель наскрізного дірчастого дефекту проксимального метадіафіза великогомілкової кістки (ПМВГК) у фронтальній площині діаметром 2,5 мм. До основної групи спостережень було включено тварин, у яких після отримання дефекту ПМВГК на ділянку травми впливали радіальними низькоенергетичними хвилями. Нами використано апарат для ЕРУХТ фірми Storz Medical, модель HP 200 (мастерпульс 200). Частота ударів відповідала

1-21 Гц, робочий тиск – 1-5 бар, міцність енергії – 0,38 мДж/мм², загальна кількість ударів за 1 процедуру становила 2000 при лікувальних сеансах, які проводили з інтервалами 3 доби. Процедури ЕРУХТ проводили на 3-ю, 6-ту, 9-ту, 12-ту добу після травми ПМВГК.

Для рентгеноморфологічних досліджень кролів контрольної та основної груп у терміни 5, 15, 30 і 45 діб після травми виводили з досліду, виконували вилучення макропрепарату ПМВГК із наступною рентгенографією. Для гістоморфологічних досліджень проводилася резекція проксимальної третини великогомілкової кістки, яку після фіксації у 10% розчині формаліну, зневоднення і знежирення заливали у целоїдин. Гістологічні зрізи фарбували гематоксилін-еозином, а також пікрофуксином за Ван Гізоном.

Клінічний розділ досліджень охоплює 136 пацієнтів із порушеними формами зрощення переломів довгих кісток у віці 19-82 роки (серед них було 57 жінок і 79 чоловіків), яким раніше проводилось консервативне лікування (42 пацієнти) або МОС (94 пацієнти). Серед останніх МОС пластинами з гвинтами був використаний у 63 пацієнтів, блокований інтрамедулярний остеосинтез (БІОС) – у 31. Переломи кісток з уповільненим зрощенням мали місце у 47 випадках: переломи ключиці – 2, плечової кістки – 4, кісток передпліччя – 4, стегнової кістки – 8, великогомілкової кістки – 29. Псевдоартрози – у 89: плечової кістки – 7, кісток передпліччя – 14, стегнової кістки – 28, великогомілкової кістки – 40. Відповідно до модифікованої класифікації B.G. Weber, O. Cech [14], гіперпластичні псевдоартрози довгих кісток спостерігались у 47 пацієнтів, гіпопластичні – у 29, атрофічні – у 13.

Усім пацієнтам із порушенням зрощення переломів довгих кісток проведено від 1 до 3 сеансів ЕРУХТ при частоті ударів 5-7 Гц, робочому тиску 1-5 бар, міцності енергії 0,25-0,3 мДж/мм², загальної кількості ударів за процедуру від 2000 до 6000. Оцінку ефективності лікування хворих після останнього сеансу ЕРУХТ проводили через 3, 6, 12 місяців клінічно та рентгенологічно. Враховували наявність зрощення кісток, суб'єктивні відгуки хворого, наявність біомеханічних (деформації, вкорочення), нейротрофічних порушень, відновлення працездатності. При цьому використовували модифіковану 100-бальну шкалу оцінки анатомо-функціональних результатів лікування хворих із переломами кісток Neer – Grantham – Shelton [15]: відмінний результат відповідав 85-100 балам, задовільний – 70-84 балам, незадовільний – 69 балам і менше.

Статистичну обробку матеріалу проводили звикористанням програмного забезпечення Statistica 5.5.

Статистичну характеристику двох вибірок проводили за допомогою критерію Стьюдента.

Результати

Результати експериментальних рентгенологічних досліджень на 5-ту добу після травми ПМВГК в обох групах тварин засвідчили наявність дефекту кістки круглої форми з чіткими краями (рис. 1). Через 15 днів після операції чіткість країв дефекту зберігалася, явищ кісткоутворення не спостерігали, однак в основній групі тварин відзначали ущільнення губчастої кісткової тканини навколо дефекту ПМВГК після 2 сеансів ЕРУХТ.

Через 30 днів після травми у кролів основної групи після 4 сеансів ЕРУХТ у порівнянні з контрольною групою було виявлено більш виражене нерівномірне ущільнення губчастої кісткової тканини навколо дефекту ПМВГК, локальне та нерівномірне потовщення компактного шару кісткової тканини, зменшення розмірів дірчастих дефектів. Через 45 днів після травми зміни структурно-функціональної організації ПМВГК характеризувалися неповним відновленням цілісності кісток в обох групах тварин, проте у кролів основної групи після 4 сеансів ЕРУХТ дефект ПМВГК мав менші розміри та менш чіткі межі, а щільність губчастої тканини на ділянці ПМВГК була більшою.

Визначено гістоморфологічні особливості впливу ЕРУХТ на загоєння дірчастого дефекту ПМВГК у кролів. У термін спостереження 5 днів після травми

ПМВГК у тварин обох груп були визначені ознаки гострої механічної травми, які проявлялися розладами кровопостачання у вигляді набряку кісткового мозку, плазмостазу, кровонаповнення судин і крововиливів, що супроводжувалися явищами проліферації клітин кісткового мозку з формуванням остеогенної тканини (рис. 2).

У кролів основної групи в цей термін після 1 сеансу ЕРУХТ поряд із відміченими розладами кровопостачання переважав виражений вихід кров'яних елементів із судин мікроциркуляторного русла, що призводило до дифузної інфільтрації кров'яними клітинами кісткового мозку.

Через 15 днів після ушкодження ПМВГК в обох групах тварин виявлено прогресуючий репаративний остеогенез. У цей термін спостереження у тварин основної групи після 4 сеансів ЕРУХТ завдяки активному перебігу остеогенезу перетинки кісткової тканини були більш товстими, що відбувалось на фоні дифузних інфільтраційних порушень тканинного кровопостачання. Через 30 днів після травми у тварин основної групи у порівнянні з кролями контрольної групи різниця полягала у більшій товщині та щільності сформованих кісткових перетинок на ділянці дефекту ПМВГК, що було підтверджено статистично, $p < 0,05$ (рис. 3).

Наприкінці дослідження у тварин контрольної групи (45 днів після травми) в 1 з 5 випадків спостереження відбувалося повне відновлення цілісності компактного шару на ділянці дефекту ПМВГК. Розбіжності у тварин основної групи полягали в

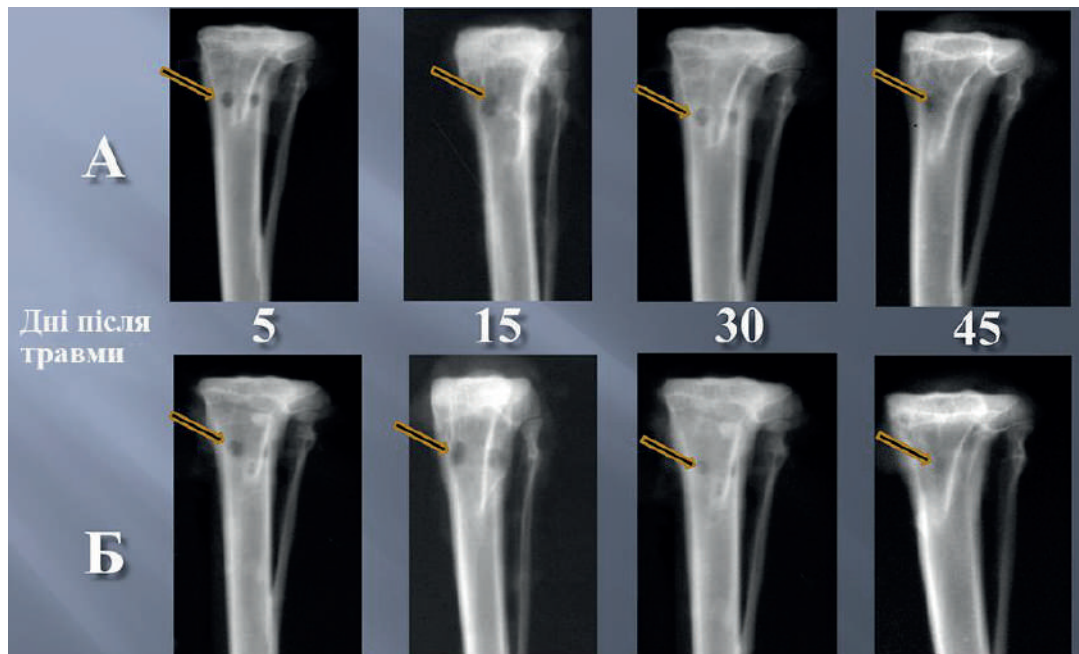
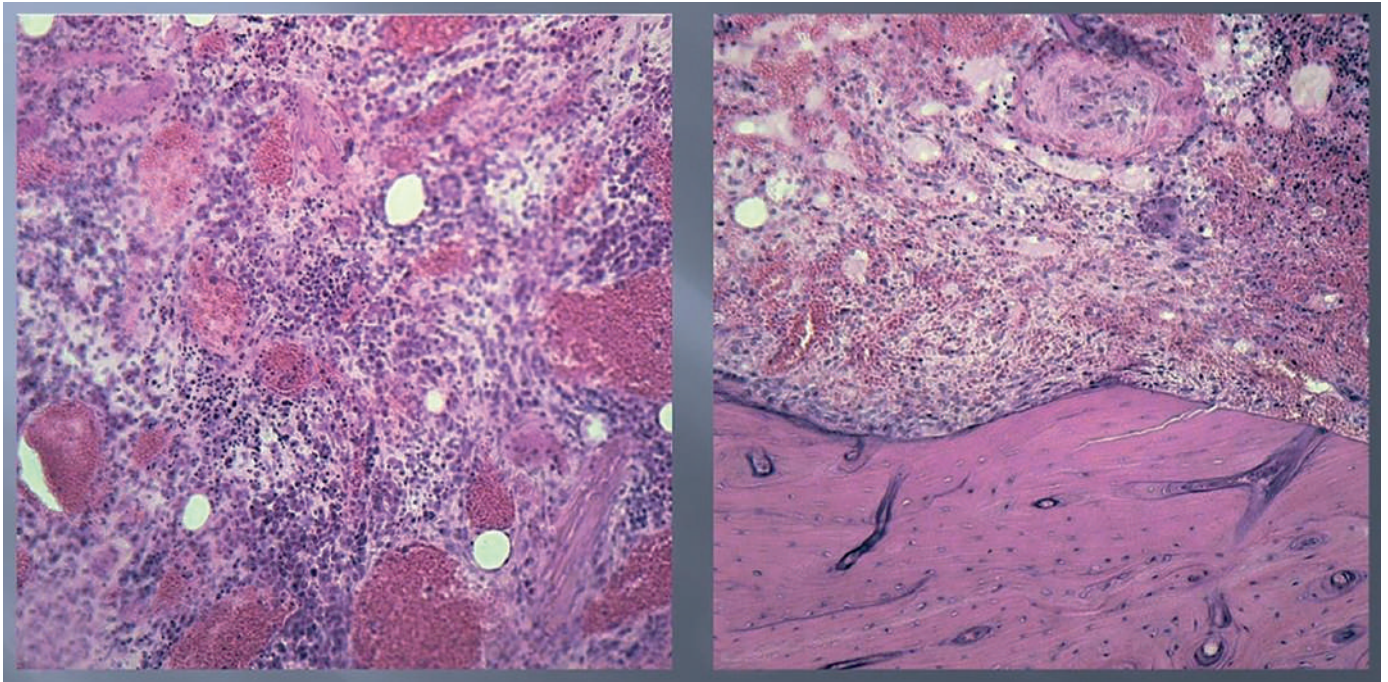


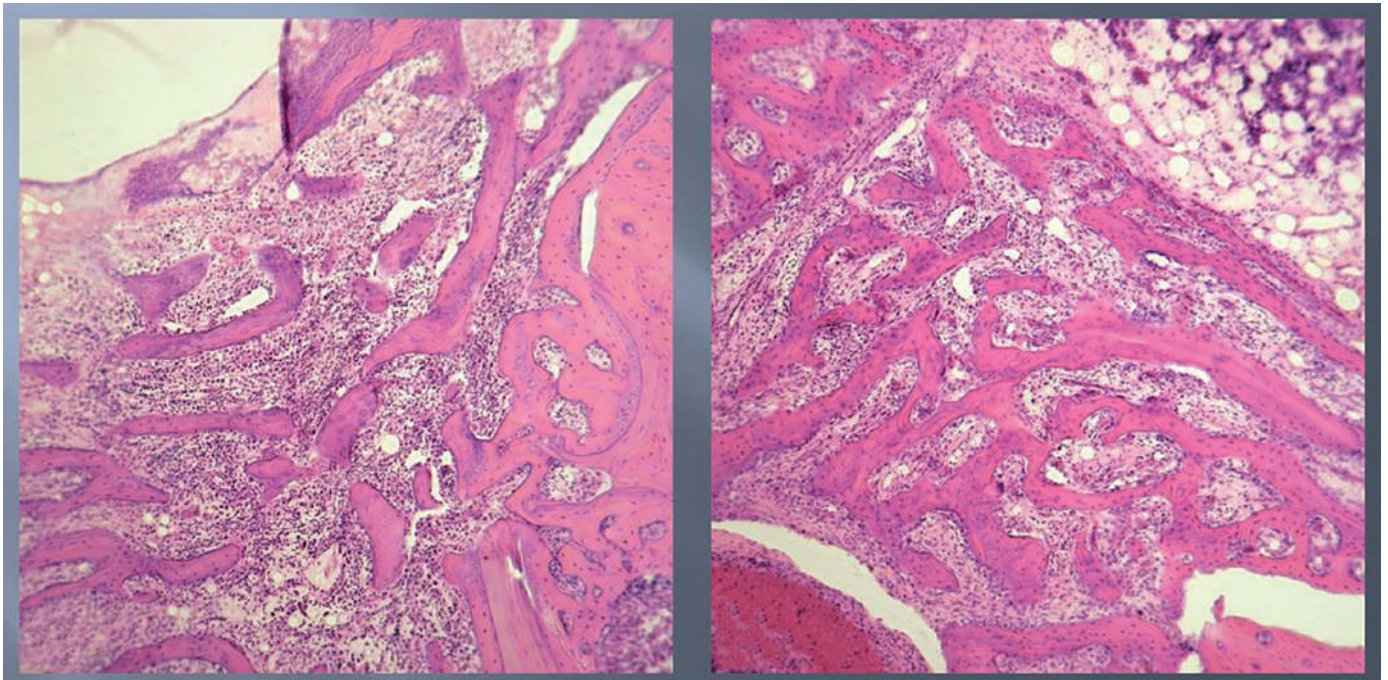
Рис. 1. Фотокопії рентгенограм ПМВГК у фронтальній площині після створення дірчастого дефекту кролів контрольної (А) та основної (Б) груп



а)

б)

Рис. 2. Дифузні прояви виходу кров'яних елементів із мікроциркуляторного русла у кроля основної групи. 5 днів після травми ПМВГК у кролів контрольної (а) та основної (б) груп. Гематоксилін-еозин, $\times 10$



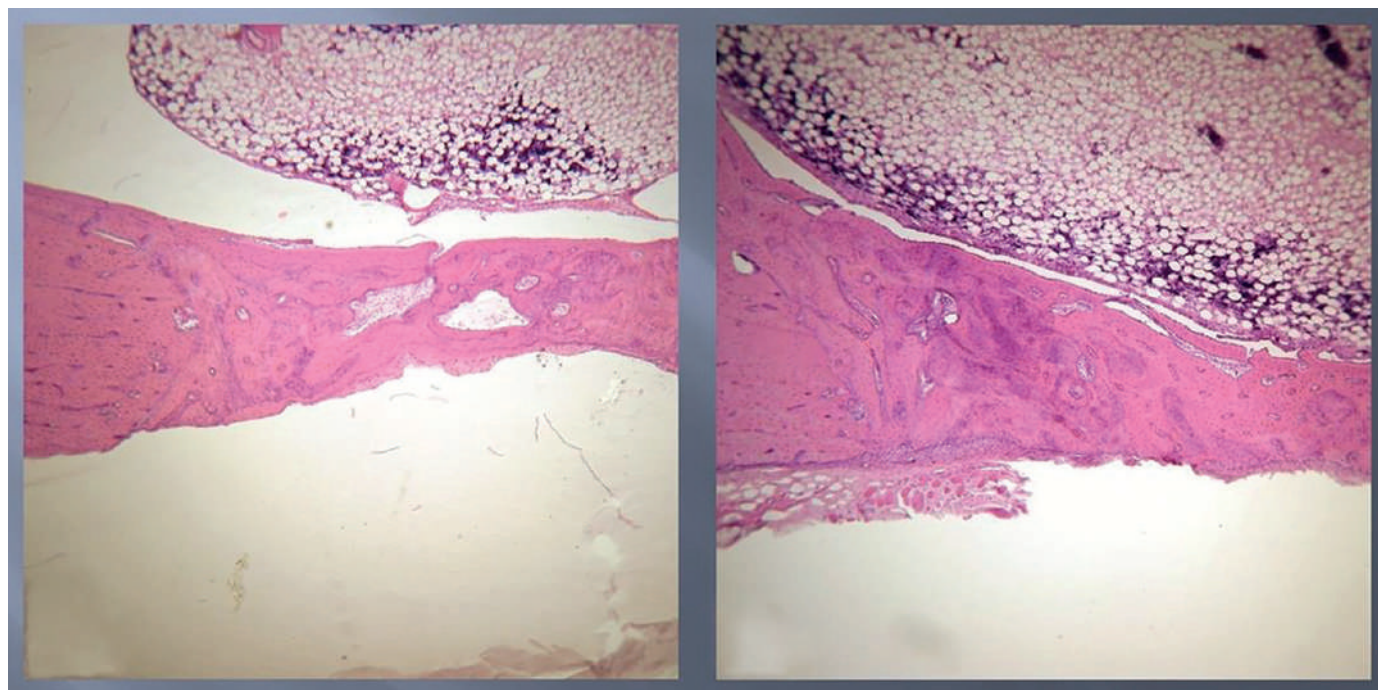
а)

б)

Рис. 3. Менша щільність і товщина кісткових перетинок на ділянці регенерації у кроля основної групи. 30 днів після травми ПМВГК у кролів контрольної (а) та основної (б) груп. Гематоксилін-еозин, $\times 10$

більшої кількості (3 з 5) випадків відновлення цілісності кортикального шару ПМВГК та формуванні кісткових регенератів, що піддавалися активній органотиповій перебудові (рис. 4).

Результати лікування 136 хворих із розладами зрощення переломів довгих кісток показали, що через 3 місяці після останнього сеансу ЕРУХТ рентгенологічне зрощення уповільнено консолидуючих



а)

б)

Рис. 4. Відновлення цілісності кортикального шару дефекту ПМВГК більш виражене у кроля основної групи. 45 дів після травми ПМВГК у кролів контрольної (а) та основної (б) груп. Гематоксилін-еозин, $\times 10$

переломів кісток спостерігалось у 42 хворих (загалом 47 хворих), що становило 89,4%. При цьому за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінні результати лікування встановлено у 28 пацієнтів, задовільні – у 14, незадовільні – у 5. Як приклад наводимо випадок виписку з історії хвороби.

Хворий Я-б Е.А., 24 роки, діагноз: багатоскалковий перелом проксимального метаепіфіза і діафіза лівої великогомілкової та малоомілкової кісток з уповільненим зрощенням через 4 місяці після МОС великогомілкової кістки пластиною з гвинтами (рис. 5а). Через 3 місяці після 2 сеансів ЕРУХТ констатовано зрощення переломів голілкових кісток (рис. 5б). Результат лікування за шкалою Neer – Grantham – Shelton задовільний (73 бали).

Наступне спостереження хворих з уповільненим зрощенням переломів довгих кісток – через 6 і 12 місяців після останнього сеансу ЕРУХТ – практично не показало відмінностей даних рентгенологічних досліджень у порівнянні з попереднім терміном, однак констатовано суттєві відмінності покращення клінічних функціональних результатів. Вони через 6 місяців відповідали за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінним результатам у 34 хворих, через 12 місяців – у 39; задовільним результатам через 6 місяців – у 8, через 12 місяців – у 3; незадовільні результати, як і раніше, спостерігалися у 5 хворих, яким були виконані хірургічні втручання – МОС кісток із кістковою пластиною.

Що стосується результатів лікування пацієнтів із псевдоартрозами довгих кісток, то через 3 місяці після останнього сеансу ЕРУХТ із 89 хворих, які були під наглядом, консолідація кісток рентгенологічно констатована у 41 хворого, що становило 46,1%. З цих хворих у 36 випадках були гіперпластичні псевдоартрози, в 5 – гіпопластичні. До цього терміну спостереження за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінні результати лікування встановлені у 28 хворих, задовільні – у 13, незадовільні – у 48. Як приклад наводимо наступну виписку з історії хвороби.

Хворий М-ло А.М., 49 років, діагноз: гіперпластичний псевдоартроз правої ліктьової кістки через 5 місяців після консервативного лікування (рис. 6а). Через 6 місяців після ЕРУХТ рентгенологічно встановлено зрощення ліктьової кістки. Результат лікування за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінний (87 балів).

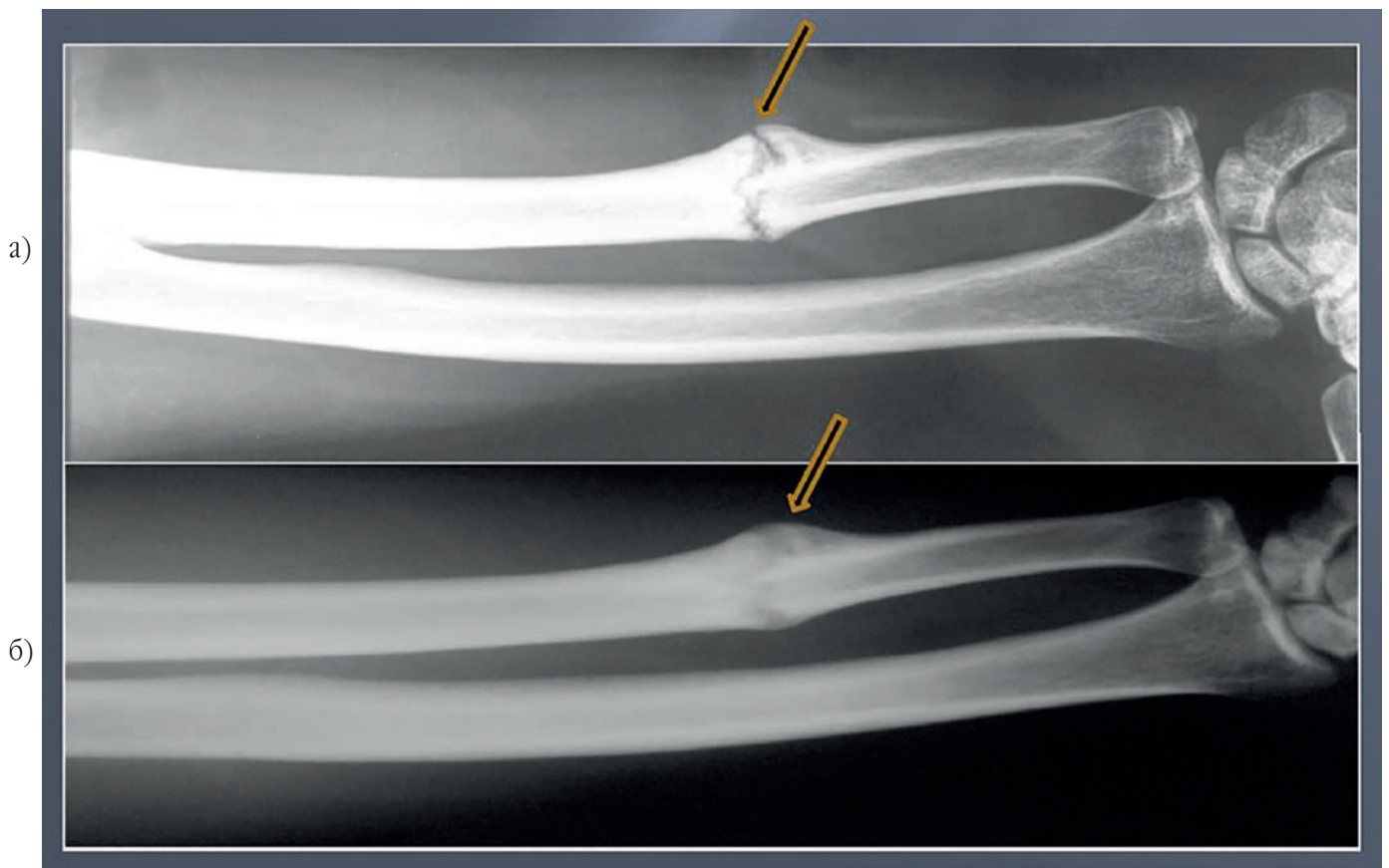
У хворих з псевдоартрозами довгих кісток після ЕРУХТ у динаміці спостереження відбувалося суттєве покращення як рентгенологічних, так і функціональних результатів лікування. До 6 місяця рентгенологічна консолідація переломів кісток відмічена в 67 хворих (75,3%), серед яких у 56 випадках були гіперпластичні псевдоартрози, у 9 – гіпопластичні, в 2 – атрофічні. При цьому функціональна оцінка за шкалою Neer – Grantham – Shelton засвідчила відмінні результати в 49 хворих, задовільні – в 18, незадовільні –



а)

б)

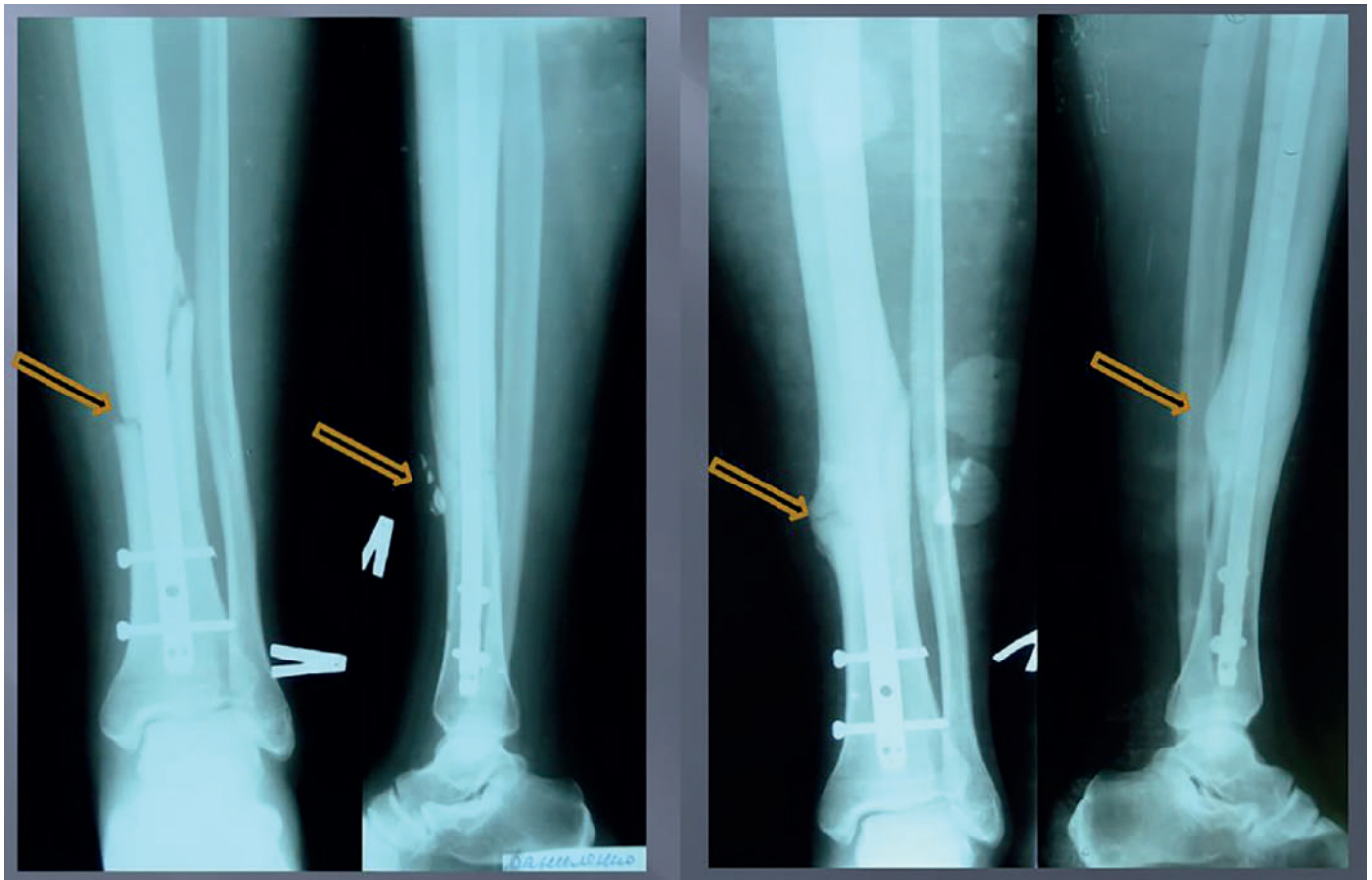
Рис. 5. Фотокопії рентгенограм хворого Я-б Е.А., 24 роки, діагноз: багатоскалковий перелом проксимального метаепіфіза та діяфіза лівої великогомілкової і малогомілкової кісток з уповільненим зрощенням після МОС пластиною з гвинтами (а). Зрощення переломів гомілкових кісток через 3 місяці після 2 сеансів ЕРУХТ (б)



а)

б)

Рис. 6. Фотокопії рентгенограм хворого М-ло А.М., 49 років, діагноз: гіперпластичний псевдоартроз правої ліктьової кістки через 5 місяців після консервативного лікування (а). Через 6 місяців після 2 сеансів ЕРУХТ зрощення ліктьової кістки (б)



а)

б)

Рис. 7. Фотокопії рентгенограм хворого В-ев В.В., 48 років, діагноз: гіпопластичний псевдоартроз лівої великогомілкової кістки через 7 місяців після МОС БІОС (а), зрощення великогомілкової кістки через 6 місяців після 1 сеансу ЕРУХТ (б)

в 22. Через 12 місяців спостереження хворих відмічені показники були дещо кращими, так, зрощення відламків довгих кісток рентгенологічно констатовано у 72 хворих (80,9%), з яких у 44 випадках були гіперпластичні псевдоартрози, у 24 – гіпопластичні, у 4 – атрофічні. Відповідно до функціональної шкали Neer – Grantham – Shelton, відмінні результати лікування засвідчені у 52 хворих, задовільні – у 20, незадовільні – у 17. Прикладом є наступне спостереження.

Хворий В-ев В.В., 48 років, діагноз: гіпопластичний псевдоартроз лівої великогомілкової кістки після МОС БІОС (рис. 7а), термін після операції 7 місяців. Через 6 місяців після сеансу ЕРУХТ зрощення великогомілкової кістки (рис. 7б). Функціональний результат за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінний (91 бал).

У хворих із незадовільними результатами лікування псевдоартрозів довгих кісток (17 хворих, що становило 19,1%) за відсутності їхнього зрощення у більшості випадків – 52,9% – були атрофічні псевдоартрози, в 28,4% – гіпопластичні і в 17,7% – гіперпластичні. Усім хворим із незадовіль-

ними результатами лікування був виконаний МОС із кістковою пластиною.

Обговорення

Особливістю проведеного нами експериментального дослідження була модель кортикального дефекту ПМВГК, яка повністю виключала негативний вплив низки факторів, до яких належать тяжкість травм, нестабільність кісткових відламків, вторинне зміщення.

Результатами проведених нами рентгеномікроскопічних досліджень доведено, що при моделюванні травматичного дірчастого дефекту ПМВГК вплив низькоенергетичних ударних хвиль реалізується через розлади мікроциркуляції кісткової тканини, переважно капіляри та синусоїди кісткового мозку ділянки травми. Внаслідок дії радіальної ударної хвилі мікроциркуляторне русло піддається компресійним деформаціям, об'єм тканинної рідини та крові в судинах при компресії практично не змінюються, відбувається ва-

зодилатація та збільшується проникність стінок судин, що супроводжується виходом кров'яних клітин із капілярів і синусоїдів кісткового мозку в навколишнє середовище. Цей факт, описаний нами як “дифузна інфільтрація кісткового мозку”, приводить до формування масивних ділянок кісткового ендостального регенерату, поєднання та перебудова якого забезпечує активізацію відновлення цілісності ПМВГК у тварин в експерименті [16, 17].

Наші дослідження мають підтвердження і в інших роботах. Так, за даними M. Maier, ударно-хвильова терапія викликає у кісткового мозку крововиливи, що приводить до ревазуляризації тканин, запуску локальних факторів росту кістки [18]. С.В. Василевич, С.Н. Курченко, В. Garilevich et al. відзначають у своїх дослідженнях факт зміни кровообігу, поліпшення мікроциркуляції тканин кісткового регенерату як основний патогенетичний механізм дії ударних хвиль на репаративний остеогенез [19, 20].

Як показали результати наших клінічних досліджень, ЕРУХТ забезпечує консолідацію переломів довгих кісток з уповільненим зрощенням у 89,4% випадків. При цьому із загального числа 47 хворих віддалені функціональні відмінні результати за шкалою Neer – Grantham – Shelton встановлено в 83% випадків, задовільні – 6,4%, незадовільні – у 10,6% із причини відсутності зрощення переломів кісток.

Що стосується оцінки ефективності впливу ЕРУХТ на псевдоартрози довгих кісток, то їхнє зрощення констатовано у 80,9% випадків, при цьому гіперпластичні псевдоартрози становили 61,1% випадків, гіпопластичні – 33,3%, атрофічні – 5,6%. З загального числа цих 89 хворих при оцінці віддалених функціональних показників (12 місяців після останнього ЕРУХТ) за шкалою Neer – Grantham – Shelton відмінні результати встановлені у 58,4% пацієнтів, задовільні – у 22,3%, незадовільні – у 19,1%. Є дані літератури, що також свідчать про відносно високу ефективність ЕРУХТ при лікуванні переломів кісток з уповільненим зрощенням і псевдоартрозів – позитивні результати лікування зі зрощенням кісток і відновленням функцій кінцівок досягають 60,9-88,5% [10, 11]. Автори пропонують застосування методу ударно-хвильової терапії як неінвазійного ефективного засобу лікування порушень зрощення кісткової тканини.

Висновки

1. Експериментальними рентгеномікроскопічними дослідженнями встановлено, що у кролів із дефектами метадіафіза великогомілкової кістки

екстракорпоральна радіальна ударно-хвильова терапія приводить до розладів мікроциркуляції кісткової тканини, дифузної інфільтрації тканин області травми кров'яними клітинами, в результаті чого утворюються масивні ділянки кісткового ендостального регенерату (кількість кісткових перетинків перевищує контроль, $p < 0,05$), що забезпечує відновлення цілісності кістки наприкінці дослідження у більшості тварин.

2. У хворих з уповільненим зрощенням переломів кісток і псевдоартрозами курс екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії приводить до зрощення кісток у 89,4% випадків. При цьому із загального числа 47 хворих за функціональною шкалою Neer – Grantham – Shelton віддалені відмінні результати встановлено у 83% випадків, задовільні – у 6,4%, незадовільні (відсутність зрощення кісток) – у 10,6%.

3. У хворих із псевдоартрозами довгих кісток курс екстракорпоральної радіальної ударно-хвильової терапії приводить до зрощення кісток у 80,9%, при цьому гіперпластичні псевдоартрози становили 61,1%, гіпопластичні – 33,3%, атрофічні – 5,6%. Відповідно до функціональної шкали Neer – Grantham – Shelton із загального числа 89 хворих віддалені відмінні результати засвідчені у 58,4% хворих, задовільні – у 22,5%, незадовільні – у 19,1%.

4. Таким чином, екстракорпоральна радіальна ударно-хвильова терапія є ефективним неінвазійним методом лікування уповільненого зрощення переломів кісток і псевдоартрозів, альтернативою традиційним хірургічним втручанням, заслуговує подальшого впровадження в клінічну практику.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів. Ця публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості у жодній формі.

References

1. Калашніков АВ, Чіп ЄЕ, Калашніков ОВ, Чалайдюк ТП. Визначення ефективності застосування різних способів лікування переломів проксимального відділу великогомілкової кістки. Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2019;4(103):25-38. DOI: 10.37647/0132-2486-2019-103-4-28-34. Kalashnikov AV, Chip YeE, Kalashnikov OV, Chalaydyuk TP. Determination of the Efficiency of Using Different Methods of Treating Fractures of the Proximal Tibia. Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics. 2019;4(103):25-38. DOI: 10.37647/0132-2486-2019-103-4-28-34 (in Ukraine).
2. Мансиров А.Б., Литовченко В.О., Горячий Є.В. Ускладнення інтрамедулярного блокуючого остеосинтезу кісток кінцівок та шляхи їх попередження. Вісник ортопедії,

- травматології та протезування. 2020; 1(105): 35-43. DOI: 10.37647/0132-2486-2020-105-2-35-42.
- Mansurov AB, Lytovchenko VO, Gariachyi YeV. Complications of Intramedullary Blocking Osteosynthesis of Bones of Limbs and Ways to Prevent Them. *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2020;1(105): 35-43. DOI: 10.37647/0132-2486-2020-105-2-35-42. (in Ukraine).
3. Moya D, Ramón, S, Schaden, Wang CJ, Guiloff L, Cheng JH. The Role of Extracorporeal Shockwave Treatment in Musculoskeletal Disorders. *The Journal of Bone and Joint Surgery*: Feb.7, 2018;100(3): 251-263. DOI: 10.2106/JBJS.17.00661.
4. Matsuda M, Kanno H, Sugaya T, Yamaya S, Yahata K, Handa K, Shindoc T. Low-energy extracorporeal shock wave therapy promotes BDNF expression and improves functional recovery after spinal cord injury in rats. *Experimental Neurology*. 2020; 328: 113251-57. DOI: 10.1016/j.expneurol.2020.113251.
5. Qingxi Zhang, Yu Zhao, Dan Xing, Jianhao Lin. Global Research Trends in shock wave for Therapy from 1990 to 2019: A Bibliometric and Visualized Study. *Biomed Res Int*. 2021, Jan 7, 21:1372-1384. DOI: 10.1155/2021/3802319.
6. Васильев А.Ю., Егорова Е.А. Экстракорпоральная ударно-волновая терапия в лечении травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата. М. "Медицина", 2005. 95с. Vasilyev AY, Egorova EA. Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of injuries and diseases of the musculoskeletal system M. "Medicina", 2005. 95s. (in Russian).
7. Костенко Е.В., Зуев Д.С., Зайцева Т.Н. Экстракорпоральная ударно-волновая терапия в комплексном восстановительном лечении пациентов с миофасциальным болевым синдромом. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 2018;95(4):62-68. DOI: 10.17116/kurort20189504162.
- Kostenko EV, Zuev DS, Zaitseva TN. The role of extracorporeal shock wave therapy in the combined restorative treatment of the patients presenting with myofascial pain syndrome (a clinical review). *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2018;95(4):62-68. DOI: 17116/kurort20189504162 (in Russian).
8. Puetzler J, Mistrey A, Everding J, Raschke M, Arens D, Zeiter S. Focused high-energy extracorporeal shockwaves as supplemental treatment in a rabbit model of fracture-related infection. *J. Orthopaedic Research*. 2020 Jun; 38(6):1351-1358. DOI: 10.1002/jor.24565.
9. Килимнюк Л.О. Прогнозування порушень зрощення переломів та клініко-експериментальне обґрунтування ранньої діагностики та вибору методу лікування. Автореф. канд. дис., Вінниця, 2019, 14с. Kulymniuk LO. Forecasting of fracture healing complications and clinical and experimental substantiation of early diagnosis and choice of treatment method. *Avtoref. cand. dis., Vinnytsia* 2019, 14s. (in Ukrainian).
10. Augat P, Claes L, Suger G. In vivo effect of shock-waves on the healing of fractured bone (Bristol). *Av on*. 2018;(29):374-8. DOI: 10.1016/0268-0033(95)00009-a.
11. Герцен Г.И., Се-Фей, Остапчук Р.М., Лісовий О.В., Слабоспицький А.В. Вплив екстракорпоральної ударно-хвильової терапії на зрощення переломів кісток (огляд літератури). Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2017; 1:61-65.
- Hertsen HI, Se-Fei, Ostapchuk RM, Lisovyi OV, Slabospyskyi AV. Extracorporeal shock wave therapy effect on bone fracture healing. (review of literature). *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2017; 1:61-65. (in Ukrainian).
12. Магомедов А.М., Герцен Г.И., Се-Фей, Козуб Т.А., Крилицкая О.Ф. Влияние радиальной ударно-волновой терапии низкой частоты на метаболические процессы в костной ткани при травматических дефектах большеберцовой кости в эксперименте. Клінічна хірургія. 2016; 4:64-66.
- Magomedov AM, Gertsen GI, Se Fey, Kuzub TA, Krinitskaya OF. Impact of radial shock wave therapy of a low frequency on metabolic processes in the bone tissue in traumatic tibial defects in experiment. *Klinichna Hirurgiya*. 2016; 4:64-66. (in Russian).
13. Се-Фей. Иммуные клетки крови под влиянием экстракорпоральной ударно-волновой терапии при травме кости. Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2016;16,4 (56):276-280.
- Se-Fei. Immune blood cells under the influence of extracorporeal shock wave therapy in bone trauma. *Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatolohichnoi akademii*. 2016;16,4 (56):276-280. (in Russian).
14. Thomas PR, Richard EB, Christopher GM. Principles of Fracture Management – Stuttgart, 2001. – С. 753-765.
15. Wähnert D, Stolarczyk Y, Hoffmeier KL, Raschke MJ, Hofmann GO, Mückley T. The primary stability of angle-stable versus conventional locked intramedullary nails. *International Orthopaedics*. 2011;36(5):1059-64. DOI: 10.1007/s00264-011-1420-6.
16. Герцен Г.И., Се-Фей, Остапчук Р.М., Малохатко С.И., Костенко А.В., Жеребчук В.В. Влияние радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии на заживление экспериментального дефекта кости. Ортопедия, травматология и протезирование. 2016;4 (605):11-16.
- Hertsen GI, Se-Fei, Ostapchuk RN, Malokhat'ko SI, Kostenko AV, Zherebchuk VV. Effect of Radial Extracorporeal Shock Wave Therapy on the Healing of Experimental Bone Defect. *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2016; 4 (605):11-16. (in Russian).
17. Се-Фей. Вплив радіальної ударно-хвильової терапії на репаративну регенерацію кісткової тканини. Автореф., канд., дис. Київ, 2017, 20с.
- Se Fei. Effect of Radial Shock Wave Therapy on Reparative Regeneration of Bone Tissue. *Avtoref. kand., dis. Kiev*, 2017, 20s. (in Ukrainian).
18. Maier M, Milz S, Tischer T, Münzing W, Manthey N, Stäbler A, Holzknecht N. Influence of extracorporeal shock-wave application on normal bone in an animal model in vivo. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British*. 2002;84-B(4):592-9. DOI: 10.1302/0301-620x.84b4.11621.
19. Василевич С.В., Курченко С.Н. Экспериментальная оценка влияния радиальной ударно-волновой терапии на формирование пьезоэлектрических потенциалов в костной ткани. Биомедицинский журнал "Медлайн.ру", 2021;22, 9:119-133.
- Vasilevich SV, Kurchenko SN. Experimental Evaluation of the Effect of Radial Shock Wave Therapy on the Formation of Piezoelectric Effects in Bone Tissue. *Biomeditsinskiy jurnal "Medline.ru"*, 2021;22, 9:119-133. (in Russian).
20. Garilevich BA, Semenov AA, Gurevich KG, Nagornev SN, Radchenko SN, Puzyreva GA. Shock-wave therapy: status update on the problem and possibilities of application in clinical practice. *Kursk. Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health"*. 2017;(3):11-18. DOI: 10.21626/vestnik/2017-3/02.

Rationale for the Use of Extracorporeal Shock Wave Therapy in the Treatment of Delayed Union of Bone Fractures and Pseudoarthrosis

Hertsen H.I.¹, Remeniuk Yu.K.², Bilonozhkin H.H.¹, Sikorska M.V.²

¹Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv

²Awatage Medical Center, Kyiv

Summary. Relevance. Violation of bone formation processes continues to occupy a relatively high level, reaching 2.7-27.1%, so the search for new methods for their treatment and prevention remains relevant. One of these methods is extracorporeal shock wave therapy. Views on the influence of the extracorporeal shock wave therapy on the processes of bone formation significantly differ. **Objective:** to study the effect and mechanism of action of shock wave therapy on the processes of reparative osteogenesis in an experiment and the effect of the method on delayed union of bone fractures and pseudarthrosis in clinical conditions. **Materials and Methods.** In an experiment on rabbits, after a standard model of a perforated defect in the proximal tibial metadiaphysis on the days 3, 6, 9, and 12 after injury; the injury site of the animals of the main group was influenced with radial low-energy shock waves. The results of treatment were monitored with the help of clinical, radiological and histomorphological methods. The clinical section included 136 patients with union fracture disorder of long bones who had previously undergone conservative treatment or osteosynthesis. All patients underwent 1-3 sessions of extracorporeal shock wave therapy with evaluation of the results on 3, 6, and 12 months after treatment using the data of X-ray examinations and the Neer – Crantham – Shelton functional scale. **Results.** The studies showed that rabbits of the main group morphologically had a greater thickness and density of formed bone crossbars at the site of the proximal tibial metadiaphysis defect in a month after extracorporeal shock wave therapy, and after 45 days, a greater number of cases of restoration of its cortical layer was notified ($p < 0.05$). Three months after treatment of patients with delayed union of bone fractures with extracorporeal shock wave therapy, consolidation was detected radiologically in 89.4% of cases; this indicator remained almost unchanged in the subsequent periods of the study. Three months after treatment of patients with pseudoarthrosis of the bones with extracorporeal shock wave therapy, radiological consolidation was detected in 46.1% of patients, after 6 months – in 75.3%, after 12 months – in 80.9%. At the end of the study, scores on the Neer – Crantham – Shelton Functional Scale also improved significantly. **Conclusions.** The results of the studies allow us to conclude that extracorporeal shock wave therapy is an effective non-invasive method for the treatment of delayed union of bone fractures and pseudoarthrosis and is an alternative to surgical interventions.

Key words: pseudoarthrosis; delayed union of bone fractures; shock wave therapy.

Біомеханічний стан оперованого грудопоперекового переходу при латерофлексії

Нехлопочин О.С.¹✉, Чешук Є.В.^{1, 2}, Вороді М.В.^{1, 2}, Цимбалюк Я.В.¹,
Карпінський М.Ю.³, Ярьсько О.В.³

Резюме. Зона грудопоперекового переходу через анатомо-фізіологічні особливості найбільш схильна до травматичних ушкоджень, відповідно, стабілізація цього відділу хребта потребує високої надійності. **Мета.** Вивчити напружено-деформований стан моделі грудопоперекового відділу хребта після резекції хребців Th12-L1 із різними варіантами транспедикулярної фіксації при латерофлексії. **Матеріали і методи.** Розроблено математичну скінченно-елементну модель фрагмента грудопоперекового відділу хребта людини (Th9-L5). Змодельований результат декompресивно-стабілізуючого хірургічного втручання з тотальним видаленням хребців Th12-L1, установкою міжтілової опори та фіксацією транспедикулярною системою із використанням 4 пар гвинтів. Латерофлексію моделювали шляхом застосування навантаження 350 Н. **Результати.** При оцінці моделі без поперечних тяжок із використанням монокортикальних гвинтів виявлено, що максимальні значення навантаження в тілах хребців Th10, Th11, L2 та L3 становили відповідно 3,4; 2,0; 3,5 та 8,6 МПа, навантаження на транспедикулярних гвинтах, установлених у зазначені хребці, – 48,4; 48,3; 23,3 і 43,5 МПа, при використанні бікортикальних гвинтів без поперечних тяжок у тілах хребців – відповідно 3,1; 2,5; 3,8; 9,6 МПа та 49,9; 51,9; 25,8; 44,8 МПа, при застосуванні комбінації коротких гвинтів та поперечних тяжок у тілах хребців – 3,2; 2,0; 2,6; 7,5 МПа і 47,6; 47,5; 22,6; 41,2 МПа, при використанні поперечних тяжок та бікортикальних гвинтів – 3,0; 2,2; 2,7; 8,8 МПа та 48,3; 49,6; 24,3; 42,5 МПа. **Висновки.** При бічному нахилі монокортикальні транспедикулярні гвинти зумовлюють нижчі показники критичного навантаження порівняно з довгими гвинтами в усіх контрольних точках моделі. Поперечні тяжки сприяють зниженню величини напруження. Щодо латерофлексії – використання монокортикальних транспедикулярних гвинтів у поєднанні з поперечними тяжками є найбільш біомеханічно ефективним.

Ключові слова: скінченно-елементна модель; грудопоперековий перехід; корпоректомія; бікортикальна транспедикулярна стабілізація; поперечна тяжка, латерофлексія.

Вступ

Від 1938 р., коли англійський ортопед Sir H. Platt вперше запропонував термін “зона грудопоперекового переходу (ГПП)”, питання щодо методів лікування травматичних ушкоджень цього відділу не було остаточно розв’язано [1]. Незважаючи на певний відсоток ускладнень, хірургічне лікування травм ГПП є високоефективним методом, який дає змогу не лише забезпечити ранню мо-

білізацію постраждалих, а й запобігти прогресу деформації у віддалений період. Хірургічне лікування має незаперечну перевагу у пацієнтів із неврологічним дефіцитом, що виник у результаті травми, оскільки може забезпечити адекватну декompresію структур хребтового каналу – як пряму, так і непряму, а також гарантує жорстку фіксацію пошкоджених хребтово-рухових сегментів, що сприяє максимально можливому відновленню неврологічних функцій.

Запропоновано велику кількість методів корекції травматичних ушкоджень зони ГПП. Принциповим і досі актуальним питанням є вибір хірургічного доступу, який формально визначає також спектр металоконструкцій, що використовуються [2]. Задній хірургічний доступ при травматичних

✉ Нехлопочин О.С., AlexeyNS@gmail.com

¹Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України

²Кафедра нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця

³Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України

ушкодженнях як зони ГПП, так і загалом грудопоясничного відділу хребта розроблено набагато раніше за передній. Фактично він був однією з основ розвитку хірургії хребта загалом [3]. Передній доступ при травмі ГПП уперше використали в 1968 р. R.P. Kelly і T.E. Whitesides Jr. [4]. Автори адаптували метод A.R. Hodgson та F.E. Stock, який використовують для лікування туберкульозного спондиліту [5]. Основною причиною застосування вентро-латерального підходу була спроба зберегти механічну функцію заднього опорного комплексу через недосконалість систем стабілізації, що використовуються.

У 1948 р. D. King розробив і вперше застосував транспедикулярні гвинти для люмбосакральної фіксації [6]. Подальший розвиток методика отримала завдяки праці H.N. Boucher, опублікованій у 1959 р. [7]. Проте лише з 1986 р. завдяки дослідженням R. Roy-Camille транспедикулярну стабілізацію грудопоясничного відділу активно застосовують у клінічній практиці [8]. Удосконалення як методів інтраопераційної навігації, так і систем стабілізації хребта протягом останніх кількох десятиліть дає змогу виконати хірургічну корекцію травматичного пошкодження ГПП будь-якого ступеня складності із заднього / задньобічного доступу. При цьому незалежно від уподобань хірурга саме транспедикулярна фіксація забезпечує усунення нестабільності пошкодженого хребетно-рухового сегмента.

Зона ГПП через анатомо-фізіологічні особливості найбільш схильна до травматичних ушкоджень і, відповідно, стабілізація цього відділу хребта потребує високої надійності. Нині спостерігається тенденція до короткої фіксації, що має біомеханічні та економічні переваги, але дуже обмежено застосовується у разі ушкодження ГПП. Якщо при простих ушкодженнях, які не потребують резекції тіла хребця, іноді допустимо використання 4-гвинтової системи, то при корпоректомії на одному-двох рівнях застосовують 8, 10 або 12 гвинтів. Існує проблема: як забезпечити максимальну надійність за мінімальною кількістю іммобілізованих хребетно-рухових сегментів.

Великий клінічний досвід використання транспедикулярної стабілізації дав змогу виявити низку чинників, що гіпотетично або фактично визначають надійність фіксації, основними з яких є глибина введення гвинта та використання поперечних стяжок. На думку деяких авторів, занурення транспедикулярного гвинта в тіло на глибину понад 60% недоцільне, оскільки не збільшує надійність фіксації [9]. Інші віддають перевагу бікортикальному встановленню [10]. Використання поперечних стяжок у комбінації з іншими методами підвищення надійності стабілізації не вивчено [11].

Зазначені причини стали підставою для проведення нами низки біомеханічних досліджень, присвячених підвищенню ефективності стабілізуювальних можливостей транспедикулярної фіксації травматичних ушкоджень ГПП [12]. Розглянуто вплив на прооперований відділ хребта латерофлексії як одного з найнесприятливіших видів навантажень.

Мета – вивчити напружено-деформований стан моделі грудопоясничного відділу хребта після резекції хребців Th12-L1 із різними варіантами транспедикулярної фіксації при асиметричних навантаженнях (латерофлексії).

Матеріали і методи

У лабораторії біомеханіки Інституту патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України розроблено математичну скінченно-елементну модель фрагмента грудопоясничного відділу хребта людини (Th9-L5). Змодельований результат декомпресивно-стабілізуювального хірургічного втручання з тотальним видаленням переднього та заднього опорних комплексів тіл хребців Th12-L1, установкою міжтілової опори за типом вертикального циліндричного сітчастого імплантату та фіксацією транспедикулярною системою із використанням 4 пар гвинтів (у тіла хребців Th10, Th11, L2 і L3).

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. Як скінченний елемент обрано 10-вузловий тетраедр із квадратичною апроксимацією. Механічні властивості біологічних тканин (кортикальна і губчаста кістка, міжхребцеві диски) для математичного моделювання обрано за певними даними [13-15]. Матеріал елементів ендпротеза – титан. Механічні характеристики штучних матеріалів обирали за даними технічної літератури [16]. Для аналізу використовували такі характеристики, як модуль пружності (модуль Юнга (**E**), коефіцієнт Пуассона (**v**) (табл. 1).

Таблиця 1

Механічні характеристики матеріалів, які використовували під час моделювання

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

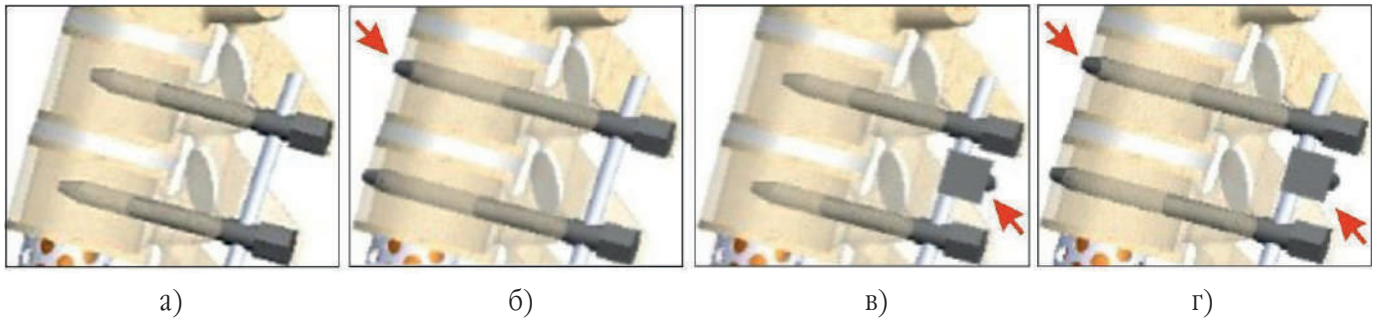


Рис. 1. Фрагмент скінченно-елементної моделі груднопоперекового відділу хребта людини, що демонструє різні варіанти фіксації: а) короткі гвинти без поперечних стяжок; б) довгі гвинти без поперечних стяжок; в) короткі гвинти з поперечними стяжками; г) довгі гвинти з поперечними стяжками. Стрілками на Б, В і Г позначено відмінності від А. Метод фіксації хребців L2 та L3 ідентичний такому для хребців Th10 і Th11 для кожної моделі (не показано)

Під час дослідження моделювали 4 варіанти транспедикулярної фіксації: з використанням коротких фіксувальних і довгих гвинтів, які перфорують передню поверхню тіла хребця (бікортикальна транспедикулярна стабілізація), а також із застосуванням двох поперечних стяжок та без них (рис. 1).

Напружено-деформований стан моделей досліджували під впливом згинального навантаження, що діє справа наліво та імітує нахил тулуба вліво. Вздовж дистальної поверхні диска L5 модель мала жорстке закріплення. Навантаження прикладали до тіла хребця Th9 та суглобових поверхонь його фа-

сеткових відростків. Величина навантаження становила 350 Н, що відповідає вазі верхньої частини тіла (рис. 2а) [17].

З метою дослідження змін напружено-деформованого стану моделей для реєстрації величини напруження обрано такі контрольні точки (див. рис. 2б, 2в та 2г): тіло хребця Th9 (1), тіло хребця Th10 (2), тіло хребця Th11 (3), тіло хребця L2 (4), тіло хребця L3 (5), тіло хребця L4 (6), тіло хребця L5 (7), нижня замикальна пластинка тіла хребця Th11 (8), верхня замикальна пластинка тіла хребця L2 (9), зона входу транспедикулярного гвинта в дугу хребця Th10

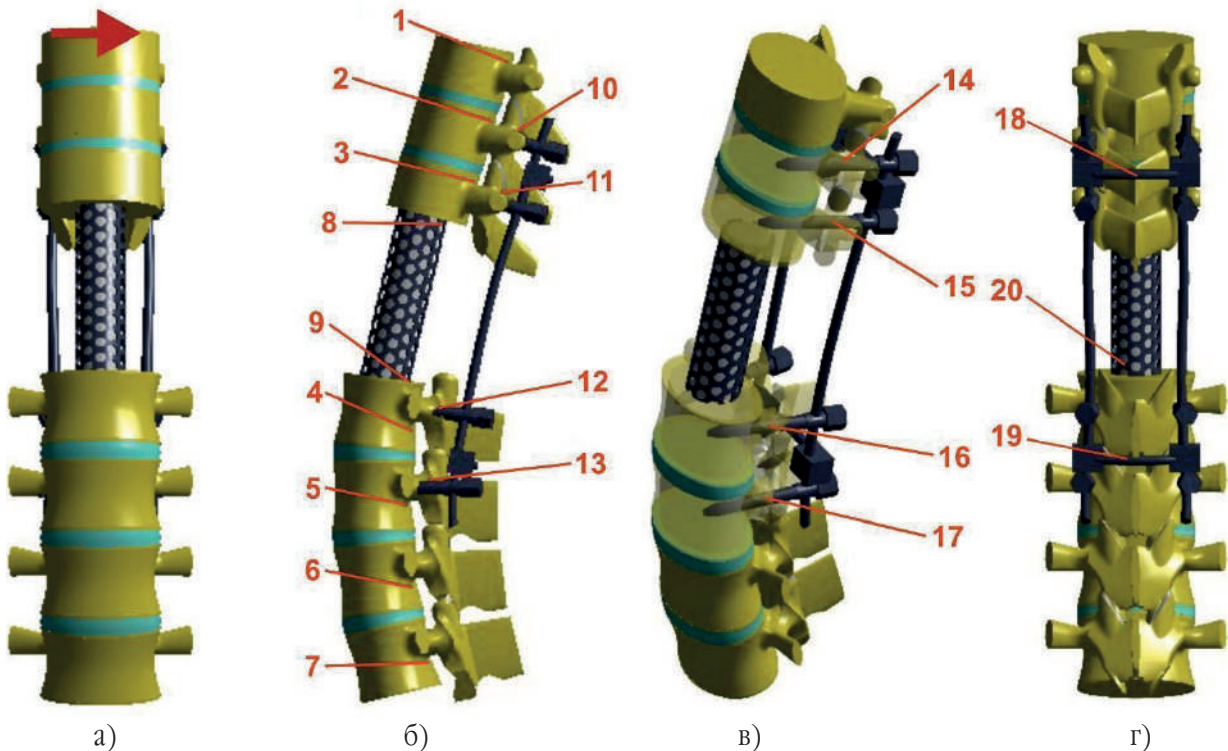


Рис. 2. Схема навантаження моделей та розташування контрольних точок вимірювання: а) моделювання латерофлексії; б, в, г) різні проекції моделі, що демонструють контрольні точки вимірювання (пояснення в тексті)

(10), зона входу в дугу хребця Th11 (11), зона входу в дугу хребця L2 (12), зона входу в дугу хребця L3 (13), гвинт у тілі хребця Th10 (14), гвинт у тілі хребця Th11 (15), гвинт у тілі хребця L2 (16), гвинт у тілі хребця L3 (17), поперечні стяжки між хребцями Th10 і Th11 (18), поперечні стяжки між хребцями L2 та L3 (19), тілозамінна опора (20).

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували з використанням методу скінченних елементів. Як критерій оцінки напруженого стану моделей використовували напруження за Мізесом [18]. Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей проводили за допомогою програмного комплексу CosmosM [19].

Результати

При симуляції латерофлексії виконували послідовне навантаження описаних моделей, що дало змогу виявити певні закономірності. Аналіз на-

пружено-деформованого стану фрагмента хребта, стабілізованого з використанням **коротких гвинтів без поперечних стяжок**, демонструє максимальну величину напруження 16,9 МПа, що зафіксовано в тілі хребця L2 у зоні контакту з міжтіловою опорою, тоді як ділянка взаємодії тілозамінного імплантату із замикальною пластинкою хребця Th11 характеризується значно меншим напруженням (10,7 МПа). Серед хребців найбільш навантаженими є L4 і L5 (12,9 та 14,1 МПа відповідно). Значно менші показники зареєстровано в тілах хребців, залучених до стабілізації, при цьому краніально розташовані хребці Th10 і Th11 мали менші значення напруження, ніж каудальні L2 та L3. Також встановлено, що дистальні до місця травми хребці Th10 і L3 навантажені більше, ніж проксимальні хребці Th11 та L2. Показники напруження за Мізесом наведено в табл. 2. Для зони введення транспедикулярних гвинтів у дуги хребців характерна подібна закономірність. Так, найбільші значення зафіксовано в дугах хребців Th10 і L3 (7,2 та 14,2 МПа відповідно), у порівнянні 5,3 та 6,8 МПа, характерних для Th11 і L2.

Таблиця 2

Величина напруження у моделях грудопоперекового відділу хребта після резекції хребців Th12-L1 за різних варіантів транспедикулярної фіксації під впливом латерофлексії

Контрольні точки		Напруження за Мізесом, МПа				
		без стяжок		зі стяжками		
№	Зона	короткі гвинти	довгі гвинти	короткі гвинти	довгі гвинти	
1	Кісткова тканина	тіло хребця Th9	1,1	1,1	1,1	1,1
2		тіло хребця Th10	3,4	3,1	3,2	3
3		тіло хребця Th11	2,0	2,5	2,0	2,2
4		тіло хребця L2	3,5	3,8	2,6	2,7
5		тіло хребця L3	8,6	9,6	7,5	8,8
6		тіло хребця L4	12,9	13,5	12,1	12,5
7		тіло хребця L5	14,1	14,4	14,0	14,3
8		низ тіла хребця Th11	10,7	10,9	10,1	10,5
9		верх тіла хребця L2	16,9	22,3	16,7	21,5
10		вхід гвинтів у дугу хребця Th10	7,2	8,0	6,1	7,3
11		вхід гвинтів у дугу хребця Th11	5,3	5,4	4,5	4,9
12		вхід гвинтів у дугу хребця L2	6,8	7,5	6,5	7,1
13		вхід гвинтів у дугу хребця L3	14,2	12,2	10,4	10,2
14	Металеві конструкції	гвинти в тілі хребця Th10	48,4	49,9	47,6	48,3
15		гвинти в тілі хребця Th11	48,3	51,9	47,5	49,6
16		гвинти в тілі хребця L2	23,3	25,8	22,6	24,3
17		гвинти в тілі хребця L3	43,5	44,8	41,2	42,5
18		стяжки між хребцями Th10 і Th11	-	-	12,4	12,5
19		стяжки між хребцями L2 і L3	-	-	9,3	9,9
20		міжтілова опора	35,7	37,2	32,5	36,5

Примітка: зеленим кольором виділено мінімальні значення, жовтим – середні, помаранчевим – максимальні

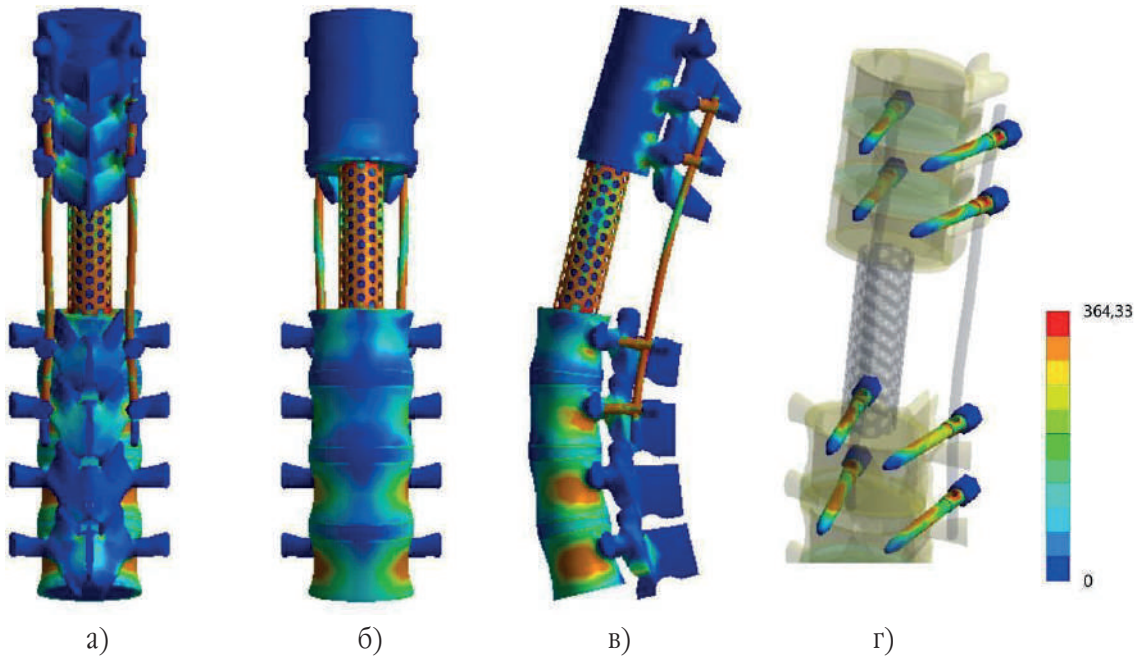


Рис. 3. Розподіл напруження під впливом латерофлексії у моделі грудноперекового відділу хребта після резекції хребців Th12-L1. Транспедикулярна фіксація короткими гвинтами без поперечних стяжок: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) вигляд збоку; г) візуалізація навантаження гвинтів

Щодо металевих конструкцій, то найбільш навантаженими є гвинти в тілах хребців Th10 і Th11 (48,4 та 48,3 МПа відповідно). Дещо менший показник 43,5 МПа зареєстровано на транспедикулярних гвинтах у хребці L3. Напруження на гвинтах у тілі хребця L2 вдвічі нижче від такого на інших і не перевищує 23,3 МПа. Величина навантаження між-

тілової опори становить 35,7 МПа. Дані щодо розподілу навантажень на різних елементах моделі під час симуляції латерофлексії наведено на рис. 3.

Аналіз моделі, стабілізованої з використанням **бікортікальних транспедикулярних гвинтів без поперечних стяжок**, виявив дещо інші результати (рис. 4). Зареєстровано незначне збіль-

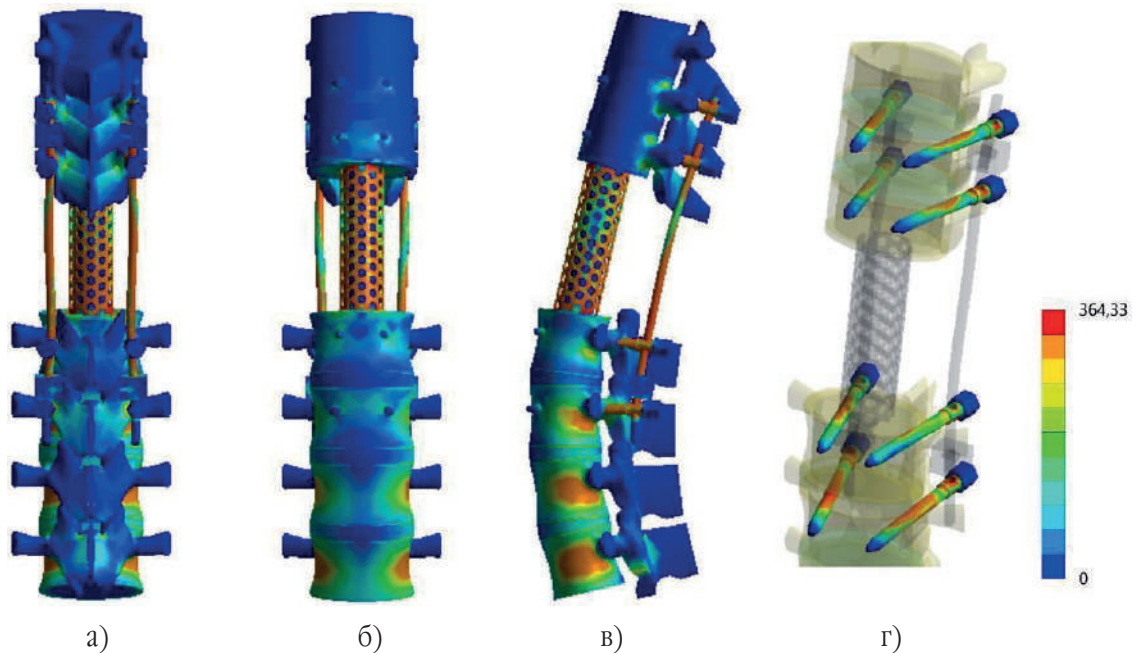


Рис. 4. Розподіл напруження під впливом латерофлексії у моделі грудноперекового відділу хребта після резекції хребців Th12-L1. Транспедикулярна фіксація бікортікальними гвинтами без поперечних стяжок: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) вигляд збоку; г) візуалізація навантаження гвинтів

шення навантаження на найбільш каудально розташовані хребці моделі (L4 і L5) – 13,5 та 14,4 МПа відповідно. Найбільшим (на 32%) у порівнянні з раніше описаною моделлю був приріст навантаження замикальної пластинки тіла хребця L2 у ділянці контакту з тілозамісним імплантатом (22,3 МПа). Це абсолютний максимум, зареєстрований для кісткових структур аналізованої моделі. Показники навантаження нижньої замикальної пластинки тіла хребця Th11 перевищували такі попередньої моделі незначно (на 1,9%) і становили 10,9 МПа. На 8,6% були більшими показники напруження в тілах хребців, залучених до стабілізації, при цьому зберігалася описана тенденція: краніальні хребці навантажені менше, ніж каудальні, а проксимальні – менше, ніж дистальні. Крім того, зареєстровано незначне зниження навантаження на корені дуг хребців у ділянці введення транспедикулярних гвинтів – сумарно на 1,2%, причому зменшення навантаження досягло лише за рахунок хребця L3, оскільки для інших хребців навантаження було дещо більшим, ніж при використанні коротких гвинтів без поперечних стяжок. Оцінка напружено-деформованого стану транспедикулярних гвинтів системи стабілізації виявила сумарне збільшення аналізованого показника на 5,4%. Найбільш навантаженими були гвинти, встановлені в тіла хребців Th10 і Th11 (49,9 та 51,9 МПа відповідно), а найменш навантаженими – гвинти, встановлені в тіло хребця L2 (25,8 МПа). Зареєстровано незначне (на 4,2%) збільшення навантаження на міжтілової опорі.

Застосування як стабілізуючої системи **коротких транспедикулярних гвинтів у поєднанні з двома поперечними стяжками** типу rod-to-rod певною мірою дає змогу знизити рівень критичного напруження як на кісткових структурах аналізованої моделі, так і на елементах металоконструкції (рис. 5). Відзначено, що найбільше напруження зберігалось на тілах хребців L4 і L5 (12,1 та 14,0 МПа відповідно). Зменшувалося навантаження на тіла фіксованих хребців – на 12,6% порівняно з використанням коротких гвинтів без стяжок та на 19,5% порівняно із застосуванням довгих гвинтів без стяжок. Показники навантаження замикальних пластинок у зоні контакту з тілозамінним імплантатом для хребців Th11 і L2 становили 10,1 та 16,7 МПа відповідно. Досить значущим було зменшення навантаження на дуги хребців у зоні контакту з гвинтами – на 18,5% порівняно з першою моделлю та на 17,5% порівняно з другою. Найбільше значення аналізованого показника зареєстрували в області дуги хребця L3 (10,4 МПа). Крім того, відзначено незначне зменшення навантаження транспедикулярних гвинтів (на 2,8% менше порівняно з першою моделлю та на 7,8% порівняно з другою). Навантаження верхньої та нижньої поперечної стяжки становило 12,4 і 9,3 МПа відповідно. Зареєстровано незначне зменшення навантаження на міжтілової опорі – на 3,2 МПа порівняно з першою моделлю та на 4,7 МПа порівняно з другою.

Четвертою моделлю був фрагмент хребта з використанням **бікортикальних транспедику-**

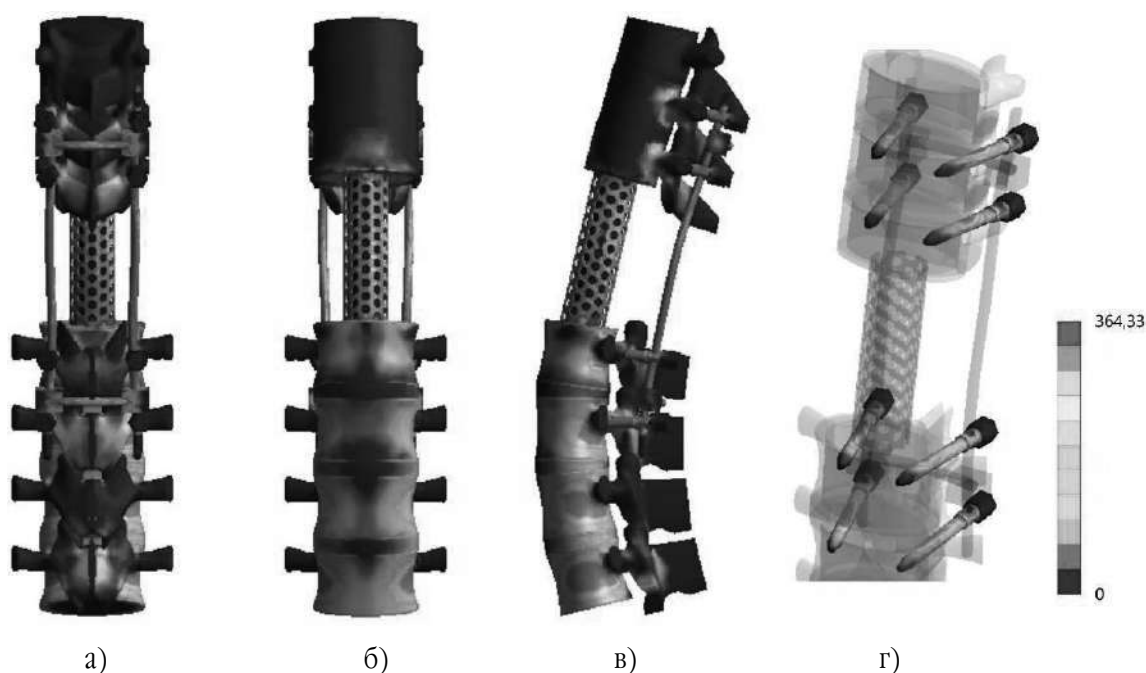


Рис. 5. Розподіл напруження під впливом латерофлексії у моделі грудноперекевого відділу хребта після резекції хребців Th12-L1. Транспедикулярна фіксація короткими гвинтами із застосуванням поперечних стяжок: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) вигляд збоку; г) візуалізація навантаження гвинтів

лярних гвинтів у комбінації з поперечними стяжками (рис. 6). Найбільшими значеннями навантаження характеризувалися хребці L4 і L5 (12,5 та 14,3 МПа відповідно). На 9,2% більшим порівняно з третьою моделлю було напруження у тілах стабілізованих хребців, при цьому найбільш навантаженим був хребець L3 (8,8 МПа). Зона контакту з тілозамісним імплантатом замикальних пластинок тіл хребців, суміжних із резектованими, була більш навантаженою порівняно з моделлю 3 (напруження за Мізесом вище на 0,4 МПа на нижній замикальній пластинці хребця Th11 і на 4,8 МПа – на верхній замикальній пластинці хребця L2). Крім того, сумарний показник напруження в зоні входу транспедикулярних гвинтів у дуги фіксованих хребців у моделі 4 порівняно з моделлю 3 був вище на 7,3%. Зареєстровано підвищення навантаження транспедикулярних гвинтів (на 3,7% порівняно з моделлю 3). Як і в описаних вище моделях, найбільше напруження характерне для хребців Th10 і Th11. Під час аналізу даних цього показника поперечних стяжок виявлено незначне збільшення при використанні бікортикальних гвинтів порівняно з монокортикальними. Навантаження на міжтілову опору становило 36,5 МПа.

Отже, при моделюванні латерофлексії за різних варіантів транспедикулярної стабілізації виявлено такі загальні закономірності:

- у всіх випадках найбільш навантаженими були хребці L4 та L5;

- у зоні контакту замикальних пластинок хребців, суміжних із резектованими, з міжтіловим імплантатом найбільш навантаженою була верхня замикальна пластинка хребця L2, причому застосування бікортикальних гвинтів збільшувало її навантаження в середньому на 30,3%, тоді як напруження на нижній замикальній пластинці тіла хребця Th11 мало залежало від особливостей транспедикулярної системи;

- у всіх аналізованих моделях показник напруження в тілах хребців, що беруть участь у стабілізації (Th10, Th11, L2 і L3), підпорядковується такій закономірності: нижні хребці навантажені більше, ніж верхні, а розташовані дистально – більше, ніж проксимальні. Аналогічну тенденцію зафіксовано при оцінці стану зони введення транспедикулярних гвинтів у дуги хребців;

- при оцінці стану елементів металоконструкції зазначено, що найбільш навантаженими є гвинти, встановлені в тіла верхніх двох хребців (Th10 і Th11), дещо менший показник зареєстровано для гвинта в тілі хребця L3, тоді як навантаження гвинта у тіло хребця L2 було мінімальним і становило близько 50% від максимуму. Зазначену тенденцію спостерігали незалежно від особливостей транспедикулярної фіксації;

- оцінка напружено-деформованого стану аналізованих моделей (див. табл. 2) дала підставу для висновку, що застосування довгих бікортикальних гвинтів при симуляції латерофлексії по-

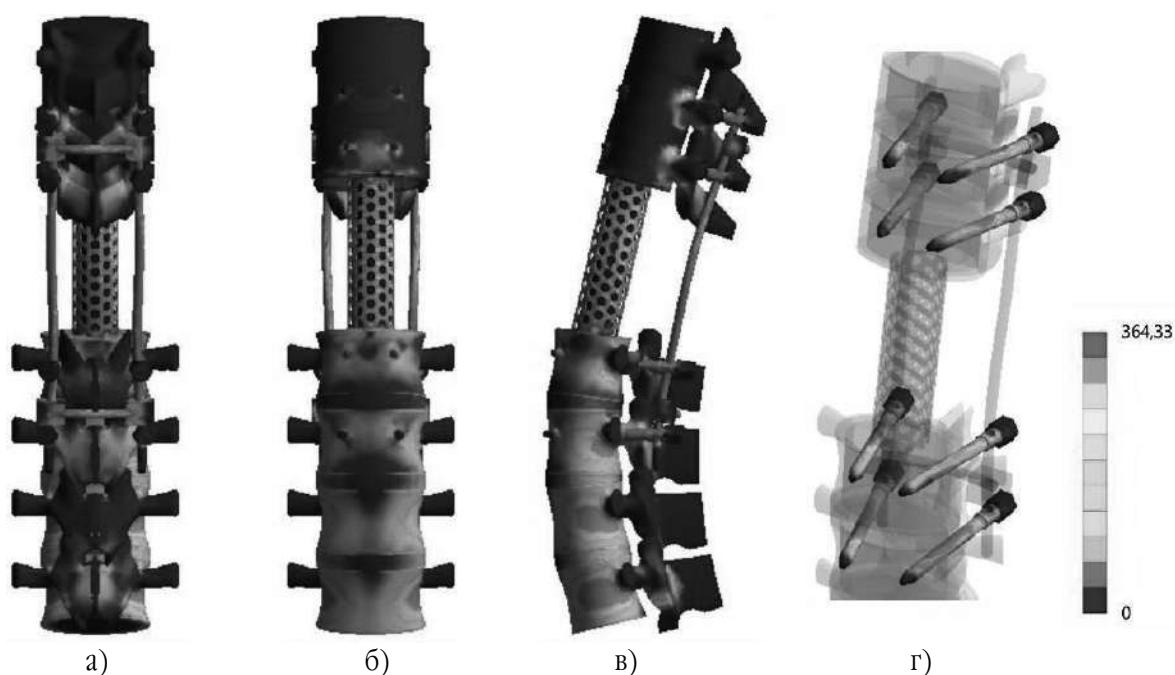


Рис. 6. Розподіл напруження під впливом латерофлексії у моделі грудноперекового відділу хребта після резекції хребців Th12-L1. Транспедикулярна фіксація бікортикальними гвинтами із застосуванням поперечних стяжок: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) вигляд збоку; г) візуалізація навантаження гвинтів

рівняно з короткими гвинтами зумовлює більші значення напруження практично в усіх елементах моделі. Використання поперечних стяжок дає змогу дещо зменшити рівень критичного напруження. Таким чином, найбільш біомеханічно ефективною моделлю в нашому дослідженні був фрагмент грудопоперекового відділу, стабілізований із застосуванням монокортикальних транспедикулярних гвинтів і поперечних стяжок, найменш ефективною – фрагмент, стабілізований із використанням бікортикальних гвинтів без стяжок.

Обговорення

Використання задньої стабілізації за допомогою транспедикулярних систем є найпоширенішим методом хірургічної корекції травматичних ушкоджень ГПП. Основні завдання, що стоять перед хірургом, а саме відновлення стабільності хребта, пошкодженого як в результаті травми, так і після виконання декомпресивного етапу втручання, а також корекцію деформації в більшості випадків, розв'язують імплантацією транспедикулярної системи стабілізації. У разі значного пошкодження тіла хребця, що найхарактерніше для підтипу пошкоджень А4, спостерігається практично повна втрата опорної функції передньої колони, що потребує її відновлення тілозамісним імплантатом. Щодо ГПП цей етап хірургічного втручання може бути виконаний як із передньо-бічного, так і з задньо-бічного доступу [20, 21]. Аналіз даних літератури виявив, що у більшості випадків (при ушкодженнях підтипу А4, а також якщо таке ушкодження є компонентом травми підтипу В2, рідше – типу С) є потреба у видаленні тіла одного хребця [22]. Резекцію двох тіл виконують переважно тоді, коли ушкодження підтипу А4 тіла одного хребця комбінується з травмою підтипу А іншого суміжного хребця. У нашому дослідженні розглянуто саме цей біомеханічно найнесприятливіший варіант декомпресивно-стабілізувального хірургічного втручання.

Про активне використання комп'ютерного моделювання біомеханіки травмованого і стабілізованого хребта свідчить велика кількість публікацій, присвячених цій тематиці. Однак проведено відносно мало досліджень методів стабілізації ГПП. Це зумовлено методологією скінченно-елементного аналізу. Так, найбільш показові та клінічно придатні до застосування результати можна отримати при порівнянні моделей із різною кількістю використаних транспедикулярних гвинтів або різних моделей імплантатів. Щодо зони ГПП, а тим більше при виконанні резекційної корпекції, актуальність короткої фіксації є сумнівною.

При аналізі доступної літератури нам не вдалося виявити дослідження подібного дизайну. Однією з найближчих за змістом робіт, які певною мірою дають змогу критично оцінити отримані результати, є публікація А. Міна та Р.А.К. Мохаммеда [23]. Використовуючи скінченно-елементну модель хребта в зоні ГПП, автори розглядали ступінь навантаження міжхребцевих дисків при резекції тіла L1 та стабілізації транспедикулярними системами з різною кількістю фіксувальних гвинтів. Отримані дослідниками дані свідчать, що при фіксації по два хребці вище і нижче за резектоване тіло хребця і моделюванні латерофлексії навантаження на краніальні сегменти менше, ніж на каудальні.

Результати проведеного нами моделювання демонструють, що застосування поперечних стяжок незалежно від довжини транспедикулярного гвинта дає змогу більш рівномірно розподілити навантаження різних елементів моделі та зменшити критичне напруження, що узгоджується з даними літератури [24-26]. З іншого боку, біомеханічна доцільність монокортикального гвинта порівняно з бікортикальним може видатися суперечливою. У низці публікацій продемонстровано, що застосування бікортикальної стабілізації дає змогу певною мірою збільшити надійність фіксації [10, 27]. Автори зазначають, що такий метод встановлення металоконструкції потребує більшого дистракційного зусилля для виникнення неспроможності стабілізації. Очевидно, що цей момент є найкритичнішим для остеопоротичного хребта. За відсутності клінічно значущого остеопорозу за інших однакових умов, згідно з літературними даними, ймовірність фрагментації металоконструкції значно вища за таку екстракції гвинта [28-30]. Відповідно, рутинне використання бікортикальної стабілізації при травматичному пошкодженні ГПП за відсутності остеопорозу недоцільне, принаймні щодо навантажень у вигляді бічного нахилу. Остаточна оцінка біомеханічної обґрунтованості певного методу стабілізації може бути проведена лише при порівнянні результатів усіх проб навантаження, що потребує подальших досліджень.

Висновки

При бічному нахилі монокортикальні транспедикулярні гвинти зумовлюють нижчі показники критичного навантаження порівняно з довгими гвинтами в усіх контрольних точках моделі. Поперечні стяжки у поєднанні як із короткими, так і з довгими гвинтами сприяють зниженню величини напруження. Щодо латерофлексії – використання

монокортикальних транспедикулярних гвинтів у поєднанні з поперечними стяжками є найбільш біомеханічно ефективним.

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

References

1. Platt H. Fractures and Dislocations of the Spine. *British medical journal*. 1938;2(4065):1155-1158. DOI: 10.1136/bmj.2.4065.1155, PMID: 20781938.
2. Xu GJ, Li ZJ, Ma JX, Zhang T, Fu X, Ma XL. Anterior versus posterior approach or treatment of thoracolumbar burst fractures: a meta-analysis. *Eur Spine J*. 2013;22(10):2176-2183. DOI: 10.1007/s00586-013-2987-y, PMID: 24013718.
3. Davis AG. Fractures of the spine. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 1929;11(1):133-156.
4. Kelly RP, Whitesides TE, Jr. Treatment of lumbodorsal fracture-dislocations. *Ann Surg*. 1968;167(5):705-717. DOI: 10.1097/00000658-196805000-00009, PMID: 5646292.
5. Hodgson AR, Stock FE. Anterior spinal fusion a preliminary communication on the radical treatment of Pott's disease and Pott's paraplegia. *The British journal of surgery*. 1956;44(185):266-275. DOI: 10.1002/bjs.18004418508, PMID: 13383153.
6. King D. Internal fixation for lumbosacral fusion. *J Bone Joint Surg Am*. 1948;30a(3):560-565. PMID: 18109577.
7. Boucher HH. A method of spinal fusion. *J Bone Joint Surg Br*. 1959;41-b(2):248-259. DOI: 10.1302/0301-620x.41b2.248, PMID: 13641310.
8. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res*. 1986(203):7-17. PMID: 3955999.
9. Liu J, Yang S, Lu J, Fu D, Liu X, Shang D. Biomechanical effects of USS fixation with different screw insertion depths on the vertebrae stiffness and screw stress for the treatment of the L1 fracture. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2018;31(2):285-297. DOI: 10.3233/bmr-169692, PMID: 29332029.
10. Shibasaki Y, Tsutsui S, Yamamoto E, Murakami K, Yoshida M, Yamada H. A bicortical pedicle screw in the caudad trajectory is the best option for the fixation of an osteoporotic vertebra: An in-vitro experimental study using synthetic lumbar osteoporotic bone models. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020;72:150-154. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2019.12.013, PMID: 3187753.
11. Cornaz F, Widmer J, Snedeker JG, Spirig JM, Farshad M. Cross-links in posterior pedicle screw-rod instrumentation of the spine: a systematic review on mechanical, biomechanical, numerical and clinical studies. *Eur Spine J*. 2021;30(1):34-49. DOI: 10.1007/s00586-020-06597-z, PMID: 33009949.
12. Nekhlopochny OS, Verbov VV, Karpinsky MY, Yaresko OV. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth and role of cross-link in thoracolumbar junction fracture surgery: a finite element study under compressive loads. *Ukrainian Neurosurgical Journal*. 2021;27(3):25-32. DOI: 10.25305/unj.230621.
13. Nekhlopochny A, Nekhlopochny S, Karpinsky M, Shvets A, Karpinskaya E, Yaresko A. Mathematical Analysis and Optimization of Design Characteristics of Stabilizing Vertebral Body Replacing Systems for Subaxial Cervical Fusion Using the Finite Element Method. *Hirurgiâ pozvonočnika*. 2017;14(1):37-45. DOI: 10.14531/ss2017.1.37-45.
14. Cowin SC. *Bone Mechanics Handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2001.
15. Vossaccio A, Pappalettere C. Mechanobiology of Fracture Healing: Basic Principles and Applications in Orthodontics and Orthopaedics. In: Klika V, editor. *Theoretical Biomechanics* 2011.
16. Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2008;1(1):30-42. 8/24/2022: DOI:10.1016/j.jmbbm.2007.07.001, PMID: 19627769.
17. Образцов ИФ, Адамович ИС, Барер ИС. Проблемы прочности в биомеханике : учеб. пособие для технич. и биолог. спец. ВУЗ. Москва Высшая школа; 1988. Obratsov IF, Adamovich IS, Barer IS. *Problemy prochnosti v biomekhanike*. Moscow: Vysshaya shkola; 1988. [in Russian].
18. Зенкевич ОК. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир; 1975. Zenkevich OK. *Metod konechnykh elementov v tekhnike*. Moscow: Mir; 1975. [in Russian].
19. Алямовский АА. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ Методом конечных элементов. Москва: ДМК Пресс; 2004. Alyamovskiy AA. *SolidWorks/COSMOSWorks. Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov*. Moscow: DMK Press; 2004. [in Russian].
20. Ghanayem AJ, Zdeblick TA. Anterior instrumentation in the management of thoracolumbar burst fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1997(335):89-100. PMID: 9020209.
21. Hoffmann C, Spiegl UJ, Paetzold R, Devitt B, Hauck S, Weiss T, et al. Long-term results after thoracoscopic anterior spondylodesis with or without posterior stabilization of unstable incomplete burst fractures of the thoracolumbar junction: a prospective cohort study. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2020;15(1):412. DOI: 10.1186/s13018-020-01807-2, PMID: 32933516.
22. Vicenty JC, Saavedra FM, Vigo JA, Pastrana EA. Circumferential Stabilization of the Thoracolumbar Junction Via Posterior-Only Approach for the Management of Burst Fractures. *Puerto Rico health sciences journal*. 2018;37(4):224-229. PMID: 30548059.
23. Mina A, Mohammed RAK. Biomechanical Evaluation of Segmental Pedicle Screw Fixation in Thoracolumbar Fracture: A Finite Element Study. *Orthopedics and Rheumatology Open Access Journal*. 2018;12(3). DOI: 10.19080/oroaj.2018.12.555838.
24. Kuklo TR, Dmitriev AE, Cardoso MJ, Lehman RA, Jr., Erickson M, Gill NW. Biomechanical contribution of transverse connectors to segmental stability following long segment instrumentation with thoracic pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(15):E482-487. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31817c64d5, PMID: 18594445.
25. Wang T, Cai Z, Zhao Y, Wang W, Zheng G, Wang Z, et al. The Influence of Cross-Links on Long-Segment Instrumentation Following Spinal Osteotomy: A Finite Element Analysis. *World Neurosurg*. 2019;123:e294-e302. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.154, PMID: 30496922.
26. Lynn JA, Mukherjee DP, Kruse RN, Sadasivan KK, Albright G. Mechanical stability of thoracolumbar pedicle screw fixation. The effect of crosslinks. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(14):1568-1572; discussion 1573. 24.08.2022: 10.1097/00007632-199707150-00007, PMID: 9253090.
27. Xu C, Hou Q, Chu Y, Huang X, Yang W, Ma J, et al. How to improve the safety of bicortical pedicle screw insertion in the thoracolumbar vertebrae: analysis base on three-dimensional CT reconstruction of patients in the prone position. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):444. DOI: 10.1186/s12891-020-03473-1, PMID: 32635944.

28. Chen C-S, Chen W-J, Cheng C-K, Jao S-HE, Chueh S-C, Wang C-C. Failure analysis of broken pedicle screws on spinal instrumentation. *Medical Engineering yscs*. 2005;27(6):487-496. DOI: 10.1016/j.medengphy.2004.12.007.

29. Galbusera F, Volkheimer D, Reitmaier S, Berger-Roscher N, Kienle A, Wilke HJ. Pedicle screw loosening: a clinically rel-

evant complication? *Eur Spine J*. 2015;24(5):1005-1016. DOI: 10.1007/s00586-015-3768-6, PMID: 25616349.

30. Matsuzaki H, Tokuhashi Y, Matsumoto F, Hoshino M, Kiuchi T, Toriyama S. Problems and solutions of pedicle screw plate fixation of lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(11):1159-1165. DOI: 10.1097/00007632-199011010-00014, PMID: 2267611.

Biomechanical State of the Operated Thoracolumbar Junction in Lateroflexion

Nekhlopochyn O.S.¹, Cheshbuk Ye.V.^{1,2}, Vorodi M.V.^{1,2}, Tsymbaliuk Ya.V.¹, Karpinskyi M.Yu.³, Yaresko O.V.³

¹SI "Romodanov Neurosurgery Institute of NAMS of Ukraine", Kyiv

²Department of Neurosurgery of Bogomolets National Medical University, Kyiv

³SI "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of NAMS of Ukraine", Kharkiv

Summary. *The zone of the thoracolumbar junction is the most susceptible to traumatic injuries due to anatomical and physiological features. Accordingly, the stabilization of this section of the spine requires high reliability. Objective:* to study the stress-strain state of the model of the thoracolumbar spine after resection of Th12-L1 vertebrae with different types of transpedicular fixation under lateroflexion. **Materials and Methods.** *Mathematical finite element model of a fragment of the human thoracolumbar spine (Th9-L5) was developed. We modeled the result of decompressive-stabilizing surgery with total removal of Th12-L1 vertebrae including installation of vertebral body replacing implant and fixation with a transpedicular system using 4 pairs of screws. Lateroflexion was modeled by applying a load of 350 N. Results.* When evaluating the model without crosslinks and using monocortical pedicle screws, it was found that the maximum loading values in Th10, Th11, L2, and L3 vertebral bodies were 3.4, 2.0, 3.5, and 8.6 MPa, respectively; loading on pedicle screws installed in the indicated vertebrae was 48.4, 48.3, 23.3 and 43.5 MPa. When using bicortical screws without crosslinks in the vertebral bodies, the values were 3.1, 2.5, 3.8, 9.6 MPa and 49.9, 51.9, 25.8, 44.8 MPa, respectively; when using a combination of short screws and crosslinks in the vertebral bodies, the values were 3.2, 2.0, 2.6, 7.5 MPa and 47.6, 47.5, 22.6, 41.2 MPa, respectively; when using crosslinks and bicortical screws, the values were 3.0, 2.2, 2.7, 8.8 MPa and 48.3, 49.6, 24.3, 42.5 MPa, respectively. **Conclusions.** *In lateroflexion, monocortical pedicle screws cause lower critical loading rates compared to long screws at all control points of the model. Crosslinks help to reduce stress levels. The use of monocortical pedicle screws in combination with transverse ties seems to be the most biomechanically effective in lateroflexion.*

Key words: *finite element model; thoracolumbar junction; corporectomy; bicortical transpedicular stabilization; crosslink; lateroflexion.*

УДК: 611.061.1

HTTPS://DOI.ORG/10.37647/0132-2486-2022-113-2-68-73

Методика вивчення зони контакту головки стегнової кістки з кульшовою западиною у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща

Філіпчук В.В.¹, Суворов В.Л.¹✉, Мельник М.В.¹, Зябловський Є.В.²

Резюме. Актуальність. Певна патологія кульшового суглоба у дітей характеризується дефіцитом перекриття головки стегнової кістки (ГСК) кульшовою западиною, що зумовлює зменшення зони контакту між ними. Для достатнього коригування деформацій кульшової западини дитячий ортопед має визначити, в якому саме напрямку є дефіцит зони контакту між ГСК і кульшовою западиною, та вміти оцінювати його рівень. **Мета.** Створення алгоритму вивчення зони контакту ГСК із кульшовою западиною у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща. **Матеріали і методи.** Було відібрано КТ-дослідження кульшового суглоба дитини чоловічої статі віком 6 років без патології кульшових суглобів. На основі КТ-сканів було створено цифрову модель таза. За допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення було проведено оцінку зони контакту ГСК із кульшовою западиною непрямим методом. **Результати.** Було розроблено алгоритм вивчення зони контакту ГСК із кульшовою западиною у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща. За допомогою створеного алгоритму було визначено зону контакту між ГСК та кульшовою западиною з обох сторін у дитини чоловічої статі віком 6 років. **Висновки.** Вивчення зони контакту ГСК із кульшовою западиною в нормі та при різних патологічних станах допоможе дитячим ортопедом краще зрозуміти різну патологію кульшових суглобів у дітей та дозволить покращити передопераційне планування.

Ключові слова: кульшовий суглоб; зона контакту; кульшова западина; Y-подібний хрящ.

Вступ

Різна патологія кульшових суглобів (дисплазія кульшових суглобів, хвороба Лег – Кальве – Пертеса, ДЦП) характеризується патологічними змінами морфології кульшової западини [1-3]. Такі зміни за відсутності своєчасного лікування призводять до виникнення дефіциту перекриття головки стегнової кістки (ГСК) та надалі до появи раннього остеоартрозу кульшового суглоба [4]. Ефективним методом корекції дефіциту перекриття ГСК є проведення різних остеотомій таза (за Salter, Dega, Pemberton), які направлені на зміну форми та орієнтації кульшової западини [5]. Такі остеотомії таза є більш ефективними у пацієнтів молодшого віку, коли відбувається швидкий розвиток вертлюгової западини та є гарний потенціал до відновлення нормальної морфології западини [6-7].

Зона контакту між ГСК та кульшовою западиною відображає перекриття ГСК западиною. Розумін-

ня нормальної та патологічної зони контакту між ГСК та кульшовою западиною допоможе ортопеду коректно оцінити направлення та ступінь дефіциту перекриття ГСК і краще спланувати напрямок реорієнтації кульшової западини під час проведення остеотомії таза.

Існує багато досліджень, присвячених вивченню взаємодії ГСК та кульшової западини у дорослих [8-19], наймолодший пацієнт у цих дослідженнях був віком 8 років [13]. Однак досліджень щодо оцінки взаємодії ГСК та кульшової западини у дітей віком до 6 років немає. Проте саме в перші 6 років життя відбувається найбільш активний розвиток кульшової западини [20], що робить застосування остеотомії таза високоефективним.

Мета роботи – створення алгоритму вивчення зони контакту ГСК із кульшовою западиною у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща.

Матеріали і методи

Було відібрано КТ-дослідження таза пацієнта 6 років чоловічої статі без патології кульшового су-

✉ Суворов В.Л., vasil_suvorov@ukr.net

¹ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ²Центр радіології, відділення променевої та радіонуклідної діагностики, НДСЛ "Охматдит", м. Київ

глоба з бази даних Національної дитячої спеціалізованої лікарні "Охматдит". Сканування проводилося на апараті "Siemens SOMATOM Definition As, USA", товщина зрізу вибраних КТ-сканів становила 1,5 мм.

КТ-скани були оброблені за допомогою програмного забезпечення Mimics 20.0 (Materialize Inc., Левен, Бельгія), де було виконано автоматичну сегментацію кісток таза та крижової кістки. Цю модель таза було експортовано з програмного забезпечення Mimics у форматі STL (рис. 1).

Далі оцінка цієї моделі таза була проведена за допомогою програмного забезпечення, виготовленого на замовлення (3DPSM) та призначеного для визначення зони контакту між ГСК та кульшовою западиною.

У програмному забезпеченні (3DPSM) зона контакту між ГСК та кульшовою западиною оцінюється непрямим методом [13]. Для цього ГСК представляється у вигляді віртуальної сфери, ця сфера вписується в кульшову западину методом найменших квадратів. Потім виділяється пляма контакту між віртуальною сферою та межами западини. Після цього через центри обох сфер проводиться контрольна референтна лінія. Наприкінці вимірюється кут перетину між центром віртуальної сфери, контрольною лінією та краями кульшової западини. Крок вимірювання кута становить 1° , тому кожна віртуальна сфера має 360 точок контакту з межами кульшової западини (як із кістками таза, так і променями Y-подібного хряща).

Просторове вирівнювання таза за певними анатомічними орієнтирами (як описано іншими авторами [9-10]) не проводилося. Це не є необхідним,

оскільки кістки таза у дітей розділені променями Y-подібного хряща, що дозволяє ідентифікувати кожен тазову кістку в кульшовій западині без будь-яких орієнтирів. Процес оцінки зони контакту між ГСК та кульшовою западиною представлено на рис. 2.

Зона контакту між ГСК та кульшовою западиною оцінювалась у передньому, верхньому та задньому напрямку (П, В, З) відповідно до перекриття ГСК лобковою, клубовою та сідничною кістками. Для більш детальної оцінки зони контакту між ГСК та кульшовою западиною ми пропонуємо розділити верхню і задню ділянки перекриття на верхньопередню, верхньозадню, задньоверхню та задньонижню (В-П, В-З, З-В, З-Н).

Схематичне зображення визначення зони контакту між ГСК та кульшовою западиною у 5 напрямках представлено на рис. 3.

Результати

Створено та описано алгоритм оцінки зони контакту між ГСК та кульшовою западиною непрямим методом у дітей з урахуванням наявності Y-подібного хряща.

Було визначено зони контакту між ГСК та кульшовою западиною у 5 ділянках у пацієнта чоловічої статі віком 6 років без патології кульшових суглобів. Графік цифрових величин зон контакту ГСК та кульшової западини показано на рис. 4. Середні значення зон контакту між ГСК та кульшовою западиною у 5 ділянках у цього пацієнта представлено у табл. 1.

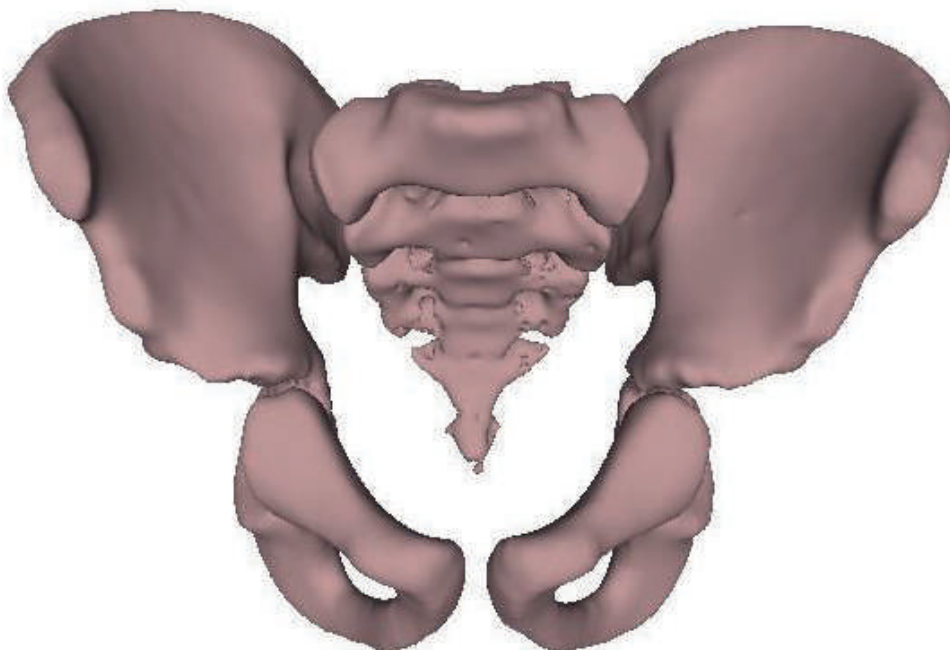


Рис. 1. Модель таза після проведеної сегментації кісток таза

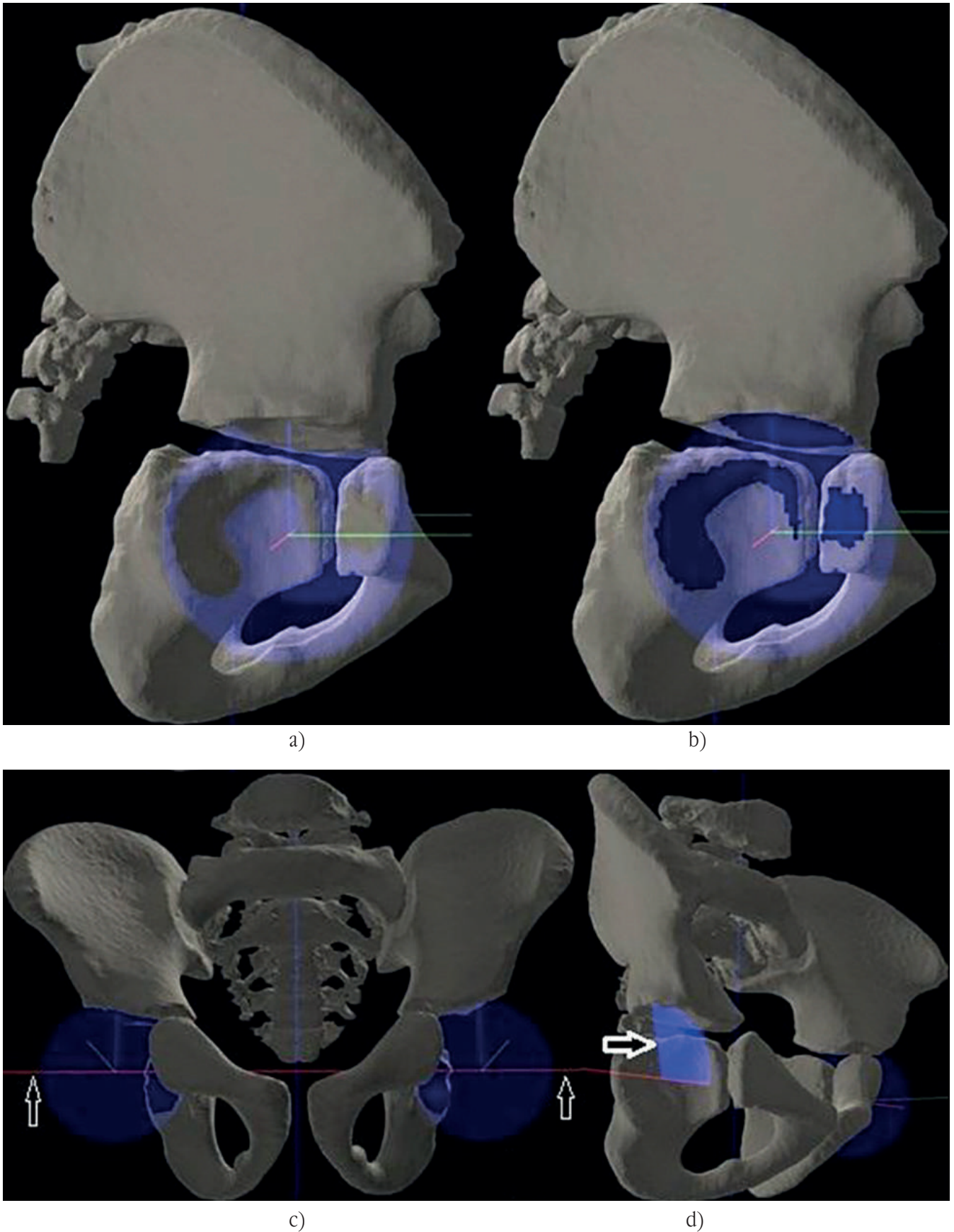


Рис. 2. Процес оцінки зони контакту між ГСК та кульшовою западиною: а) віртуальна сфера, вписана в западину; б) виділення плями контакту між віртуальною сферою та межами кульшової западини; с) референтна лінія (стрілки); д) вимірювання кута перетину між центром віртуальної сфери, контрольною лінією та краями кульшової западини (стрілка)

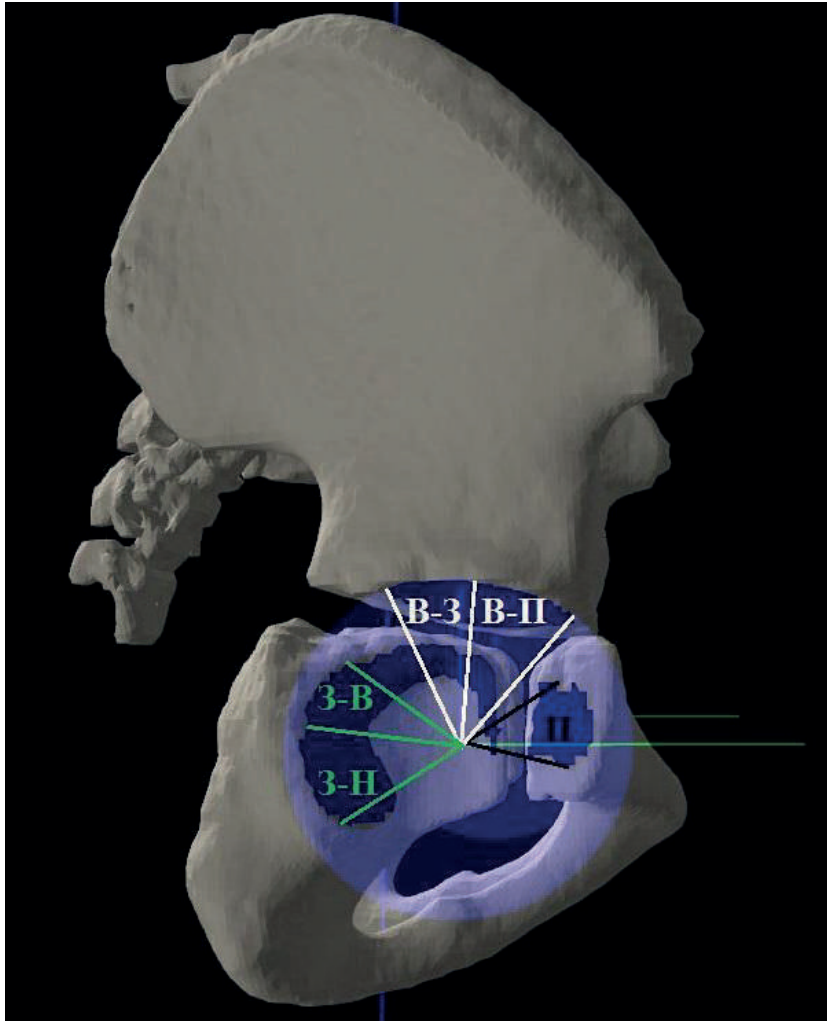


Рис. 3. Схематичне зображення визначення зони контакту між ГСК та кульшовою западиною у 5 напрямках (П, В-П, В-З, З-В, З-Н)

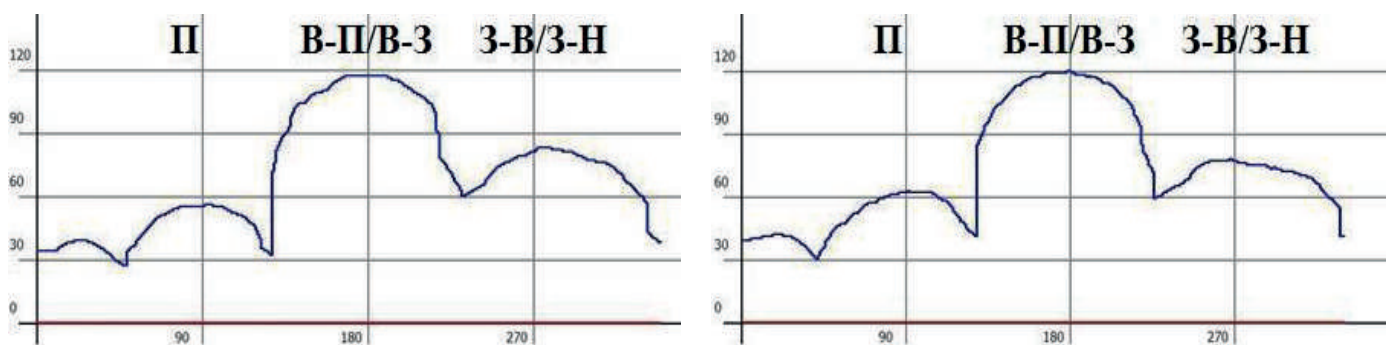


Рис. 4. Графік цифрових величин зон контакту ГСК та кульшової западини зліва (зверху) та справа (знизу)

Таблиця 1

Середні значення зон контакту між ГСК та кульшовою западиною у 5 ділянках з обох сторін

Сторона перекриття	П	В-П	В-З	З-В	З-Н
Зліва	52,8°	106,9°	113,5°	82,3°	79,3°
Справа	54,0°	114,0°	115,2°	74,7°	69,5°

Висновки

Для дитячого ортопеда важливо знати нормальні референтні значення контакту між головкою стегнової кістки (ГСК) та кульшовою западиною. Це дозволяє диференціювати патологічні стани від крайніх варіантів норми. Також ця інформація дає змогу індивідуального планування різноманітних реконструктивних операцій ділянки кульшового суглоба.

Взаємовідношення кульшової западини та ГСК можна оцінити різними методами (рентгенологічне дослідження, КТ, МРТ, трупний матеріал [8, 14-19, 21-22]). Найбільш рутинним методом дослідження є рентгенологічне дослідження, проте цей метод не дає повної інформації щодо 3D-морфології кульшової западини [9]. У цьому дослідженні КТ-сканування використовувалося як метод вибору через гарну візуалізацію кісток таза у просторі.

Описаний у цій статті метод оцінки зони контакту між ГСК та кульшовою западиною дозволяє ортопеду оцінити взаємовідношення ГСК та кульшової западини в нормі, створити референтні значення контакту між ГСК із різними ділянками кульшової западини у дітей обох статей відповідно до їхнього віку. Також за допомогою описаного в статті методу можна оцінити контакт між ГСК та кульшовою западиною при різноманітних патологіях кульшового суглоба, які характеризуються деформацією кульшової западини. Особливістю методу, описаного в цій статті, є те, що враховується наявність відкритого Y-подібного хряща (чого немає у дорослих пацієнтів).

Вивчення зони контакту ГСК із кульшовою западиною в нормі та при різних патологічних станах допоможе дитячим ортопедам краще зрозуміти різноманітну патологію кульшових суглобів у дітей та дозволить покращити передопераційне планування.

Конфлікт інтересів. Ця публікація не викликає будь-якого конфлікту між авторами, не була і не буде предметом комерційної зацікавленості чи винагороди в жодній формі.

References

1. Filipchuk V, Suvorov V. Acetabular Dysplasia: a Modern View of the Problem (Literature Review). *Visnyk Ortopedii Travmatologii Protezuvannia*. 2020 Jun;1 (104), 92-100. DOI: 10.37647/0132-2486-2020-104-1-92-100.
2. Huhnstock S, Svenningsen S, Pripp AH, Terjesen T, Wiig O. The acetabulum in Perthes's disease: a prospective study of 123 children. *J Child Orthop*. 2014 Dec;8(6):457-65. DOI: 10.1007/s11832-014-0617-9. Epub 2014 Nov 20. PMID: 25409924; PMCID: PMC4252266.
3. Aroojis A, Mantri N, Johari AN. Hip Displacement in Cerebral Palsy: The Role of Surveillance. *Indian J Orthop*. 2020 Jun 11;55(1):5-19. DOI: 10.1007/s43465-020-00162-y. PMID: 33569095; PMCID: PMC7851306.

4. Fu Z, Yang JP, Zeng P, Zhang ZL. Surgical implications for residual subluxation after closed reduction for developmental dislocation of the hip: a long-term follow-up. *Orthop Surg*. 2014 Aug;6(3):210-6. DOI: 10.1111/os.12113. PMID: 25179355; PMCID: PMC6583416.
5. Suvorov V, Filipchuk V, Mazevich V, Suvorov L. Simulation of pelvic osteotomies applied for DDH treatment in pediatric patients using piglet models. *Adv Clin Exp Med*. 2021 Oct;30(10):1085-1090. DOI: 10.17219/acem/140548. PMID: 34549556.
6. El-Sayed M, Ahmed T, Fathy S, Zyton H. The effect of Dega acetabuloplasty and Salter innominate osteotomy on acetabular remodeling monitored by the acetabular index in walking DDH patients between 2 and 6 years of age: short- to middle-term follow-up. *J Child Orthop*. 2012 Dec;6(6):471-7. DOI: 10.1007/s11832-012-0451-x. Epub 2012 Nov 28. PMID: 24294309; PMCID: PMC3511692.
7. Filipchuk V, Suvorov V. Pelvic osteotomies for DDH treatment in pediatric patients: assessment of risk factors. *Int J Med Rev Case Rep*. 2021 Jul;5 (7): 66-77. DOI: 10.5455 / IJMRCR.Pelvic-osteotomies-ddh-treatment.
8. Tannenbaum E, Kopydlowski N, Smith M, Bedi A, Sekiya JK. Gender and racial differences in focal and global acetabular version. *J Arthroplasty*. 2014 Feb;29(2):373-6. DOI: 10.1016/j.arth.2013.05.015. Epub 2013 Jun 18. PMID: 23786986; PMCID: PMC4049456.
9. Larson CM, Moreau-Gaudry A, Kelly BT, Byrd JW, Tonetti J, Lavallee S, Chabanas L, Barrier G, Bedi A. Are normal hips being labeled as pathologic? A CT-based method for defining normal acetabular coverage. *Clin Orthop Relat Res*. 2015 Apr;473(4):1247-54. DOI: 10.1007/s11999-014-4055-2. PMID: 25407391; PMCID: PMC4353516.
10. Tannenbaum EP, Zhang P, Maratt JD, Gombera MM, Holcombe SA, Wang SC, Bedi A, Goulet JA. A Computed Tomography Study of Gender Differences in Acetabular Version and Morphology: Implications for Femoroacetabular Impingement. *Arthroscopy*. 2015 Jul;31(7):1247-54. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.02.007. Epub 2015 May 13. PMID: 25979688.
11. Edwards K, Leyland KM, Sanchez-Santos MT, Arden CP, Spector TD, Nelson AE, Jordan JM, Nevitt M, Hunter DJ, Arden NK. Differences between race and sex in measures of hip morphology: a population-based comparative study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020 Feb;28(2):189-200. DOI: 10.1016/j.joca.2019.10.014. Epub 2019 Dec 13. PMID: 31843571.
12. Hofmann UK, Ipach I, Rondak IC, Syha R, Götze M, Mittag F. Influence of age on parameters for femoroacetabular impingement and hip dysplasia in x-rays. *Acta Ortop Bras*. 2017 Sep-Oct;25(5):197-201. DOI: 10.1590/1413-785220172505173951. PMID: 29081704; PMCID: PMC5608738.
13. Peterson JB, Doan J, Bomar JD, Wenger DR, Pennock AT, Upasani VV. Sex Differences in Cartilage Topography and Orientation of the Developing Acetabulum: Implications for Hip Preservation Surgery. *Clin Orthop Relat Res*. 2015 Aug;473(8):2489-94. DOI: 10.1007/s11999-014-4109-5. Erratum in: *Clin Orthop Relat Res*. 2015 Aug;473(8):2721. PMID: 25537807; PMCID: PMC4488199.
14. Novais EN, Pan Z, Autruong PT, Meyers ML, Chang FM. Normal Percentile Reference Curves and Correlation of Acetabular Index and Acetabular Depth Ratio in Children. *J Pediatr Orthop*. 2018 Mar;38(3):163-169. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000791. PMID: 27261963.
15. Araujo-Monsalvo B, Trujillo-Satow A, Araujo-Monsalvo VM, Cuevas-Olivo R, Hernández-Simón LM, Domínguez-Hernández VM. Volumetric measurement of the acetabular cavity in patients with unilateral neglected developmental dysplasia of the dislo-

cated hip operated in a single time. *Cir Cir.* 2019;87(5):490-495. English. DOI: 10.24875/CIRU.19000436. PMID: 31448800.

16. Zhao X, Yan YB, Cao PC, Ma YS, Wu ZX, Zhang Y, Zang Y, Jie Q, Lei W. Surgical results of developmental dysplasia of the hip in older children based on using three-dimensional computed tomography. *J Surg Res.* 2014 Jun 15;189(2):268-73. DOI: 10.1016/j.jss.2014.03.003. Epub 2014 Mar 11. PMID: 24703507.

17. Merckaert SR, Pierzchala K, Bregou A, Zambelli PY. Residual hip dysplasia in children: osseous and cartilaginous acetabular angles to guide further treatment—a pilot study. *J Orthop Surg Res.* 2019 Nov 21;14(1):379. DOI: 10.1186/s13018-019-1441-1. PMID: 31752955; PMCID: PMC6868726.

18. Dogan O, Caliskan E, Duran S, Bicimoglu A. Evaluation of cartilage coverage with magnetic resonance imaging in residual dysplasia and its impact on surgical timing. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2019 Sep;53(5):351-355. DOI: 10.1016/j.aott.2019.05.004. Epub 2019 Jul 26. PMID: 31358402; PMCID: PMC6819792.

19. Irie T, Espinoza Orías AA, Irie TY, Nho SJ, Takahashi D, Iwasaki N, Inoue N. Three-dimensional hip joint congruity evalu-

ation of the borderline dysplasia: Zonal-acetabular radius of curvature. *J Orthop Res.* 2020 Oct;38(10):2197-2205. DOI: 10.1002/jor.24631. Epub 2020 Mar 2. PMID: 32073168.

20. Novais EN, Pan Z, Autruong PT, Meyers ML, Chang FM. Normal Percentile Reference Curves and Correlation of Acetabular Index and Acetabular Depth Ratio in Children. *J Pediatr Orthop.* 2018 Mar;38(3):163-169. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000791. PMID: 27261963.

21. Li LY, Zhang LJ, Li QW, Zhao Q, Jia JY, Huang T. Development of the osseous and cartilaginous acetabular index in normal children and those with developmental dysplasia of the hip: a cross-sectional study using MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 2012 Dec;94(12):1625-31. DOI: 10.1302/0301-620X.94B12.29958. PMID: 23188902.

22. Li Y, Guo Y, Li M, Zhou Q, Liu Y, Chen W, Li J, Canavese F, Xu H; Multi-center Pediatric Orthopedic Study Group of China. Acetabular index is the best predictor of late residual acetabular dysplasia after closed reduction in developmental dysplasia of the hip. *Int Orthop.* 2018 Mar;42(3):631-640. DOI: 10.1007/s00264-017-3726-5. Epub 2017 Dec 29. PMID: 29285666.

The Method of Contact Area Assessment between the Femoral Head and Acetabulum in Children that Takes into Account Triradiate Cartilage

Filipchuk V.V.¹, Suvorov V.L.¹, Melnyk M.V.¹, Ziablovskiy Ye.V.²

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

²Center of Radiology, Department of Radiation and Radionuclide Diagnostics, National Specialized Children's Hospital "Obmatdyt", Kyiv

Summary. Relevance. Specific hip joint pathologies in children are characterized by insufficiency of the femoral head (FH) coverage by the acetabulum. This is reflected in the contact area reduction between the FH and acetabulum. In order to correct these acetabular deformities properly, the pediatric orthopedist must know in which direction develops a deficit of contact area between the FH and acetabulum and be able to assess the level of this deficit. **Objective:** to create an algorithm for the contact area assessment between the FH and acetabulum in children taking into account triradiate cartilage. **Materials and Methods.** Pelvic CT scans of a 6-year-old male child without hip joint pathologies were selected. A digital model of the pelvis was created using these CT scans. The pelvic model was transferred to a custom-made software, where the contact area between the FH and acetabulum was assessed in an indirect way. **Results.** The algorithm of the contact area assessment between the FH and acetabulum in children that takes into account triradiate cartilage was developed. Using the abovementioned algorithm, the contact area between the FH and acetabulum from both sides was assessed in a 6-year-old male child. **Conclusions.** Assessment of the normal contact area between the FH and acetabulum and in various pathological conditions in children will help pediatric orthopedists to understand better different hip joint pathologies and improve preoperative planning.

Key words: hip joint; contact area; acetabulum; triradiate cartilage.

Ceramic-on-Ceramic Bearings in Total Joint Arthroplasty. Part 1

Zazirnyi I.M.¹✉

Summary. Ceramic bearings were first employed as alternatives to polyethylene (PE) bearings in total joint arthroplasty about a decade after Sir John Charnley introduced the first durable total hip arthroplasty (THA) with a metal-PE articulation. Charnley's approach was based on a metal stem bonded to bone with polymethylmethacrylate (PMMA) and an acetabular component made of ultra-high-molecular-weight PE (UHMWPE). Microscopic particulate debris in the joint space from bearing wear has been shown to lead to periprosthetic inflammation, osteolysis, and implant loosening. Cross-linking can reduce the wear of UHMWPE, but it also compromises UHMWPE's mechanical properties. Accordingly, there are concerns related to potential brittleness if UHMWPE implants are not positioned optimally. Also, the smaller particles generated from cross-linked UHMWPE may present an increased particulate load in vivo. Thus, there is a need for data on the long-term outcomes of cross-linked UHMWPE. Any technology that can reduce bearing wear rates in THA and total knee arthroplasty (TKA) can potentially decrease the morbidity and risks associated with premature revision surgery related to wear. Improved wear resistance also allows the use of large-diameter femoral heads in THA, leading to increased arc of movement and less risk of prosthesis dislocation. The ideal joint bearing for THA and TKA would be able to withstand high cyclic loading for several decades without undergoing corrosion or fretting at modular metal tapers, and would possess proven biocompatibility and material stability in vivo, as well as ultralow wear rates. The search for the ideal total joint bearing has led to the development of ceramic bearings.

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

Introduction

Bearings made of ceramics (e.g. alumina [aluminum oxide] and zirconia [zirconium oxide]) have been shown to possess extremely low wear properties that make them suitable for both THA and TKA. When compared to the most commonly used bearing couple in joint arthroplasty, which consists of cobalt-chrome (CoCr) metal alloy articulating against UHMWPE, ceramic surfaces offer significant reductions in bearing wear rates.

The superior wear characteristics of ceramic materials have been verified in many clinical and experimental studies. In one study, alumina-alumina articulations in THAs showed less osteolysis in the proximal femur than the metal-UHMWPE controls at 5 years after surgery [1]. Long-term clinical outcomes have shown few, if any problems with alumina total hips, in the absence of confounding variables [2].

Metal-on-metal bearings also reduce THA wear dramatically, but metal wear particles can lead to delayed hypersensitivity reactions, and the long-term effects of systemically dispersed fine metal wear particles remain a matter of speculative concern.

More than half a million total joint arthroplasties are performed annually in the United States, and this number is growing. Worldwide, millions of femoral heads have been implanted. Ceramic bearings have not been as well accepted among US hip surgeons as other bearing types have been, because of concerns related to cost, complexity, lack of familiarity, and problems such as potential catastrophic rupture. At present, ceramic bearings are used in a minority of THAs done in the United States.

Ceramic technology continues to evolve, and new materials based on nonoxide ceramics, composites of existing ceramics, and surface modifications will offer more options to the arthroplasty surgeon. Previous experience has also shown that each new bearing technology applied to total joint replacement can have unforeseen complications [3, 4]. Ceramics will continue to be developed for clinical use as the underlying engineering and material science principles

✉ Zazirnyi I.M., zazirnyi@ukr.net

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

of new materials are validated and as clinical data demonstrate their safety and reliability *in vivo*.

Evolution of ceramic bearings

Ceramic-on-ceramic (COC) bearing surfaces have a long history of successful clinical use [5]. Ceramics was first used in hip arthroplasty by Pierre Boutin in 1970 [6] but has evolved to address some of the early limitations, particularly fracture, which occurred as a consequence of the sintering process resulted in large grain size and subsequent ease of crack propagation [7]. Second-generation ceramics treated with hot isostatic pressing had smaller grain sizes and fewer impurities [8]. Zirconia was a second-generation ceramics introduced in 1985 because of its improved fracture toughness and bending strength compared with alumina, but it was subsequently found to have inferior wear characteristics [9]. Zirconia was vulnerable to undergoing transformation at high temperatures and wet environments. This transformation weakened the zirconia and increased its surface roughness [10]. The third-generation ceramics developed in the 1990s was marketed as Alumina Forte (BIOLOX^sforte, CeramTec AG, Plochingen, Germany). It showed continued improvements in manufacturing, creating a purer, denser ceramics, but was still vulnerable to rim fracture, particularly of the liner. The development of current fourth-generation Alumina Delta (BIOLOX^sdelta, CeramTec AG, Plochingen, Germany) has further addressed the limitations of the alumina. This modern ceramics is a compound of zirconia-toughened alumina, strontium, yttria, and chromia (SrO, Y₂O₃, and Cr₂O₃) [11]. The addition of strontium limits crack propagation and, together with the chromia, improves the hardness of the composite. The zirconia improves the toughness and wear characteristics and is stabilized from undergoing transformation by the yttria [11].

Ceramic materials are extremely hard, scratch resistant, and biocompatible, as well as demonstrating a low coefficient of friction. This makes ceramics an ideal bearing material for total hip arthroplasty.

These are formed by fusion of microscopic grains of alumina (Al₂O₃) and/or zirconia (ZrO₂) ceramic powder into a solid phase (Table 1). The process of sintering is “hot isostatic pressing” requiring temperatures exceeding 1400 °C and pressures above 1000 Bars. After sintering, the components are ground and polished to get the finest surface possible. The manufacturing of COC bearings for orthopedics is under strict control (more than 50 checkpoints according to the declaration of CeramTech AG, Plochingen, Germany) and in accordance with international quality standards (ISO 6474). Compared to other currently used bearing couples, modern COC bearings demonstrate the lowest wear rates both *in vitro* and *in vivo*.

Tribological remarks

Current ceramics used for manufacturing bearing surfaces in THA exhibit outstanding tribological properties, the most important of which are hardness and high degree of wetability. Ceramics has a greater hardness than metal and can be polished to a much lower surface roughness, while excellent wetability ensures that the synovial fluid is uniformly distributed between implant surfaces [12]. The former guarantees high resistance to major scratches and undetectable wear rate, while the latter facilitates fluid-film lubrication thus contributing to very low friction between articulating surfaces (< 1.7x10⁻⁷ mm³/Nm) [13].

The basic mechanism of wear in COC articulations is intergranular erosion followed by isolated grain pull-out [12]. In fact, hip simulator studies of current COC bearings have shown very low wear rates (less than 0.1 mm³ per million cycles) [14]. However, measurement of retrieved ceramic implants revealed much higher wear rates than above (≥ 1 mm³/yr) and a characteristic “ceramic” wear pattern was noted [15-17]. The reason for these differences could lie in different biomechanical conditions *in vitro* and *in vivo*, with the latter being exposed to edge loading, recurrent separation of bearing surfaces and even direct impingement of the ceramic implant on the neck of the stem,

Table 1

Characteristics of ceramic materials used currently in total hip arthroplasty

Type of ceramic material	Grain size (µm)	Density (g/m ³)	Bending strength (MPa)	Fracture toughness (MPa.m ^{1/2})	Vickers hardness	Young's modulus (GPa)
Alumina (BioloX Forte)	<2	3.98	580	4	20	380
Zirconia	<0.5	n.a.	>900	8	12.5	210
TAMC (BioloX Delta)	<2	4.37	>1380	6.5	19	>350

ZTAMC – Zirconia-toughened alumina matrix composite; n.a. – not available. Sources: CeramTec AG, Plochingen, Germany

which increases the total wear of the implant *in vivo*. However, even under microseparation conditions, the wear rates of current alumina and ZTAMC ceramics are lower than highly cross-linked polyethylene (up to 1.8 mm³/million cycles) [16].

Size of ceramic particles

Ceramic wear particles are continually released into the effective joint space during each step similar to non-COC THA. Depending on the mechanism of wear, ceramic particles are typically generated in smaller numbers and with a bimodal size range involving nanometer size particles (mean 24 nm; range 5 to 90 nm) and larger particles (mean 0.43 μm; range 0.05 to 3.2 μm) probably associated with grain boundary fracture [18, 19]. In addition, even larger ceramic particles are generated during gross damage (catastrophic failure) of the bearing surfaces.

Biological activity of ceramic particles

Prosthetic particles released from artificial joints stimulate periprosthetic cells to produce an inflammatory and pro-osteolytic environment leading eventually to alteration of local bone homeostasis in favour of bone resorption. Generally, the impact of particle load on the extension of bone defects depends at least on the size, amount, origin, and shape of the particles [20].

COC THAs exhibit very low ceramic wear rates and, in addition, ceramic wear particles have much lower specific and functional biological activity than polyethylene particles [21, 22]. Catelas et al. showed that polyethylene particles stimulated greater release of TNF-α when compared to alumina or zirconia [23]. Kubo et al. found much less intense histiocytic response around particles of alumina ceramics (3.9 μm in diameter) than that of UHMWPE (11 μm), stainless steel (3.9 μm), and CoCr (3.9 μm) in a rabbit model [24]. Bos et al. studied macrophages in the pseudo-synovial membrane from well-fixed implants retrieved at autopsy and found the percentage of macrophages was higher in the polyethylene-on-ceramic and metal-on-polyethylene groups (40-60%) than in the ceramic-on-ceramic group (20-40%) [25, 26]. On the other hand, at least one study comparing macrophage apoptosis as a result of stimulation by alumina, zirconia, and PE particles found the response to be size and concentration dependent, rather than particle composition dependent [27]. The overall impression is that ceramic particles are biologically inert, but if released in sufficient numbers (e.g. cases of neck impingement or third body wear), ceramic particles can produce osteolysis similar to that induced by PE particles. In comparable doses, however, the biologic response is less intense with ceramic versus PE particles.

From the above, it could be deduced that osteolysis and aseptic loosening will be obviated in patients with

COC THA. Unfortunately, this is controversial because several studies demonstrated periprosthetic osteolysis even in patients with current COC THA [28, 29]. The reason may lie in the multifactorial origin of osteolysis and aseptic loosening when particle related parameters play an important role but not the only pathway inducing these entities [30]. In addition, ceramic bearing surfaces are not the only source of prosthetic particles. In support of this is a histological study of pseudomembranes from loosened alumina cups that suggested that this “unexpected” osteolysis was probably due to metal or cement debris rather than alumina particles. Thus, in terms of biological activity of ceramic particles, the advantages clearly outweigh the disadvantages.

Clinical evidence for ceramic-on-ceramic THA

Assuming that COC bearings offer the lowest wear rates and that ceramic particles induce minimal adverse biological activity, do these facts result in overall improvement in survivorship of THA?

Recent systematic reviews on survivorship of hard-on-hard bearings in THA revealed variable implant longevity and rates of complications in earlier studies (survival rates of 73% to 100% at mean follow up ranging from 31 to 240 months) [31]. Early generations of ceramic-on-ceramic implants were characterized by high failure rates as a result of both component fracture and loosening of the monolithic acetabular component. However, in a recent retrospective study, Petsatodis et al. reported a survivorship of 84.4% of cementless alumina COC prostheses at 20 years follow-up [32]. Others have reported significant differences in survivorship of COC bearings depending on the type of prosthesis and its fixation, especially with respect to cementless and cemented cups [33, 34]. Therefore, the survivorship and rate of complications of ceramic bearing surfaces depend not only on the period of implantation (and therefore the generation of ceramic material) but also on other important factors, e.g. design of the prosthesis, surgical technique and the method of femoral and acetabular fixation.

The new generations of ceramic implants suggest more promising outcomes (Table 2), especially in young and active patients, with survivorship rates (free of revision) between 92% and 99% at ten years of follow-up [35-39]. However, these data are comparable but not better than the best outcomes for both metal-on-metal and metal/ceramic-on-polyethylene articulations (Table 2). In addition, the number of studies and length of follow-up for COC bearings are still insufficient compared to ceramic/metal-on-polyethylene THAs. Finally, the strength of evidence might be further compromised by methodological weaknesses as was reported for other clinical research in orthopedics [40].

Table 2

Summary for a review on ceramic-on-ceramic THA

Parameter	Ceramic-on-Ceramic	Ceramic/Metal-on-Polyethylene	Metal-on-Metal
Wear rate	30.5±7 µm/yr [43]	218.2±13.7µm/yr [43]	20–25 µm/yr [45]
Particle size	0.13–78 µm [45]	30 nm–10 µm [46]	30–100 nm [47]
Cellular response to wear particles	Low	High	High
Hypersensitivity induced by wear debris	No	No	Yes
Tissue necrosis, ALVAL	No or weak	Weak	High grade
Dislocation [#]	0.78%	0.80%	0.74%
Infection [#]	0.32%	0.49%	0.53%
Mechanical loosening [#]	0.39%	0.22%	0.20%
Revision [#]	1.02%	1.16%	1.12%
Noisy hip	Up to 33%	Rarely	Less frequent
Survivorship, 10 yrs. FU	99% (95% CI; 97-100%) [37]	95.6% (95% CI; 90.1-98.3%) [37]	95.4% (95% CI; 85.8–99.8%) [38]
Survivorship, 20 yrs. FU	84.4% (95% CI; 0.56–1.33) [32]	81.8% (95% CI; 79.0–84.6%)*	84% NA [42]

[#] – up to 2 years of follow-up [41]; ALVAL – aseptic lymphocytic vasculitis-associated lesions; FU – follow-up; * for all diagnoses and all reasons for revisions (Swedish Hip Arthroplasty Report 2008); NA – not available

As a result the conclusion is that the use of highly wear resistant bearing surfaces does not automatically guarantee longer survivorship than the best non-COC THAs. The reason lies at least partially in the occurrence of other unrelated complications (e.g. deep sepsis, instability, periprosthetic fracture, etc.) that require revision surgery and that are not prevented by simple choice of bearing surface. Even aseptic loosening cannot be completely resolved using one specific bearing surface because of its multifactorial etiology [42]. On the other hand, the rate of osteolysis was diminished as a direct consequence of using ceramic bearings. Taken together, combining the best design of THA with COC bearings might improve the long-term outcomes. However, this remains to be demonstrated in well-conducted multicenter studies and/or arthroplasty registries data.

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

References

1. 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 OrthopRelat Res.* 2005 Jul. (436):164-71. PMID: 15995436.

2. Kang BJ, Ha YC, Ham DW, Hwang SC, Lee YK, Koo KH. Third-generation alumina-on-alumina total hip arthroplasty: 14 to 16-year follow-up study. *J Arthroplasty.* 2015 Mar. 30 (3):411-5. DOI: 10.1016/j.arth.2014.09.020

3. Tai SM, Munir S, Walter WL, Pearce SJ, Walter WK, Zicat BA. Squeaking in large diameter ceramic-on-ceramic bearings in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2015 Feb. 30 (2):282-5. DOI: 10.1016/j.arth.2014.09.010

4. Aoude AA, Antoniou J, Epure LM, Huk OL, Zukor DJ, Tanzer M. Mid-term Outcomes of the Recently FDA Approved Ceramic on Ceramic Bearing in Total Hip Arthroplasty Patients Under 65 Years of Age. *J Arthroplasty.* 2015 Aug. 30 (8):1388-92. DOI: 10.1016/j.arth.2015.03.028

5. Hamadouche M, Boutin P, Daussange J, Bolander ME, Sedel L. Alumina-on-alumina total hip arthroplasty: a minimum 18.5-year follow-up study. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 2002;84-A:69–77. PMID: 11792782.

6. Boutin P. Total arthroplasty of the hip by fritted aluminum prosthesis. Experimental study and 1st clinical applications. *Revue de ChirurgieOrthopedique et Reparatrice de l'appareilMoteur* 1972;58:3. PMID: 4265757

7. Bierbaum BE, Nairus J, Kuesis D, et al. Ceramic on ceramic bearings in total hip replacement. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2002;405:158–63. DOI: 10.1097/00003086-200212000-00019

8. Willmann G. Ceramic femoral head retrieval data. *Clinical Orthopaedics* 2000;379:22htt. ps://doi.org/10.1097/00003086-200010000-00004.

9. Khumrak S. Ceramic on ceramic bearings review article. *Bangkok Medical Journal* 2012;4:93–103.

10. Ramachandran M. Basic Orthopaedic Sciences: The Stanmore Guide. Euston Road, London, NW1 3BH: Edward Arnold Publishers Limited; 2007.
11. Burger W, Richter HG. High strength and toughness alumina matrix composites by transformation toughening and „in situ platelet reinforcement (ZPTA) – the new generation of bioceramics. *Key Engineering Materials* 2001;191: 545–548 195.
12. Kurtz SM, Ong, K. Contemporary total hip arthroplasty: Hard-on-hard bearings and highly crosslinked UHMWPE. In: Kurtz SM, editor. *UHMWPE Biomaterials Handbook*. 2nd ed. Burlington, MA, USA: Academic Press (Elsevier);2009. p.55-79.
13. Rainforth WM, Ma L. A study of BioloX (R) delta subject to water lubricated reciprocating wear. *Tribol Int* 2010;43(10):1872-81.
14. Williams S, Schepers A, Isaac G, Hardaker C, Ingham E, van der Jagt D, Breckon A, Fisher J. The 2007 Otto Aufranc Award. Ceramic-on-metal hip arthroplasties: a comparative in vitro and in vivo study. *Clin OrthopRelat Res* 2007;465:23-32. DOI: 10.1097/blo.0b013e31814da946.
15. Lusty PJ, Watson A, Tuke MA, Walter WL, Walter WK, Zicat B. Wear and acetabular component orientation in third generation alumina-on-alumina ceramic bearings: an analysis of 33 retrievals. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89(9):1158-64. DOI: 10.1302/0301-620x.89b9.19282.
16. Nevelos J, Ingham E, Doyle C, Streicher R, Nevelos A, Walter W, Fisher J. Microseparation of the centers of alumina-alumina artificial hip joints during simulator testing produces clinically relevant wear rates and patterns. *J Arthroplasty* 2000;15(6):793-5. DOI: 10.1054/arth.2000.8100.
17. Affatato S, Traina F, Toni A. Microseparation and stripe wear in alumina-on-alumina hip implants. *Int J Artif Organs* 2011;34(6):506-12. DOI: 10.5301/ijao.2011.8457
18. Tipper JL, Hatton A, Nevelos JE, Ingham E, Doyle C, Streicher R, Nevelos AB, Fisher J. Alumina-alumina artificial hip joints. Part II: characterisation of the wear debris from in vitro hip joint simulations. *Biomaterials* 2002;23(16):3441-8. DOI: 10.1016/s0142-9612(02)00048-0
19. Fisher J, Jin Z, Tipper J, Stone M, Ingham E. Tribology of alternative bearings. *Clin OrthopRelat Res* 2006;453:25-34. DOI: 10.1097/01.blo.0000238871.07604.49.
20. Catelas I, Jacobs JJ. Biologic activity of wear particles. *Instr Course Lect* 2010;59:3-16. PMID:20415362.
21. Fisher J, Bell J, Barbour PS, Tipper JL, Matthews JB, Besong AA, Stone MH, Ingham E. A novel method for the prediction of functional biological activity of polyethylene wear debris. *Proc Inst Mech Eng H* 2001;215(2):127-32. DOI: 10.1243/0954411011533599
22. Hannouche D, Hamadouche M, Nizard R, Bizot P, Meunier A, Sedel L. Ceramics in total hip replacement. *Clin OrthopRelat Res* 2005;430:62-71. DOI: 10.1097/01.blo.0000149996.91974.83.
23. Catelas I, Huk OL, Petit A, Zukor DJ, Marchand R, Yahia L. Flow cytometric analysis of macrophage response to ceramic and polyethylene particles: effects of size, concentration, and composition. *J Biomed Mater Res* 1998;41(4):600-7. DOI: 10.1002/(sici)1097-4636(19980915)41:4<3C600::aid-jbm12%3E3.0.co;2-i.
24. Kubo T, Sawada K, Hirakawa K, Shimizu C, Takamatsu T, Hirasawa Y. Histocyte reaction in rabbit femurs to UHMWPE, metal, and ceramic particles in different sizes. *J Biomed Mater Res* 1999;45(4):363-9. DOI: 10.1002/(sici)1097-4636(19990615)45:4<3C363::aid-jbm11%3E3.0.co;2-3.
25. Bos I, Willmann G. Morphologic characteristics of periprosthetic tissues from hip prostheses with ceramic-ceramic couples: a comparative histologic investigation of 18 revision and 30 autopsy cases. *Acta OrthopScand* 2001;72(4):335-42. DOI: 10.1080/000164701753541970.
26. Bos I. Tissue reactions around loosened hip joint endoprostheses. A histological study of secondary capsules and interface membranes. *Orthopade* 2001;30(11):881-9. DOI: 10.1007/s001320170024.
27. Catelas I, Petit A, Zukor DJ, Marchand R, Yahia L, Huk OL. Induction of macrophage apoptosis by ceramic and polyethylene particles in vitro. *Biomaterials* 1999;20(7):625-30. DOI: 10.1016/s0142-9612(98)00214-2.
28. Park YS, Hwang SK, Choy WS, Kim YS, Moon YW, Lim SJ. Ceramic failure after total hip arthroplasty with an alumina-on-alumina bearing. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88(4):780-7 DOI: 10.2106/jbjs.e.00618.
29. Kurtz SM, Gawel HA, Patel JD. History and systematic review of wear and osteolysis outcomes for first-generation highly crosslinked polyethylene. *Clin OrthopRelat Res* 2011;469(8):2262-77. DOI: 10.1007/s11999-011-1872-4.
30. Sundfeldt M, Carlsson LV, Johansson CB, Thomsen P, Gretzer C. Aseptic loosening, not only a question of wear: a review of different theories. *Acta Orthop* 2006;77(2):177-97 DOI: 10.1080/17453670610045902.
31. Zywił MG, Sayeed SA, Johnson AJ, Schmalzried TP, Mont MA. Survival of hard-on-hard bearings in total hip arthroplasty: a systematic review. *Clin OrthopRelat Res* 2011;469(6):1536-46. DOI: 10.1007/s11999-010-1658-0.
32. Petsatodis GE, Papadopoulos PP, Papavasiliou KA, Hatzokos IG, Agathangelidis FG, Christodoulou AG. Primary cementless total hip arthroplasty with an alumina ceramic-on-ceramic bearing: results after a minimum of twenty years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92(3):639-44. DOI: 10.2106/jbjs.h.01829.
33. Iwakiri K, Iwaki H, Minoda Y, Ohashi H, Takaoka K. Alumina inlay failure in cemented polyethylene-backed total hip arthroplasty. *Clin OrthopRelat Res* 2008;466(5):1186-92. DOI: 10.1007/s11999-008-0168-9.
34. Finkbone PR, Severson EP, Cabanela ME, Trousdale RT. Ceramic-On-Ceramic Total Hip Arthroplasty in Patients Younger Than 20 Years. *J Arthroplasty* 2012;27(2):213-9. DOI: 10.1016/j.arth.2011.05.022.
35. D'Antonio JA, Capello WN, Naughton M. Ceramic Bearings for Total Hip Arthroplasty Have High Survivorship at 10 Years. *Clin OrthopRelat Res* 2012;470(2):373-81. DOI: 10.1007/s11999-011-2076-7.
36. Boyer P, Hutten D, Loriaut P, Lestrat V, Jeanrot C, Massin P. Is alumina-on-alumina ceramic bearings total hip replacement the right choice in patients younger than 50 years of age? A 7- to 15-year follow-up study. *OrthopTraumatol Surg Res* 2010;96(6):616-22. DOI: 10.1016/j.otsr.2010.02.013.
37. Lee YK, Ha YC, Yoo JJ, Koo KH, Yoon KS, Kim HJ. Alumina-on-alumina total hip arthroplasty: a concise follow-up, at a minimum of ten years, of a previous report. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92(8):1715-9. DOI: 10.2106/jbjs.i.01019.
38. Kress AM, Schmidt R, Holzwarth U, Forst R, Mueller LA. Excellent results with cementless total hip arthroplasty and alumina-on-alumina pairing: minimum ten-year follow-up. *Int Orthop* 2011;35(2):195- 200. DOI: 10.1007/s00264-010-1150-1
39. Jeffers JR, Walter WL. Ceramic-on-ceramic bearings in hip arthroplasty: state of the art and the future. *J Bone Joint Surg Br* 2012;94(6):735-45. Review. DOI: 10.1302/0301-620x.94b6.28801.
40. van Oldenrijk J, Siersevelt IN, Schafroth MU, Poolman RW. Design considerations in implant-related randomized trials. *J Long Term Eff Med Implants* 2007;17(2):153-63. DOI: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.v17.i2.80.

41. Porat M, Parvizi J, Sharkey PF, Berend KR, Lombardi AV, Jr, Barrack RL. Causes of Failure of Ceramic-on-Ceramic and Metal-on-Metal Hip Arthroplasties. Clin OrthopRelat Res 2012;470(2):382-7. DOI: 10.1007/s11999-011-2161-y.
42. Hannouche D, Zaoui A, Zadegan F, Sedel L, Nizard R. Thirty years of experience with alumina-on-alumina bearings in total hip arthroplasty. Int Orthop 2011; 35(2):207-13. DOI: 10.1007/s00264-010-1187-1.
43. Amanatullah DF, Landa J, Strauss EJ, Garino JP, Kim SH, Di Cesare PE. Comparison of surgical outcomes and implant wear between ceramic-ceramic and ceramic-polyethylene articulations in total hip arthroplasty. J Arthroplasty 2011; 26(6 Suppl):72-7. DOI: 10.1016/j.arth.2011.04.032.
44. Paleochorlidis IS, Badras LS, Skretas EF, Georgaklis VA, Karachalios TS, Malizos KN. Clinical outcome study and radiological

- findings of Zweymuller metal on metal total hip arthroplasty: a follow-up of 6 to 15 years. Hip Int 2009; 19(4):301-8. DOI: 10.1177/112070000901900402.
45. Santavirta S, Bohler M, Harris WH, Konttinen YT, Lappalainen R, Muratoglu O, Rieker C, Salzer M. Alternative materials to improve total hip replacement tribology. Acta OrthopScand 2003; 74(4):380-8. DOI: 10.1080/00016470310017668.
46. Richards L, Brown C, Stone MH, Fisher J, Ingham E, Tipper JL. Identification of nanometre-sized ultra-high molecular weight polyethylene wear particles in samples retrieved in vivo. J Bone Joint Surg Br 2008; 90(8):1106-13. DOI: 10.1302/0301-620x.90b8.20737.
47. Catelas I, Wimmer MA. New insights into wear and biological effects of metal-on-metal bearings. Bone Joint Surg Am 2011; 93 Suppl 2:76-83. DOI: 10.2106/jbjs.j.01877.

Керамо-керамічні пари тертя в тотальному ендопротезуванні суглобів. Частина 1

Зазірний І.М.¹

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

Резюме. Керамічні поверхні вперше були використані як альтернатива поліетиленовим (PE) поверхням у тотальному ендопротезуванні суглобів приблизно через десять років після того, як сер Джон Чанлі представив вперше тотальне ендопротезування кульшового суглоба (ТНА) з метало-поліетиленовою парою тертя. Підхід Чанлі був заснований на наявності металевої ніжки, прикріпленої до кістки поліметилметакрилатним кістковим цементом, та ацетабулярному компоненті, виготовленому з поліетилену надвисокої молекулярної маси. Його роботи продемонстрували, що мікроскопічні часточки в суглобовій щілині від зносу поверхонь призводять до перипротезного запалення, остеолізу та розхитування компонентів імплантату. Створення поперечних зв'язків у поліетилені (крос-лінкований поліетилен) може зменшити зношування останнього, але воно також ставить під загрозу механічні властивості поліетилену. Відповідно, існує занепокоєння, пов'язане з потенційною крихкістю, якщо імплантати з поліетилену не розміщені оптимально. Крім того, менші частинки, утворені з крос-лінкованого поліетилену, можуть чинити підвищене навантаження на поверхню імплантату. Будь-яка технологія, яка може знизити швидкість зносу пар тертя при ТНА та тотальному ендопротезуванні колінного суглоба (ТКА), потенційно здатна зменшити захворюваність і ризику, пов'язані з передчасною ревізією операцією, спричиненої зносом. Покращена зносостійкість також дозволяє використовувати головки стегнової кістки великого діаметра в ТНА, що приводить до збільшення дуги руху та зменшення ризику вивиху протеза. Ідеальна пара тертя для ТНА і ТКА могла б витримувати високе циклічне навантаження протягом кількох десятиліть, не зазнаючи корозії або деформації на модульних металевих конусах, і мала би доведену біологічну сумісність і стабільність матеріалу *in vivo*, а також наднизьку швидкість зносу. Пошук ідеальних пар тертя для тотального ендопротеза привів до розробки керамічних компонентів.

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

Proximal Femoral Fractures: Structure, Factors of Occurrence, and Treatment Principles (Literature Review)

Kalashnikov A.V.¹, Lazarenko Yu.V.², Kalashnikov O.V.¹✉

Summary. Proximal femoral fractures (PFF) constitute a significant medical and social problem, as they cause reasonable economic loss throughout the world. In 1990, the number of such traumas reached about 1.3 million, and by 2050, it is expected within 7-21 million cases. With the share of 17% in the structure of locomotion system traumas, they have large mortality and invalidity rate among the injured. The research analyzes international literature sources on incidence, factors of occurrence, mechanisms of development, and known classifications of PFF patients; basic methods of conservative and surgical treatment, as well as rehabilitation principles for this category are provided. We have found that, despite a large amount of literature, a clinical and diagnostic approach to the differentiated use of internal fixation for PFF is still not finally developed.

Key words: proximal femoral fractures; analysis of literature sources; factors of occurrence; known classifications; treatment, rehabilitation.

Introduction

Proximal femoral fractures (PFF) constitute a significant medical and social problem, as they cause reasonable economic loss throughout the world. Within musculoskeletal trauma, their share equals 17%. Among them, 50-55% are femoral neck fractures, 35-40% are fractures of trochanteric, and 5-10% are fractures of subtrochanteric areas [1]. In the USA, the average annual number of extra-articular PFF in senior patients is 97 cases out of 100,000 persons (63 females and 34 males) [2]. About 104,000 PFF patients are hospitalized every year in Germany. According to statistics and demographic analysis, this value may triple within the nearest 10-15 years [3]. The incidence of PFF in Germany is about 110-130 cases per 100,000 persons a year, and their structure includes prevailing femoral neck fractures (57%), followed by pertrochanteric (36%) and subtrochanteric (7%) fractures. One out of five women over 80 years old and five out of ten over 90 years old suffer from extra-articular PFFs [4]. Considering the modern demographic trends, there is a constant growth in the incidence of PFF fractures attributable to osteoporosis [5-7]. In Europe, Scandinavian states have the largest share of femoral fractures. In Norway, according to the Norway Central Bureau of Statistics, the frequency of PFF from 1998 till 2003 for persons 50 years old and older was 1263 per 100 thousand women and 452 per 100 thousand men [8].

In 1990, the number of such traumas throughout the world was about 1.3 million, and by 2050, it may reach 7-21 million cases. In the USA, cases of PF fractures reach about 30% of the total number of hospitalized patients, and expenses for their treatment make approximately 8 billion USD a year. In the UK, the total annual number of hospitalized PFF patients makes 1.5 million; they occupy about 20% of orthopedic beds in the total number of patients with locomotion system disorders [9].

There are many factors of PFF occurrence in senior patients. The frequency of femoral fractures depends directly on the way of life and increases in a group of persons with low body mass [10, 11] and low physical activity [12, 13]. These factors may also include smoking tobacco [14, 15] and unfavorable social status [16]. The risk of PFF increases in patients after an acute cerebrovascular accident (insult) [17], in a terminal stage of renal impairment [18, 19], and with a reduced visual function [20].

The matter of what occurs first – fracture of fall – remains open. In practice, over 90% of all PF fractures result from a fall. By trauma mechanism, all PFF may split into two main groups. In young patients, the fractures occur after a high-energy trauma: road accidents or fall from height. About 90% of all fractures in this area in senior persons are the result of low-energy trauma, i.e. just fall on their trochanteric area. A PFF requires a combination of 4 factors to take place: 1) a fall on the upper third of a thigh, 2) weak protective reflexes to prevent the strong fall, 3) a rapid muscle contraction during the fall and improper quantity of subcutaneous adipose tissue,

✉ Kalashnikov O.V., Kalashnikov26@ukr.net

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

²Military Medical Clinical Center of the Central Region, Vinnytsia

a local shock-absorber, and 4) low bone tissue density [21]. Elderly patients with PF fractures after low-energy traumas quite often have concomitant injuries, such as radial distal metaepiphysis and proximal shoulder fractures. Craniocerebral injuries, traumas to the cervical spine, thorax, abdomen, and extremities are typical of young PPF patients after high-energy trauma [22].

In femoral neck fractures, in the majority of cases, the fracture line goes transversely through the neck in its thinnest part or is slightly oblique. The first dislocation of fragments after a femoral fracture caused by external factors is extended upon the influence of muscular retraction. If the fracture occurs in the proximal fragment, no muscles influence the femoral head, and it remains in a neutral position or (comparatively rear case) turns in the acetabular cavity with a simultaneous distal fragment displacement. Regularly, the distal fragment gets displaced upward, backward, and outside. Long biarticular femoral muscles displace the extremity upwards, while *m. iliopsoas* turns it outwards [23].

In lateral fractures, displacement of fragments' is also typical: the neck-shaft angle decreases, the proximal fragment is in abduction, the ruptured small trochanter shifts upwards under the influence of *m. iliopsoas*. Under the influence of gravity, the thigh shifts backwards, and the whole lower limb rotates externally. Usually, a different displacement of fragments is not observed due to a wide fracture area, and in presence of a periost and many muscular attachments [23].

Garden had subdivided fractures into 4 types depending on femoral neck fan-shaped trabeculae (a medial bundle) displacement [24].

Garden classification

Type I – the angle between trabeculae in the femoral head and neck metaphysis is over 160°. In the author's opinion, this fracture type is followed by minimum blood circulation impairment and is considered classical incomplete.

Type II – trabeculae and the lower cortical layer are ruptured but not displaced. The femoral head viability prognosis is relatively positive.

Type III fracture is followed by varus deformation of the femoral neck. The distal fragment remains in an external rotation and abduction; the rear lower block remains intact, forming an angle, open forward. Such fractures are frequently accompanied by comminuted rear neck fractures.

Type IV fracture is associated with the rupture of all synovial connections. On radiograms, femoral head trabeculae are slightly displaced downwards regarding the femoral neck metaphysis trabeculae. These fractures are often complicated with femoral head aseptic necrosis. In the author's opinion, type 4 fractures ex-

tend the indications for hip arthroplasty [25]. According to many authors, this classification allows prognostication of femoral head viability.

The Pauwels classification includes only subcapital femoral neck fractures. Its background is the relation between the fracture line and a horizontal one [24, 26].

Pauwels classification

Type I – the fracture line is in 30° inclination to a horizontal one; displacement forces are focused on compression of fragments.

Type II – the fracture line is in 50° inclination to a horizontal line.

Type III – the fracture line is in 70° inclination to a horizontal line.

Carrying out metal osteosynthesis considering this classification, the author recommends the following: in type I, osteosynthesis should be performed with three screws because they dislocate the forces focused on compression. In type II and type III fractures, the angle between the fracture line and a horizontal one increases and sliding forces grow, demanding more rigid fixation to obtain a stable osteosynthesis. For these fractures, it is recommended to support nail osteosynthesis with a cancellous screw [24].

AO Fellowship in Switzerland has the following classification:

1. (B1) subcapital fractures without a displacement;
2. (B2) transcervical;
3. (B3) subcapital displaced fractures.

In his more detailed classification, Muller (1990) has distinguished fractures of the head, neck, and trochanter [24, 26].

Muller classification

A – fractures in the trochanteric area:

A1 – a juxta-articular fracture in a trochanteric area, pertrochanteric, simple;

A2 – a juxta-articular fracture in a trochanteric area, pertrochanteric, comminuted;

A3 – a juxta-articular fracture in a trochanteric area, intratrochanteric.

B – femoral head fractures:

B1 – subcapital with a slight shift;

B2 – transcervical femoral neck fracture;

B3 – subcapital femoral neck fracture, not impacted, displaced.

C – femoral head fractures:

C1 – split femoral head fracture;

C2 – pressed femoral head fracture;

C3 – head and neck fracture.

Pipkin has offered a much more detailed classification of femoral head dislocation fractures [24].

Pipkin classification

Type I: femoral head fracture interior to the *fovea centralis*;

Type II: fracture extended superior to the *fovea centralis*;

Type III: any femoral head fracture with an associated femoral neck fracture;

Type IV: any femoral head fracture with an associated acetabular fracture.

Nowadays, the most frequently used is AO classification [27].

AO classification

This classification reflects the whole range of proximal femoral fractures:

A – trochanteric fracture, pertrochanteric, simple:

A1 – the fracture line goes along the intertrochanteric line;

A2 – the fracture line goes through the greater trochanter;

A3 – the fracture line goes below the lesser trochanter.

A2 – comminuted pertrochanteric fracture, pertrochanteric comminuted: 1 – intercalated fragment; 2 – two or more intercalated fragments; 3 – the fracture line extends 1 cm below the lesser trochanter.

A3 – the fracture in the intertrochanteric area: 1 – simple, oblique; 2 – simple, transverse; 3 – comminuted.

B – femoral neck fractures:

B1 – femoral neck fracture, subcapital, with slight displacement: 1 – compressed valgus over 150°; 2 – compressed valgus less than 150°;

B2 – transcervical neck fracture: 1 – neck base; 2 – neck diaphysis, adduction; 3 – transcervical, not displaced;

B3 – subcapital neck fracture, not impacted, without a displacement; 1 – a moderate displacement, varus, external rotation; 2 – moderate displacement, varus, with a vertical shortening and external rotation; 2 – expressed displacement.

C – femoral head fractures:

C1 – split head fracture; 1 – *ligamentum teres* avulsion; 2 – *ligamentum teres* rupture; 3 – large fragment.

C2 – depression fracture: 1 – posterosuperior fracture; 2 – anterosuperior fracture; 3 – split depression fracture.

C3 – femoral head and neck fractures: 1 – split and transverse neck fracture; 2 – split and subcapital neck fracture; 3 – neck depression fracture.

Especially essential is the study of PFF patients' mortality. According to WHO, mortality in this category of senior patients with PFF makes 12-15% [28]. From 18% to 28% of senior patients die within one year after the injury [29-33]. According to German experts, the in-hospital mortality associated with this trauma is about 6%. The long-term mortality in these groups demonstrates, that 10% of patients die in half of a year, and in one year, this value grows to 22.2-27.6 % [34, 35]. As a rule, this is connected to the fact that senior PFF patients have severe concomitant pathologies, which almost always leads to their decompensation stage.

Exacerbation of concomitant diseases (coronary heart disease, arrhythmia, arterial hypertension, diabetes mellitus type II, renal and liver impairment) and complications (myocardial infarction, pneumonia, pulmonary edema, pulmonary arteria thromboembolism, vascular impairment, cystitis, bed sores) may lead to death [36-38].

Anatomic features of this area stipulate a large share of complications during treatment of fractures, i.e. fragments nonunion, femoral head aseptic necrosis, pseudoarthrosis, hip contractures, shortening, or malposition of a limb [39]. These complications make the extremity unable to dead load, and the patients become weak and need nursing care. Many of them become bedbound, and others die from complications: bedsores, pneumonia, or decompensated concomitant diseases [40].

Surgical treatment of PFF decreases significantly the mortality of patients. Nowadays, it is a method of choice, and frequently the only chance to save a patient's life and to restore the lost workability, ability to move independently, and fulfill daily routine tasks [41-43]. Compared to skeleton traction, surgical treatment does not lead to rapid growth in mortality. It allows early activation of patients and makes the care easier [44]. The period when the surgery should take place is ambiguous. Of course, the surgery must be performed as early as possible, although pre-surgical preparation is also required. If a patient is in stable condition, the surgery is recommended if possible within the first 24 hours after the injury. Postponing the surgery to more than 2 days increases the risk of post-surgical mortality within the first year, even among the patients who took care of themselves, are in an adequate mental health, and were able to walk independently before the injury [45]. As a rule, the method of anesthesiology does not affect the outcome [46]. A prospective study of senior patients with trochanteric fractures demonstrated that the older a patient is, the weaker is his somatic status. They need a longer in-hospital period, compared to femoral neck fracture patients. In 2 months after the surgery, neck fracture patients demonstrated better recovery compared to trochanteric fractures patients, and they have lower mortality risk within the period from 2 to 6 months after the trauma [47, 48].

The choice of a method of treatment, terms of surgical intervention, reposition accuracy, fixation strength, and early activation of the patients are essential for outcomes. To choose an appropriate method of treatment and predict the outcomes, important factors are the age of a patient, general and local status, type of a fracture, gender, physical activity extent before the injury.

Nowadays, developed countries widely implement minimally invasive, less traumatic technologies for

proximal femoral nails (Trochanteric gamma nail G 3 – STRYKER, PFN A – SYNTHES, ChFN – ChM). This method of surgical treatment of long bone fractures is applied in 60–70 % of cases [49, 50]; it is an organ-preserving surgery, on the contrary to total hip arthroplasty.

There are a few literature sources paying attention to elaboration of clinical and diagnostic approaches to the differentiated use of internal fixation devices in PFF treatment [3, 27], and a few of them enlighten the ways to solve this problem. Out of the recent researches devoted to this matter is the one performed at the SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine” (Ph.D. dissertation by Yuriichuk L.M.) [51], where the author has extended indications to total hip arthroplasty, especially in pertrochanteric fractures of senior and old patients.

The long-term outcomes of PFF treatment may be assessed as positive only if a patient remains alive within 1 year after the injury, does not require external assistance, and is returned to the previous activity level. However, only 25% of PFF patients after the surgery boast a quality of life recovery. The share of the 1st and 2nd groups of disability among the initially examined patients according to these consequences of fractures reach 15%; 28% of them are persons of workable age [1].

Rehabilitation after the surgical treatment stipulates the return of patients to their previous activity level. Senior and old persons should be independent in their everyday living and unburdensome for their relatives. Those of workable age will return to their work, not burdening the society; otherwise, they should be maintained as disabled. To solve this medical social problem, rehabilitation potential, the index of the summary, general conditions, anatomical and functional potential, and social adaptation of a patient must be determined.

Conclusions

We have discovered that, despite a large amount of literature, a clinical and diagnostic approach to the differentiated use of internal fixation for PFF is still not finally developed.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest towards the present article.

References

1. Гайко ГВ, Корж МО, Калашніков АВ, Герасименко СІ, Полішко ВП. Аналіз стану травматологічно-ортопедичної допомоги населенню України в 2006-2007 рр. Довідник. К: Видавнича компанія “Воля”; 2008.134 с.

2. Gaiko GV, Korzh MO, Kalashnikov AV, Herasymenko SI, Polishko VP. Analysis of orthopedic-traumatology support of Ukrainians in 2006-2007. Dovidnyk. K: Vydavnycha kompaniia “Volia”; 2008. 134 s. [in Ukrainian].

3. Brauer CA, Coca-Perraillon M, Cutler DM, Rosen AB. Incidence and mortality of hip fractures in the United States. JAMA 2009;32(14):1573–79. DOI: 10.1001/jama.2009.1462.

4. Ананко АА, Бабко АН. Современная травматологическая тактика при проксимальных переломах бедренной кости (обзор немецкой литературы). Український медичний часопис. 2007;1(57):75-80.

5. Ananko AA, Babko AN. The modern traumatology tactics in proximal femoral fractures (a review of German sources). Ukrainyskiy medychnyi chasopis. 2007;1(57):75-80. [in Russian].

6. Корж НА, Герасименко СИ, Климовицкий ВГ, Лоскутов АЕ, Романенко КК, Герасименко АС, Коломиец ЕН. Распространенность переломов костей и результаты их лечения в Украине (клинико-эпидемиологическое исследование). Ортопедия, травматология и протезирование. 2010;(3):5-14.

7. Korzh NA, Herasimenko SI, Klimovitskiy VG, Loskutov AYe, Romanenko KK, Gerasimenko AS, Kolomiets YeN. The frequency of bone fractures and results of their treatment in Ukraine (clinical epidemiological study). Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie. 2010;(3):5-14. [in Russian].

8. Strom O, Borgstrom F, Kanis JA, Compston J, Cooper C, McCloskey EV, et al. Osteoporosis: burden, health care provision and opportunities in the EU: a report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA)// Arch Osteoporos - 2011. - 6. - P. 59-155. DOI: 10.1007/s11657-011-0060-1.

9. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. Osteoporos Int. 2006;17:1726-33. DOI: 10.1007/s00198-006-0172-4.

10. Kanis JA, Johnell O. Requirements for DXA for the management of osteoporosis in Europe. Osteoporos Int. 2005;16:229-38. DOI: 10.1007/s00198-004-1811-2.

11. Bjorgul K, Reilkeras O. Incidence of hip fracture in a southeastern Norway: a study of 1,730 cervical and trochanteric fractures. Int Orthop. 2007;31(5):665-69. DOI: 10.1007/s00264-006-0251-3).

12. Roberts KC, Brox WT, Jevsevar DS, Sevarino K. J Management of hip fractures in the elderly Am. Acad Orthop Surg. 2015 Feb;23(2):131-7. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00432.

13. Langlois JA, Visser M, Davidovic LS, Maggi S, Li G, Harris TB. Hip fracture risk in older white men is associated with change in body weight from age 50 years to old age. Arch. Intern Med.1998;158:990-6. DOI:10.1001/archinte.158.9.990.

14. Farahmand BY, Michaelsson K, Baron JA, Per-Gunnar P, Sverker L. Body size and hip fracture risk. Swedish Hip Fracture Study Group. Int. J. Epidemiology. 2000;11:214-19.

15. Farahmand BY, Persson PG, Michaelsson K, Baron JA, Alberts A, Moradi T, et al. Physical activity and hip fracture: a population-based case-control study. Swedish Hip Fracture Study Group. Int. J. Epidemiol. 2000;29:308-314. DOI: 10.1093/IJE/29.2.308.

16. Gregg EW, Pereira MA, Caspersen CJ. Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence. J. Am. Geriatr. Soc. 2000;48:883-93.

17. Stewart A, Calder LD, Torgerson DJ, Seymour DG, Ritchie LD, Iglesias CP, et al. Prevalence of hip fracture risk factors in women aged 70 years and over. QJM: An International Journal of Medicine. 2000;93:677-80. DOI: 10.1093/qjmed/93.10.677.

15. Hoidrup S, Prescott E, Sorensen TI, Gottschau A, Lauritzen JB, Schroll M, et al Tobacco smoking and risk of hip fracture in men and women. *Int. J. Epidemiol.* 2000;29(2):253-9. DOI: 10.1093/ije/29.2.253.
16. Bacon WE, Hadden WC. Occurrence of hip fractures and socioeconomic position. *J. Aging Health.* 2000;12:193-203.
17. Ramnemark A, Nilsson M, Borssen B, Gustafson Y. Stroke, a major and increasing risk factor for femoral neck fracture. *Stroke.* 2000;31:1572-7.
18. Alem AM, Sherrard DJ, Gillen DL, Weiss NS, Beresford Sha, Heckbert SR, et al. Increased risk of hip fracture among patients with end-stage renal disease. *Kidney Int.* 2000;58:396-9. DOI: 10.1046/j.1523-1755.2000.00178.x.
19. Coco M, Rush H. Increased incidence of hip fractures in dialysis patients with low serum parathyroid hormone. *Am. J. Kidney Dis.* 2000;36:1115-21.
20. Ivers RQ, Norton R, Cummings RG, Butler M, Campbell AJ. Visual impairment and risk of hip fracture. *Am. J. Epidemiol.* 2000;152:633-639.
21. Cummings SR, Nevitt MC, Cummings SR. A hypothesis: the causes of hip fractures. *J. Gerontol.* 1989;44:107-111.
22. Hwang LC, Lo WH, Chen WM. Intertrochanteric fractures in adults younger than 40 years of age. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2001;121(3):123-126.
23. Котельников ГП, Миронов СП. Травматология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2018. 776 с. Kotelnikov GP, Mironov SP. Traumatology: the national guide. M.: GEOTAR-Media; 2018. 776 p. [in Russian].
24. Анкин НЛ, Анкин ЛН. Травматология. Европейские стандарты диагностики и лечения. Киев: Книга-плюс; 2012. 464 с. Ankin NL, Ankin LN. Traumatology. European standards of diagnostics and treatment. Kiev: Kniga-plyus; 2012. 464 p. [in Russian].
25. Garden RS. Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. *J. Bone Joint Surg.* 1961;43B:647.
26. Корнилов НВ. Травматология и ортопедия: руководство для врачей: в 4 т. СПб.: Гиппократ; 2006. 622 с. Kornilov NV. Traumatology and orthopedics. Physician's guide in 4 vol. St-Petersburg: Gippokrat; 2006;622 p. [in Russian].
27. Мюллер МЕ, Альговер М, Шнайдер Р, Вилленгер ХМ. Руководство по внутреннему остеосинтезу: Спрингер-Верлаг; 1996. 750 с. Muller ME, Allgower M, Schneider R, Willenger HM. The guide on internal osteosynthesis: Springer-Verlag; 1996. 750 p. [in Russian].
28. Kanis JA, Oden A, Johnell O, De Laet C, Jonsson B, Oglesby AK. The components of excess mortality after hip fracture. *Bone.* 2003;32:468-73. DOI: 10.1016/s8756-3282(03)00061-9.
29. Lee AYJ, Chua BSY, Howe TS. One-year outcome of hip fracture patients admitted to a Singapore hospital: quality of life post-treatment. *Singapore Med J.* 2007;48(11):996. PMID: 17975688.
30. Kates SL, Mendelson DA, Friedman SM. Comanaged care for fragility hip fractures (Rochester model). *Osteoporos Int.* 2010;21(4):621-5. DOI: 10.1007/s00198-010-1417-9.
31. Fierens J, Broos PLO. Quality of life after hip fracture surgery in the elderly. *Acta Chir Bel.* 2006;106(1):393-96. DOI: 10.1080/00015458.2006.11679913.
32. Giverson IM. Time trends of mortality after first hip fractures. *Osteoporos Int.* 2007;18(6):721-32. DOI: 10.1007/s00198-006-0300-1.
33. Moran CG, Wenn RT, Sikand M, Taylor AM. Early mortality after hip fracture: is delay before surgery important. *J. Bone Joint Surg Am.* 2005;87:483-9. DOI: 10.2106/JBJS.D.01796.
34. Bosch U, Schreiber Th, Skulek M. Minimal invasive Osteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur bei betagten Patienten. *Trauma und Berufskrankheit.* 2003;1:35-41.
35. Geiger F, Schreiner K, Schneider S, Pauschert R, Thomsen M. Proximal fracture of the femur in elderly patients. The influence of surgical care and patient characteristics on postoperative mortality. *Orthopade.* 2006;35(6):651-8. DOI: 10.1007/s00132-006-0930-1.
36. Ngobeni RS. Mortality in elderly patients with intertrochanteric fractures: three years' experience. *SA orthop. J.* 2010;9(1):55-60.
37. Alzahrani K, Gandhi R, Davis A, Mahomed N. In-hospital mortality following hip fracture care in southern Ontario. *Can J Surg.* 2010;53:294-8. PMID:20858372.
38. Giverson IM. Time trends of mortality after first hip fractures. *Osteoporos Int.* 2007;18(6):721-32. DOI: 10.1007/s00198-006-0300-1.
39. Zuckerman JD, Skovron ML, Koval KJ, Aharonoff G, Frankel VH. Postoperative complications and mortality associated with operative delay in older patients who have a fracture of the hip. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1995;77-A:1551-6. DOI: 10.2106/00004623-199510000-00010.
40. Kang HY, Yang KH, Kim YN, Moon SH, Choi WJ, Kang DR, Park SE. Incidence and mortality of hip fracture among the elderly population in South Korea: a population-based study using the national health insurance claims data. *BMC Public Health.* 2010;10:230. DOI: 10.1186/1471-2458-10-230.
41. Kanis JA, Burlet N, Cooper C, Delmas PD, Reginster JY, Borgstrom F, Rizzoli R. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2008;19(4):399-428. DOI: 10.1007/s00198-008-0560-z.
42. Cheng MT, Chiu FY, Chuang TY, Chen ChM, Chen TH. Experience in the use of the long Gamma nail for 16 femoral shaft fracture that have occurred following initial Asian Pacific Gamma nail fixation for pertrochanteric fractures. *Injury.* 2006;37(10):994-9. DOI: 10.1016/j.injury.2006.01.038.
43. Fogagnolo F, Kfuri MJr, Paccola C. Intramedullary fixation of pertrochanteric hip fractures with the short AOASIF proximal femoral nail. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* 2004;124:31-7. DOI: 10.1007/s00402-003-0586-9.
44. Ioannidis G, Papaioannou A, Hopman WM, Akhtar-Danesh N, Anastasiades T, Pickard L, et al. Relation between fractures and mortality: results from the Canadian Multicentre Osteoporosis Study. *CMAJ.* 2009;181(5):265-271. DOI:10.1503/cmaj.081720.
45. Williams A, Jester R. Delayed surgical fixation of fractured hips in older people: impact on mortality. *J. Adv. Nurs.* 2005;52(1):63-69.
46. Koval KJ, Aharonoff GB, Rosenberg AD, Schmigelski C, Bernstein RL, Zuckerman JD. Hip fracture in the elderly: the effect of anesthetic technique. *Orthopedics.* 1999;22:31-34. DOI: 10.3928/0147-7447-19990101-05.
47. Fox KM, Magaziner J, Hebel JR, Kenzora JE, Kashner TM. Intertrochanteric versus femoral neck hip fractures: differential characteristics, treatment, and sequelae. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 1999;54:635-40. DOI: 10.1093/gerona/54.12.m635.
48. Рибачук ОІ, Кукуруза ЛП, Торчинський ВП. Тотальне ендпротезування кульшового суглоба протезом конструкції УкрНДІТО (методичні рекомендації). Київ; 1999. 20 с. Rybachuk OI, Kukuruzza LP, Torchynskiy VP. Total hip arthroplasty using UkrNDITO prosthesis (Methodical recommendations). Kyiv; 1999. 20 p. [in Ukrainian].

48. Lee YK, Chung CY, Park MS, Lee KM, Koo KH. Intra-medullary nail versus extramedullary plate fixation for unstable intertrochanteric fractures: decision analysis Arch. Orthop. Trauma Surg. 2013;133(7):961-8. DOI: 10.1007/s00402-013-1764-z.

49. Efstathopoulos NE, Nikolaou VS, Lazaretos JT. Intramedullary fixation of intertrochanteric hip fractures: a comparison of two implant designs Int. Orthop. 2007;31(1):71-76. DOI: 10.1007/s00264-006-0128-5.

50. Юрійчук ЛМ. Ендопротезування кульшового суглоба у хворих похилого та старечого віку з через- та міжвертлюговими переломами стегнової кістки [автореферат дис. на здобуття наук. ступ. канд. мед. наук]. Київ: ДУ "Інститут травматології та ортопедії АМН України"; 2009. 24 с.

Iuriichuk LM. Hip arthroplasty in elderly and old patients with per-and intratrochanteric femoral fractures. [avtoreferat dys. na zdobuttia nauk. stup. kand. med. nauk]. Kyiv: DU "Instytut travmatolohii ta ortopedii AMN Ukrainy"; 2009. 24 s. [in Ukrainian].

Переломи проксимального відділу стегнової кістки: структура, чинники виникнення та принципи лікування (Огляд літератури)

Калашніков А.В.¹, Лазаренко Ю.В.², Калашніков О.В.¹

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

²Військово-медичний клінічний центр Центрального регіону, м. Вінниця

Резюме. Переломи проксимального відділу стегнової кістки (ППВСК) є великою медико-соціальною проблемою та завдають значних матеріальних збитків у всіх країнах. Кількість подібних травм у світі в 1990 році становила близько 1,3 млн, а до 2050 року передбачається в межах 7-21 млн випадків. Вони становлять 17% у структурі травм опорно-рухової системи, з високим відсотком летальності та інвалідності уражених хворих. Проведено аналіз джерел світової літератури щодо розповсюженості, чинників виникнення, механізму розвитку та відомих класифікацій пацієнтів із ППВСК, наведено основні методики консервативного й оперативного лікування та принципи реабілітації цієї категорії хворих. Визначено, що, незважаючи на велику кількість літературних джерел, остаточно не розроблений клініко-діагностичний підхід до диференційованого застосування внутрішньої фіксації при ППВСК.

Ключові слова: переломи проксимального відділу стегна; аналіз літературних джерел; чинники виникнення; відомі класифікації; лікування; реабілітація.

КОНГРЕС ESSKA У СОРОКОВУ РІЧНИЦЮ ЇЇ ЗАСНУВАННЯ (Париж, Франція)

З 27 по 29 квітня 2022 року в Парижі проходив черговий конгрес Європейської асоціації артроскопії, хірургії колінного суглоба та спортивної травми (ESSKA).

На заході були присутні 3500 делегатів від 91 країни, проведено 630 лекцій, понад 60 симпозиумів, опубліковано 385 електронних постерів та 1213 абстрактів. На медичній виставці було представлено продукцію 65 медичних виробників.



Підтримка України: проф. Франсуа Кельберін, лікар збірної команди Франції з регбі (Франція); проф. О. Коструб, президент ВГО “Українська асоціація спортивної травматології, хірургії коліна та артроскопії” (Україна); проф. Пако Бьоска, начальник медичної служби футбольного клубу “Челсі” (Англія)

Серед виступів потрібно виділити 24 ключові лекції з нагальних питань, 26 інструкційних лекцій, а також спеціальну лекцію із радіології (оцінка рентгенографії та МРТ ортопедами).

Конгрес проходив у сорокову річницю від заснування ESSKA, яке відбулося у 1982 році у Західному Берліні.

Від України на конгресі були присутні проф. О.О. Коструб та к.м.н. П.В. Болховітін.

З основними лекціями (а їх понад 20) члени організації можуть ознайомитись на сайті ESSKA (www.esska.org) у розділі ESSKA Academy.

Під час конгресу затверджені три консенсуси:

- ревізійна хірургія передньої хрестоподібної зв'язки;
- проведення остеотомій навколо колінного суглоба;
- застосування ортобіології.



Під час спілкування проф. Клаудіо Джорджія (Верона, Італія) та проф. О. Коструба (Київ, Україна)

Ці консенсуси можуть лягти в основу національних клінічних протоколів та настанов.

На цьому конгресі закінчились дворічні повноваження професора Жака Менетре (Jacques Menetrey) з університету Женеви (Швейцарія) як президента ESSKA.

На наступний дворічний термін президентом ESSKA обраний професор Роналд Бекер (Ronald Becker) з університету Бранденбург (Німеччина).

Оголошено, що наступний конгрес ESSKA відбудеться в Мілані (Італія) 8-10 травня 2024 року.

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 англомовному резюме слід використовувати активні форми дієслова. Резюме не повинне містити аббревіатур, за винятком загальноприйнятих (наприклад, ДНК), виносок, посилань на літературні джерела.

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

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 номер.

2.5. **Текст статті.** Структура повного тексту рукопису, присвяченого опису результатів оригінальних досліджень, повинна відповідати загальноприйнятим шаблонам і містити обов'язкові розділи: “Вступ”; “Мета”; “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 тритижневий 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 04.08.2022 р. Наклад 1000 прим. Ціна договірна.

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