

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 – Crantbat – 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 – Crantbat – 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

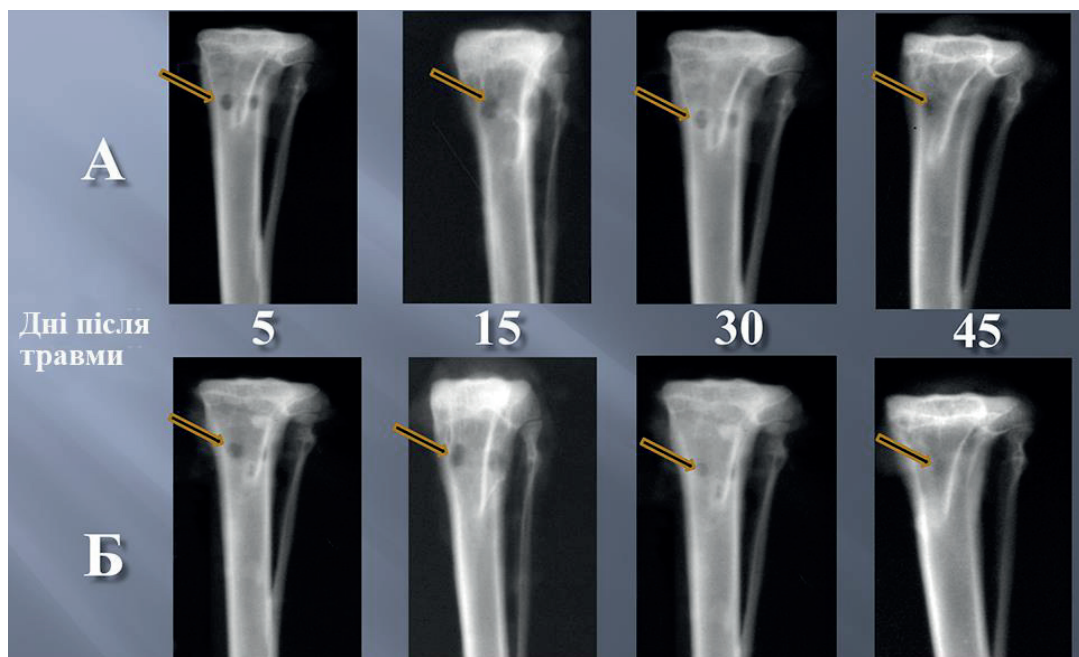
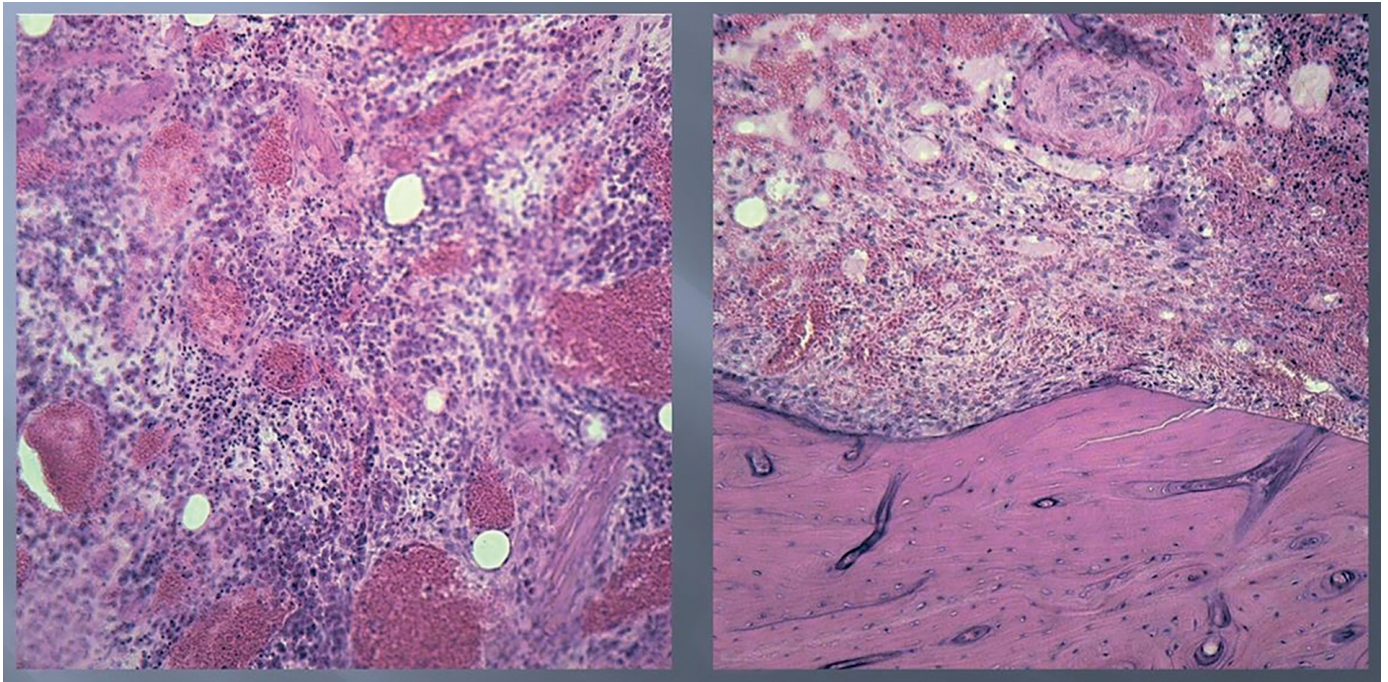


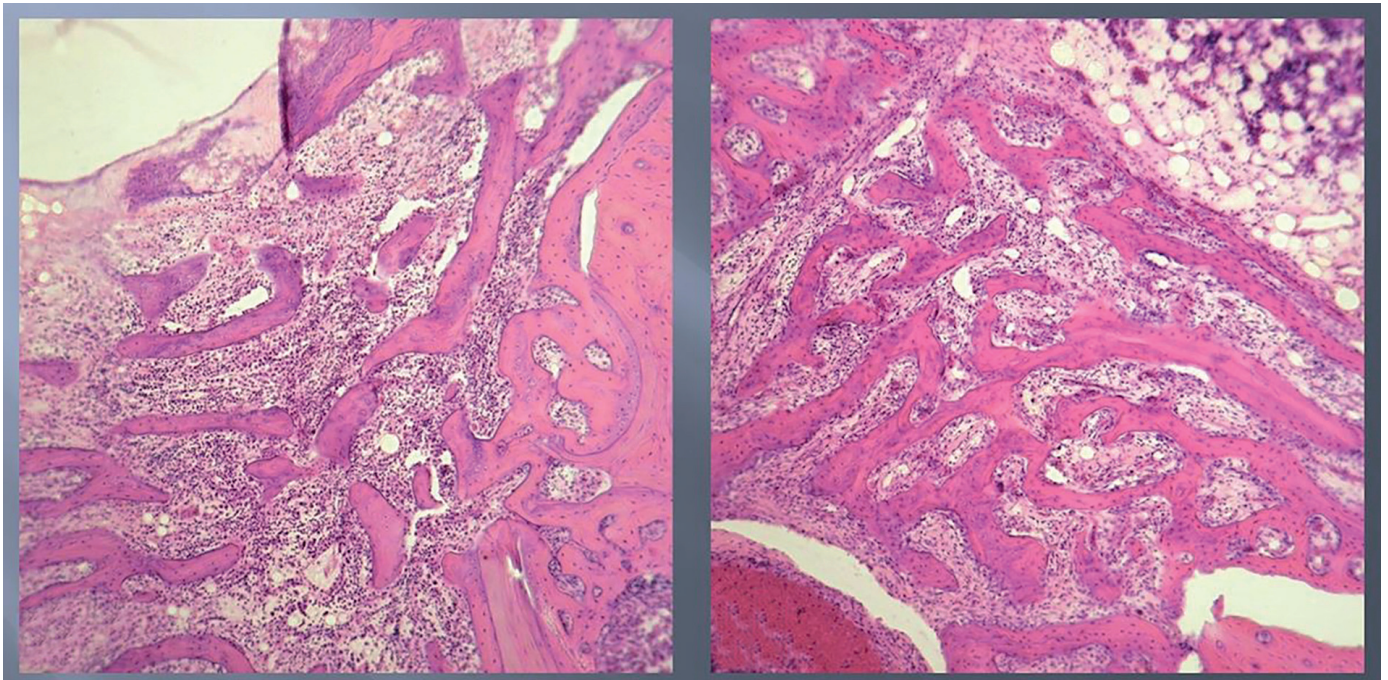
Рис. 1. Фотокопії рентгенограм ПМВГК у фронтальній площині після створення дірчастого дефекту кролів контрольної (А) та основної (Б) груп



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, $\times 10$



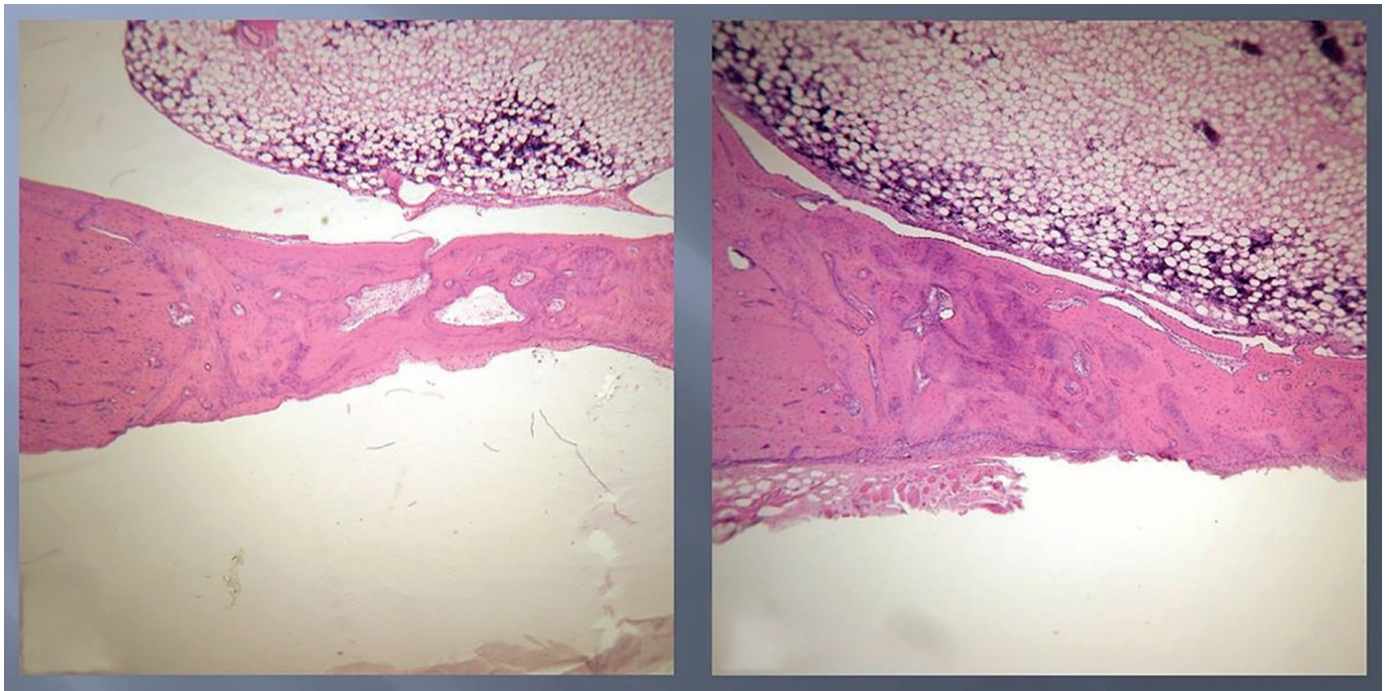
а)

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 днів 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 виписку з історії хвороби.

Хворий Я-б Е.А., 24 роки, діагноз: багатоскалковий перелом проксимального метаепіфіза і діафіза лівої великогомілкової та малогомілкової 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).

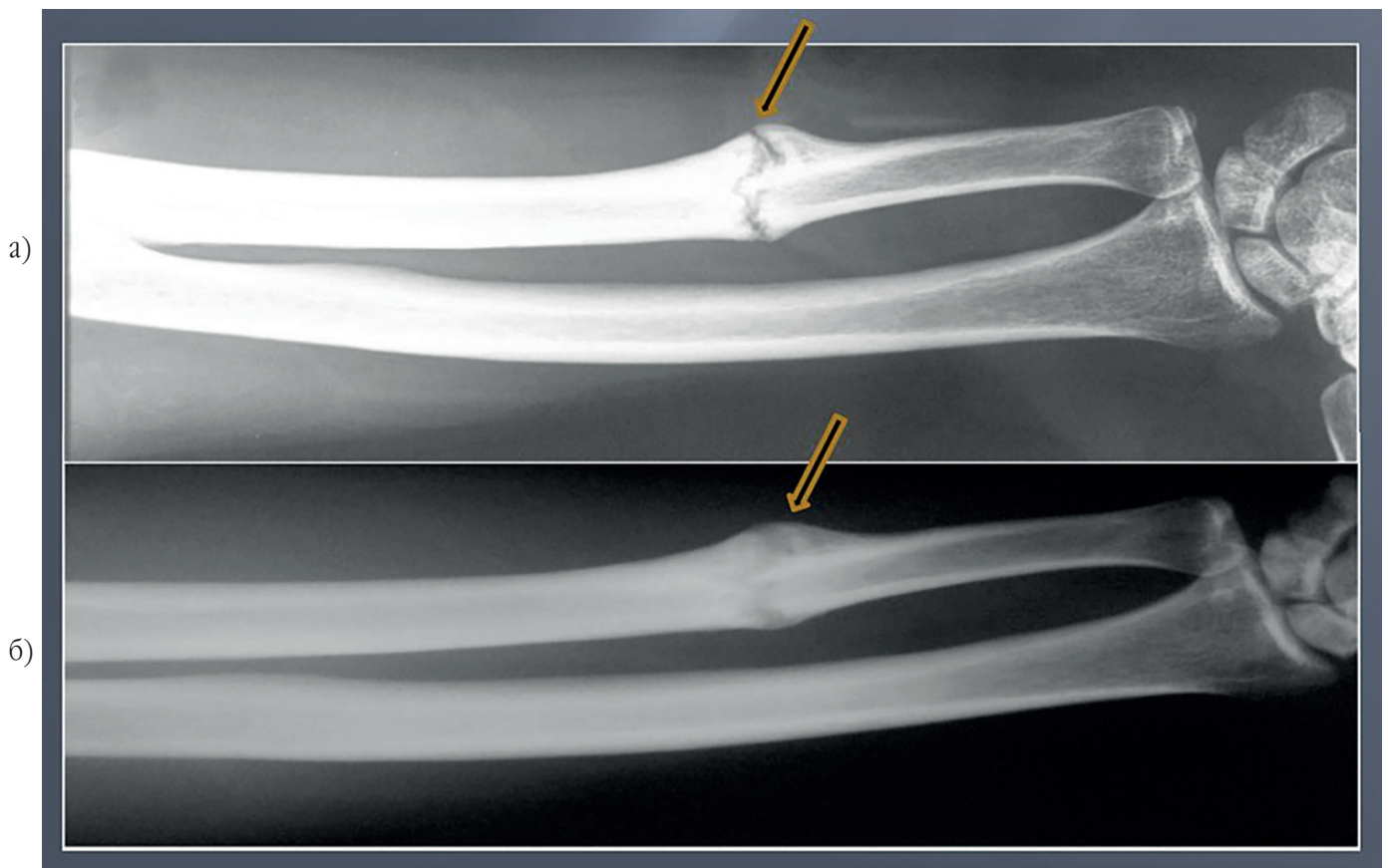
У хворих з псевдоартрозами довгих кісток після ЕРУХТ у динаміці спостереження відбувалося суттєве покращення як рентгенологічних, так і функціональних результатів лікування. До 6 місяця рентгенологічна консолідація переломів кісток відмічена в 67 хворих (75,3%), серед яких у 56 випадках були гіперпластичні 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)

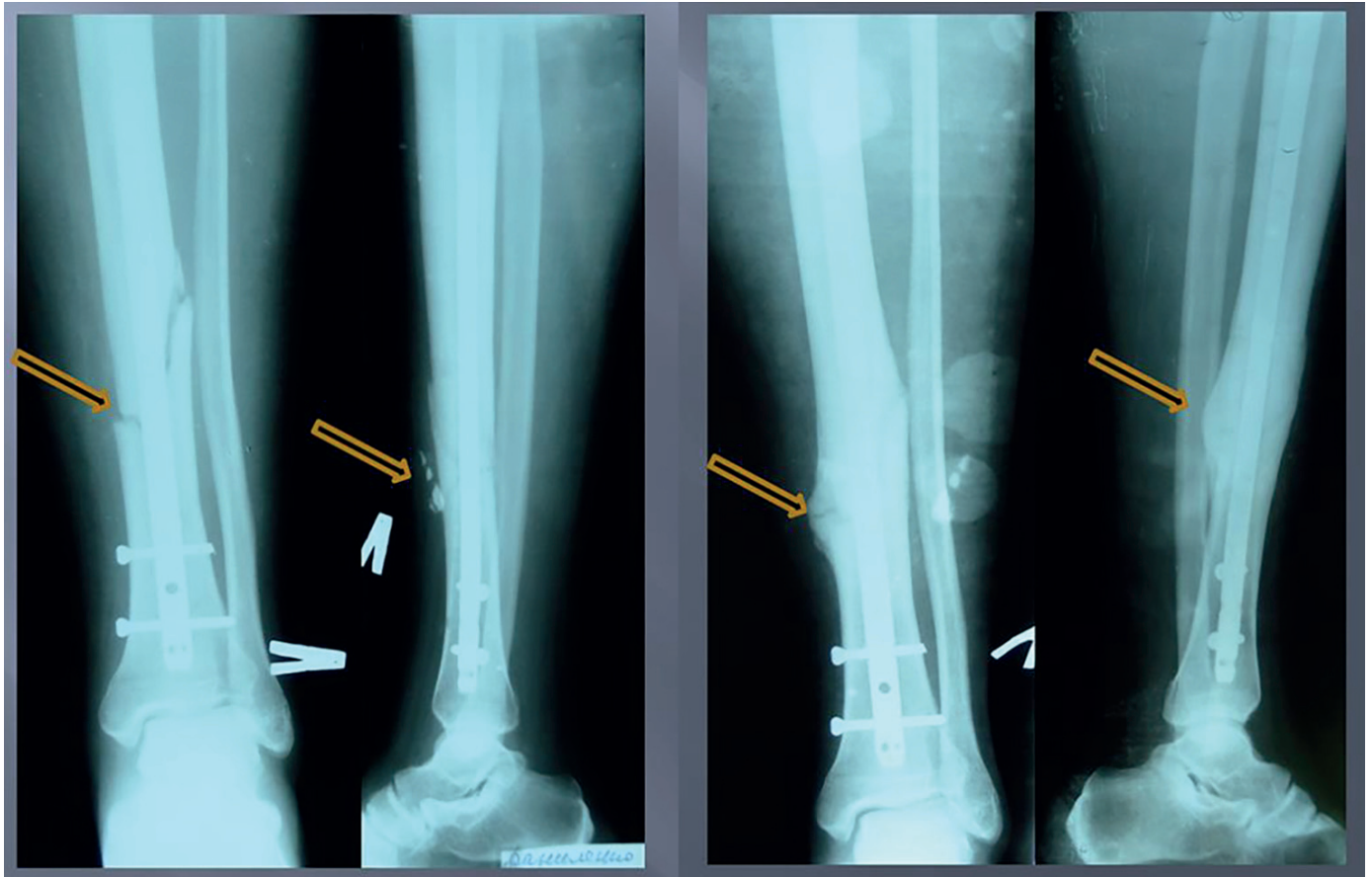
Рис. 5. Фотокопії рентгенограм хворого Я-б Е.А., 24 роки, діагноз: багатоскалковий перелом проксимального метаепіфіза та діафіза лівої великогомілкової і малогомілкової кісток з уповільненим зрощенням після МОС пластиною з гвинтами (а). Зрощення переломів гомілкових кісток через 3 місяці після 2 сеансів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