

ВПЛИВ ЕКСТРАКОРПОРАЛЬНОЇ УДАРНО-ХВИЛЬОВОЇ ТЕРАПІЇ НА МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗРОЩЕННЯ УЛАМКІВ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО ОСТЕОМЕТАЛОСИНТЕЗУ

Л.О. Килимнюк¹, А.В. Григоровська², В.М. Ковальчук², О.А. Окаєвич¹

¹Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова, м. Вінниця

²Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, м. Київ

Ключові слова:
перелом і зрощення кістки, остеометалосинтез, остеогенез, екстракорпоральна ударно-хвильова терапія.

Клінічна та експериментальна патологія Т.17, №2 (64). С.26-32.

DOI:10.24061/1727-4338.XVII.2.64.2018.100

E-mail: kylymniuk@gmail.com

Мета - встановити морфологічні особливості зрощення переломів при нестабільному остеометалосинтезі уламків під впливом екстракорпоральної ударно-хвильової терапії (ЕУХТ).

Матеріали і методи. Експериментальне дослідження виконано в умовах віварію на 40 лінійних щурах масою 330 ± 20 г. Під комбінованим наркозом виконували остеотомію діафізу стегнової кістки з інтрамедулярним остеометалосинтезом шпичею. Серед прооперованих щурів було сформовано 2 групи - експериментальну ($n=20$) та контрольну ($n=20$). Щурам експериментальної групи додатково проводили консервативну стимуляцію процесів зрощення переломів шляхом застосування ЕУХТ. Повний курс лікування становив 4 сеанси з інтервалами 7 діб. Тварин виводили з експерименту на 14, 21, 28, 35 добу, по 5 осіб з кожної групи. Для кількісної оцінки морфологічних процесів консолідації уламків використовували гістологічну шкалу оцінки процесів зрощення в експериментальних дослідженнях. Для статистичної обробки матеріалів використовували програму Statistica 10.

Результати. У щурів експериментальної групи встановлено достовірно кращі результати за показниками остеогенезу ($p=0,0007$), зрощення ($p=0,00008$), формування кісткового мозку ($p=0,0002$), зубчастої ($p=0,004$), компактної ($p=0,02$) кісткової структури та сумарними результатами ($p=0,0001$), порівняно з даними визначеними в контрольній групі. Протягом дослідження у щурів експериментальної групи, встановлено позитивну тенденцію у формуванні регенерату в умовах нестабільного остеометалосинтезу під впливом ЕУХТ.

Висновок. Встановлено позитивний вплив ЕУХТ на морфологічні особливості формування регенерату. Якісна структура новоутвореної кісткової тканини, мала достовірно кращі характеристики у щурів, яким застосовували ЕУХТ, порівняно з аналогічними показниками контрольної групи.

Ключовые слова:
перелом и сращение кости, остеометалосинтез, остеогенез, экстракорпоральная ударно-волновая терапия.

Клиническая и экспериментальная патология Т.17, №2 (64). С.26-32.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СРАЩЕНИЯ ОТЛОМКОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ОСТЕОМЕТАЛОСИНТЕЗА

Л.А. Килимнюк, А.В. Григоровская, В.Н. Ковальчук, А.А. Окаевич

Цель: установить морфологические особенности сращения переломов при нестабильном остеометалосинтезе отломков под влиянием экстракорпоральной ударно-волновой терапии (ЕУВТ).

Материалы и методы. Экспериментальное исследование произведено в условиях вивария на 40 линейных крысах массой 330 ± 20 г. Под комбинированным наркозом выполняли остеотомию диафиза бедренной кости с интрамедулярным остеометалосинтезом спицей. Среди прооперированных крыс было сформировано 2 группы - экспериментальную ($n=20$) и контрольную ($n=20$). Крысам экспериментальной группы дополнительно проводили консервативную стимуляцию процессов сращения переломов путем применения ЕУВТ. Полный курс лечения составил 4 сеансы с интервалами 7 суток. Животных выводили из эксперимента на 14, 21, 28, 35 сутки, по 5 особей с каждой группы. Для количественной оценки морфологических процессов консолидации отломков применяли гистологическую шкалу оценки процессов сращения в экспериментальных исследованиях. Для статистической обработки материалов использовали программу Statistica 10.

Результаты. У крыс экспериментальной группы установлено достоверно лучшие результаты за показателями остеогенеза ($p=0,0007$), сращения ($p=0,00008$), формирования костного мозга ($p=0,0002$), зубчатой ($p=0,004$), компактной ($p=0,02$) костной структуры и суммарными результатами ($p=0,0001$), сравнительно с данными определёнными в контрольной группе. На протяжении исследования у крыс экспериментальной группы, установлено позитивную тенденцию в

формировании регенерата в условиях нестабильного остеометаллосинтеза под влиянием ЕУВТ.

Вывод. Установлено позитивное влияние ЕУВТ на морфологической особенностях формирования регенерату. Качественная структура новообразованной костной ткани, имела достоверно лучшие характеристики у крыс, которым применяли ЕУВТ, сравнительно с аналогическими показателями контрольной группы.

INFLUENCE OF EXTRACORPOREAL SHOCKWAVE THERAPY ON MORPHOLOGICAL FEATURES OF BONY UNION IN CASE OF UNSTABLE OSTEOMETALLOSYNTHESIS

L.O. Kylymniuk, A.V. Hrygorovska, V.M. Kovalchuk, O.A. Okaievych

Objective: to establish the morphological features of fracture healing in case of unstable fixation of fragments under the influence of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT).

Material and methods. Experimental study was performed on 40 linear rats weighing 330 ± 20 g. Under combined anesthesia, the osteotomy of the femoral bone diaphysis with intramedullary fixation by pin was performed. Among the operated rats two groups (experimental ($n = 20$) and control ($n = 20$) groups) were formed. Conservative stimulation of the bone healing processes using ESWT was additionally carried out to the rats of the experimental group. The complete course of treatment consisted of 4 procedures with intervals of 7 days. Animals were taken out from the experiment on the 14, 21, 28, 35 days, 5 rats from each group. For quantitative estimation of morphological processes of the fragments' consolidation a histological scale of estimation of bone healing processes was used in experimental studies. For statistical processing of the materials Statistica 10 program was used.

Results. In rats of the experimental group, the best results were obtained for the indicators of osteogenesis ($p=0.0007$), the union process ($p=0.00008$), the formation of bone marrow ($p=0.0002$), spongy bone structure ($p=0.004$), compact bone ($p=0.02$) and total results ($p=0.0001$), compared with the data determined in the control group. During the study in rats of the experimental group, a positive trend was observed in the formation of regenerate under conditions of unstable fixation under the influence of ESWT.

Conclusions. The positive effect on the morphological features of bone healing has been established using ESWT. The qualitative structure of the newly formed bone tissue was significantly better in the rats of experimental group when using ESWT compared to the similar indicators of the control group.

Key words:

fracture, bone healing, osteometallosynthesis, osteogenesis, extracorporeal shock-wave therapy.

Clinical and experimental pathology. Vol.17, №2 (64). P.26-32.

Вступ

Репаративний остеогенез є складним біологічним ланцюгом клітинних реакцій, спрямованих на відновлення втраченої органної і тканинної структур за рахунок елементів ідентичних за морфологією і функціональною здатністю. Відновлення кісткової структури відбувається за рахунок проліферації недиференційованих клітинних форм скелетогенної тканини. Диференціація прогеніторних клітин в клітини з остеогенним функціональним потенціалом супроводжується утворенням кісткової тканини, крім того, можливе формування сполучної та хрящової тканин. Незважаючи на наявні в організмі передумови, необхідні для повного відновлення втраченої кісткової тканини, кількість ускладнень, пов'язаних з розладами остеорепації сягає 46 % [8]. "Золотим стандартом" лікування даного виду порушень є застосування малоінвазивного стабільно-функціонального остеосинтезу з використанням додаткових методик стимуляції репаративного остеогенезу [7,8]. Однак частота незадовільних результатів сучасних методів лікування сягає 33 %, тому проблема пошуку альтернативних варіантів стимуляції репаративного остеогенезу є однією з ключових ланок сучасної біоортопедії [2,5,14].

Мета роботи

Клінічна та експериментальна патологія. 2018. Т.17, №2 (64)

Встановити морфологічні особливості зрощення переломів при нестабільному остеометаллосинтезі уламків під впливом екстракорпоральної ударно-хвильової терапії (ЕУХТ).

Матеріали і методи дослідження

Експериментальне дослідження виконано в умовах віварію Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова на 40 здорових статевозрілих лінійних щурах-самцях масою 330 ± 20 г. Дослідження виконано відповідно до етичних норм поведінки з тваринами, з дотриманням рекомендацій та вимог Європейської конвенції стосовно захисту хребтових тварин, яких використовують для експериментів чи в інших наукових цілях (Страсбург, 1986). Під комбінованим наркозом з використанням тіопенталу натрію та кетаміну виконували остеотомію діалізу стегнової кістки з подальшим інтрамедулярним остеометаллосинтезом спицею. Хірургічне втручання виконано в умовах операційної, з дотриманням принципів асептики та антисептики. Для інтрамедулярного остеосинтезу використовували металеву спицю з нержавіючої сталі діаметром 0,6 мм. У післяопераційному періоді усім щурам надавали вільний динамічний режим. Таким чином, дотримувалися моделі нестабільного остеометаллосинтезу. Серед прооперованих щурів сформовано 2

групи: експериментальну (n=20) та контрольну (n=20). Щурам експериментальної групи додатково проводили консервативну стимуляцію процесів зрощення переломів шляхом застосування ЕУХТ. Повний курс лікування становив 4 сеанси з інтервалами 7 діб. Для проведення ЕУХТ використовували апарат фірми SwissDolorClast (Швейцарія). Частота ударів відповідала 15 Гц, робочий тиск 1 бар. Сумарна кількість ударів на ділянку пошкодження протягом однієї процедури становила 300 ударів. Тварин виводили з експерименту шляхом внутрішньоочеревинного введення летальної дози тіопенталу натрію на 14, 21, 28, 35 добу післяопераційного періоду, по 5 осіб з кожної групи. Виділяли стегнову кістку, матеріал оцінювали макроскопічно. У подальшому фіксували матеріал в 10% нейтральному розчині формаліну, проводили декальцинацію в 12% розчині азотної кислоти, зневоднювали в спиртах висхідної концентрації та заливали в парафін. Гістологічні зрізи товщиною 5-7 мкм зафарбовували гематоксиліном та еозином, а також фуксином за ван Гізоном. Для кількісної оцінки морфологічних процесів консолідації уламків використовували гістологічну шкалу оцінки процесів зрощення в експериментальних дослідженнях. Розрахунки проводили після оцінки 5 полів зору при збільшенні $\times 200$. На основі тесту Колмагорова-Смірнова встановлено, що розподіл досліджуваної вибірки достовірно відрізнявся від нормального ($p < 0,05$). Для оцінки вірогідності безпомилкового прогнозу використовували непараметричний критерій Манна-Уїтні та ранго-

вий коефіцієнт кореляції Спірмена. Вірогідність безпомилкового прогнозу встановлювали при $p \leq 0,05$. Отримані результати наведені у вигляді середнього арифметичного \pm середнього квадратичного відхилення ($M \pm SD$). Динаміку процесів зрощення оцінювали за допомогою побудови динамічних рядів, визначення тренду, показників темпу росту, абсолютного приросту, темпу приросту та показників наочності. Для статистичної обробки матеріалів використовували програму Statistica 10.

Результати та їх обговорення

На 14 добу згідно з гістологічною шкалою у переважній більшості щурів контрольної групи 4 (80,0 %) та аналогічній кількості - 4 (80,0 %) з групи контролю процеси остеогенезу мали слабкий ступінь розвитку. Більш виражені процеси остеогенезу виявлені у 1 (20,0 %) випадку з експериментальної групи та ще в 1 (20,0 %) випадку контрольної групи подібні процеси не спостерігалися. Під час порівняння показників, що характеризували остеогенез, достовірної різниці в експериментальній та контрольній групах не встановлено ($p = 0,23$) (табл. 1). У всіх щурів контрольної групи та у 1 (20,0 %) експериментальної зрощення мало фіброзний характер. У більшості щурів експериментальної групи 4 (80,0 %) встановлено остеохондральний тип зрощення. У щурів експериментальної групи встановлено достовірно кращі показники процесів зрощення ($p = 0,02$), по-

Таблиця 1

Результати гістологічної шкали щурів експериментальної та контрольної груп на 14 добу експерименту

Характеристика	Експериментальна група	Контрольна група	p
Остеогенез	1,2 \pm 0,45	0,8 \pm 0,45	0,23
Зрощення	1,8 \pm 0,45	1 \pm 0	0,02*
Кістковий мозок	1,2 \pm 0,84	0,2 \pm 0,45	0,07
Губчаста кістка	1,0 \pm 0,0	0,8 \pm 0,45	0,42
Компактна кістка	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	1,0
Сума	5,2 \pm 0,45	2,8 \pm 0,84	0,009*

*Примітка. Статистично значима різниця між показниками при $p \leq 0,05$.

рівняно з щурами контрольної групи.

Ознаки активного формування кісткового мозку були відсутні у більшості щурів контрольної групи 4 (80,0 %) та у 1 (20,0 %) - експериментальної. Початкові прояви формування кісткового мозку встановлено у 2 (40,0 %) щурів експериментальної групи та у 1 (20,0 %) щура контрольної групи. Крім того, у 2 (40,0 %) щурів експериментальної групи встановлено активні ознаки формування кісткового мозку, який виповнював більше, ніж половину дефекту. При порівнянні показників формування кісткового мозку в експериментальній та контрольній групах достовірної різниці не встановлено ($p = 0,07$). Ранні ознаки формування губчастої тканини виявлені у всіх щурів експериментальної та у більшості щурів 4 (80,0 %) контрольної групи. Ще у 1 (20,0 %) щура контрольної групи ознаки формування губчастої кісткової тканини були відсутні, достовірної різниці між групами у формуванні губчастої тканини

не встановлено ($p = 0,42$). Ознаки формування компактної кісткової були відсутніми у всіх щурів експериментальної та контрольної груп. При порівнянні сумарних результатів гістологічної шкали в експериментальній групі спостерігалися достовірно вищі показники, порівняно з групою контролю ($p = 0,009$).

На 21 добу після оперативного втручання у всіх щурів контрольної групи та у більшості 4 (80,0 %) експериментальної процеси остеогенезу мали слабкий характер. У 1 (20,0 %) щура експериментальної групи встановлено більш виражені процеси остеогенезу. При порівнянні показників, що характеризували остеогенез, статистично значимої різниці в експериментальній та контрольній групах не встановлено ($p = 0,42$) (табл. 2). У більшості щурів контрольної групи 3 (60,0 %) та у 2 (40,0 %) експериментальної зрощення мало остеохондральний характер. Фіброзний тип зрощення встановлено у 2 (40,0 %) щурів контрольної групи. У 2 (40,0 %) Клінічна та експериментальна патологія. 2018. Т.17, №2 (64)

шурів експериментальної групи спостерігалось кісткове зрощення. Встановлено достовірно кращі показники зрощення ($p=0,04$) у шурів експериментальної групи, порівняно з шурами контрольної групи. У всіх шурів контрольної групи та у 1 (20,0 %) з експериментальної групи встановлено початкові прояви формування

кісткового мозку. У 2 (40,0 %) шурів експериментальної групи кістковий мозок виповнював більше, ніж половину зони дефекту, ще у 2 (40,0 %) – дефект був повністю заповнений червоним кістковим мозком. При порівнянні показників формування кісткового мозку встановлено достовірно кращі результати у шурів експери-

Таблиця 2

Результати гістологічної шкали шурів експериментальної та контрольної груп на 21 добу експерименту

Характеристика	Експериментальна група	Контрольна група	p
Остеогенез	1,2±0,45	1,0±0,0	0,42
Зрощення	2,6±0,55	1,6±0,55	0,04*
Кістковий мозок	2,2±0,84	1,0±0,0	0,02*
Губчаста кістка	1,4±0,55	1,0±0,0	0,18
Компактна кістка	0,2±0,45	0,0±0,0	0,42
Сума	7,6±1,14	4,6±0,55	0,01*

*Примітка. Статистично значима різниця між показниками при $p \leq 0,05$.

ментальної групи, порівняно з групою контролю ($p=0,02$). У всіх шурів контрольної групи та у 3 (60,0 %) експериментальної групи встановлено ранні ознаки формування губчастої тканини. У 2 (40,0 %) шурів експериментальної групи спостерігалися ознаки активного формування губчастої тканини. При порівнянні показників, що характеризували процеси формування губчастої тканини між досліджуваними групами, достовірної різниці не встановлено ($p=0,18$). Початкові ознаки формування компактної кісткової тканини спостерігалися лише у 1 (20,0 %) шура експериментальної групи, у решти 4 (80,0 %) та у всіх шурів контрольної групи подібні ознаки були відсутніми, достовірної

різниці між групами не встановлено ($p=0,42$). При порівнянні сумарних результатів експериментальної та контрольної груп відповідно до гістологічної шкали встановлено достовірно кращі результати у шурів експериментальної групи ($p=0,01$).

На 28 добу післяопераційного періоду у всіх шурів контрольної групи встановлено слабкий характер процесів остеогенезу. У більшості 4 (80,0 %) шурів експериментальної групи процеси остеогенезу мали більш виражений середній характер, та були добрими у 1 (20,0 %). Встановлено достовірну різницю при порівнянні показників, що характеризували остеогенез в експериментальній та контрольній групах ($p=0,006$) (табл. 3). У

Таблиця 3

Результати гістологічної шкали шурів експериментальної та контрольної груп на 28 добу експерименту

Характеристика	Експериментальна група	Контрольна група	p
Остеогенез	2,2±0,45	1,0±0,0	0,006*
Зрощення	2,6±0,55	1,6±0,55	0,04*
Кістковий мозок	2,4±0,55	1,4±0,55	0,04*
Губчаста кістка	2,2±0,45	1,2±0,45	0,02*
Компактна кістка	2,0±0,71	0,4±0,55	0,002*
Сума	11,4±0,55	5,6±0,55	0,01*

*Примітка. Статистично значима різниця між показниками при $p \leq 0,05$.

більшості шурів 3 контрольної групи та у 2 (40,0 %) з експериментальної групи встановлено остеохондральний тип зрощення. Кістковий тип зрощення спостерігався у більшості шурів 3 експериментальної групи. У 2 (40,0 %) шурів контрольної групи зрощення мало фіброзний характер. При порівнянні результатів експериментальної та контрольної груп встановлено достовірно кращі показники зрощення у шурів експериментальної групи ($p=0,04$).

Початкові прояви формування кісткового мозку виявлено лише у 3 (60,0 %) шурів контрольної групи. У більшості шурів 3 (60,0 %) експериментальної та 2 (40,0 %) з групи контролю встановлено ознаки активного

формування кісткового мозку, який виповнював більше, ніж 50 % дефекту. Крім того, у 2 (40,0 %) шурів експериментальної групи червоний кістковий мозок повністю заповнював зону дефекту. При порівнянні показників формування кісткового мозку встановлено достовірно кращі результати в експериментальній групі ($p=0,04$). Ознаки активного формування губчастої кісткової тканини встановлені у більшості 4 (80,0 %) шурів експериментальної групи та у 1 (20,0 %) з групи контролю. У 1 (20,0 %) шура експериментальної групи спостерігалися ознаки реорганізації новоутвореної губчастої тканини. Початкові ознаки формування губчастої кісткової тканини виявлені у більшості шурів

контрольної групи - 4 (80,0 %). Встановлено статистично значиму різницю між показниками формування губчастої кісткової тканини визначеними в обох групах ($p=0,02$). У шурів контрольної групи у більшості 3 (60,0 %) ознаки формування компактної кісткової тканини були відсутніми, у решти 2 (40,0 %) - спостерігалися початкові прояви. Натомість у більшості 3 (60,0 %) шурів експериментальної групи встановлено ознаки активного формування компактної кісткової тканини, у 1 (20,0 %) спостерігалися початкові прояви і ще у 1 (20,0 %) виявлено майже повну реорганізацію компактної тканини. При порівнянні показників формування компактної кісткової тканини у шурів обох груп встановлено достовірно кращі результати у шурів експериментальної групи ($p=0,002$). При порівнянні сумарних результатів згідно з гістологічною шкалою в експериментальній групі, порівняно з групою контролю, спостерігалися достовірно кращі показники ($p=0,01$).

На 35 добу дослідження у більшості 3 (60,0 %) шурів контрольної групи характер процесів остеогенезу залишався слабким. Більш виражений середній характер остеогенезу встановлено у 2 (40,0 %) шурів контрольної групи та у 1 (20,0 %) експериментальної групи. У більшості 4 (80,0%) шурів експериментальної групи процеси остеогенезу характеризувалися як добрі. Встановлено різниця при порівнянні показників, що характеризували остеогенез в експериментальній та контрольній групах статистично значима ($p=0,02$) (табл. 4). У всіх шурів контрольної групи та у 1 (20,0 %) шура експериментальної групи встановлено остеохондральний тип зрощення. У більшості шурів експериментальної групи 4 (80,0 %) встановлено кістковий тип зрощення. При порівнянні показників встановлено достовірно кращі результати зрощення у шурів експериментальної групи ($p=0,02$). Початкові прояви формування кісткового мозку зберігалися у 2 (40,0 %) шурів контрольної групи. У більшості шурів 3 (60,0 %) контрольної групи

та у 1 (20,0 %) шура експериментальної групи кістковий мозок виповнював більше, ніж 50 % дефекту. У більшості 4 (80,0 %) шурів експериментальної групи червоний кістковий мозок повністю виповнював зону дефекту. Встановлено достовірно кращі показники формування кісткового мозку в експериментальній групі, порівняно з групою контролю ($p=0,02$). У шурів контрольної групи у більшості 3 (60,0 %) шурів встановлені ознаки активного формування губчастої кісткової тканини, у решти 2 (40,0 %) зберігалися початкові ознаки. Натомість у всіх шурів експериментальної групи спостерігалися ознаки реорганізації новоутвореної губчастої тканини. Встановлено статистично значиму різницю в обох групах між показниками формування губчастої кісткової тканини ($p=0,007$). У шурів контрольної групи у більшості 4 (80,0%) спостерігалися початкові прояви формування компактної кісткової тканини, у 1 (20,0 %) дані ознаки залишалися відсутніми. Натомість у більшості 3 (60,0 %) шурів експериментальної групи встановлено ознаки активного формування компактної кісткової тканини, у решти 2 (40,0 %) виявлено майже повну реорганізацію компактної тканини. При порівнянні показників формування компактної кісткової тканини в експериментальній та контрольній групах встановлено достовірно кращі результати у шурів експериментальної групи ($p=0,009$). У шурів експериментальної групи встановлено достовірно кращі сумарні результати гістологічної шкали, порівняно з показниками контрольної групи ($p=0,01$).

При порівнянні загальних результатів гістологічної шкали у шурів експериментальної групи встановлено достовірно кращі результати за показниками остеогенезу ($p=0,0007$), зрощення ($p=0,00008$), формуванням кісткового мозку ($p=0,0002$), губчастої ($p=0,004$), компактної ($p=0,02$) кісткової структури та сумарними результатами ($p=0,0001$), порівняно з аналогічними показниками визначеними в контрольній групі (табл. 5).

Таблиця 4

Результати гістологічної шкали шурів експериментальної та контрольної груп на 35 добу експерименту

Характеристика	Експериментальна група	Контрольна група	p
Остеогенез	2,8±0,45	1,4±0,55	0,02*
Зрощення	2,8±0,45	2,0±0,0	0,02*
Кістковий мозок	2,8±0,45	1,6±0,55	0,02*
Губчаста кістка	3,0±0,0	1,6±0,55	0,007*
Компактна кістка	2,4±0,55	0,8±0,45	0,009*
Сума	13,8±0,84	7,4±0,89	0,01*

*Примітка. Статистично значима різниця між показниками при $p \leq 0,05$.

Таблиця 5

Загальні результати гістологічної шкали шурів експериментальної та контрольної груп

Характеристика	Експериментальна група	Контрольна група	p
Остеогенез	1,85±0,81	1,05±0,39	0,0007*
Зрощення	2,45±0,60	1,55±0,51	0,00008*
Кістковий мозок	2,15±0,88	1,05±0,69	0,0002*
Губчаста кістка	1,9±0,85	1,15±0,49	0,004*
Компактна кістка	1,15±1,18	0,3±0,47	0,02*
Сума	9,5±3,49	5,1±1,83	0,0001*

*Примітка. Статистично значима різниця між показниками при $p \leq 0,05$.

Висновок

Таким чином, у щурів експериментальної групи встановлено позитивний вплив ЕУХТ на морфологічні особливості формування регенерату. Якісна структура новоутвореної кісткової тканини, навіть за умов нестабільного остеометалосинтезу, мала достовірно кращі характеристики у щурів експериментальної групи, яким застосовували ЕУХТ, порівняно з аналогічними показниками контрольної групи.

Перспективи подальших досліджень

Будуть продовжені дослідження у вибраному науковому напрямку.

Список літератури

1. Barnes K, Lanz O, Werre S, Clapp K, Gilley R. Comparison of autogenous cancellous bone grafting and extracorporeal shock wave therapy on osteotomy healing in the tibial tuberosity advancement procedure in dogs. *Radiographic densitometric evaluation. Vet Comp Orthop Traumatol.* 2015;28(3):207-14. doi: 10.3415/VCOT-14-10-0156
2. Cheng JH, Wang CJ. Biological mechanism of shockwave in bone. *Int J Surg.* 2015;24(Pt B):143-6. doi: 10.1016/j.ijsu.2015.06.059
3. Everding J, Freistühler M, Stolberg-Stolberg J, Raschke MJ, Garcia P. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of pseudarthrosis: New experiences with an old technology. *Unfallchirurg.* 2017;120(11):969-78. doi: 10.1007/s00113-016-0238-5
4. Fan T, Huang G, Wu W, Guo R, Zeng Q. Combined treatment with extracorporeal shock wave therapy and bone marrow mesenchymal stem cell transplantation improves bone repair in a rabbit model of bone nonunion. *Mol Med Rep.* 2018;17(1):1326-32. doi: 10.3892/mmr.2017.7984
5. Haffner N, Antonic V, Smolen D, Slezak P, Schaden W, Mittermayr R, et al. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) ameliorates healing of tibial fracture non-union unresponsive to conventional therapy. *Injury.* 2016;47(7):1506-13. doi: 10.1016/j.injury.2016.04.010
6. Huang HM, Li XL, Tu SQ, Chen XF, Lu CC, Jiang LH. Effects of Roughly Focused Extracorporeal Shock Waves Therapy on the Expressions of Bone Morphogenetic Protein-2 and Osteoprotegerin in Osteoporotic Fracture in Rats. *Chin Med J.* 2016;129(21):2567-75. doi: 10.4103/0366-6999.192776
7. Иванов ОМ, Березка МІ, Литовченко ВО, Гарячий ЄВ. Результати використання репаративної методики лікування дисрегуляції кісткової тканини. *Scientific Journal "ScienceRise".* 2015;10(3):5-11. doi: 10.15587/2313-8416.2015.50733
8. Kertzman P, Császár NBM, Furia JP, Schmitz C. Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research.* 2017;12:164. doi: 10.1186/s13018-017-0667-z
9. Kieves NR, MacKay CS, Adducci K, Rao S, Goh C, Palmer RH, et al. High energy focused shock wave therapy accelerates bone healing. A blinded, prospective, randomized canine clinical trial. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2015;28(6):425-32. doi: 10.3415/VCOT-15-05-0084
10. Maiti SK, Ninu AR, Sangeetha P, Mathew DD, Tamilmahan P, Kritaniya D, et al. Mesenchymal stem cells-seeded bio-ceramic construct for bone regeneration in large critical-size bone defect in rabbit. *J Stem Cells Regen Med.* 2016;12(2):87-99.
11. Oktas B, Orhan Z, Erbil B, Degirmenci E, Ustgnda? N. Effect of extracorporeal shock wave therapy on fracture healing in rat femoral fractures with intact and excised periosteum. *Eklemler Hastalik Cerrahisi.* 2014;25(3):158-62.
12. Попсуйшапка АК, Литвишко АВ, Григорьев ВВ, Ашукіна НА. Лечение несращения отломков кости после диафизарного перелома. *Ортопедия, травматология и протезирование.* 2014;11:34-41.
13. Попсуйшапка АК, Ужигова ОЕ, Литвишко АВ. Частота несращения и замедленного сращения отломков при изолированной та експериментальна патологія. 2018. Т.17, №2 (64)

ванных диафизарных переломах длинных костей конечностей. *Ортопедия, травматология и протезирование.* 2013;1:39-43.

14. Schaden W, Mittermayr R, Haffner N, Smolen D, Gerdemeyer L, Wang CJ. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT)-First choice treatment of fracture non-unions? *Int J Surg.* 2015;24(Pt B):179-83. doi: 10.1016/j.ijsu.2015.10.003

References

1. Barnes K, Lanz O, Werre S, Clapp K, Gilley R. Comparison of autogenous cancellous bone grafting and extracorporeal shock wave therapy on osteotomy healing in the tibial tuberosity advancement procedure in dogs. *Radiographic densitometric evaluation. Vet Comp Orthop Traumatol.* 2015;28(3):207-14. doi: 10.3415/VCOT-14-10-0156
2. Cheng JH, Wang CJ. Biological mechanism of shockwave in bone. *Int J Surg.* 2015;24(Pt B):143-6. doi: 10.1016/j.ijsu.2015.06.059
3. Everding J, Freistühler M, Stolberg-Stolberg J, Raschke MJ, Garcia P. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of pseudarthrosis: New experiences with an old technology. *Unfallchirurg.* 2017;120(11):969-78. doi: 10.1007/s00113-016-0238-5
4. Fan T, Huang G, Wu W, Guo R, Zeng Q. Combined treatment with extracorporeal shock wave therapy and bone marrow mesenchymal stem cell transplantation improves bone repair in a rabbit model of bone nonunion. *Mol Med Rep.* 2018;17(1):1326-32. doi: 10.3892/mmr.2017.7984
5. Haffner N, Antonic V, Smolen D, Slezak P, Schaden W, Mittermayr R, et al. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) ameliorates healing of tibial fracture non-union unresponsive to conventional therapy. *Injury.* 2016;47(7):1506-13. doi: 10.1016/j.injury.2016.04.010
6. Huang HM, Li XL, Tu SQ, Chen XF, Lu CC, Jiang LH. Effects of Roughly Focused Extracorporeal Shock Waves Therapy on the Expressions of Bone Morphogenetic Protein-2 and Osteoprotegerin in Osteoporotic Fracture in Rats. *Chin Med J.* 2016;129(21):2567-75. doi: 10.4103/0366-6999.192776
7. Ivanov OM, Berezka MI, Lytovchenko VO, Hariachyi YeV. Rezultaty vykorystannia reparatornoi metodyky likuvannia dysregulyatsii kistkovoї tkanyny [Results of the use of the reparative method of treating dysregeneration of bone tissue]. *Scientific Journal "ScienceRise".* 2015;10(3):5-11. doi: 10.15587/2313-8416.2015.50733 (in Ukrainian).
8. Kertzman P, Császár NBM, Furia JP, Schmitz C. Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research.* 2017;12:164. doi: 10.1186/s13018-017-0667-z
9. Kieves NR, MacKay CS, Adducci K, Rao S, Goh C, Palmer RH, et al. High energy focused shock wave therapy accelerates bone healing. A blinded, prospective, randomized canine clinical trial. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2015;28(6):425-32. doi: 10.3415/VCOT-15-05-0084
10. Maiti SK, Ninu AR, Sangeetha P, Mathew DD, Tamilmahan P, Kritaniya D, et al. Mesenchymal stem cells-seeded bio-ceramic construct for bone regeneration in large critical-size bone defect in rabbit. *J Stem Cells Regen Med.* 2016;12(2):87-99.
11. Okta? B, Orhan Z, Erbil B, De?irmenci E, Ust?nda? N. Effect of extracorporeal shock wave therapy on fracture healing in rat femoral fractures with intact and excised periosteum. *Eklemler Hastalik Cerrahisi.* 2014;25(3):158-62.
12. Popsujshapka AK, Litvishko AV, Grigor'ev VV, Ashukina NA. Lechenie nesrashheniya otlomkov kosti posle diafizarnogo pereloma [Treatment of non-fragmentation of bone fragments after diaphyseal fracture]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye.* 2014;11:34-41. (in Russian).
13. Popsujshapka AK, Uzhigova OE, Litvishko AV. Chastota nesrashheniya i zamedlennoho srashheniya otlomkov pri izolirovannykh diafizarnykh perelomakh dlennykh kostej konechnostej [The incidence of nonunion and delayed fusion of fragments in isolated diaphyseal fractures of long limb bones]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye.* 2013;1:39-43. (in Russian).
14. Schaden W, Mittermayr R, Haffner N, Smolen D, Gerdemeyer L, Wang CJ. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT)-First choice treatment of fracture non-unions? *Int J Surg.* 2015;

Відомості про авторів:

Килимнюк Л. О., аспірантка кафедри травматології та ортопедії, Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова.

Григоровська А. В., аспірантка кафедри патологічної і топографічної анатомії, Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, м. Київ.

Ковальчук В. М., кандидат медичних наук, асистент кафедри ортопедії і травматології №2, Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, м. Київ.

Окаєвич О. А., клінічний ординатор кафедри травматології та ортопедії, Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова.

Сведения об авторах:

Килимнюк Л. А., аспирантка кафедры травматологии и ортопедии, Винницкий Национальный медицинский университет имени М.И. Пирогова.

Григоровская А. В., аспирантка кафедры патологической и топографической анатомии, Национальная медицинская академия последиplomного образования имени П.Л. Шупика, г. Киев.

Ковальчук В. Н., кандидат медицинских наук, ассистент кафедры ортопедии и травматологии №2, Национальная медицинская академия последиplomного образования имени П.Л. Шупика, г. Киев.

Окаевич А. А., клинический ординатор кафедры травматологии и ортопедии, Винницкий Национальный медицинский университет имени М.И. Пирогова.

Information about authors:

Kylymniuk L. O., MD, MMed, graduate student of the Department of Orthopedics and Traumatology, National Pirogov Memorial Medical University.

Hrygorovska A. V., MD, graduate student of the Department of Pathological and Topographic Anatomy, P.L. Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv.

Kovalchuk V. M., MD, PhD, Assistant Professor of the Department of Orthopedics and Traumatology № 2, P.L. Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv.

Okaievych O. A., MD, clinical ordinator of the Department of Orthopedics and Traumatology, National Pirogov Memorial Medical University.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2018

Рецензент – проф. Ф.В. Гринчук

© Л.О. Килимнюк, А.В. Григоровська, В.М. Ковальчук, О.А. Окаєвич, 2018