

Реабілітація осіб після поранення м'яких тканин нижніх кінцівок із застосуванням фізичної терапії та ударно-хвильової терапії (огляд літератури)

УДК 615.83:617.582

Г.А. Шаповалова, В.В. Комаров

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. Актуальність проведеного дослідження зумовлена тим, що поранення м'яких тканин нижніх кінцівок є одним із найбільш поширених ушкоджень у бойових і мирних умовах та визначається появою збройного конфлікту на території України і великою кількістю постраждалих із даною патологією. Щонайменше одна чверть усіх бойових травм пов'язана з нижніми кінцівками. За даними різних літературних джерел, у структурі санітарних утрат поранення м'яких тканин нижніх кінцівок становлять від 30% до 60%, що, своєю чергою, зумовлює високий ризик функціональних порушень і інвалідизації. Соціально-економічні наслідки пов'язані з тривалою втратою працездатності серед осіб віком від 19 до 50 років, у яких виникає потреба у тривалій медико-соціальній реабілітації. Саме тому своєчасна та комплексна реабілітація з використанням сучасних методів, зокрема фізичної терапії та ударно-хвильової терапії, є ключовою для відновлення функцій кінцівки, запобігання контрактурам, атрофії м'язів і подолання хронічного болювого синдрому, а також для збереження боєздатності та працездатності цієї категорії пацієнтів. **Мета.** Аналіз та узагальнення сучасних наукових досліджень та результатів практичного вітчизняного та зарубіжного досвіду, які стосуються оцінки ефективності комплексної реабілітації з використанням фізичної терапії та ударно-хвильової терапії у пацієнтів із пораненнями м'яких тканин нижніх кінцівок та визначення оптимальних підходів для відновлення рухової функції та профілактики ускладнень. **Методи.** Теоретичний аналіз і узагальнення сучасних науково-методичних літературних джерел. **Результати.** Аналіз сучасних публікацій свідчить, що комплексна фізична терапія після поранень м'яких тканин нижніх кінцівок покращує амплітуду рухів, запобігає контрактурам і атрофії м'язів, знижує біль та прискорює відновлення функцій кінцівок. Застосування ударно-хвильової терапії (УХТ) додатково стимулює ангиогенез, покращує трофіку спостеріжень і прискорює загоєння ран, що узгоджується з результатами клінічних спостережень і невеликих вибірових досліджень. Разом із тим відсутність уніфікованих протоколів і недостатня кількість рандомізованих контрольованих досліджень не дають змоги визначити оптимальні режими поєднання фізичної терапії та УХТ. Наявні дані підтверджують перспективність мультидисциплінарного підходу та необхідність індивідуалізації програм реабілітації.

Ключові слова: фізична терапія, реабілітація, поранення м'яких тканин, нижня кінцівка, ударно-хвильова терапія.

Rehabilitation of individuals after soft tissue injuries of the lower limbs using physical therapy and shock wave therapy (literature review)*H.A. Shapovalova, V.V. Komarov*

National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. The relevance of the study is determined by the fact that soft tissue injuries of the lower limbs are among the most common injuries in both combat and peacetime conditions. This is driven by the armed conflict on the territory of Ukraine and the large number of patients with this pathology. At least one quarter of all combat injuries involve the lower limbs. According to various literature sources, soft tissue injuries of the lower limbs account for 30% to 60% of all sanitary losses, which in turn leads to a high risk of functional impairments and disability. The socio-economic consequences are associated with prolonged loss of working capacity among individuals aged 19 to 50, who require long-term medical and social rehabilitation. Therefore, timely and comprehensive rehabilitation using modern methods – in particular physical therapy and shock wave therapy – is key to restoring limb function, preventing contractures and muscle atrophy, overcoming chronic pain syndrome, and preserving both combat capability and work capacity in this category of patients. **Objective.** To analyze and summarize current scientific studies and practical domestic and international experience regarding the effectiveness of comprehensive rehabilitation using physical therapy and shock wave therapy in patients with soft tissue injuries of the lower limbs, as well as to determine optimal approaches for restoring motor function and preventing complications. **Methods.** Theoretical analysis and generalization of modern scientific and methodological literature sources. **Results.** Analysis of current publications indicates that comprehensive physical therapy after soft tissue injuries of the lower limbs improves range of motion, prevents contractures and muscle atrophy, reduces pain, and accelerates limb function recovery. The application of shock wave therapy (SWT) additionally stimulates angiogenesis, improves tissue trophism, and accelerates wound healing, which aligns with the results of clinical observations and small-sample studies. However, the lack of standardized protocols and insufficient number of randomized controlled trials do not allow for the determination of optimal regimens for combining physical therapy and SWT. Available data confirm the potential of a multidisciplinary approach and the need for individualized rehabilitation programs.

Keywords: physical therapy, rehabilitation, soft tissue injury, lower limb, shock wave therapy.

Постановка проблеми. Актуальність проведеного дослідження зумовлена тим, що поранення м'яких тканин нижніх кінцівок є одним із найбільш поширених ушкоджень у бойових і мирних умовах та визначається появою збройного конфлікту на території України і великою кількістю постраждалих із даною патологією.

Літературні дані свідчать про те, що в усіх бойових операціях переважають травми кінцівок, на частку яких припадає близько половини всіх поранень. Проблема лікування постраждалих із вогнепальними пораненнями кінцівок, за даними О.А. Бур'янова та співавт. [1], пов'язана з тим, що в структурі санітарних утрат переважну більшість (62,5%) становлять поранення кінцівок, у тому числі нижніх (37%) та верхніх (25,5%) кінцівок, 35–40% супроводжуються переломами кісток, 2% – пораненням судин, 11% – периферійних нервів, поєднаною травмою – 20,8%, опіками – 2 %, частотою травматичного шоку – 10% [2; 12; 27].

І.А. Лурін та співавт. (2024) [4] указують на те, що наявність близького взаємозв'язку між великими артеріальними, венозними, кістковими та нервовими структурами кінцівок призводить до того, що часто судини та нерви травмуються в сукупності. Подібні травми є основним чинником розвитку функціональних порушень у віддаленому періоді у пацієнтів із вогнепальними пораненнями кінцівок, незважаючи на успішне лікування судинних та ортопедичних ушкоджень [13; 14; 19].

В.П. Майданюк та співавт. (2024) [8] указують, що поранення кінцівок у структурі мінно-вибухової травми становлять 50–60%. У структурі бойових пошкоджень превалюють вогнепальні поранення кінцівок, які становлять 50–80% від усіх поранень, із них 57,3% мають множинний характер. Щонайменше одна чверть усіх бойових травм пов'язана з нижніми кінцівками. У структурі санітарних утрат поранення м'яких тканин кінцівок становлять

30–43%, вогнепальні переломи кісток – 35–40%, великих суглобів – 17%, магістральних судин – 7,5–9,0%, а нервових стовбурів кінцівок – 11–13%.

За даними Д.М. Лисуна (2019) [8], клініко-нозологічні характеристики постраждалих унаслідок сучасних бойових дій, що відзначаються на тактичному етапі надання медичної допомоги, демонструють, що пошкодження нижніх кінцівок становлять 62,02%, а верхніх – 36,98%, тобто пошкодження нижніх кінцівок превалюють над верхніми. Автори підкреслюють, що ця категорія поранених має великий потенціал як резерв у відновленні, і саме тому якісне відновлення боєздатності цих пацієнтів є пріоритетом у роботі медичної служби.

Висока кінетична енергія снаряду (кулі, осколки сучасної зброї), що раниць, призводить до значної травматизації м'яких тканин із дефектом шкіри, підшкірної клітковини, м'язів, що вимагає тривалого стаціонарного лікування та реабілітації. Переважна більшість пацієнтів із вогнепальними пораненнями кінцівок – це особи працездатного віку (від 19 до 50 років), їх тривале лікування, реабілітація, непрацездатність завдають значних економічних утрат.

За етіологією та механізмом розрізняють балістичні, уламкові та мінно-вибухові бойові травми. Ступінь ушкодження тканин/органів залежить від великої кількості факторів. Усі травми можна розділити на три форми: тупу, проникаючу та комбіновану. За результатами раніше проведених досліджень проникаючі поранення кінцівок становлять 5–15% усіх бойових травм. Травми кінцівок часто супроводжуються ушкодженням судин, яке за відсутності своєчасної діагностики та ефективних лікувальних заходів може призвести до смертельного результату. Пацієнти з проникаючими пораненнями кінцівок та тяжкими клінічними симптомами потребують негайного хірургічного втручання. Обсяг хірургічного втручання при ранах кінцівок включає висічення краю шкіри, велике розширення рани, дослідження всіх шарів та висічення пошкодженого м'яза.

Саме тому своєчасна та комплексна реабілітація з використанням сучасних методів є ключовою для відновлення функцій кінцівки, запобігання контрактурам, атрофії м'язів і подолання хронічного больового синдрому, а також для збереження боєздатності та працездатності цієї категорії пацієнтів [8].

Аналіз попередніх досліджень включав огляд клінічних та експериментальних робіт із метою систематизації даних про методи лікування та реабілітації, які застосовувалися раніше, та їх ефективність. Аналіз сучасних літературних джерел свідчить про те, що питання реабілітації та фізичної терапії військовослужбовців та цивільних осіб, що отримали поранення кінцівок, залишаються актуальними як для військової медичної служби Збройних сил, так і для національної системи охорони здоров'я.

За даними С. Калмикова та співавт. (2017) [3], відновне лікування поранених із вогнепальними ушкодженнями кінцівок включає у себе медичну, соціальну та професійну реабілітацію. Підлягають реабілітації ті особи, у яких унаслідок травматичного ушкодження кінцівок і оперативного втручання фізіологічні функції та здатність до військово-професійної діяльності значно знизилися або тимчасово втрачені. При цьому основні загальні принципи реабілітації – етапність і послідовність – повністю зберігаються стосовно окремих видів патології. Реабілітація поєднує у собі хірургічні та медикаментозні методи, фізичну терапію, масаж, фізіотерапевтичне лікування.

На госпітальному етапі реабілітація хворих, що перенесли травматичне ушкодження кінцівок, здійснюється не відокремлено, а у взаємодії з лікувальним процесом, доповнюючи лікування і підвищуючи його результативність. Своєю чергою, повноцінне хірургічне лікування, що включає такі заходи, як рання діагностика захворювання, адекватна передопераційна підготовка, якісно і раціонально виконане оперативне втручання, правильне застосування лікарських засобів у післяопераційному періоді, дає змогу використовувати методи реабілітації вже на самих ранніх стадіях лікувального процесу. Отже, лікування і реабілітація тісно пов'язані між собою, взаємно доповнюють один одного і не повинні протиставлятися, тому розроблення методів фізичної терапії проводиться з урахуванням змісту післяопераційного лікування хворих, а здійснення реабілітаційних заходів є складовою частиною всього лікувально-відновного процесу [5]. Завданнями госпітального етапу реабілітації хворих із вогнепальними ушкодженнями кінцівок є:

- розроблення для кожного хворого індивідуальної програми реабілітаційних заходів і забезпечення її етапності;

– здійснення адекватного режиму фізичної терапії з послідовним збільшенням навантаження;

– санація хронічних вогнищ інфекції та лікування супутніх захворювань; формування оптимальної психологічної реакції на наслідки травми, а також на систему подальших реабілітаційних заходів [5].

Під час розроблення індивідуальних програм реабілітації потрібен систематичний контроль адекватності та ефективності заходів і за необхідності відповідна корекція реабілітаційних програм. Загальнодоступними критеріями адекватності фізичної терапії на етапі гострої реабілітації є поліпшення самопочуття хворого, поступова нормалізація показників діяльності серцево-судинної і дихальної систем. У подальшому на підгострому етапі обсяг та інтенсивність реабілітаційних заходів оцінюються за результатами функціональних проб індивідуально за різних видів ушкоджень. На етапі довготривалої реабілітації виконуються заходи з підтримки працездатності, підвищення неспецифічного імунітету, попередження вторинних і пізніх ускладнень, поступового включення у військово-професійну діяльність [6].

Тривалість реабілітації військовослужбовців при вогнепальних травмах кінцівок варіює від декількох тижнів до декількох місяців і залежить від ступеня тяжкості травми, наявних ускладнень, супутніх захворювань, віку хворого, а також від якості лікування. Своєчасність реабілітації багато в чому залежить від зменшення кількості післяопераційних ускладнень. Реабілітаційні заходи закінчуються, коли хворому надано всебічну допомогу в досягненні максимальної фізичної повноцінності та здатності до військово-професійної діяльності [5; 6].

Завданнями госпітального етапу реабілітації хворих із вогнепальними ушкодженнями кінцівок є: розроблення для кожного хворого індивідуальної програми реабілітаційних заходів і забезпечення її спадкоємності на наступних етапах; здійснення адекватного режиму рухової активності з послідовним збільшенням навантаження; санація хронічних вогнищ інфекції та лікування супутніх захворювань; формування оптимальної психологічної реакції на наслідки травми, а також на систему подальших реабілітаційних заходів [5].

Фізична терапія є невід’ємною частиною медичної реабілітації поранених із вогнепальними

ушкодженнями кінцівок і залежить від обсягу пошкодження м’язового апарату, методу іммобілізації, тяжкості загального стану пораненого та періоду перебігу патологічного процесу і реабілітаційних заходів [3; 5; 6].

Як свідчать результати дослідження, проведеного С.В. Попович та співавт. (2024) [7], для досягнення оптимальних результатів реабілітації використовують різні методи фізичної терапії, які сприяють відновленню функцій ушкоджених кінцівок, зменшують біль та запобігають розвитку ускладнень. Основними методами є:

1. Мануальна терапія. Допомогає відновити рухомість суглобів, зменшити м’язову напругу та покращити кровообіг, що сприяє зменшенню болю і стимулює процес загоєння.

2. Терапевтичні вправи. Передбачають виконання активних і пасивних вправ для покращення сили, витривалості та гнучкості м’язів. Цей метод допомагає пацієнту відновити функціональність кінцівки, адаптуючись до повсякденної діяльності.

3. Тейпування. Стабілізує ушкоджені ділянки, зменшуючи біль та навантаження на кінцівку, що допомагає у корекції рухів. Кожен із цих методів відіграє важливу роль на різних етапах реабілітаційного процесу, і їх використання потрібно адаптувати до індивідуальних потреб пацієнта [9].

Обсяг активних та пасивних рухів дає змогу оцінити можливості рухової функції за умов самостійної роботи — активні рухи та, за допомогою, пасивні рухи, адже дуже часто за спроби активного руху через отримані травми уражений сегмент може перейти в так званий «захисний механізм», який супроводжується м’язовим спазмом, для того щоб під час руху не збільшувати травматизації ураженої структури та навколишніх, але за спроби пасивного руху відзначають значне збільшення амплітуди [9].

Якщо підсумувати все сказане вище, можна виділити декілька основних пунктів, дотримання яких мінімізує ризик виникнення помилок під час проведення реабілітації, а саме:

1. Медичний огляд та оцінка стану травми (рентгенографія, МРТ тощо залежно від самої травми).

2. Оцінка рухомості суглобів, болю в кінцівці, ознак активного запального процесу та сили м’язів.

3. Визначення обмежень та функціональних потреб пацієнта, постановка чітких цілей за SMART [9].

Початковий акцент на зменшенні болю, запобіганні атрофії та збереженні загальної рухомості поступово змінюється на активні вправи для повернення сили, гнучкості й координації. Відновний період вимагає інтенсивних занять і постійної роботи пацієнта над собою для повного відновлення рухових можливостей кінцівки та адаптації до повсякденних або професійних навантажень і досягнення поставлених цілей. Комплексний підхід, включаючи фізичну терапію, масаж, мануальну терапію, допомагає поступово, без ризику отримання повторних травм, відновлюватися структурі та функції. Важливо реабілітаційну програму розробити індивідуально, з урахуванням особливостей травми і потреб пацієнта, що забезпечить найбільш ефективне та безпечне відновлення [7; 9; 25].

Усе більше доказів свідчать про те, що екстракорпоральна ударно-хвильова терапія (УХТ) є безпечним та ефективним методом для лікування захворювань опорно-рухового апарату і має безпосередній вплив на регенерацію та больовий синдром [22].

У 1997 р. Хаупт запропонував чотири можливі фази реакції УХТ на тканинах [22].

Фізична фаза: указує на те, що ударна хвиля викликає позитивний тиск для створення поглинання, відбиття, заломлення та передачі енергії до тканин і клітин.

Фізико-хімічна фаза: УХТ стимулює клітини до вивільнення біомолекул, таких як аденозинтрифосфат (АТФ), для активації клітинних сигнальних шляхів.

Хімічна фаза: ударні хвилі змінюють функції іонних каналів у клітинній мембрані та мобілізацію кальцію у клітинах [16].

Біологічна фаза: попередні дослідження показали, що ЕУХТ модулює ангіогенез (vWF [фактор фон Віллебранда], фактор росту ендотелію [VEGF], синтазу ендотеліального оксиду азоту [eNOS] та проліферуючий клітинний ядерний антиген [PCNA]), протизапальні ефекти (розчинна міжклітинна молекула адгезії 1 [sICAM] та розчинна молекула адгезії судинних клітин 1 [sVCAM]), загоєння ран (Wnt3, Wnt5a та бета-катенін) та загоєння кісток (кістковий морфогенетичний білок [BMP]-2, остеокальцин, лужна фосфатаза, пов'язаний із діккопфом білок 1 [DKK-1] та інсуліноподібний фактор росту [IGF]-1).

Ефекти УХТ пов'язані з тим, що нові функціональні білки, індуковані УХТ, сприяють хондропротекторному ефекту, неоваскуляризації,

протизапальності, антиапоптозу, а також регенерації тканин і нервів. Окрім того, УХТ стимулює зсув фенотипу макрофагів від M1 до M2 і збільшує проліферацію Т-клітин в ефекті імуномодуляції. УХТ активує сигнальний шлях TLR3 для модуляції запалення, контролюючи експресію інтерлейкіну (IL)-6 та IL-10, а також покращує лікування ішемічних м'язів [15; 16].

Ефекти УХТ із боку кісток були продемонструвані Wang та ін., а саме, що ударні хвилі генерують регуляцію та експресію різних проангіогенних та проостеогенних факторів росту, стимулюючи загоєння кісток. Фундаментальні дослідження показали, що завдяки механічним силам, що подаються ударними хвилями на клітини і на позаклітинний матрикс, месенджери звільняються й активують різні гени і групи генів у ядрі клітини. Це явище біологічного перетворення з механічного подразника в електрохімічну активність називається механотрансдукцією [22].

Furia та ін. зауважили, що високоенергетична F-ESWT була настільки ж ефективною, як інтрамедулярна гвинтова фіксація, під час лікування незрощення перелому п'ятої плеснової кістки. Однак гвинтова фіксація частіше була пов'язана з ускладненнями, які часто призводили до додаткового хірургічного втручання [22].

Таким чином, можна зробити висновок, що УХТ вважається альтернативою хірургічному втручанню за низки хронічних тендінопатій і незрощень через його ефективність, безпеку та неінвазивність. Найкращі докази, що підтверджують використання УХТ, були отримані за низького та середнього рівнів енергії при порушеннях сухожиль, а також за високого рівня енергії при кальцифікації сухожиль та кісткових патологіях у комплексній реабілітації.

Заслуговує на увагу те, що у зв'язку з варіативністю протоколів лікування методологічна якість багатьох досліджень УХТ обмежена. Необхідні подальші дослідження на основі добре спланованих, високоякісних досліджень для стандартизації параметрів лікування та демонстрації оптимального підходу УХТ для прийняття рішень у сфері охорони здоров'я [22].

За умови адекватного відбору пацієнтів, відповідних показань, гомогенних терапевтичних протоколів УХТ та належного застосування УХТ може зробити першорядний внесок у неінвазивне лікування певних захворювань опорно-рухового апарату [22].

Тобіас Вюрфель та співавт. (2022) [30] описують ефекти впливу на опорно-руховий апарат екстракорпоральних ударних хвиль та доходять висновку, що екстракорпоральна ударно-хвильова терапія (УХТ) є безпечним та ефективним варіантом лікування різних патологій опорно-рухового апарату. Незважаючи на те що багато досліджень стосуються молекулярних і клітинних механізмів дії УХТ, однак дотепер єдиної концепції із цього приводу встановити не вдалося. У своєму дослідженні вони проводять систематичний огляд ефектів впливу на кістково-м'язову тканину екстракорпоральних ударних хвиль (ESWs), про які повідомляється в літературі. Ключові результати полягають у такому: 1) порівняно з ефектами багатьох інших форм терапії клінічна користь УХТ, як видається, не ґрунтується на одному механізмі; 2) різні тканини по-різному реагують на один і той самий механічний подразник; 3) той факт, що механізм дії УХТ описаний у дослідженні, не означає автоматично, що цей механізм має відношення до спостережуваного клінічного ефекту; 4) сфокусовані ESW та радіальні ESW, схоже, діють подібним чином; і 5) навіть найскладніші дослідження ефектів впливу на опорно-руховий апарат ЕУХТ не можуть замінити клінічні дослідження з метою визначення оптимальної інтенсивності, частоти лікування та локалізації УХТ [30].

Додаткові ефекти УХТ під час лікування патологій опорно-рухового апарату роблять його ефективною формою терапії, яку можна використовувати окремо або в поєднанні з іншими терапевтичними методами. Не можна недооцінювати можливість використання УХТ як підтримуючого заходу за будь-яких міофасціальних дисбалансів і функціональних рухових обмежень, що лежать в основі патологій. Це пояснюється впливом УХТ на міофасціальні одиниці, такі як зниження м'язового тону, зниження запальної активності та впливу на тригерні точки. Для майбутнього використання УХТ необхідні подальші дослідження, особливо клінічні. Сьогодні все ще є мінімальні докази щодо ідеальних умов лікування, інтенсивності, тривалості, локалізації та прикладної енергії для забезпечення найкращого можливого лікування [10; 17].

Л. Рискалін та співавт. [26] у своєму дослідженні описують молекулярні механізми, що лежать в основі болезаспокійливих ефектів

екстракорпоральної ударно-хвильової терапії, та роблять акцент на ноцицепторах фасцій. За їхніми даними, останніми роками екстракорпоральна ударно-хвильова терапія (УХТ) привертає усе більшу увагу через її потенційний сприятливий вплив на різні патології кісток та м'яких тканин, що дає багатообіцяючі результати для полегшення болю та функціонального відновлення. Фактично УХТ з'явився як альтернативний, неінвазивний та безпечний метод лікування численних захворювань опорно-рухового апарату, включаючи міофасціальний больовий синдром (МБС). Зокрема, МБС є поширеним хронічним болючим станом, на який припадає найбільша частка пацієнтів, які страждають на проблеми з опорно-руховим апаратом. Примітно, що сенсорна іннервація та ноцицептори фасціальної системи відіграють ключову роль як генератори болю при МБС. Водночас усе більше доказів демонструють, що застосування УХТ призводить до вибіркової втрати сенсорних немієлінізованих нервових волокон, тим самим викликаючи тривалу аналгезію. Результати, що обговорюються у цьому огляді, висвітлюють нові точки зору, які можуть ще більше збагатити наші знання про складні взаємодії, що відбуваються між розладами глибокої фасції, включаючи зміни іннервації, сенсibiliзацію фасціальних ноцицепторів, патофізіологію хронічного м'язово-скелетного болю при МБС та аналгезію, спричинену EWST. Окрім того, уявлення про молекулярні механізми больових ефектів УХТ може розширити поля клінічної практики ударних хвиль далеко за межі опорно-рухового апарату або його початкового застосування для літотрипсії [26].

Хоча точні молекулярні механізми ударних хвиль усе ще значною мірою невідомі, усе більше доказів указують на те, що застосування УХТ на опорно-рухову систему може впорядкувати різні корисні ефекти, які виходять далеко за рамки простого механічного дезінтегративного ефекту, як зазвичай припускають. До них належать посилення перфузії, неоангіогенні ефекти, остеогенез та фібробластична стимуляція. Окрім того, останні публікації вказують на те, що втручання УХТ має позитивний ефект у зменшенні клітинного запалення. Результати експериментів свідчать, що ударні хвилі модулюють активність макрофагів, зменшують інфільтрацію лейкоцитів та регулюють продукцію цитокінів та хемокінів. Ударні хвилі можуть

сприяти ефекту відновлення тканин і регенерації, регулюючи активність стовбурових клітин у кістках і м'яких тканинах [26].

Окрім вищезгаданих клітинних і молекулярних механізмів, що викликаються ударними хвилями, найбільш важливим є болезаспокійливий ефект. Низка рандомізованих контрольованих досліджень (РКД) показала, що УХТ може ефективно полегшувати біль при хронічному больовому синдромі, який був рефрактерним до інших поширених неопераційних методів. Тому нині зростає інтерес до застосування УХТ як терапевтичної альтернативи при множинних гострих і хронічних м'язово-скелетних болях, включаючи міофасціальний больовий синдром (МБС), що визначається як больовий розлад, котрий характеризується наявністю гіпердративливих пальпованих вузликів у волокнах скелетних м'язів або м'язовій фасції, відомих як міофасціальні тригерні точки (МТТ). МБС як у гострій, так і в хронічній формі являє собою один із найбільш поширених інвалідизуючих м'язово-скелетних больових синдромів. Примітно, що референтний біль та/або підвищена больова чутливість, пов'язані з МТТ, є провідними критеріями для встановлення діагнозу МБС. Пацієнти, які отримали МПС, страждають від локального болю у м'язах та референтного болю, що походить із навколишньої фасції. Це, своєю чергою, зменшує діапазон рухів, викликаючи м'язову слабкість та інвалідність, тим самим негативно впливаючи на якість життя. Таким чином, полегшення болю та функціональне покращення є первинними кінцевими точками для більшості сучасних методів лікування, які включають як інвазивні, так і неінвазивні методи (тобто суху голку, ультразвук, розтягування, масаж, тейпування). Тим не менше слід зазначити, що більшість призначених утручань при МБС демонструє обмежену ефективність у полегшенні болю, який часто зберігається або навіть посилюється з часом. На противагу цьому все більше доказів демонструють, що довготривала аналгезія, яка триває від кількох місяців до років, виникає після кількох сеансів УХТ [20; 28].

Було висунуто різні гіпотези щодо молекулярних механізмів, за допомогою яких УХТ полегшує біль в опорно-руховому апараті. Гіпотеза полягає у тому, що УХТ може змінювати передачу болю, зменшуючи вивільнення

пов'язаної з болем нейропептидної речовини Р (SP) та інших медіаторів болю з обробленої ділянки. Окрім того, було показано, що селективна деструкція сенсорних немієлінізованих волокон у фокальній зоні застосування ударної хвилі відіграє ключову роль в опосередкуванні тривалої аналгезії, спричиненої УХТ. Інші автори припустили, що дисперсія пептиду, пов'язаного з геном кальцитоніну (CGRP), із дегенерованих сенсорних нервових волокон викликає нейрогенне запалення, перешкоджаючи місцевій повторній іннервації.

У зв'язку із цим варто зазначити, що порівняно з підлеглими м'язами фасціальна тканина демонструє більшу іннервацію з множинними чутливими нервовими волокнами, включаючи ті, що володіють ноцицептивною здатністю. Таким чином, фасціальна система останнім часом, хоча і поступово, стає основним учасником патогенезу м'язово-скелетного болю та дисфункцій, включаючи МФС [20; 28].

У цьому огляді [26] після аналізу молекулярних механізмів, що лежать в основі сприятливого впливу УХТ на опорно-руховий апарат, автори обговорюють складний взаємозв'язок між болем при МФС та глибокими змінами фасції, а також можливі молекулярні механізми, що лежать в основі больових ефектів EWST, з акцентом на фасціальні сенсорні нервові волокна та больові рецептори.

Висновки, які представлені в огляді [26], стосуються подальших напрямів наукових досліджень. Незважаючи на те що все більше доказів свідчить, що УХТ є безпечною та ефективною для зменшення болю та функціонального відновлення у пацієнтів із різними захворюваннями опорно-рухового апарату, сьогодні немає чітких доказів впливу УХТ на фасціальну ноцицептивну систему. Майбутні дослідницькі зусилля повинні бути зосереджені на аналізі УХТ-опосередкованих ефектів на фасціальну сенсорну іннервацію та ноцицептори, а також на інші молекулярні механізми, які можуть лежати в основі тривалих та дозозалежних аналгетичних ефектів УХТ [26].

Узагальнення даних літератури дає змогу заключити таке.

Механізм регенерації м'язів після балістичної травми [18].

Після сильного ушкодження, зокрема балістичного, запускається комплексна програма регенерації м'язової тканини, що включає:

1. Деструктивно-запальну фазу, де некротичні міофібрили очищуються макрофагами.

2. Фазу активації клітин-сателітів, важливих м'язових стовбурових клітин, які переходять із стану спокою ($Pax7^+$) у стан активної проліферації і диференціації, викликаний факторами росту IGF-I, HGF, FGF, TGF, із подальшим формуванням нових міофібрил (MyoD, Myf5, Myogenin).

3. Останні відкриття показують, що клітини-сателіти можуть перебувати у стані G_0 або попередньо активованому « G_{Alert} », де керівник переходу — шлях mTORC1/mTORC2 — забезпечує готовність до активації при пошкодженні. Ці комплексні сигнали підтримують регенерацію, проліферацію та самовідновлення клітин-сателітів [29].

4. До ключових регуляторів відновлення належить також ангіогенна підтримка (через VEGF), що покращує кровопостачання і сприяє джерелам стовбурових клітин біля кровонесних судин (як показано у мишачих моделях dystrophy). Залучення перицитів та імунних клітин (нейтрофіли, макрофаги) важливе для координації м'язового ремонту через запальну фазу до відновлення [11].

5. Механізм дії ударно-хвильової терапії (УХТ). Ударно-хвильова терапія (ESWT) працює через механотрансдукцію: акустичні імпульси створюють мікромеханічні напруження, які перетворюються на клітинні сигнали, що запускають регенеративні процеси. Цей механізм стимулює ангіогенез шляхом підвищення експресії таких факторів росту, як VEGF та eNOS, що покращує мікроциркуляцію у пошкоджених тканинах [21]. У відповідь на УХТ зростає рівень TGF- β 1 та IGF-I, що ініціює клітинну проліферацію, морфогенез і синтез колагену для відновлення м'яких структур [24]. Додатково активується TLR3-сигнальний шлях, що модулює запалення через регуляцію IL-6 та IL-10, а також сприяє переходу макрофагів до репаративного M2-фенотипу, сприяючи тканинній регенерації і зменшенню апоптозу [23]. Таким чином, УХТ визначається як безпечний і багатоаспектний терапевтичний підхід, що ґрунтується не на одному, а на комплексі взаємодіючих механізмів, включаючи ангіогенез, зменшення запалення та стимуляцію клітинного відновлення [26].

Висновки.

1. Поранення м'яких тканин нижніх кінцівок є одними з найпоширеніших видів бойової та травматологічної патології. Вони часто

супроводжуються значними ушкодженнями м'язів, фасцій, судин та нервів, що призводить до порушення функцій кінцівки, високого ризику інвалідизації та потреби у тривалій медико-соціальній допомозі. Особливої актуальності набуває питання своєчасної та комплексної реабілітації таких пацієнтів, оскільки навіть після успішного хірургічного лікування зберігається небезпека розвитку контрактур суглобів, атрофії м'язів, тромбозів та хронічного больового синдрому. Застосування сучасних методів фізичної терапії у поєднанні з ударно-хвильовою терапією відкриває нові можливості для покращення результатів відновлення.

2. У літературі широко висвітлено ефективність ранньої фізичної терапії після травм нижніх кінцівок. Доведено, що терапевтичні вправи та мануальна терапія сприяють збереженню амплітуди рухів і запобігають м'язовій атрофії.

3. Останніми роками зростає інтерес до ударно-хвильової терапії (УХТ), яка застосовується для лікування м'язово-скелетних патологій, хронічних ран та ушкоджень сухожилів. Дослідження показують, що УХТ стимулює неоангіогенез, покращує трофіку тканин і прискорює регенерацію. Проте даних саме щодо використання УХТ при вогнепальних і осколкових пораненнях поки недостатньо, а наявні клінічні роботи здебільшого мають обмежену вибірку або спостережний характер.

4. Вогнепальні та осколкові поранення нижніх кінцівок супроводжуються складними патофізіологічними змінами: руйнуванням м'яких тканин, ішемією, вторинними інфекціями та рубцюванням. Реабілітація таких пацієнтів проводиться поетапно. На ранньому етапі (ще під час інтенсивної терапії) застосовують щадні пасивні рухи для запобігання контрактурам. У стаціонарний період програма розширюється за рахунок ізометричних та силових вправ. Амбулаторний етап передбачає поступове повернення до активності під наглядом фізичного терапевта. УХТ діє за рахунок поширення акустичних хвиль у тканинах, які стимулюють утворення нових судин, покращують обмінні процеси, зменшують больові відчуття й прискорюють загоєння. Поєднання традиційних методів фізичної терапії та УХТ має потенціал підвищити ефективність відновлення функцій кінцівок.

5. Попри позитивні клінічні результати доказова база щодо комплексного застосування фізичної терапії та ударно-хвильової терапії після

поранень м'яких тканин залишається недостатньою. Відсутні стандартизовані протоколи, які б визначали оптимальні строки початку процедур, їх інтенсивність і тривалість. Існують значні відмінності в індивідуальних результатах пацієнтів, що зумовлено віком, супутніми захворюваннями, локалізацією та тяжкістю ушкодження. Окрім того, упровадженню сучасних методів часто заважають обмежена кількість спеціалізованих центрів та дефіцит мультидисциплінарних команд, здатних забезпечити комплексний підхід.

Література

1. Бур'янов О, Ярмолюк Ю, Лось Д, Вакулич М. Сучасні хірургічні методи лікування постраждалих з вогнепальними пораненнями кінцівок [Modern surgical methods for treating patients with gunshot limb injuries]. Травма. 2017;18(2):30–5. doi:10.22141/1608-1706.2.18.2017.102555.
2. Заруцький Я. Вказівки з військово-польової хірургії [Guidelines on military field surgery]. Київ: ВСВ Медицина; 2014. 752 с.
3. Калмиков С, Калмикова Ю. Актуальні питання фізичної терапії при вогнепальних ушкодженнях діафізу плеча [Topical issues of physical therapy for gunshot lesions of the diaphysis of the shoulder]. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2018;1(64):24–30. doi:10.15391/sns.v.2018-1.004.
4. Лурін І, Абдуллаєв Р, Щербіна О, Вороньжев І, Король П, Абдуллаєв Р. Ультразвукова діагностика ушкодження м'яких тканин нижніх кінцівок при бойовій травмі [Ultrasound diagnosis of soft tissue combat injuries of lower extremities]. Український журнал військової медицини. 2024;5(1):32–8. doi:10.46847/ujmm.2024.1(5)-032.
5. Мятіга О, Мятіга Д, Калмикова Ю, Калмиков С. Сучасні підходи до фізичної реабілітації жінок середнього віку після переломів ліктьового суглоба у постімобілізаційному періоді [Modern approaches to physical rehabilitation of middle-aged women after elbow joint fractures during post-immobilization period]. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2011;3:101–6.
6. Остроушко О. Особливості фізичної реабілітації при вогнепальних пораненнях плечового суглоба [Features of physical rehabilitation for gunshot wounds of the shoulder joint]. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2017;2:59–62.
7. Попович Д, Сімора Д, Бойко В. Фізична реабілітація пацієнтів при травматичному ушкодженні верхньої кінцівки [Physical rehabilitation of patients with traumatic injuries of the upper limb]. Медсестринство. 2024;4:65–70. doi:10.11603/2411-1597.2024.4.14937.
8. Танасієнко П, Василов В. Порівняльна характеристика різних методик остеосинтезу у поранених із вогнепальними пошкодженнями довгих кісток [Comparative characteristics of different osteosynthesis techniques in patients with gunshot injuries of long bones]. Pain, joints, spine. 2024;14(4):186–92. doi:10.22141/pjs.14.4.2024.437.
9. Alians Yevropeiskiykhraniv Fizychnoi ta Reabilitatsiinoi Medytsyny. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine in Europe. Ukrainskiy zhurnal fizychnoi ta reabilitatsiinoi medytsyny. 2018;2(2):6–206. Ukrainian.
10. Anand P, Bley K. Topical capsaicin for pain management: therapeutic potential and mechanisms of action of the new high-concentration capsaicin 8% patch. Br J Anaesth. 2011;107:490–502.
11. Biferalli B, Proietti D, Mozzetta C, Madaro L. Fibro-adipogenic progenitors cross-talk in skeletal muscle: the social network. Front Physiol. 2019;10:1074.
12. Browner BD, Jupiter JB, Levine AM. Skeletal trauma. 4th ed. Philadelphia: Saunders; 2009. 2784 p.
13. Chauhan R, Copeland CC, Murray M. Improvised explosive devices: anesthetic implications. Curr Anesthesiol Rep. 2018;8:71–7. doi:10.1007/s40140-018-0260-y.
14. Ditzko NG, Maresky H, Mathur S. Imaging ballistic injuries. Can Assoc Radiol J. 2020;71(3):335–43. doi:10.1177/0846537120902107. PMID:32103684.
15. Gerdemeyer L, Schaden W, Besch L, Stukenberg M, Doerner L, Muehlhofer H, et al. Osteogenic effect of extracorporeal shock waves in human. Int J Surg. 2015;24(Pt B):115–9.
16. Ingber DE. Cellular mechanotransduction: putting all the pieces together again. FASEB J. 2006;20(7):811–27.
17. Jones R. Nonsteroidal anti-inflammatory drug prescribing: past, present, and future. Am J Med. 2001;110:4S–7S.
18. Johnson AL, Kamal M, Parise G. The role of supporting cell populations in satellite cell mediated muscle repair. Cells. 2023;12:1968. doi:10.3390/cells12151968.
19. Lebowitz C, Matzon JL. Arterial injury in the upper extremity: evaluation, strategies, and anticoagulation management. Hand Clin. 2018;34:85–95. doi:10.1016/j.hcl.2017.09.009. PMID:29169600.
20. Maier M, Averbeck B, Milz S, Refior HJ, Schmitz C. Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. Clin Orthop Relat Res. 2003;406:237–45.
21. Moriscot A, Miyabara EH, Langeani B, Belli A, Egginton S, Bowen TS. Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. NPJ Regen Med. 2021;6:17. doi:10.1038/s41536-021-00127-1.
22. Moya D, Ramón S, Schaden W, Wang CJ, Guiloff L, Cheng JH. The role of extracorporeal shockwave treatment in musculoskeletal disorders. J Bone Joint Surg Am. 2018;100:251–63. doi:10.2106/JBJS.17.00661.
23. Nakayama KH, Quarta M, Paine P, Alcazar C, Karakikes I, Garcia V, et al. Treatment of volumetric muscle loss in mice using nanofibrillar scaffolds enhances vascular organization and integration. Commun Biol. 2019;2:170.
24. Pellegata AF, Tedeschi AM, De Coppi P. Whole organ tissue vascularization: engineering the tree to develop the fruits. Front Bioeng Biotechnol. 2018;6:56.
25. Roll SC, Hardison ME. Effectiveness of occupational therapy interventions for adults with musculoskeletal conditions of the forearm, wrist, and hand: a systematic review. Am J Occup Ther. 2017;71(1):7101180010p1-12. doi:10.5014/ajot.2017.023234.
26. Ryskalin L, Morucci G, Natale G, Soldani P, Gesi M. Molecular mechanisms underlying the pain-relieving effects of extracorporeal shock wave therapy: a focus on fascia nociceptors. Life. 2022;12:743. doi:10.3390/life12050743.
27. Suzuki T, Minehara A. Negative-pressure wound therapy over surgically closed wounds in open fractures. J Orthop Surg. 2014;22(1):30–4.
28. Takahashi N, Wada Y, Ohtori S, Saisu T, Moriya H. Application of shock waves to rat skin decreases calcitonin gene-related peptide immunoreactivity in dorsal root ganglion neurons. Auton Neurosci. 2003;107:81–4.
29. Wallner C, Rausch A, Drysch M, Dadrás M, Wagner JM, Becerikli M, et al. Regulatory aspects of myogenic factors GDF-8 and follistatin on the intake of combined oral contraceptives. Gynecol Endocrinol. 2020;36:406–12.
30. Wuerfel T, Schmitz C, Jokinen LLJ. The effects of the exposure of musculoskeletal tissue to extracorporeal shock waves. Biomedicines. 2022;10:1084. doi:10.3390/biomedicines10051084.