

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

DOI: 10.21802/artm.2022.1.21.138
УДК 615.837

ЗАСТОСУВАННЯ УДАРНО-ХВИЛЬОВОЇ ТЕРАПІЇ В НЕЙРОРЕАБІЛІТАЦІЇ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Т.Г. Бакалюк¹, І.Б. Гордійчук², Г.О. Стельмах¹, Н.Р. Макаrchук¹, В.М.Столярчук¹

¹Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського МОЗ України, кафедра медичної реабілітації, м. Тернопіль, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-7619-0264, e-mail: bakalukth@tdmu.edu.ua;

ORCID ID: 0000-0003-2992-3274, e-mail: stelmakh_ho@tdmu.edu.ua;

ORCID ID: 0000-0001-5196-1619, e-mail: makarchuk@tdmu.edu.ua;

ORCID ID: 0000-0002-3054-0580, e-mail: stolyarchuk_vlamyk@tdmu.edu.ua;

²Перший кабінет ударно-хвильової терапії, м. Тернопіль, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-2066-0930, e-mail: shockwave.ternopil@gmail.com

Резюме. В огляді наведено сучасні дані літератури щодо застосування методу ударно-хвильової терапії (УХТ) в нейрореабілітації. За останні роки розвиток цього методу прогресує. Унікальність методу полягає в широкому та безпечному спектрі його можливостей, що застосовуються в різних галузях медицини, зокрема і при реабілітації неврологічних захворювань. Вказано, що УХТ працює шляхом випромінювання акустичних хвиль (ударних хвиль), які несуть енергію і можуть поширюватися крізь тканини, фокусуються в заданій ділянці тіла, здійснюючи точно направлений терапевтичний вплив, без ушкодження інших тканин організму. Відмічено, що ударні хвилі можуть генерувати інтерстиціальні та позаклітинні реакції, викликаючи багато корисних ефектів, таких як: полегшення болю, васкуляризація, біосинтез білка, проліферація клітин, нейро- та хондропротекція, а також руйнування відкладень кальцію в скелетно-м'язових структурах. Поєднання цих ефектів може призвести до регенерації тканин і значного полегшення болю, покращення функціональних результатів у пошкоджених структурах. Враховуючи ці факти, УХТ демонструє великий потенціал як корисний метод регенеративної медицини для лікування різних патологій. Підкреслено, що сучасна концепція регенерації тканин тісно пов'язана з неангіогенезом. Це нова інтерпретація терапевтичного ефекту, що відкриває нові горизонти для використання УХТ, крім традиційних ортопедичних застосувань. Потенційні нові можливості застосування включають спастичність, нейропатичні зміни та інші неврологічні порушення. Завдяки своєму неінвазивному підходу, відсутності основних побічних ефектів, повторюваності, хорошій переносимості та комплаєнсу з пацієнтами УХТ пропонує нові реабілітаційні перспективи в *неврології*.

Ключові слова: ударно-хвильова терапія, нейропротекція, спастичний синдром, тунельний синдром, нейрореабілітація.

Вступ. Одним із методів, який патогенетично можна застосовувати в нейрореабілітації, є метод ударно-хвильової терапії (УХТ). На сьогоднішній день відбувається стрімке зростання публікацій щодо застосування та розвитку УХТ. Цей метод працює шляхом випромінювання акустичних хвиль (ударних хвиль), які несуть енергію і можуть поширюватися крізь тканини. Ударні хвилі можуть генерувати інтерстиціальні та позаклітинні реакції, викликаючи багато корисних ефектів, таких як: полегшення болю, васкуляризація, біосинтез білка, проліферація клітин, нейро- та хондропротекція, а також руйнування відкладень кальцію в скелетно-м'язових структурах. Поєднання цих ефектів може призвести до регенерації тканин і значного полегшення болю, покращення функціональних результатів у пошкоджених структурах [1]. Враховуючи ці факти, УХТ демонструє великий потенціал як корисний метод регенеративної медицини для реабілітації різних патологій.

Регенеративна терапія є однією з найскладніших та найцікавіших галузей сучасної медицини.

Фундаментальні дослідження продемонстрували ефективність екстракорпоральних ударних хвиль у стимуляції біологічної активності, яка включає внутрішньоклітинні та клітинно-матричні взаємодії. Ці взаємодії лежать в основі сучасних клінічних застосувань і відкривають горизонти для нових застосувань у регенерації тканин [2].

Ударні хвилі були введені в арсенал сучасної фізичної терапії близько 40 років тому [3, 4, 5]. Після початкових випробувань лікування сечокам'яної хвороби, екстракорпоральні ударні хвилі були введені як доклінічно, так і клінічно для лікування гострих та хронічних проблем із загоєнням м'яких і твердих тканин [6, 7]. У більшості випадків було виявлено, що поліпшення процесів загоєння м'яких і твердих тканин пов'язані з підвищенням рівня васкуляризації, тому цей механізм дії вважався загальним, але це не загальний сценарій покращення, викликаного ударною хвилею [7, 8, 9]. Однак згодом було продемонстровано, що інші несудинні механізми сприяють відновленню тканин.

Метод екстракорпоральної ударно-хвильової терапії (ЕУХТ) був запроваджений у 1982 р. для літо-трипсії сечових каменів [10]. ЕУХТ перевизначила підхід до нефролітіазу і стала основною стратегією його лікування [11]. Пізніше метод був перенесений в ортопедію, де він не тільки використовується досі, але й впроваджуються нові методики застосування [2, 12].

Протягом останніх двадцяти років ЕУХТ успішно використовується при таких ортопедичних захворюваннях як псевдоартроз, тендиніт, кальцифікуючий тендиніт ротаторної манжети плеча, епіконділіт, підошовний фасциит та ряд запальних захворювань сухожиль. Зокрема, було виявлено, що лікування сухожильної та м'язової тканин викликає тривалий ефект регенерації тканин на додаток до більш миттєвого протизапального ефекту [2, 13].

Сучасна концепція регенерації тканин тісно пов'язана з неоангіогенезом. Це нова інтерпретація терапевтичного ефекту, що відкриває нові горизонти для використання ЕУХТ, крім традиційних ортопедичних застосувань. Потенційні нові можливості застосування включають спастичність, виразки шкіри, реваскуляризацію міокарда та захворювання кісток [2, 14].

На сьогоднішній день є багато інших застосувань ЕУХТ, зокрема і при деяких захворюваннях нервової системи.

Мета дослідження: оцінити наявні дані літературних джерел щодо ефективності методу ударно-хвильової терапії при проведенні нейрореабілітації та представити оновлену інформацію про результати застосування УХТ при неврологічних захворюваннях.

Аналітичний огляд літературних джерел проведено з використанням системного підходу, зокрема методів інформаційного аналізу. Досліджено бази даних Medline (за допомогою інтерфейсу Pubmed), Google Scholar за 2011–2021 рр. за ключовими словами «ударно-хвильова терапія», «нейропротекція», «спастичний синдром», «тунельний синдром», «нейрореабілітація».

ЕУХТ є неінвазивним терапевтичним методом, який використовується не тільки для зняття болю, але й для покращення м'язової сили, стимулювання реваскуляризації, остеогенезу, нейрогенезу та ін. [8, 15].

Щоб вивчити явища ЕУХТ в біологічних тканинах, багато науковців намагалися з'ясувати механізм ударних хвиль з фундаментальних наукових досліджень і втілити їх у клінічне застосування. Наприклад, Wang et al. [8, 9] у проведеному дослідженні продемонстрували, що застосування ЕУХТ викликало зростання неоваскуляризації, яке було пов'язане з активізацією ангіогенних і остеогенних факторів росту, включаючи ендотеліальну синтазу оксиду азоту, фактор росту ендотелію судин, ядерний антиген проліферуючих клітин. Було встановлено, що неоваскуляризація може відігравати роль у покращенні кровопостачання та регенерації тканин у місці з'єднання сухожилля та кістки.

Експерименти Yin et al. [16] продемонстрували, що застосування ЕУХТ значно посилює ангіогенні та остеогенні ефекти. Дослідження хондропротекторної дії УХТ проводили вчені з Тайваню [17], які спостерігали значне збільшення фактору росту ендотелію

судин, кісткового morphogenetic-2 та остеокальцину в субхондральній кістці.

Також експериментально було показано, що застосування ЕУХТ посилює регуляцію ангіогенезу та факторів росту через активацію ендотеліальної синтази оксиду азоту (eNOS) та фактора росту ендотелію судин [18]. Збільшення утворення оксиду азоту від активації eNOS сприяє диференціації остеобластів людини. Підвищення регуляції фактору росту ендотелію судин стимулює загоєння ран через відкладення колагену та епітелізацію. Збільшення неоваскулярного утворення спостерігається протягом одного тижня після застосування ЕУХТ і досягає плато близько чотирьох тижнів [19]. Завдяки активації остеогенних факторів транскрипції прискорюється загоєння післяопераційних переломів [14].

Як зазначалося раніше, точний механізм ЕУХТ залишається невідомим. В експериментальному дослідженні [19] автори спробували проаналізувати основи протизапальної дії ЕУХТ. У центрі їх уваги була роль оксиду азоту (NO) та його синтази (eNOS) у запальних процесах. Результати довели, що протизапальна дія ЕУХТ «повинна включати тирозин-дефосфорилування eNOS, послідовне збільшення виробництва оксиду азоту та пригнічення активації NF-κB» молекулярного механізму, який запускає протизапальну дію ударних хвиль, зосереджуючись на можливості того, що екстракорпоральні ударні хвилі можуть модулювати вироблення ендогенного оксиду азоту в нормальних або запальних умовах [13].

Різні повідомлення також описують позитивний вплив ЕУХТ на регенерацію аксонів, наприклад, у дослідженні, що вимірює регенерацію після аксотомії [20]. Метод був запропонований для «швидшої валлерівської дегенерації, покращеного видалення дегенерованих аксонів і більшої здатності пошкоджених аксонів до регенерації» [19].

Експериментальне дослідження Wang L et al. [21] щодо впливу низькоенергетичною ЕУХТ на травму хребта показало, що застосування ударних хвиль сприяють експресії фактору росту ендотелію судин, зменшують вторинне пошкодження нервової тканини та покращують відновлення рухової функції. Його можна розглядати як один із способів клінічної додаткової терапії при травмах хребта.

Більшість досліджень ЕУХТ зосереджені на розумінні механізму, який призводить до встановлення механочутливої петлі зворотного зв'язку між акустичним імпульсом і стимульованими клітинами і включає специфічні шляхи трансдукції та експресію генів. Ці концепції виправдовують потенційну роль ЕУХТ в регенеративній терапії та в лікуванні інших нових патологічних станів, при яких необхідна інтенсивна метаболічна стимуляція та ангіогенез, таких як виразки шкіри та «важкі» рани, остеонекроз або ішемія міокарда [7, 19].

Ударні хвилі при ортопедичних розладах стимулюють або відновлюють процеси загоєння в сухожилках, навколишніх тканинах і кістках, ймовірно, через мікророзрив аваскулярних або мінімально васкуляризованих тканин, щоб стимулювати реваскуляризацію, вивільнення місцевих факторів росту та залучення відповідних стовбурових клітин, що сприяють більш нормальному загоєнню тканин [3].

Протягом останніх 20 років клінічні застосування ЕУХТ при захворюваннях опорно-рухового апарату та кісткової тканини зросли, включаючи, але не обмежуючись, застосування при епікондиліті, тендинопатії колінної чашечки, тендинопатії ахілового сухожилля, кальцифікуючого тендиніту плеча, незрощення та уповільнене зрощення перелому довгої кістки та аваскулярного некрозу головки стегнової кістки [2].

Дослідження клінічних застосувань за межами захворювань опорно-рухового апарату включало використання ЕУХТ для лікування болю при хронічних виразках діабетичної стопи, ішемічній хворобі серця, регіональному больовому синдромі, остеоартрозі колінного суглоба, злоякісних пухлинах, патології хребта, шкіри та ін. [19, 22].

У сучасній клінічній практиці застосовуються два види ЕУХТ: сфокусовану та радіальну. У сфокусованій ЕУХТ поле тиску сходить у вибрану фокусну рамку на певній глибині в тканинах тіла. Використовуються три різні ударні хвилі, включаючи електрогідралічну, електромагнітну та п'єзоелектричну, які є хвилями, що генеруються у воді [23]. При радіальній ЕУХТ дисперсія ударної хвилі є більш поверхневою, тоді як сфокусована ЕУХТ проникає глибше в тканини тіла. Обидва методи лікування викликають різні терапевтичні ефекти через полегшення болю та регенерацію тканин [23].

Сфокусована ЕУХТ спочатку використовувалася лише як пристрій для літотрипсії в інтервенційній урології або абдомінальній хірургії для здійснення неінвазивної процедури дроблення сечових або жовчних каменів, однак на сьогоднішній день застосовується при ряді ортопедичних захворювань [2, 19].

Радіальна ЕУХТ широко використовується в реабілітаційній медицині для лікування болю, а останнім часом при гіпертонії м'язів у пацієнтів з церебральним паралічем та інсультом [24, 25].

При порівнянні ефективності застосування радіальних і сфокусованих ударних хвиль, у наукових дослідженнях підтверджувалась ефективність одного з них або відмічалась їх однакова ефективність [26]. Однак, кожний з цих двох видів терапії має свої переваги при певних станах [26, 27].

Що стосується використання ударних хвиль в нейрореабілітації, на сьогоднішній день відбувається стрімке зростання публікацій про результати застосування ЕУХТ при патології нервової системи. Втім у світовій науці відзначається відсутність незаперечних доказів, підкріплених передовими дослідженнями в галузі спостереження та реєстрації біофізичних механізмів під впливом УХТ при ряді неврологічних розладів, особливо у пацієнтів після інсульту, які страждають від ураження верхнього рухового нейрона. Однак, перелік обґрунтованих показань до лікування ЕУХТ та наукових напрямків досліджень постійно розвивається та адаптується до різних патологій, зокрема спастичності після інсульту [26, 27, 28].

В останні роки ЕУХТ була визнана безпечним та ефективним методом зменшення спастичності м'язів. Можливі механізми включають утворення оксиду азоту, зниження збудливості моторних нейронів, індукцію дисфункції нервово-м'язової передачі та

прямий вплив на реологічні властивості. Відомо, що вплив ЕУХТ на спастичність триває щонайменше від чотирьох до шести тижнів, тоді як деякі дослідження повідомляють про тривалість до 12 тижнів. Було встановлено [28], що ЕУХТ позитивно впливає на спастичність і достовірно змінюються такі параметри, як шкала Ashworth.

Дослідження *in vivo* на здорових щурах [29] свідчать про те, що ЕУХТ може впливати на нервово-м'язові з'єднання, викликаючи дегенерацію та зменшення кількості ацетилхолінових рецепторів, що, у свою чергу, викликає значне зниження максимального потенціалу м'язової дії.

Механізм дії ЕУХТ на спастичні м'язи досі невідомий, але схоже, що звуковий імпульс ударних хвиль діє на спастичність м'язів інакше, ніж звичайна вібраційна стимуляція. Гіпотеза про те, що УХТ діє специфічно на м'язи, впливає з спостережуваної відсутності зміни провідності периферичних нервів і збудливості спинного мозку, а також відсутності ознак денервації в м'язах. На функціональному рівні спостерігалось зниження балів за шкалою Ashworth зі збільшенням діапазону рухів [26], а для нижніх кінцівок, ще і значне збільшення площі підшовної поверхні та пікового тиску при педобарометричній оцінці [25, 26, 30]. Лікування екстракорпоральними ударними хвилями слід розглядати як потенційну антиспастичну дію для регуляції судинної системи [26, 31].

Як сфокусована, так і радіальна ударно-хвильова терапія дала подібне поліпшення спастичності литкового м'яза, однак радіальна ЕУХТ перевершує сфокусовану УХТ з точки зору покращення пасивного діапазону руху гомілковостопного суглоба та площі підшовного контакту під час ходи у пацієнтів з інсультом [24].

ЕУХТ показала довготривалу ефективність щодо спастичності після інсульту, зниження інтенсивності болю та збільшення діапазону рухів. Ефект цієї неінвазивної терапії був значним, і втручання не викликало побічних ефектів, що підтвердило задовільний профіль безпеки [32].

Також було відмічено зменшення тону м'язів у дітей з ДЦП [25]. У рандомізованому плацебо-контрольованому клінічному дослідженні [33] було проаналізовано вплив радіальної ЕУХТ на спастичність внаслідок церебрального паралічу. Позитивні результати (зниження балів за шкалою Ashworth та збільшення діапазону рухів) були статистично значущими порівняно з групою плацебо і зберігалися щонайменше 2 місяці після лікування.

При застосуванні радіальної УХТ зменшується біль і тонус м'язів у пацієнтів з розсіяним склерозом без побічних ефектів. Відсутність впливу радіальної УХТ на збудливість хребта підтверджує ідею про те, що ударні хвилі діють на нерелекторну гіпертонію, наприклад, зменшуючи фіброз м'язів [34].

ЕУХТ також була використана для лікування синдрому карпального каналу (СКК) як новий і неінвазивний метод. Romeo et al. вперше застосували ЕУХТ для лікування больового синдрому після звільнення зап'ястного тунелю [2, 19], також кілька рандомізованих контрольованих досліджень повідомили, що ЕУХТ може покращити функціональні результати

та електрофізіологічні параметри. Зменшення запалення зап'ясткового каналу може знизити периневральний тиск і полегшити симптоми. Мета-аналіз Kim J et al. [35] показав, що ЕУХТ може покращити симптоми, функціональні результати та електрофізіологічні параметри у пацієнтів із СКК. Однак необхідні подальші дослідження для підтвердження довгострокових ефектів і оптимального протоколу ЕУХТ для СКК.

Останнім часом спостерігається підвищений інтерес до впливу ЕУХТ на регенерацію периферичних нервів. При проведенні експериментального дослідження було встановлено, що під впливом ЕУХТ відбувається регенерація нейронів шляхом прискорення елімінації пошкодженого аксона, збільшення проліферації шванівських клітин і збільшення регенерації аксонів [36].

Дослідження Park HJ et al. [37] показали, що ЕУХТ є неінвазивною і безпечною порівняно з ін'єкцією стероїдів після травми периферичного нерва й може посилити ремієлінізацію периферичних нервів.

Механізм ЕУХТ при нейропатії защемлення до кінця не вивчений. Однак два основних ефекти, такі як протизапальний та ефект регенерації нейронів, є потенційними механізмами відновлення при цій патології [38].

Оцінюючи застосування ЕУХТ при болях в попереку можна відмітити, що в проведених дослідженнях [39] відмічалось покращення провідності як чутливих, так і рухових нервів. Також поєднання програми вправ з ЕУХТ має переваги над консервативною фізіотерапією у пацієнтів з хронічним болем у попереку [40]. Було встановлено, що застосування радіальної ЕУХТ має значний довготривалий вплив на зменшення болю в поперековому відділі хребта та покращення загального функціонального стану по відношенню до традиційної програми рухового вдосконалення [41]. Також ЕУХТ є ефективним втручанням для лікування болю, інвалідності та депресії у пацієнтів з хронічним болем у попереку [15].

Отже, УХТ можна успішно застосовувати при неврологічних захворюваннях для зняття болювого синдрому, при спастичних та тунельних синдромах, запальних процесах та для покращення загального функціонального стану.

Висновки:

1. Ударно-хвильова терапія – метод впливу регульованими звуковими ударними хвилями, які фокусуються в заданій ділянці тіла, здійснюючи точно направлений терапевтичний вплив, без ушкодження інших тканин організму.
2. Екстракорпоральна ударно-хвильова терапія – ефективний метод лікування не тільки в найпоширеніших медичних застосуваннях, таких як літотрипсія, лікування сухожилів, м'язів або загоєння кісток, але й у нейрореабілітації.
3. Завдяки своєму неінвазивному підходу, відсутності основних побічних ефектів, хорошій переносимості та комплаєнсу з пацієнтами (при правильному застосуванні на основі правильного діагнозу), ударно-хвильова терапія пропонує нові терапевтичні перспективи в неврології.

References:

1. Simplicio CL, Purita J, Murrell W, Santos GS, Dos Santos RG, Lana JFSD. Extracorporeal shock wave therapy mechanisms in musculoskeletal regenerative medicine. *J Clin Orthop Trauma*. 2020; 11(Suppl 3):309-318. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.02.004.
2. Romeo P, Lavanga V, Pagani D, Sansone V. Extracorporeal shock wave therapy in musculoskeletal disorders: a review. *Med Princ Pract*. 2014; 23(1):7-13. DOI: 10.1159/000355472.
3. Thiele S, Thiele R, Gerdesmeyer L. Lateral epicondylitis: This is still a main indication for extracorporeal shockwave therapy. *Int J Surg*. 2015; 24(Part B):165-170.
4. Shrivastava SK, Kailash. Shock wave treatment in medicine. *J Biosci*. 2005; 30(2):269-275. DOI: 10.1007/BF02703708.
5. Ioppolo F, Rompe JD, Furia JP, Cacchio A. Clinical application of shock wave therapy (SWT) in musculoskeletal disorders. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2014; 50(2):217-230.
6. Ogden JA, Tóth-Kischkat A, Schultheiss R. Principles of shock wave therapy. *Clin Orthop Relat Res*. 2001; 387:8-17. DOI: 10.1097/00003086-200106000-00003.
7. Dymarek R, Halski T, Ptaszkowski K, Slupska L, Rosinczuk J, Taradaj J. Extracorporeal shock wave therapy as an adjunct wound treatment: a systematic review of the literature. *Ostomy Wound Manage*. 2014; 60(7):26-39.
8. Wang C-J, Wang F-S, Yang KD, et al. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits. *J Orthop Res*. 2003; 21(6):984-989. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00104-9.
9. Yang E, Lew HL, Özçakar L, Wu CH. Recent Advances in the Treatment of Spasticity: Extracorporeal Shock Wave Therapy. *J Clin Med*. 2021; 10(20):4723. DOI: 10.3390/jcm10204723.
10. Chaussy C, Schmiedt E, Jocham D, Brendel W, Forssmann B, et al. First clinical experience with extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. *J Urol*. 2017; 197(2S):160-163.
11. Argyropoulos AN, Tolley DA. Optimizing shock wave lithotripsy in the 21st century. *Eur Urol*. 2007; 52(2):344-352.
12. Wang CJ. Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders. *J Orthop Surg Res*. 2012; 7:11. DOI: 10.1186/1749-799X-7-11.
13. Mariotto S, de Prati AC, Cavalieri E, Amelio E, Marlinghaus E, Suzuki H. Extracorporeal shock wave therapy in inflammatory diseases: molecular mechanism that triggers anti-inflammatory action. *Curr Med Chem*. 2009; 16(19):2366-72. DOI: 10.2174/092986709788682119.
14. Li B, Wang R, Huang X, Ou Y, Jia Z, Lin S, Zhang Y, Xia H, Chen B. Extracorporeal Shock Wave Therapy Promotes Osteogenic Differentiation in a Rabbit Osteoporosis Model. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021 Mar 25; 12:627718. DOI: 10.3389/fendo.2021.627718.
15. Han H, Lee D, Lee S, Jeon C, Kim T. The effects of extracorporeal shock wave therapy on pain, disability, and depression of chronic low back pain patients. *J*

- Phys Ther Sci. 2015 Feb; 27(2):397-9. DOI: 10.1589/jpts.27.397.
16. Yin T-C, Wang C-J, Yang KD, Wang F-S, Sun Y-C. Shockwaves enhance the osteogenetic gene expression in marrow stromal cells from hips with osteonecrosis. *Chang Gung Med J.* 2011; 34(4):367-374.
17. Wang C-J, Sun Y-C, Wong T, Hsu S-L, Chou W-Y, Chang H-W. Extracorporeal shockwave therapy shows time-dependent chondroprotective effects in osteoarthritis of the knee in rats. *J Surg Res.* 2012; 178(1):196-205. DOI: 10.1016/j.jss.2012.01.010.
18. Cheng JH, Wang CJ. Biological mechanism of shockwave in bone. *Int J Surg.* 2015 Dec; 24(Pt B):143-6. DOI: 10.1016/j.ijsu.2015.06.059. Epub 2015 Jun 25. PMID: 26118613.
19. Romeo P, d'Agostino MC, Lazzarini A, Sansone VC. Extracorporeal shockwave therapy in pillar pain after carpal tunnel release: a preliminary study. *Ultrasound Med Biol.* 2011; 37(10):1603-1608.
20. Ahcan U, Arnez ZM, Bajrović F, Zorman P. Surgical technique to reduce scar discomfort after carpal tunnel surgery. *J Hand Surg Am.* 2002; 27(5):821-827.
21. Wang L, Jiang Y, Jiang Z, Han L. Effect of low-energy extracorporeal shock wave on vascular regeneration after spinal cord injury and the recovery of motor function. *Neuropsychiatr Dis Treat.* 2016 Aug 31; 12:2189-98. DOI: 10.2147/NDT.S82864.
22. Chen RF, Chang CH, Wang CT, Yang MY, Wang CJ, Kuo YR. Modulation of vascular endothelial growth factor and mitogen-activated protein kinase-related pathway involved in extracorporeal shockwave therapy accelerate diabetic wound healing. *Wound Repair Regen.* 2019 Jan; 27(1):69-79. DOI: 10.1111/wrr.12686.
23. van der Worp H, van den Akker-Scheek I, van Schie H, Zwerver J. ESWT for tendinopathy: technology and clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013 Jun; 21(6):1451-8. DOI: 10.1007/s00167-012-2009-3.
24. Wu YT, Chang CN, Chen YM, Hu GC. Comparison of the effect of focused and radial extracorporeal shock waves on spastic equinus in patients with stroke: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018 Aug; 54(4):518-525. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04801-8.
25. Amelio E, Manganotti P: Effect of shock wave stimulation on hypertonic plantar flexor muscles in patients with cerebral palsy: a placebo-controlled study. *J Rehabil Med.* 2010; 42:339-343.
26. Dymarek R, Taradaj J, Rosińczuk J. The Effect of Radial Extracorporeal Shock Wave Stimulation on Upper Limb Spasticity in Chronic Stroke Patients: A Single-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Study. *Ultrasound Med Biol.* 2016 Aug; 42(8):1862-75. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.03.006.
27. Dymarek R, Ptazkowska K, Ptazkowska L, Kowal M, Sopol M, Taradaj J, Rosińczuk J. Shock Waves as a Treatment Modality for Spasticity Reduction and Recovery Improvement in Post-Stroke Adults - Current Evidence and Qualitative Systematic Review. *Clin Interv Aging.* 2020 Jan 6; 15:9-28. DOI: 10.2147/CIA.S221032.
28. Yang E, Lew HL, Özçakar L, Wu CH. Recent Advances in the Treatment of Spasticity: Extracorporeal Shock Wave Therapy. *J Clin Med.* 2021 Oct 14; 10(20):4723. DOI: 10.3390/jcm10204723.
29. Kenmoku T, Nobuyasu O, Ohtori S, et al: Degeneration and recovery of the neuromuscular junction after application of extracorporeal shock wave therapy. *J Orthop Res* 2012; 30:1660-1665.
30. Troncati F, Paci M, Myftari T, Lombardi B. Extracorporeal Shock Wave Therapy reduces upper limb spasticity and improves motricity in patients with chronic hemiplegia: a case series. *NeuroRehabilitation.* 2013; 33(3):399-405. DOI: 10.3233/NRE-130970.
31. Manganotti P, Amelio E. Long-term effect of shock wave therapy on upper limb hypertonia in patients affected by stroke. *Stroke.* 2005; 36:1967-1971.
32. Mihai EE, Dumitru L, Mihai IV, Berteanu M. Long-Term Efficacy of Extracorporeal Shock Wave Therapy on Lower Limb Post-Stroke Spasticity: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Clin Med.* 2020 Dec 29; 10(1):86. DOI: 10.3390/jcm10010086.
33. Vidala X, Morral A, Costab L, et al. Radial extracorporeal shock wave therapy (rESWT) in the treatment of spasticity in cerebral palsy: a randomized, placebo-controlled clinical trial. *NeuroRehabilitation.* 2011; 29:413-419.
34. Marinelli L, Mori L, Solaro C, Uccelli A, Pelosin E, Currà A, Molfetta L, Abbruzzese G, Trompetto C. Effect of radial shock wave therapy on pain and muscle hypertonia: a double-blind study in patients with multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2015 Apr; 21(5):622-9. DOI: 10.1177/1352458514549566.
35. Kim JC, Jung SH, Lee SU, Lee SY. Effect of extracorporeal shockwave therapy on carpal tunnel syndrome: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore).* 2019 Aug; 98(33):e16870. DOI: 10.1097/MD.00000000000016870.
36. Raissi GR, Ghazaei F, Forogh B, et al. The effectiveness of radial extracorporeal shock waves for treatment of carpal tunnel syndrome: a randomized clinical trial. *Ultrasound Med Biol.* 2017; 43:453-460.
37. Park HJ, Hong J, Piao Y, Shin HJ, Lee SJ, Rhyu IJ, Yi MH, Kim J, Kim DW, Beom J. Extracorporeal shockwave therapy enhances peripheral nerve remyelination and gait function in a crush model. *Adv Clin Exp Med.* 2020 Jul; 29(7):819-824. DOI: 10.17219/acem/122177.
38. Ioppolo F, Tattoli M, Di Sante L, et al. Clinical improvement and resorption of calcifications in calcific tendinitis of the shoulder after shock wave therapy at 6 months' follow-up: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013; 94:1699-706.
39. Notarnicola A, Maccagnano G, Gallone MF, Mastromauro L, Rifino F, et al. Extracorporeal shockwave therapy versus exercise program in patients with low back pain: short-term results of a randomised controlled trial. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2018; 32(2):385-389.

40. Lee S, Lee D, Park J. Effects of extracorporeal shockwave therapy on patients with chronic low back pain and their dynamic balance ability. *J Phys Ther Sci*. 2014; 26(1):7-10.
41. Walewicz K, Taradaj J, Rajfur K, Ptaszkowski K, Kuszewski MT, Sopol M, Dymarek R. The Effectiveness of Radial Extracorporeal Shock Wave Therapy In Patients With Chronic Low Back Pain: A Prospective, Randomized, Single-Blinded Pilot Study. *Clin Interv Aging*. 2019 Oct 30; 14:1859-1869. DOI: 10.2147/CIA.S224001.

УДК 615.837

APPLICATION OF SHOCK WAVE THERAPY IN NEUROREHABILITATION (LITERATURE REVIEW)

T.G. Bakaliuk¹, I.B. Gordiychuk², H.O. Stelmakh¹,
N.R. Makarchuk¹, V.M. Stoliarchuk¹

¹ I.Horbachevsky Ternopil National Medical University,
Ministry Of Health Of Ukraine, Department Of Medical
Rehabilitation, Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-7619-0264,
e-mail: bakalukth@tdmu.edu.ua;
ORCID ID: 0000-0003-2992-3274,
e-mail: stelmakh_ho@tdmu.edu.ua;
ORCID ID: 0000-0001-5196-1619,
e-mail: makarchuk@tdmu.edu.ua;
ORCID ID: 0000-0002-3054-0580,
e-mail: stolyarchuk_vlamyk@tdmu.edu.ua;

²The first ESWT privat emedical clinic of the Ternopil city,
Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2066-0930,
e-mail: shockwave.ternopil@gmail.com

Abstract. The review presents current literature data on the use of shock wave therapy (SWT) in neurorehabilitation. In recent years, the development of this method is progressing. The uniqueness of the method lies in the wide and safe range of its capabilities used in various fields of medicine, including the rehabilitation of neurological diseases. It is indicated that SWT works by emitting acoustic waves (shock waves) that carry energy and can propagate through tissues, focus on a given area of the body, exerting a precisely directed therapeutic effect, without damaging other tissues of the body. It has been noted that shock waves can generate interstitial and extracellular responses, causing many beneficial effects such as pain relief, vascularization, protein biosynthesis, cell proliferation, neuro- and chondroprotection, and

destruction of calcium deposits in musculoskeletal structures. The combination of these effects can lead to tissue regeneration and significant pain relief, improving functional outcomes in damaged structures. Given these facts, SWT demonstrates great potential as a useful method of regenerative medicine for the treatment of various pathologies. It is emphasized that the modern concept of tissue regeneration is closely related to neoangiogenesis. This is a new interpretation of the therapeutic effect and opens new horizons for the use of SWT, in addition to traditional orthopedic applications. In recent years, SWT has been shown to be a safe and effective method of reducing muscle spasticity. Possible mechanisms include nitric oxide formation, decreased excitability of motor neurons, induction of neuromuscular dysfunction, and direct effects on rheological properties. It has also been investigated that SWT can affect neuromuscular junctions, causing degeneration and a decrease in acetylcholine receptors, which in turn causes a significant reduction in maximal muscle action potential. A large number of clinical studies evaluating the effect of SWT on muscle spasticity in patients after stroke have shown that the use of SWT helps reduce pain, improve muscle strength, stimulate revascularization and neurogenesis. Also, the use of SWT improves motor function, reduces pain and restores functional independence in patients with post-stroke spasticity. Decreased muscle tone was also observed in children with cerebral palsy. Radial SWT reduces pain and muscle tone in patients with multiple sclerosis without side effects. SWT has been used also to treat carpal tunnel syndrome as a new and non-invasive method. It is noted that during the experimental study it was found that under the influence of SWT is the regeneration of neurons by accelerating the elimination of the damaged axon, increasing the proliferation of Schwann cells and increasing the regeneration of axons. It is emphasized that the mechanism of SWT in pinching neuropathy has not been fully studied, but two main effects, such as anti-inflammatory and neuronal regeneration effect, are potential recovery mechanisms in this pathology. SWT can be successfully used in neurological diseases to relieve pain, spastic and tunnel syndromes, inflammatory processes and to improve overall functional status. Potential new uses for SWT include spasticity, neuropathic changes, and other neurological disorders. Due to its non-invasive approach, lack of major side effects, recurrence, good tolerability and compliance with patients, SWT offers new rehabilitation perspectives in neurology.

Keywords: shock wave therapy; neuroprotection, spasticity, tunnel syndrome, neurorehabilitation.

Стаття надійшла в редакцію 27.01.2022 р.
Стаття прийнята до друку 22.03.2022 р.