

**THE EFFECT OF ULTRASONIC WAVE THERAPY ON THE PERIPHERAL NERVE  
IN THE TREATMENT OF CARPAL TUNNEL SYNDROME**

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

[dr.Tkachenkoss@gmail.com](mailto:dr.Tkachenkoss@gmail.com)

*Due to the prevalence of tunnel syndromes in the structure of the entire pathology of the peripheral nervous system and the lack of unambiguous data on the effectiveness of shock wave therapy in their treatment, the topic of the effect of ultrasound waves on the nerve remains relevant. The aim is analysis of data over the past 5 years on physiological changes in the peripheral nerve under the influence of ultrasound waves and the effectiveness of the use of shock wave therapy in the treatment of carpal tunnel syndrome. The use of extracorporeal shock wave therapy (ESWT) in clinical practice is based on the biological effect of ultrasound, caused by mechanotransduction with the launch of sequential biochemical processes that promote tissue regeneration and healing. SWT modulates nerve conduction in nerve fibers both directly and through changes in microcirculation, that is manifested in an increase in the speed of nerve impulse conduction mainly in sensory nerve fibers. Low-intensity low-frequency ultrasound stimulates the production of neurotrophic factors, improves angiogenesis and remyelination. When using low-frequency ultrasound, suppression of evoked muscle potentials was observed along with histologically detected structural damage of the peripheral nerve. There are a number of studies that prove the positive effect of the use of ultrasound waves in the treatment of CTS. Focal application of ESWT demonstrates improvement in distal motor and sensory latency, and the use of radial SWT increases the bioelectric activity of mainly sensory fibers. Ultrasound therapy, in general, causes a positive effect, acting on several pathogenetic links at once, reducing the intensity of the pain syndrome and modulating the conductivity of peripheral nerves.*

**Key words:** shock wave therapy, nerve, tunnel syndrome, ultrasound, nerve conduction.

**Connection of the publication with planned research work.**

The review article is part of the research project: "Compensatory-adaptive reactions of the central and peripheral nervous system in normal and pathological conditions", state registration number 0123U100034.

**Introduction.**

Tunnel syndromes are a group of diseases that account for 23-40% of all diseases of the peripheral nervous system. The cause is local compression and ischemia of peripheral nerves, characterized by pain and/or decreased function (motor and sensory) [1]. Among people engaged primarily in manual labor, the frequency of compression neuropathies of the upper extremities, depending on the specifics of professional activity, is 40-80% [2, 3]. Carpal tunnel syndrome (CTS) is one of the main causes of temporary disability and can represent a significant economic burden for both individual companies and the country's economy as a whole [4]. Given the previous positive clinical results with confirmed significant pain reduction and improvement in functional activity, shock wave therapy (SWT) is considered a promising non-invasive method of treatment of carpal tunnel syndromes [5, 6, 7]. However, there are still no clear conclusions regarding the mechanisms and effectiveness of this treatment method.

**The aim of the study.**

To summarize data from the last 5 years regarding the physiological mechanisms of the effect of ultrasound waves on peripheral nerve structures and the results of the use of ultrasound in the treatment of CTS.

**Main part.**

*The concept of shock wave therapy.* Shock waves with a frequency of 16 Hz to 20 MHz differ fundamentally from sound waves from other sources in their higher positive pressure amplitude over 100 MPa (compression), short pulse duration less than 1  $\mu$ s, rapid rise in

peak pressure amplitude (less than 10 ns with a steep leading edge and the presence of a gentle trailing edge), which is replaced by a long and low-amplitude negative phase (stretching). The unique waveform allows energy to be delivered to distant targets and minimizes the impact on surrounding tissues. In the first phase, positive waves lead to high pressure at the interface, causing either reflection or transmission and gradual absorption of energy. In the second phase, negative waves cause cavitation at the tissue interface, which leads to the formation of bubbles and their subsequent rupture with high energy, which induces a second shock wave [8, 9]. It has been established that shock wave pulses of the microsecond range in the range from 0.1-0.5 MPa to 20 MPa in amplitude have a therapeutic effect on tissues and organs [10]. The effectiveness of SWT can be affected by air pressure, energy flux density in mJ/mm<sup>2</sup>, number of pulses and frequency in Hz, and penetration depth [11].

Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) is the most commonly used in clinical practice. There are three main types of ESWT: focused shockwave therapy (fSWT), which delivers high-energy acoustic waves to a specific point deep within the body; radial shockwave therapy (rSWT), which delivers energy over a larger area (5-20 mm<sup>2</sup>, not exceeding 20-40 mm) [12]; planar shockwave therapy (pSWT), which delivers energy in parallel beams; and low-intensity pulsed ultrasound (medium-frequency pulsed waves to accelerate healing through mechanotransduction) [13, 14, 15].

*The effect of ultrasound on the nerve.* ESWT is based on the tension and compression of cells and tissues, passing through different media [10]. Shock waves exert a mechanical effect through mechanotransduction [16] – the conversion of mechanical signals into a cascade of biochemical processes related to cellular activity and metabolism and contributing to tissue regeneration and healing [17].

SWT is able to change the parameters of nerve conduction in peripheral nerves: reduce the medium-term latency of the action potential and increase the speed of its conduction in sensitive nerve fibers in both the short and medium term, and also has some excitatory effect [18].

In peripheral nervous tissue, mechanotransduction occurs through several main types of receptors and mechanosensitive molecules that translate physical forces into biochemical signals. Short-term mechanical impulses deform the cell membrane, activate mechanosensitive channels, which induce the release of ATP into the extracellular space. ATP binds mainly to purinergic metabotropic receptors of the P2Y type (and partially to ionotropic P2X receptors), which leads to the activation of G-protein-coupled signal transduction and the initiation of the Ras-Raf-MEK-ERK1/2 cascade; This results in phosphorylation of ERK1/2, their translocation to the nucleus and accumulation in the nuclei of Schwann cells, where p-ERK1/2 activates transcription factors and stimulates the expression of genes responsible for cell cycle regulation, cell survival and metabolic activity, and also phosphorylates CREB protein - a key nuclear regulator of neuroplasticity, which induces the transcription of Thioredoxin-1. It is a protein with pronounced antioxidant, neurotrophic and anti-apoptotic properties, which promotes cell proliferation and supports regenerative processes in nervous tissue [19, 20].

ESWT also has a significant effect on the repair and regeneration of nervous tissue by increasing local blood flow: it mechanically induces shear stress on the vascular endothelium, generating frictional forces on its surface. [21]. Endothelial cell proliferation, angiogenic gene expression, and AKT and ERK phosphorylation are enhanced in a dose-dependent manner up to an energy flux density of 0.15 mJ/mm<sup>2</sup> [22].

Low-intensity pulsed ultrasound stimulation (LIUS) promotes the activation of key cellular processes in nerve regeneration: by transmitting mechanical signals, it enhances the function of Schwann cells, increases the production of neurotrophic factors, such as brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and nerve growth factor (NGF), improves angiogenesis, and promotes both axonal growth and remyelination [23, 24].

Low-intensity low-frequency ultrasound exposure demonstrates intensity-dependent neuromodulation of the peripheral nerve: with short pulses, it enhances electromyographic responses, and with prolonged exposure, it causes their suppression. The process occurs through mechanical activation of mechanosensitive ion channels on neuronal membranes, which change cation fluxes, causing depolarization or hyperpolarization of nerve fibers depending on the parameters of ultrasound [25].

There is information on the effect of focused ultrasound stimulation (FUS) on the peripheral nerve of the rat in vivo. As a result, FUS did not induce reliable action potentials in peripheral nerve fibers, but low-amplitude artifactual signals were observed: with indirect stimulation through the skin, a slight increase in temperature (25→33-37.5°C) and sometimes reflex reactions were observed. With direct exposure to the nerve with low-frequency ultrasound (0.25-0.5 MHz), the amplitude of the total action potentials of the muscle and nerve decreased and the latency was prolonged with possible

conduction blockade for up to a week. A stronger suppression of evoked muscle potentials together with histologically detected structural damage to the peripheral nerve was observed when using ultrasound of the low frequency range compared to high frequencies.

When FUS was directly applied to peripheral nerve ex vivo, action potentials were not evoked at any intensity; however, a reduction in the latency of evoked action potentials of A and C fibers was observed, indicating a neuromodulatory effect [26].

*The effectiveness of ultrasound therapy in CTS.* There are a number of studies that prove the positive effect of using ultrasound waves in the treatment of CTS. Thus, the use of focal SWT with an energy of 0.01-0.15 mJ/mm<sup>2</sup> and 4-5 Hz, 1500 pulses per session, 1 time per week, 3 sessions, showed a positive effect on the 3rd week with an improvement in distal motor and sensory latency.

Another study demonstrated a significant reduction in pain intensity and a moderate reduction in median nerve cross-sectional area after 4 sessions of ESWT in 18 patients with mild to moderate CTS, compared to traditional treatment with immobilization and electrical stimulation, for 2 weeks [27].

The aim of the next study was to compare the effectiveness of rSWT at low (1.5 bars) and high (4.0 bars) pressures in patients with moderate CTS. Each patient underwent 4 sessions of rSWT (once a week). High pressure (4.0 bars) stimulation showed better results in median nerve conduction parameters and functional status compared to low pressure, with a small to moderate effect [28].

A study of 16 patients with confirmed CTS who underwent radial shockwave therapy once a week for 5 weeks with parameters of 1500 pulses, 10 Hz, 1.5 bar pressure on the carpal tunnel area demonstrated an improvement in the speed of nerve impulse conduction in sensory fibers by 10%, an increase in its amplitude by 24%, and a decrease in latency by 11%. No significant changes in these parameters were found for motor fibers, but there was a tendency for an increase in the number of involved fibers with a simultaneous decrease in their size [29].

The results of a study of the effectiveness of fESWT for carpal tunnel syndrome in patients with lymphedema of the arm after mastectomy showed a significant reduction in pain intensity on a visual analogue scale, symptom severity and limb volume, as well as a reduction in sensory and motor distal latency [30].

### Conclusions.

Ultrasound therapy, in general, causes a positive effect, acting on several pathogenetic links at once. The result is a decrease in the intensity of the pain syndrome and modulation of the functional state of peripheral nerves, in both directions, due to both direct influence and indirectly through effects in the surrounding structures. Compared with electrical stimulation, ultrasound waves do not significantly cause excitation of nerve fibers, which is an advantage over electrotherapy. On the other hand, the use of low-frequency focused ultrasound can dose-dependently cause temporary long-term blocking of the conductive function and even structural damage to the nerves under conditions of direct influence.

**Prospects for further research.**

The use of ultrasound in the treatment of carpal tunnel syndrome is a promising non-invasive therapeutic method, however, due to the multidirectional effects in the nervous tissue, caused by the amplitude-frequency

characteristics of mechanical impulses, the technique requires further neurophysiological research to develop safe and at the same time effective physiotherapeutic treatment regimens for SWT.

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-116-122

УДК 612.83:612.662.9:618.173-073.7/-076-085:615.2.1-092.9

Ткаченко С. С., Родинський О. Г., Портняга М. М.

**ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ НА ПЕРИФЕРИЧНИЙ НЕРВ  
ПРИ ЛІКУВАННІ ТУНельНОГО СИНДРОМУ**

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

[dr.Tkachenkoss@gmail.com](mailto:dr.Tkachenkoss@gmail.com)

*Через розповсюдженість тунельних синдромів в структурі всієї патології периферичної нервової системи та відсутність однозначних даних щодо ефективності ударно-хвильової терапії при їх лікуванні тема впливу ультразвукових хвиль на нерв залишається актуальною. Мета: аналіз даних за останні 5 років щодо фізіологічних змін в периферичному нерві під впливом ультразвукових хвиль та ефективності застосування ударно-хвильової терапії в лікуванні синдрому карпального каналу. Використання в клінічній практиці екстракорпоральної УХТ (ЕУХТ) базується на біологічному впливі ультразвуку, зумовленому механотрансдукцією із запуском послідовних біохімічних процесів, що сприяють регенерації та загоєнню тканин. УХТ модулює провідність нервових волокон як напряму, так і через зміни мікроциркуляції, що проявляється в збільшенні швидкості проведення нервового імпульсу переважно в сенсорних нервових волокнах. Низькоінтенсивний низькочастотний ультразвук стимулює вироблення нейротрофічних факторів, покращує ангиогенез та ремієлінізацію. При використанні ультразвуку низькочастотного діапазону спостерігалось пригнічення викликаних м'язових потенціалів разом з гістологічно виявленими структурними ушкодженнями периферичного нерву. Є низка досліджень, що доводять позитивний ефект від використання ультразвукових хвиль при лікуванні КТС. Фокусне застосування ЕУХТ демонструє покращення дистальної моторної та сенсорної латентності, а використання радіальної УХТ збільшує біоелектричну активність переважно сенсорних волокон. Ультразвукова терапія, в цілому, спричиняє позитивний ефект, діючи одразу на декілька патогенетичних ланок, знижуючи інтенсивність болювого синдрому та модулюючи провідність периферичних нервів.*

**Ключові слова:** ударно-хвильова терапія, нерв, тунельний синдром, ультразвук, нервова провідність.

**Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.**

Ця оглядова стаття є частиною науково-дослідного роботи «Компенсаційно-адаптивні реакції центральної та периферичної нервової системи в нормальних та патологічних умовах», номер державної реєстрації 0123U100034.

**Вступ.**

Тунельні синдроми – це група захворювань, що становлять 23-40% усіх захворювань периферичної нервової системи. Причиною є локальна компресія та ішемія периферичних нервів, що характеризується болем та/або зниженням їх функцій (рухових і чутливих) [1]. Серед осіб, зайнятих переважно ручною працею, частота компресійних нейропатій верхніх кінцівок залежно від специфіки професійної діяльності становить 4080% [2, 3]. Карпальний тунельний синдром (КТС) є однією з основних причин тимчасової непрацездатності і може становити значний економічний тягар як для окремих компаній, так і для економіки країни загалом [4]. З огляду на попередні позитивні клінічні результати із підтвердженням значним зменшенням болю та покращенням функціональної активності, в якості перспективного неінвазивного методу лікування тунельних синдромів розглядається ударно-хвильова терапія (УХТ) [5, 6, 7]. Проте досі немає однозначних висновків щодо ефективності цього методу лікування.

**Мета дослідження.**

Узагальнення даних за останні 5 років стосовно фізіологічних механізмів впливу ультразвукових хвиль на структури периферичного нерву та результатів застосування УХТ в лікуванні КТС.

**Основна частина.**

*Поняття про ударно-хвильову терапію.* Ударні хвилі частотою від 16 Гц до 20 МГц кардинально відрізняються від звукових хвиль інших джерел вищою позитивною амплітудою тиску (стиснення) (понад 100 МПа), короткою тривалістю імпульсу (менше 1 мкс), швидким наростанням пікової амплітуди тиску (менше 10 нс з крутим переднім фронтом та наявністю пологого заднього фронту), що змінюється тривалою та низькою за амплітудою негативною фазою (розтягування). Унікальна форма хвилі дозволяє доставляти енергію до віддалених цілей і мінімізувати вплив на навколишні тканини. На першій фазі позитивні хвилі призводять до високого тиску на межі розділу, викликаючи або відбиття, або проходження і поступове поглинання енергії. На другій фазі негативні хвилі викликають явище кавітації на межі розділу тканин, що призводить до утворення бульбашок і їх подальшого розриву з високою енергією, що індукує другу ударну хвилю [8, 9]. Встановлено, що терапевтичну дію на тканини та органи мають ударнохвильові імпульси міросекундного діапазону в межах від 0.1-0.5 МПа до 20 МПа за амплітудою [10]. На ефективність УХТ можуть впливати тиск повітря,

щільність енергетичного потоку в мДж/мм<sup>2</sup>, кількість імпульсів і частота в Гц, глибина проникнення [11].

У клінічній практиці переважно застосовується екстракорпоральна УХТ (ЕУХТ). Існує три основні типи ЕУХТ – фокусована ударно-хвильова терапія (ФУХТ) – точні високоенергетичні акустичні хвилі впливають на конкретну точку, розташовану глибоко в організмі; радіальна ударно-хвильова терапія (рУХТ) – розподіляє енергію на більшій площі (в межах 5-20 мм<sup>2</sup>, не перевищує 20-40 мм) [12]; планарна ударно-хвильова терапія (пУХТ – енергія поширюється паралельними пучками) та низькоінтенсивний імпульсний ультразвук (імпульсні хвилі середньої частоти для прискорення загоєння за допомогою механотрансдукції) [13, 14, 15].

*Вплив ультразвуку на нерв.* ЕУХТ засновується на з натягу і стисненні клітин і тканин, проходячи через різні середовища [10]. Ударні хвилі чинять механічний вплив за допомогою механотрансдукції [16] – перетворення механічних сигналів у каскад біохімічних процесів, що стосуються клітинної активності та метаболізму та сприяють регенерації та загоєнню тканин [17].

УХТ здатна змінювати параметри нервової провідності у периферичних нервах: зменшувати середньострокову латентність потенціалу дії та збільшується швидкість його проведення в чутливих нервових волокнах як в короткостроковій, так і в середньостроковій перспективі, а також має деякий збудливий ефект [18].

У периферичній нервовій тканині механотрансдукція відбувається через кілька основних типів рецепторів і механочутливих молекул, які переводять фізичні сили в біохімічні сигнали. Короточасні механічні імпульси деформують клітинну мембрану, активують механочутливі канали, що індукують вивільнення у позаклітинний простір АТФ. Остання зв'язується переважно з пуринергічними метаболітами рецепторами типу P2Y (а частково – з іонотропними рецепторами P2X), що призводить до активації G-білок-залежної сигнальної трансдукції та ініціації каскаду Ras-Raf-MEK-ERK1/2; внаслідок цього відбувається фосфорилування ERK1/2, їх транслокація до ядра та накопичення в ядрах клітин Шванна, де p-ERK1/2 активує транскрипційні фактори та стимулює експресію генів, відповідальних за регуляцію клітинного циклу, виживання клітин і метаболічну активність, а також фосфорилує CREB-білок – ключовий ядерний регулятор нейропластичності, який індукує транскрипцію Тіоредоксін-1, білка з вираженими антиоксидантними, нейротрофічними та антиапоптичними властивостями, що сприяє проліферації клітин і підтримці регенеративних процесів у нервовій тканині [19, 20].

ЕУХТ також має значний вплив на відновлення та регенерацію нервової тканини через збільшення місцевого кровообігу: вона механічно призводить до напруги зсуву судинного ендотелію, генеруючи силу тертя на його поверхні. [21]. Проліферація ендотеліальних клітин, експресія ангіогенних генів та фосфорилування АКТ та ERK посилюються дозозалежним чином до досягнення щільності потоку енергії 0,15 мДж/мм<sup>2</sup> [22].

Низькоінтенсивна імпульсна ультразвукова стимуляція (НІУС) сприяє активації ключових клітинних

процесів відновлення нервів: шляхом передачі механічних сигналів посилює функцію клітин Шванна, підвищує вироблення нейротрофічних факторів, таких як нейротрофічний фактор мозку (BDNF) та фактор росту нервів (NGF), покращує ангіогенез та сприяє як росту аксонів, так і ремієлінізації [23, 24].

Низькоінтенсивний низькочастотний ультразвуковий вплив демонструє інтенсивнісно-залежну нейромодуляцію периферичного нерва: при коротких імпульсах підсилюючи ЕМГ-відповіді, а при тривалому впливі викликаючи їх пригнічення. Процес відбувається через механічну активацію механочутливих іонних каналів на мембранах нейронів, що змінюють потоки катіонів, спричинюючи деполаризацію або гіперполаризацію нервових волокон залежно від параметрів ультразвуку [25].

Є дані щодо впливу сфокусованої ультразвукової стимуляції (ФУС) на периферичний нерв щура *in vivo*. В результаті ФУС не викликала надійних потенціалів дії у периферичних нервових волокнах, проте спостерігалися низькоамплітудні артефактні сигнали: при непрямій стимуляції через шкіру спостерігалось незначне підвищення температури (25→33–37,5 °С) та інколи рефлекторні реакції. При прямому впливі на нерв ультразвуку низької частоти (0,25-0,5 МГц) знижувалась амплітуда сумарних потенціалів дії м'язу і нерву та подовжувалась латентність з можливим блокуванням проведення до тижня. Більш сильне пригнічення викликаних м'язових потенціалів разом з гістологічно виявленими структурними ушкодженнями периферичного нерву спостерігалось при використанні ультразвуку низькочастотного діапазону порівняно з високими частотами.

При безпосередньому застосуванні ФУС до периферичного нерва *ex vivo* потенціали дії не викликалися за жодної інтенсивності; проте спостерігалось зменшення латентності викликаних потенціалів дії волокон А і С, що вказує на нейромодуляційний ефект [26].

*Ефективність УХТ при КТС.* Існує низка досліджень, що доводять позитивний ефект від використання ультразвукових хвиль при лікуванні КТС. Так, застосування фокусної ЕУХТ з енергією 0.01-0.15 мДж/мм<sup>2</sup> і 4-5 Гц, 1500 імпульсів за сеанс, 1 раз на тиждень, 3 сеанси, показало позитивний ефект на 3-му тижні із покращенням дистальної моторної та сенсорної латентності.

Інше дослідження продемонструвало суттєве зниження інтенсивності больового синдрому та помірне зменшення площі поперечного перерізу середнього нерву після застосування 4 сеансів ЕУХТ у 18 пацієнтів із КТС легкого та середнього ступеня важкості, на фоні традиційного лікування з іммобілізацією та електростимуляцією, протягом 2 тижнів [27].

Метою наступного дослідження було порівняти ефективність рУХТ при низькому (1,5 bars) та високому (4,0 bars) тиску у пацієнтів з помірним КТС. Кожен пацієнт пройшов 4 сеанси рУХТ (1 раз на тиждень). Високий тиск (4,0 bars) стимуляції показав кращі результати в параметрах нейропровідності середнього нерва та функціональному статусі порівняно з низьким тиском, з малим, допомірним ефектом [28].

Дослідження на 16 пацієнтах із підтвердженим КТС, що проходили радіальну ударно-хвильову терапію 1 раз на тиждень протягом 5 тижнів з пара-

метрами 1500 імпульсів, 10 Гц, 1,5 бар тиску на зону карпального каналу, продемонструвало поліпшення швидкості проведення нервового імпульсу сенсорними волокнами на 10%, збільшення його амплітуди на 24% та зменшення латентності на 11%. Достовірних змін зазначених параметрів для моторних волокон виявлено не було., проте спостерігалась тенденція до збільшення кількості залучених із одночасним зменшенням їх розміру [29].

Результати дослідження ефективності фЕУХТ при карпальному тунельному синдромі у пацієнок із лімфедемою руки після мастектомії показали значне зменшення інтенсивності болю за візуально-аналоговою шкалою, тяжкості симптомів та об'єму кінцівок, а також зменшення сенсорної та моторної дистальної латентності [30].

#### Висновки.

Ультразвукова терапія, в цілому, спричиняє позитивний ефект, діючи одразу на декілька патогенетичних ланок. Результатом є зниження інтенсивності больового синдрому та модуляція функціонального

стану периферичних нервів, при чому в обох напрямках, зумовлена як прямим впливом, так і опосередковано через ефекти в навколишніх структурах. Порівняно з електростимуляцією, ультразвукової хвилі достатньо не викликають збудження нервових волокон, що є перевагою перед електролікуванням. З іншого боку, застосування низькочастотного сфокусованого ультразвуку здатно дозозалежно викликати тимчасове тривале блокування провідної функції та навіть структурне пошкодження нервів за умов прямого впливу.

#### Перспективи подальших досліджень.

Застосування ультразвуку при лікуванні тунельного синдрому є перспективним неінвазивним терапевтичним методом, проте через різнонаправленість ефектів в нервовій тканині, обумовленій амплітудо-частотними характеристиками механічних імпульсів, методика потребує подальшого нейрофізіологічного дослідження для розробки безпечних та водночас ефективних схем фізіотерапевтичного лікування УХТ.

### References / Література

1. Rekalov DG, Holovach IY, Daniuk IO, Ryndina NH. Tunelni syndromy verkhnikh kintsivok u praktyci revmatoloha: yak vybratysya z tuncylyu? Ukr. Rheumatol. J. 2025;101(3):23-29. DOI: [10.32471/rheumatology.2707-6970.19996](https://doi.org/10.32471/rheumatology.2707-6970.19996). [in Ukrainian].
2. Rekalov DG, Holovach IY. Neiropatii pid tyskom: pohliad na tunelni syndromy. Ukrainian Med J. 2025;8(174):3-7. DOI: [10.32471/umj.1680-3051.272147](https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.272147). [in Ukrainian].
3. Gebrye T, Jeans E, Yeowell G, Mbada C, Fatoye F. Global and regional prevalence of carpal tunnel syndrome: a meta-analysis based on a systematic review. Musculoskelet Care. 2024;22(4):e70024. DOI: [10.1002/msc.70024](https://doi.org/10.1002/msc.70024).
4. Volosovets AO. Suchasnyi pidkhid do korektsii nevrolohichnoho defitsytu vnaslidok karpalnoho tunelnoho syndromu. Zdorovya Ukrainy. 2024;2:18-19. Dostupno: <https://health-ua.com/neurology/zaxvoriuvannia-perifericnix-nerviv/77911-suchasnij-pdhd-dokorektsii-nevrologichnoho-defitsitu-vnaslidok-karpalnoho-tuneln>. [in Ukrainian].
5. Tezen Ö, Bilir EE, Arslan HB, Adıgüzel E, Yaşar E. Investigation of the effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in patients diagnosed with plantar fasciitis: comparison of radial and focus applications. J Foot Ankle Surg. 2025;64(1):36-41. DOI: [10.1053/j.jfas.2024.08.012](https://doi.org/10.1053/j.jfas.2024.08.012).
6. Elgendy MH, Khalil SE, ElMeligie MM, Elazab DR. Effectiveness of extracorporeal shockwave therapy in treatment of upper and lower limb tendinopathies: a systematic review and meta-analysis. Physiother Res Int. 2024;29(1):e2042. DOI: [10.1002/pri.2042](https://doi.org/10.1002/pri.2042).
7. Xiong Y, Wen T, Jin S, Lin L, Shao Q, Peng Y, et al. Efficacy and safety of extracorporeal shock wave therapy for upper limb tendinitis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Front Med (Lausanne). 2024;11:1394268. DOI: [10.3389/fmed.2024.1394268](https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1394268).
8. Cao B, Tang X, Liu C, Xu G, Lei M, Wu F, et al. Unlocking new frontiers: the cellular and molecular impact of extracorporeal shock wave therapy (ESWT) on central nervous system (CNS) disorders and peripheral nerve injuries (PNI). Exp Neurol. 2025;384:115052. DOI: [10.1016/j.expneurol.2024.115052](https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2024.115052).
9. Chen Y, Cai Q, Pan J, Zhang D, Wang J, Guan R, et al. Role and mechanism of micro-energy treatment in regenerative medicine. Transl Androl Urol. 2020;9(2):690-701. DOI: [10.21037/tau.2020.02.25](https://doi.org/10.21037/tau.2020.02.25).
10. Auersperg V, Trieb K. Extracorporeal shock wave therapy: an update. EFORT Open Rev. 2020;5(10):584-592. DOI: [10.1302/2058-5241.5.190067](https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.190067).
11. Guo J, Hai H, Ma Y. Application of extracorporeal shock wave therapy in nervous system diseases: a review. Front Neurol. 2022;13:963849. DOI: [10.3389/fneur.2022.963849](https://doi.org/10.3389/fneur.2022.963849).
12. Likuvalno-diahnostychnyy tsestr Meddiahnostyka. Udarno-khvylova terapiya shcho za protsedura, zastosuвання ta perevahy. Kyiv: Likuvalno-diahnostychnyy tsestr Meddiahnostyka. Dostupno: . [in Ukrainian].
13. Opara J, Taradaj J, Walewicz K, Rosińczuk J, Dymarek R. The current state of knowledge on the clinical and methodological aspects of extracorporeal shock waves therapy in the management of post-stroke spasticity-overview of 20 years of experiences. J Clin Med. 2021;10(2):261. DOI: [10.3390/jcm10020261](https://doi.org/10.3390/jcm10020261).
14. Central Ohio Spine and Joint. What is focused shockwave therapy? Benefits, conditions treated, and results. Central Ohio Spine and Joint; 2025. Available from: <https://cospineandjoint.com/focused-shockwave-therapy-benefits-conditions-results/>.
15. Xin Z, Lin G, Lei H, Lue TF, Guo Y. Clinical applications of low-intensity pulsed ultrasound and its potential role in urology. Transl Androl Urol. 2016;5(2):255-266. DOI: [10.21037/tau.2016.02.04](https://doi.org/10.21037/tau.2016.02.04).
16. Ryskalin L, Fulceri F, D'Agostino MC, Vetrano M, Vulpiani MC, Gesi M. Recent Advances in Shockwave Therapy for Musculoskeletal and Soft-Tissue Disorders. Life (Basel). 2025;15(12):1912. DOI: [10.3390/life15121912](https://doi.org/10.3390/life15121912).
17. Di X, Gao X, Peng L, Ai J, Jin X, Qi S, et al. Cellular mechanotransduction in health and diseases: from molecular mechanism to therapeutic targets. Signal Transduct Target Ther. 2023;8(1):282. DOI: [10.1038/s41392-023-01501-9](https://doi.org/10.1038/s41392-023-01501-9).
18. Guo J, Hai H, Ma Y. Application of extracorporeal shock wave therapy in nervous system diseases: A review. Front Neurol. 2022;13:963849. DOI: [10.3389/fneur.2022.963849](https://doi.org/10.3389/fneur.2022.963849).
19. Szwarc-Hofbauer D, Simböck E, Hromada C, Stoiber M, Tomasch J, Weitzer G, et al. Purinergic receptors play a key role in shock wave-induced proliferation. Sci Rep. 2025;15(1):19138. DOI: [10.1038/s41598-025-02955-3](https://doi.org/10.1038/s41598-025-02955-3).
20. Peng D, Tan Y, Reed-Maldonado AB, Lin G, Lue TF. Molecular mechanism of action of low-intensity extracorporeal shockwave therapy for regenerating penile and peripheral nerves. Turk J Urol. 2022;48(5):315-323. DOI: [10.5152/tud.2022.20419](https://doi.org/10.5152/tud.2022.20419).
21. Modena DAO, Soares CD, Candido EC, Chaim FDM, Cazzo E, Chaim EA. Effect of extracorporeal shock waves on inflammation and angiogenesis of integumentary tissue in obese individuals: stimulating repair and regeneration. Lasers Med Sci. 2022;37(2):1289-1297. DOI: [10.1007/s10103-021-03387-x](https://doi.org/10.1007/s10103-021-03387-x).
22. Pölzl L, Nägele F, Hirsch J, Graber M, Lobenwein D, Kirchmair E, et al. Defining a therapeutic range for regeneration of ischemic myocardium via shock waves. Sci Rep. 2021;11(1):409. DOI: [10.1038/s41598-020-79776-z](https://doi.org/10.1038/s41598-020-79776-z).
23. Li Z, Ye K, Yin Y, Zhou J, Li D, Gan Y, et al. Low-intensity pulsed ultrasound ameliorates erectile dysfunction induced by bilateral cavernous nerve injury through enhancing Schwann cell-mediated cavernous nerve regeneration. Andrology. 2023;11(6):1188-1202. DOI: [10.1111/andr.13406](https://doi.org/10.1111/andr.13406).

24. Peng DY, Reed-Maldonado AB, Lin GT, Xia SJ, Lue TF. Low-intensity pulsed ultrasound for regenerating peripheral nerves: potential for penile nerve. *Asian J Androl*. 2020;22(4):335-341. DOI: [10.4103/aja.aja\\_95\\_19](https://doi.org/10.4103/aja.aja_95_19).
25. Badawe HM, Mourad PD, Khraiche ML. Low-intensity ultrasound for controlled excitation and suppression in rat sciatic nerve. *Sci Rep*. 2025;15(1):34260. DOI: [10.1038/s41598-025-16407-5](https://doi.org/10.1038/s41598-025-16407-5).
26. Rodríguez-Meana B, Santos-Nogueira E, Trujillo-Vázquez S, Jakob A, Udina E, Fournelle M, et al. Assessment of focused ultrasound stimulation to induce peripheral nerve activity and potential damage in vivo. *Front Neurol*. 2024;15:1346412. DOI: [10.3389/fneur.2024.1346412](https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1346412).
27. Ghasemi A, Olyaei GR, Bagheri H, Hadian MR, Jalaei S, Otadi K, et al. A randomized clinical trial on the changing of median nerve cross-sectional area and pain after extracorporeal shock wave and low-level laser therapy added to conventional physical therapy in patients with mild-to-moderate carpal tunnel syndrome. *J Hand Ther*. 2024;37(4):555-562. DOI: [10.1016/j.jht.2023.12.009](https://doi.org/10.1016/j.jht.2023.12.009).
28. Ceylan İ, Kürtüncüoğlu B, Tuncay F, Canli M, Alkan H, Tayfur A. Comparison of high- and low-dose radial extracorporeal shock wave therapy in carpal tunnel syndrome. *Rev Assoc Med Bras (1992)*. 2025;71(3):e20241815. DOI: [10.1590/1806-9282.20241815](https://doi.org/10.1590/1806-9282.20241815).
29. Zong Y, Zhang H, Xu P, Chen M, Xie Q, Zhou P. Electrophysiological assessment of radial shock wave therapy for carpal tunnel syndrome. *Front Neurosci*. 2023;17:1251807. DOI: [10.3389/fnins.2023.1251807](https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1251807).
30. AbdelRazeq SS, Ashem HN, Elsebaie AM, Ali KM, Ibrahim MM. Efficacy of extracorporeal shock wave therapy on carpal tunnel syndrome post-mastectomy lymphoedema: a double-blind randomised, controlled study. *Physiol Quart*. 2025;33(3):95-103. DOI: [10.5114/pq/192351](https://doi.org/10.5114/pq/192351).

### ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ НА ПЕРИФЕРИЧНИЙ НЕРВ ПРИ ЛІКУВАННІ ТУНЕЛЬНОГО СИНДРОМУ

Ткаченко С. С., Родинський О. Г., Портняга М. М.

**Резюме.** Тунельні синдроми становлять 23-40% всієї патології периферичної нервової системи. В якості перспективного методу лікування тунельних синдромів розглядається ударно-хвильова терапія. Через відсутність однозначних даних щодо ефективності цього методу лікування питання потребує подальшого дослідження.

Мета – аналіз даних щодо механізмів впливу ультразвукових хвиль на периферичний нерв та ефективності застосування ударно-хвильової терапії в лікуванні синдрому карпального каналу.

У клінічній практиці переважно застосовується екстракорпоральна УХТ (ЕУХТ), що базується на чередуванні натягу і компресії тканин, проходячи через різні середовища. Біологічний вплив ультразвуку зумовлений механотрансдукцією із запуском послідовних біохімічних процесів, що сприяють регенерації та загоєнню тканин. УХТ здатна змінювати параметри нервової провідності у периферичних нервах як через прямий вплив, так і через модуляцію локального кровотоку. В результаті зменшується латентність потенціалу дії та збільшується швидкість його проведення переважно в сенсорних нервових волокнах як в короткостроковій, так і в середньостроковій перспективі; також є деякий збудливий ефект. Низькоінтенсивний низькочастотний ультразвуковий вплив підвищує вироблення нейротрофічних факторів, покращує ангиогенез та сприяє як росту аксонів, так і ремієлінізації. При використанні ультразвуку низькочастотного діапазону спостерігається пригнічення викликаних м'язових потенціалів разом з гістологічно виявленими структурними ушкодженнями периферичного нерву. Низка досліджень доводить позитивний ефект від використання ультразвукових хвиль при лікуванні КТС. Фокусне застосування ЕУХТ демонструє позитивний ефект на 3-му тижні із покращенням дистальної моторної та сенсорної латентності, тоді як використання радіальної УХТ збільшує біоелектричну активність переважно сенсорних волокон.

Ультразвукова терапія, в цілому, спричиняє позитивний ефект, діючи одразу на декілька патогенетичних ланок, знижуючи інтенсивність больового синдрому та модулюючи провідність периферичних нервів.

**Ключові слова:** ударно-хвильова терапія, нерв, тунельний синдром, ультразвук, нервова провідність.

### THE EFFECT OF ULTRASONIC WAVE THERAPY ON THE PERIPHERAL NERVE IN THE TREATMENT OF CARPAL TUNNEL SYNDROME

Tkachenko S. S., Rodinskii O. H., Portniaga M. M.

**Abstract.** Tunnel syndromes account for 23-40% of all pathologies of the peripheral nervous system. Shock wave therapy (SWT) is considered a promising method of treating tunnel syndromes. Due to the lack of unambiguous data on the effectiveness of this treatment method, the issue requires further research.

Aim is analysis of data on the mechanisms of ultrasound waves influence on the peripheral nerve and the effectiveness of the SWT using in the treatment of carpal tunnel syndrome.

In clinical practice, extracorporeal ultrasound therapy (ESWT) is mainly used, which is based on alternating tension and compression of tissues, passing through different environments. The biological effect of ultrasound is due to mechanotransduction with the launch of sequential biochemical processes that contribute to tissue regeneration and healing. SWT is able to change the parameters of peripheral nerves conduction both through direct influence and through modulation of local blood flow. As a result, the latency of the action potential decreases and the speed of its conduction increases, mainly in sensory nerve fibers, both in the short and medium term, and there is also some excitatory effect. Low-intensity low-frequency ultrasound exposure increases the production of neurotrophic factors, improves angiogenesis and promotes both axon growth and remyelination. When using low-frequency ultrasound, suppression of evoked muscle potentials was observed along with histologically detected structural damage to the peripheral nerve. A number of studies proving the positive effect of the use of ultrasound waves in the treatment of CTS. Focal application of ESWT demonstrates a positive effect at the 3rd week with an improvement in distal motor and sensory latency, while the use of radial SWT increases the bioelectric activity of mainly sensory fibers.

Ultrasound therapy, in general, has a positive effect, acting on several pathogenetic links at once, reducing the intensity of pain syndrome and modulating the conductivity of peripheral nerves.

**Key words:** shock wave therapy, nerve, tunnel syndrome, ultrasound, nerve conduction.

### ORCID and contribution / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Tkachenko S. S.: <https://orcid.org/0000-0002-8828-8349><sup>ABDEF</sup>

Rodynskii O. H.: <https://orcid.org/0000-0002-8011-6104><sup>BDE</sup>

Portniakha M. M.: <https://orcid.org/0009-0008-9169-5915><sup>ABCD</sup>

### Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

### Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Tkachenko Serhii Serhiiiovych / Ткаченко Сергій Сергійович

Dnipro State Medical University / Дніпровський державний медичний університет

Ukraine, 49044, Dnipro, 9 V. Vernadsky str. / Україна, 49044, м. Дніпро, вул. В. Вернадського 9

Tel.: +380950642471 / Тел.: +380950642471

E-mail: [dr.Tkachenkoss@gmail.com](mailto:dr.Tkachenkoss@gmail.com)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

This article is distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC-BY) License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited © All authors, 2026 / Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Received 01.11.2025 / Стаття надійшла 01.11.2025 року  
Accepted 04.03.2026 / Стаття прийнята до друку 04.03.2026 року  
Published 27.03.2026 / Опубліковано 27.03.2026 року

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-122-131

UDC 616-009.7-02:616-001.11

Fannane Aymane, Makarenko O. V.

## PAIN SYNDROME IN EXPLOSIVE BAROTRAUMA: PATHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS, CLINICAL CHARACTERISTICS, TREATMENT PRINCIPLES

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

[olgamakarenko977@gmail.com](mailto:olgamakarenko977@gmail.com)

Acoustic barotrauma (ABT) has gained particular relevance in recent decades due to the increasing impact of technogenic and military factors associated with blast wave exposure. Acoustic barotrauma is considered a complex of functional and morphological disturbances affecting the auditory organ, vestibular apparatus, and central neuronal structures, arising as a result of abrupt fluctuations in atmospheric or hydrostatic pressure, exposure to blast shock waves, as well as intense impulsive or prolonged high-intensity noise. Pain syndrome in ABT, particularly in combat conditions, is often characterized by a prolonged course with a tendency toward chronicity and the development of a neuropathic component.

Gabapentin and pregabalin are structural analogs of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) that exhibit high affinity for the  $\alpha 2\delta$ -1 subunit of voltage-gated calcium channels. Their pharmacological action involves reducing the presynaptic release of excitatory neurotransmitters, including glutamate, substance P, and norepinephrine, thereby suppressing both peripheral and central sensitization. In the context of acoustic barotrauma, these agents are of particular importance, as they are capable of reducing pathological neuronal activity in the dorsal cochlear nucleus and auditory brainstem structures, which is associated not only with pain development but also with manifestations such as tinnitus and hyperacusis.

Another important class of agents used in the treatment of neuropathic pain is antidepressants. Their analgesic effect is mediated through modulation of descending antinociceptive pathways, which originate in cortical and sub-cortical regions of the brain and are mediated via the periaqueductal gray and raphe nuclei. Activation of serotonergic and noradrenergic neurons leads to increased concentrations of these neurotransmitters in the dorsal horn of the spinal cord, where they inhibit the transmission of ascending nociceptive signals.

**Key words:** acoustic barotrauma, blast wave, pathogenetic aspects, pain syndrome, analgesic therapy, combination therapy, adjuvant analgesics.

### Connection of the publication with planned research work.

This research was conducted in accordance with the plan of the Department of Social Medicine, Public Health, and Health Care Management at Dnipro State Medical University on the topic: "Scientific justification

of strategies for preserving and restoring public health by influencing the determinants of health care system effectiveness," state registration number 0123U104849.

Introduction.

In the late 20th and early 21st centuries, the problem of blast-related injuries has gained particular relevance