

HONORATA NAWROCKA-BOGUSZ<sup>1</sup>, MARIAN MAJCHRZYCKI<sup>2</sup>, MAGDALENA ŁAŃCZAK-TRZASKOWSKA<sup>2</sup>,  
LUCYNA MAJEWSKA<sup>3</sup>

## OCENA SKUTECZNOŚCI TERAPII ESWT W WYBRANYCH JEDNOSTKACH CHOROBYCH – OPIS PRZYPADKÓW

### *EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF ESWT THERAPY IN CHOSEN DISEASES – CASES DESCRIPTION*

<sup>1</sup>Katedra i Zakład Biofizyki

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Kierownik: prof. zw. dr hab. Feliks Jaroszyk

<sup>2</sup>Katedra i Klinika Rehabilitacji

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Kierownik: prof. dr hab. Wanda Stryła

<sup>3</sup>PozCeRo – Poznańskie Centrum Rehabilitacji i Ortopedii

---

#### Streszczenie

**Wstęp.** Pozaustrojowe fale uderzeniowe są stosowane od lat między innymi w terapii chronicznego bólu w systemie mięśniowo-szkieletowym. Mechanizm oddziaływania fali uderzeniowej na tkanki jest przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach i polega prawdopodobnie m.in. na reorganizacji dróg odczuwania bólu oraz uwalnianiu substancji hamujących odczuwanie bólu. W przypadku procesów zapalnych mechanizm działania pozaustrojowej terapii zogniskowaną falą uderzeniową (ESWT – extracorporeal shock wave therapy) polega prawdopodobnie na hamowaniu wydzielania mediatorów procesu zapalnego, jak również poprawia ukrwienie.

**Celem badań** była ocena skuteczności pozaustrojowej terapii zogniskowaną falą uderzeniową przy użyciu urządzenia PiezoWave w następujących jednostkach chorobowych: zespół bolesnego barku, zapalenie nadkłykcia bocznej kości ramiennej, zapalenie rozciągniętego podeszwowego oraz stan po urazie stawu kolanowego.

**Metodyka.** Terapia zogniskowaną falą uderzeniową składała się z 3 do 5 sesji po 500–3000 impulsów o częstotliwości fali 1–8 Hz w kilkudniowych odstępach. Strumień gęstości energii wynosił 0,03–0,4 mJ/mm<sup>2</sup> i był zmieniany w trakcie sesji w zależności od odczuć pacjenta. Stan pacjenta przed i po terapii oceniany był za pomocą kwestionariusza: DASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand), VAS (Visual Analog Scale) oraz ankiety OKS (Oxford Knee Score Questionnaire).

**Wyniki.** W wyniku zastosowanej terapii zaobserwowano zmniejszenie bolesności i poprawę ruchomości okolicy poddanej działaniu ESWT u pacjentów z rozpoznaniem: zespołu bolesnego barku, zapalenia nadkłykcia bocznej kości ramiennej oraz zapalenia rozciągniętego podeszwowego. Jedynie u pacjentki ze stanem po urazie stawu kolanowego terapia ESW okazała się nieskuteczna.

**SŁOWA KLUCZOWE:** terapia pozaustrojową falą uderzeniową (ESWT), zespół bolesnego barku, zapalenie nadkłykcia bocznej kości ramiennej, zapalenie rozciągniętego podeszwowego.

#### Summary

**Introduction.** Extracorporeal shock waves are used for years, inter alia, in the treatment of chronic musculoskeletal pain in the muscle-skeletal system. The mechanism of the shock wave effects on tissues has been the subject of intensive research in many centers. The influence mechanism is probably (the cause of) the reorganization of the conduction of pain and release of the substances that inhibit the perception of pain. In case of an inflammatory process, the ESWT (extracorporeal focused shock wave therapy) action mechanism consists in the inhibition of the inflammatory mediators secretion and improved the blood circulation.

**The aim of this study** was to evaluate the effectiveness of extracorporeal shock wave therapy focused using the PiezoWave device in following illnesses: shoulder pain syndrome, inflammation of the lateral epicondyle of the humerus, inflammation of the plantar aponeurosis and condition after the injury of the knee.

**Methods.** Focused shock wave therapy consisted of 3 to 5 sessions of 500–3000 pulse wave of frequency 1–8 Hz at intervals of several days. The stream of energy density was 0.03–0.4 mJ/mm<sup>2</sup> and was revised during the session, depending on the patient's feelings. Patient's condition before and after therapy was assessed using a questionnaire: DASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand), VAS (Visual Analog Scale) and the Oxford Knee Score questionnaire.

**Results.** As a result of the therapy, a pain reduction and an improvement in mobility of the area treated with the ESW therapy were observed in patients with diagnoses: the shoulder pain syndrome, inflammation of the lateral epicondyle of the humerus, inflammation of the plantar aponeurosis. The ESW treatment was ineffective only in the case of a patient in a condition after a knee injury.

**KEY WORDS:** shock wave focused therapy (ESWT), shoulder pain syndrome, inflammation of the lateral epicondyle, inflammation of the plantar.

---

## Wstęp

Fale uderzeniowe są stosowane od lat 80. do niszczenia kamieni nerkowych. W Niemczech, od 1992 roku stosuje się falę uderzeniową również w formie terapii w ortopedii i reumatologii [1, 2]. Mechanizm oddziaływania fali uderzeniowej na tkanki jest przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach i polega prawdopodobnie m.in. na reorganizacji dróg odczuwania bólu oraz uwalnianiu substancji hamujących odczuwanie bólu. W przypadku procesów zapalnych mechanizm działania pozaustrojowej terapii zogniskowaną falą uderzeniową (ESWT – extracorporeal shock wave therapy) polega prawdopodobnie na hamowaniu wydzielania mediatorów procesu zapalnego, jak również poprawia ukrwienie.

### *Fala uderzeniowa i mechanizm działania*

Fala uderzeniowa może przemieszczać się przez gazy, ciecze i ciała stałe. Zjawisko to jest wynikiem nagłego uwolnienia chemicznej, elektrycznej, nuklearnej lub mechanicznej energii [3]. Charakteryzuje się wysoką wartością dodatniego ciśnienia (~100 MPa) z szybkim czasem narastania (30 to 120 ns) i krótkim czasem trwania impulsu (5  $\mu$ s) oraz ujemnym ciśnieniem (5 do 10 MPa) [3, 4, 5]. Ujemne ciśnienie (ciśnienie poniżej wartości ciśnienia, jakie panuje w danej tkance przed przejściem fali uderzeniowej) jest jedną z cech charakterystycznych fal uderzeniowych, może wywołać efekt kawitacji. Dla potrzeb medycznych w litotrypsji (ESWL – extracorporeal shock wave lithotripsy) oraz w ortopedii (ESWT) fale uderzeniowe są generowane poza organizmem pacjenta i ogniskowane na danym obiekcie np.: kamieniu nerkowym bądź na depozyście wapiennym. Parametrem opisującym falę uderzeniową jest energia mierzona w [mJ] oraz gęstość energii, której jednostką jest [mJ/mm<sup>2</sup>]. Gęstość energii to ilość energii w jednym milimetrze kwadratowym w miejscu zogniskowania fali uderzeniowej. Całkowita energia stosowana w trakcie terapii to wartość całkowitej energii przypadającej na jeden impuls pomnożona przez liczbę impulsów. Wielkość, która charakteryzuje właściwości danej tkanki to oporność akustyczna (Z). Oporność akustyczna to gęstość tkanki, przez którą przechodzi fala dźwiękowa pomnożona przez prędkość dźwięku w tej tkance. Przy małej różnicy oporności akustycznej sąsiadujących tkanek jedynie mała ilość energii jest tracona na skutek odbicia czy absorpcji [3].

Kiedy następuje propagacja fali uderzeniowej przez tkankę, początkowo przewodzące medium ulega ściśnięciu, natomiast kiedy front fali uderzeniowej przejdzie i pojawi się ujemne ciśnienie, tkanka jest rozciągana. Efekt ten powoduje fragmentację kamieni nerkowych. Zjawisko, które może pojawić się przy przejściu fali uderzeniowej przez dany ośrodek to kawitacja. Kawitacja pojawia się, kiedy w płynach występują mikroheterogeniczności, takie jak: bąble gazu, ciała stałe stanowiące początek (jądro) kawitacji. Kiedy część fali uderzeniowej powodująca rozciąganie uderza w pęcherzyki gazu, wtedy następuje ich wzrost i formuje się klaster

kawitacyjny. Jego kształt i dynamika zdeterminowane są przez: rozmieszczenie i początkowy rozmiar jądra kawitacji, otaczający ośrodek oraz wartość ujemnego ciśnienia. W trakcie trwania dodatniego ciśnienia następuje interakcja pęcherzyków gazu z falą uderzeniową, która deformuje ściany występujących stacjonarnie pęcherzyków gazu. W momencie uderzenia, powstaje m.in. strumień wody skierowany w stronę fali uderzeniowej. Powstałe strumienie wody są szybsze i bardziej niszczące w porównaniu ze strumieniami powstałymi w wyniku zapadnięcia się pęcherzyków kawitacyjnych [3].

### *Oddziaływanie fal uderzeniowych na materię żywą*

Niskoenergetyczna fala o gęstości energii (< 0,1 mJ/mm<sup>2</sup>) łagodzi ból, natomiast wysokoenergetyczna (0,2 do 0,4 mJ/mm<sup>2</sup>) powoduje: podwyższenie miejscowego przepływu krwi, uszkodzenie kapilar i przyczynia się do wzrostu nowych naczyń krwionośnych [6].

Zmiana maksymalnego ciśnienia fali uderzeniowej w czasie może zmienić efekt oddziaływania na komórkę. Różne wartości gęstości energii mogą powodować zarówno poszerzenie przestrzeni międzykomórkowych, jak i otwarte oddzielenie komórek śródbłonki i zniszczenie błony podstawnej. Fale uderzeniowe aplikowane z częstotliwością  $\geq 15$  impulsów/s powodują np. większe zniszczenie nerek w wyniku zjawiska kawitacji w porównaniu z falami uderzeniowymi aplikowanymi z mniejszą częstotliwością [3].

Pod wpływem fali uderzeniowej o wartości gęstości energii 0,12 mJ/mm<sup>2</sup> właściwości błony komórkowej mogą ulec zmianie. Fala uderzeniowa obniża przepuszczalność błony komórkowej, na skutek czego molekuly o rozmiarach poniżej 2 milionów Daltonów mogą wnikać do cytoplazmy. Również makromolekuly barwników fluorescencyjnych mogą przemieszczać się do cytoplazmy w trakcie terapii falą uderzeniową. Efekt ten może być wykorzystany do leczenia nowotworów za pomocą terapii fotodynamicznej oraz do terapii genowej, jak i chemioterapii. W badaniach wpływu ESW na nowotwory obserwowano czasowo zmniejszoną perfuzję nowotworu wskutek zniszczenia ścian naczyń krwionośnych zaopatrujących zmianę nowotworową. Stosowanie leków w trakcie terapii powodowało zwiększony efekt oddziaływania fali uderzeniowej. W warunkach laboratoryjnych można dokonać całkowitego usunięcia nowotworu, jeżeli jego otoczenie jest odpowiednie do powstania pęcherzyków kawitacyjnych [3].

Fale uderzeniowe przyczyniają się również do wzrostu zrębowych komórek szpiku kostnego, różnicowania komórek osteogenicznych i wytwarzania TGF- $\beta$ 1 (Transforming growth factor  $\beta$ 1 – transformujący czynnik wzrostu  $\beta$ 1) [5, 7].

Fale uderzeniowe mają także zastosowanie w leczeniu bólu. Uszkodzają błony zakończeń nerwowych, wskutek czego receptory nerwowe nie mogą gromadzić potencjału i przekazywać sygnałów bólowych. Receptory hiperstymulowane przez fale wstrząsowe, wysyłają impulsy o dużej intensywności, które tłumią sygnały bólowe zgodnie z teorią bramkową. Fale wstrząsowe wyzwa-

lają wolne rodniki w okolicy zakończeń nerwowych zmieniając środowisko chemiczne, co tłumaczy wyzwalanie impulsów bólowych [5, 8]. Zastosowanie ESWT na normalną skórę szczurów powoduje degenerację podskórnych włókien nerwowych z efektem cofania zmian w ciągu dwóch tygodni. Prawdopodobnie efekt ten jest odpowiedzialny za natychmiastowe uśmierzenie bólu po zastosowaniu ESW [2, 4].

Jest kilka prawdopodobnych mechanizmów indukowania niszczenia nerwów przez falę uderzeniową [2]. Badania *in vitro* na komórkach HeLa pokazały, iż ESWT przez tworzenie pęcherzyków kawitacyjnych, może spowodować wzrost ich przepuszczalności. W skutek zapadnięcia pęcherzyków kawitacyjnych następuje wytworzenie mikrostrumienia, który może zniszczyć podwójną warstwę lipidową w błonie komórkowej, spowodować czasowe otwarcie błony komórkowej a także śmierć komórki od uwolnionych substratów [2, 9]. Każda fala uderzeniowa wytwarza kawitację i makroplazmę. Może również spowodować powstanie mikrourazu włókien nerwowych wywołując natychmiastowe obniżenie prędkości przewodzenia [2]. Ostra kompresja może spowodować w ciągu dwóch dni wkłusnięcie mieliny i dalszy rezultat w postaci segmentarnej demielinizacji. Ostra kompresja nerwu może także wpływać na jego zapatrywanie w krew i skład płynu śródnerwowego. ESW generuje dodatnie i ujemne ciśnienie, które może wpływać na donerwowy żylny przepływ i prowadzić do przyszłego zniszczenia mieliny [2].

Badania na pacjentach z brakiem zrostu kości udowej i piszczelowej z zastosowaniem fali uderzeniowej pokazują, iż ESW powoduje: przyspieszenie zrostu kości oraz istotną poprawę w miarę upływu czasu od zastosowania fali uderzeniowej w odczuwaniu bólu [5].

Fala uderzeniowa zastosowana w leczeniu wapniejącego zapalenia ścięgna powoduje fragmentacje i resorpcje depozytów wapniowych [1, 6]. Rezultaty ESWT są zależne od gęstości energii zastosowanej fali uderzeniowej. Obserwuje się największe tempo zmian radiologicznych w ciągu pierwszych 3 miesięcy po terapii, z czasem tempo resorpcji depozytów wapniowych obniża się [1]. Skuteczność terapii falą uderzeniową zależy od twardości i gęstości depozytów wapniowych, które mogą być osobniczo zmienne [6]. Ten fakt może wyjaśnić różne wyniki zastosowania ESW [1, 6].

Terapię z wykorzystaniem fali uderzeniowej stosuje się w chorobach, takich jak: zespół bolesnego barku, zapalenie ścięgna Achillesa, zapalenie rozciągniętego podeszwowego, zapalenie nadkłykcia bocznego czy przyśrodkowego kości ramiennej, a także w leczeniu zaburzeń zrostu kostnego i w zwapnieniach około barkowych [8].

Celem badań była ocena skuteczności pozaustrojowej terapii zogniskowaną falą uderzeniową (ESWT – extracorporeal shock wave therapy) przy użyciu urządzenia PiezoWave w następujących jednostkach chorobowych: zespół bolesnego barku, zapalenie nadkłykcia bocznego, zapalenie rozciągniętego podeszwowego oraz stan po urazie stawu kolanowego.

Uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej do przeprowadzenia niniejszych badań.

## Metody

### *Terapia pozaustrojową falą uderzeniową przy użyciu urządzenia PiezoWave*

Impedancja akustyczna wody i tkanek miękkich jest podobna, więc dla potrzeb medycznych fala uderzeniowa generowana jest w wodzie. Istnieją trzy mechanizmy generowania zogniskowanej fali uderzeniowej: piezoelektryczny, elektromagnetyczny i elektrohydrauliczny [3].

Do badań zastosowano urządzenie PiezoWave generujące zogniskowaną pozaustrojową falę uderzeniową (ESW), która pozwala na skoncentrowanie energii w bardzo małym obszarze, położonym stosunkowo głęboko w obrębie tkanek, przy jednoczesnym małym skupieniu energii na powierzchni skóry. Źródłem fali uderzeniowej jest kulisty kielich piezoelektryczny z samodzielnym ogniskowaniem.

Terapia falą uderzeniową składała się z 3 do 5 sesji po 500–3000 impulsów o częstotliwości fali 1÷8 Hz w kilkudniowych odstępach. Strumień gęstości energii wynosił  $0,03\pm 0,4$  mJ/mm<sup>2</sup> i był zmieniany w trakcie sesji w zależności od odczuć pacjenta. Nie były podawane środki przeciwbólowe, granica bólu nie była przekraczana.

Aby osiągnąć pożądaną głębokość penetracji fali uderzeniowej wybierano odpowiednią nakładkę żelową nakładaną na głowicę. W zestawie z urządzeniem dostępne są następujące nakładki o wysokości: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mm. Im wyższa podkładka żelowa, tym mniejsza głębokość penetracji. Najgłębszą penetrację równą około 40 mm uzyskuje się przy użyciu najniższej, tzn. najbardziej płaskiej, podkładki żelowej.

### SKALE WYKORZYSTANE W BADANIU DO OCENY STANU PACJENTA PRZED I PO TERAPII ESW

#### *DASH – kwestionariusz dotyczący niepełnosprawności kończyn górnych*

Główną częścią ankiety DASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) jest 30 pytań dotyczących stanu zdrowia pacjenta z ostatniego tygodnia przed terapią. Pytania dotyczą stopnia trudności wykonania różnych czynności fizycznych (21 pytań), symptomów bólu, czynności zależnych od bólu, cierpienia, słabości i sztywności kończyny (5 pytań). W ankiecie są również pytania dotyczące dolegliwości mających wpływ na aktywności towarzyskie, pracę, sen i postrzeganie samego siebie (4 pytania). Każde z pytań ma pięć możliwych odpowiedzi. Wynik testu zawiera się w przedziale od 0 (brak niepełnosprawności) do 100 punktów (bardzo poważna niepełnosprawność). Wynik ankiety dla skali niepełnosprawności określany jest jako współczynnik DASH [10, 11].

Ankieta DASH zawiera dwa dodatkowe moduły zawierające po 4 pytania każdy: praca oraz sport/gra na instrumencie. Dotyczą one jakości pracy i/lub uprawiania sportu/gry na instrumencie. Możliwych jest również 5 odpowiedzi na każde pytanie. Współczynnik DASH modułów dodatkowych zawiera się również w przedziale od 0 do 100 [10, 11].

### Oksfordzki kwestionariusz dotyczący niepełnosprawności kolana

Oksfordzki kwestionariusz dotyczący niepełnosprawności kolana (Oxford Knee Score Questionnaire, Revised) zawiera 12 pytań dotyczących bólu oraz sprawności kolana w różnych sytuacjach życiowych pacjenta w ciągu 4 tygodni przed terapią. Na każde pytanie możliwych jest 5 odpowiedzi. Wynik kwestionariusza zawiera się w przedziale od 0 do 48. Wynik zawierający się w przedziale 0÷19 może wskazywać na poważny stopień zaawansowania zmian zwyrodnieniowych stawu kolanowego. Wynik od 20 do 29 może sugerować poważny lub umiarkowany stopień zaawansowania zmian zwyrodnieniowych stawu kolanowego. Wynik wynoszący 30 do 39 może wskazywać łagodny lub umiarkowany stopień zmian. Natomiast suma punktów od 40 do 48 może sugerować zadowalającą sprawność stawu kolanowego [12, 13, 14].

### VAS (Visual Analog Scale)

Wizualna skala analogowa służy do subiektywnej oceny bólu towarzyszącego danej jednostce chorobowej. Określanie natężenia bólu za pomocą wizualnej skali analogowej polega na zaznaczeniu przez badanego punktu na linii z podziałką, gdzie wartości 0 przypisuje się całkowity brak bólu, a wartość 100 oznacza ból nie do zniesienia.

### Wyniki

Parametry zastosowanej fali uderzeniowej w trakcie kolejnych zabiegów zostały umieszczone w tabeli 1.

### Opis przypadków – stan przed i po terapii ESW

1. Przypadek – Kobieta, lat 23, stan po urazie stawu kolanowego lewego.

Zastosowano nakładkę żelową 5 mm. Wykonano 4 zabiegi w ciągu 3 tygodni o parametrach podanych w tabeli 1. Pacjentka skarżyła się na bóle lewego kolana od ok. 5 miesięcy. Przed terapią dolegliwości występowały codziennie lub co drugi dzień, pojawiały się podczas chodzenia, biegania. Po terapii dolegliwości bólowe pozostały bez zmian, pojawiały się natomiast bóle po około 2 godzinach od zabiegu. Pacjentka nie przyjmowała leków przeciwbólowych ani przeciwzapalnych. W ostatnim tygodniu zabiegów pacjentka zaczęła przyjmować APAP w momentach występowania ostrego bólu, który zaczął występować co 1–2 dni.

Nasilenie bólu zajętej okolicy przed zabiegami wynosiło 60 punktów wg skali VAS, natomiast po 4 zabiegach nastąpiło pogorszenie odczuwalne przez pacjentkę na poziomie 90 pkt. W przypadku bólu podczas ruchu stan pacjentki po zabiegu nie zmienił się, wynosił tak jak przed terapią 80%. Pacjentka określiła ograniczenie ruchomości kolana na 10% przed terapią, po serii zabiegów ograniczenia nie zaobserwowano.

Według ankiety Oxford przed zabiegiem ból kolana w stopniu umiarkowanym przeszkadzał pacjentce w pracach domowych, natomiast po terapii nastąpiło pogorszenie.

Po serii 4 zabiegów pacjentka zaobserwowała poprawę w schodzeniu po schodach (ze stopnia umiarkowanej trudności na małą trudność) i wysiadaniu ze środków transportu (z małego problemu na wcale). Na pozostałe pytania z ankiety Oxford odpowiedzi pozostały bez zmian przed i po terapii. Wynik ankiety Oxford przed terapią wyniósł 31. Natomiast po terapii 33.

**Tabela 1.** Parametry fali uderzeniowej użytej podczas terapii aparatem PiezoWave w wybranych jednostkach chorobowych, f – częstotliwość, ED<sub>+min</sub> – minimalna dodatnia gęstość energii, rozpoczynająca ESWT, ED<sub>+max</sub> – maksymalna dodatnia gęstość energii, kończąca ESWT

Table 1. The parameters of the shock wave during the therapy using PiezoWave device in chosen disease, f – the frequency, ED<sub>+min</sub> – the minimum positive energy density, starting ESWT, ED<sub>+max</sub> – the maximum positive energy density, ending ESWT

	parametry fali uderzeniowej	1 zabieg	2 zabieg	3 zabieg	4 zabieg	5 zabieg
stan po urazie stawu kolanowego lewego	f [Hz]	5	5	5	5	–
	ED <sub>+min</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	≈0,032	≈0,032	≈0,032	≈0,032	–
	ED <sub>+max</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,037	0,048	0,055	0,055	–
łokiec tenisisty	f [Hz]	5	5	5	5	5
	ED <sub>+min</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,089	0,100	0,122	0,150	0,150
	ED <sub>+max</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,122	0,150	0,190	0,271	0,271
ostroga piętowa	f [Hz]	4	5	5	5	5
	ED <sub>+min</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,089	0,089	0,122	0,122	0,150
	ED <sub>+max</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,190	0,173	0,150	0,190	0,271
zespół bolesnego barku	f [Hz]	4	4	4	4	4
	ED <sub>+min</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,037	0,037	0,037	0,048	0,064
	ED <sub>+max</sub> [mJ/mm <sup>2</sup> ]	0,089	0,064	0,089	0,089	0,150

2. Przypadek – Mężczyzna, lat 48, rozpoznanie – zapalenie nadkłykcia boczego kości ramiennej.

Pacjent zgłaszał dolegliwości bólowe obecne od 7 dni, trwające kilka sekund przy ruchu zginania w stawie łokciowym. Badany nie przyjmował żadnych leków przeciwbólowych ani przeciwzapalnych. Przed terapią ból w zajętej okolicy podczas ruchu pacjent oceniał na 20 pkt., natomiast po terapii ból nasilił się o 10 pkt. Ograniczenie ruchomości stawu łokciowego – badana osoba przez terapię oceniała na 10 pkt., natomiast po terapii zaobserwowała pogorszenie ruchomości o 20 pkt.

Wykonano 5 zabiegów o parametrach zawartych w tabeli 1., użyto nakładkę żelową 5 mm.

Wskaźnik ograniczeń i objawów DASH w module podstawowym wyniósł przed terapią 34,2 po 5 zabiegach wyniósł 20,8. Natomiast wskaźnik DASH dla modułu „praca” i „sport/gra na instrumencie” przed zastosowaniem fali uderzeniowej wynosił odpowiednio 12,5 oraz 31,3. Po terapii wskaźnik DASH dla modułu „praca” wyniósł 0,0; natomiast uległ znacznemu podwyższeniu dla modułu „sport/gra na instrumencie” i wyniósł 50,0.

3. Przypadek – Kobieta, lat 53, rozpoznanie – zapalenie rozciągnięta podeszwowego.

Wykonano 5 zabiegów o parametrach zawartych w tabeli 1, użyto nakładkę żelową 5 mm.

Dolegliwości bólowe u pacjentki pojawiły 5–6 miesięcy temu. Przed terapią bóle pojawiały się kilka razy dziennie i trwały do 30 min. Po terapii dolegliwości bólowe występują rzadko i trwają zdecydowanie krócej niż przez terapią, ok. 3–5 min. Wg skali VAS pacjentka przed terapią bardzo wysoko (na 80 pkt.) oceniała nasilenie bólu zajętej okolicy, ból podczas ruchu oraz ograniczenie ruchomości. Natomiast po zabiegach falą uderzeniową nasilenie bólu zajętej okolicy i ból podczas ruchu badana oceniła na 10 pkt., i zaobserwowała brak ograniczenia ruchomości w zajętej okolicy.

Wynik ankiety Oxford przed zabiegami wyniósł 24, natomiast po 5 aplikacjach wynosił 44 świadcząc o znacznej poprawie.

4. Mężczyzna, lat 48, rozpoznanie – zespół bolesnego barku, zaleczone naderwanie mięśnia naramiennego.

Dolegliwości bólowe pojawiają się u pacjenta od 3 lat. Najczęściej występują podczas leżenia na boku, i trwają około 5 minut. Pacjent zażywa raz dziennie od 3 lat takie leki, jak: Ibuprofen, Ketoprofen lub Tramal, oraz używa maści Voltaren.

Wykonano 5 zabiegów o parametrach zawartych w tabeli 1, użyto nakładkę żelową 15 mm.

Według skali VAS pacjent ocenił nasilenie bólu zajętej okolicy przed terapią na 90 pkt., ból podczas ruchu oraz ograniczenie ruchomości na 50 pkt. Wskaźnik ograniczeń i objawów DASH modułu podstawowego przed terapią wynosił 45,8, natomiast po terapii 10,0. Wskaźnik DASH modułu dodatkowego „praca” wyniósł

18,8 przez zastosowanie fali uderzeniowej, po 5 zabiegach wskaźnik ten spadł do 0,0.

### Dyskusja

Liczne doniesienia literaturowe dotyczące badań z udziałem pacjentów z chronicznym zapaleniem rozciągnięta podeszwowego pokazują, iż terapia zogniskowaną falą uderzeniową redukuje stopień nasilenia bólu zarówno w dzień, jak i w nocy, powoduje przedłużenie okresu chodzenia bez bólu, a tym samym wpływa na satysfakcję pacjenta [15, 16, 17].

Autorzy niniejszej pracy zastosowali falę uderzeniową u pacjentki z zapaleniem rozciągnięta podeszwowego. Zmiany zwyrodnieniowe okolicy wyrostka przyśrodkowego guza piętowego kości piętowej, będące przyczyną powstania narośli kostnej, powodują zapalenie rozciągnięta podeszwowego i ból ograniczający lub uniemożliwiający poruszanie się [18]. Zastosowanie u tej pacjentki ESWT spowodowało poprawę komfortu życia przez ograniczenie i skrócenie występowania epizodów bólowych. Wcześniej ból utrudniał pacjentce swobodne poruszanie się (schodzenie po schodach, wysiadanie ze środka transportu), wykonywanie codziennych czynności, takich jak: zakupy. Ograniczenie bólu po 5 sesjach falą uderzeniową ułatwiło w znacznym stopniu wykonywanie ww. czynności.

Kolejnym z pacjentów w niniejszych badaniach był mężczyzna z rozpoznaniem zespołu bolesnego barku, powstałym prawdopodobnie po zaleczeniu naderwanego mięśnia naramiennego. Pacjent ten cierpiał z powodu bólu barku, i aby go uśmierzyć przyjmował codziennie leki przeciwbólowe. U tego pacjenta występowało również ograniczenie ruchomości w stawie barkowym. Terapia falą uderzeniową w jego przypadku okazała się bardzo skuteczna, potwierdzona wynikiem ankiety DASH (wynik modułu podstawowego 45,8 przed terapią, po terapii wyniósł 10,0).

Wiele prac wskazuje, że obwodowy system nerwowy może grać główną rolę w długotrwałym przeciwbólowym efekcie wywołanym przez ESWT [19, 20, 21].

Hausdorf i inni stosowali przez 25 min falę uderzeniową o gęstości przepływu energii wynoszącej 0,9 mJ/mm<sup>2</sup> i częstotliwości 1 Hz na dystalny odcinek kości udowej prawej kończyny tylnej królika. Badacze zaobserwowali znaczącą redukcję średniej gęstości (na poziomie 57%) i średniej ogólnej liczby niemielinowych włókien nerwowych (na poziomie 59%) wewnątrz nerwu udowego (UMNFs), w porównaniu ze stroną niepoddaną działaniu fali uderzeniowej (tylną lewą kończyną). Autorzy sugerują, iż raczej selektywna destrukcja UMNFs w strefie ogniskowania fali uderzeniowej przyczynia się do efektu przeciwbólowego, a nie tylko hiperstymulacja przeciwbólowa wywołana falą uderzeniową [19].

Kolejne doniesienia dotyczące aplikacji ESW na system mięśniowo-szkieletowy zwierząt wskazały na redukcję dwóch substancji odpowiedzialnych za odczuwanie bólu: CGRP (peptyd związany z genem kalcytoniny) oraz substancji P [20, 21]. CGRP jest neuropeptydem obecnym w nerwach czuciowych znanym z możliwości

rozszerzania naczyń krwionośnych [22]. Substancja P jest obecna w niemielinowych włóknach C i subpopulacji mielinowych A- $\delta$  włóknach nerwowych. Uwalniana jest przez centralne i obwodowe nocycyptywne neurony czuciowe po stymulacji [23]. Włókna C odpowiedzialne są za tętniący i chroniczny ból [19].

Inne badania pokazują, iż aplikacja ESW (gęstość przepływu energii 0,9 mJ/mm<sup>2</sup>, 1500 impulsów, częstotliwość 1 Hz) powoduje redukcję koncentracji substancji P w okostnej kości udowej 6 tygodni po jej zastosowaniu [24].

Kolejne badania Hausdorfa również na królikach pokazują znaczną redukcję ilości neuronów immunoreaktywnych na substancję P w korzeniu grzbietowym zwoju nerwowego L5 po zastosowaniu ESWT [21]. Denerwacja może prowadzić do redukcji substancji P i CGRP, dlatego obserwuje się obniżenie stanu zapalnego i towarzyszącego bólu [19].

Badania aplikacji ESW na szczurach pokazały, że fale uderzeniowe powodują okresowe (4–7-dniowe) obniżenie prędkości przewodzenia w neuronach ruchowych nerwu kulszowego [2]. Natomiast mikroskop świetlny i transmisyjny mikroskop elektronowy pokazały demielinizację dużych włókien mielinowych, które odzyskały stan wyjściowy osłonki mielinowej po 14 dniach. Demielinizacja mogła powodować obniżone przewodzenie włókien nerwowych. Zmiany histologiczne i elektrofizjologiczne były wprost proporcjonalnie skorelowane z wartością gęstości przepływu energii. Nie zaobserwowano skutków w funkcjonalnej zmianie aktywności szczurów [2].

Powyższe badania wskazują na możliwe mechanizmy efektu przeciwbólowego zaobserwowanego u pacjentów po zastosowaniu ESWT. W niniejszych badaniach autorzy nie mieli jednak możliwości ich weryfikacji oraz sprawdzenia czy osiągnięty efekt obniżenia odczuwania bólu po zastosowaniu ESWT był długotrwały czy nie.

Efektywność ESWT jest wprost proporcjonalna do poziomu gęstości energii. Na podstawie badań osób z wapniejącym zapaleniem przyczepów mięśni barku zaobserwowano, że u pacjentów leczonych niskoenerytyczną falą uderzeniową o wartości 0,15 mJ/mm<sup>2</sup> wystąpił znacznie mniejszy ból podczas terapii, ale wymagali oni większej liczby sesji falą uderzeniową i mieli oni znacząco wyższy procent nawrotów zwapnienia po 6 miesiącach. Natomiast osoby poddane terapii falą uderzeniową o wartości przepływu gęstości energii 0,44 mJ/mm<sup>2</sup> nie miały nawrotów zwapnień ani bólu [25, 26].

W niniejszej pracy stosowano niskie gęstości energii fali uderzeniowej – od 0,032 mJ/mm<sup>2</sup> do maksymalnej wartości 0,271 mJ/mm<sup>2</sup>. Z uwagi na trudność dotarcia do pacjentów, autorzy nie mogą potwierdzić korelacji zastosowanych gęstości energii fali uderzeniowej z nawrotami (lub brakiem) symptomów choroby.

Kolejnym pacjentem w niniejszych badaniach był mężczyzna z rozpoznaniem łokcia tenisisty. Po zastosowaniu serii 5 zabiegów falą uderzeniową nie zaobserwowano poprawy w odczuwaniu bólu przez pacjenta. Zaobserwowano natomiast poprawę sprawności stawu

łokciowego dotyczącą wykonywania krótkotrwałych codziennych czynności. Przepuszczalnie wyżej opisany efekt przeciwwapalny oddziaływania fali uderzeniowej spowodował u tego pacjenta funkcjonalną poprawę chorej okolicy.

Ostatnim pacjentem niniejszej pracy była kobieta po urazie stawu kolanowego. W przypadku tej osoby terapia falą uderzeniową okazała się nieskuteczna. Zaobserwowano jedynie nasilenie bólu zajętej okolicy. Brak jest doniesień literaturowych dotyczących pogorszenia stanu pacjentów poprzez nasilenie bólu po zastosowaniu ESWT. Nie można stwierdzić, czy przyczyną pogorszenia się stanu stawu kolanowego mogła być terapia ESW.

Podczas leczenia chorób mięśniowo-szkieletowych używane są częściej niskie i średnie wartości intensywności ESW aniżeli wysokie. Z badań na zwierzętach wynika, że elektrofizjologiczne i histologiczne zmiany indukowane przez przyłożoną falą uderzeniową ulegają naprawieniu w ciągu dwóch tygodni. To sugeruje, że ryzyko ESWT spowodowane długotrwałymi i szkodliwymi komplikacjami na nerwy obwodowe jest niskie [4].

Należy również pamiętać, iż istnieje ryzyko komplikacji związane z zastosowaniem pozaustrojowej fali uderzeniowej, do których zaliczamy: krwiak podskórny [1], podbiegnięcie krwawe i lokalne zaczerwienienie po stronie leczonej [4], ale również martwicę głowy kości ramiennej spowodowaną prawdopodobnie zniszczeniem naczyń krwionośnych [4, 27].

### Wnioski

Niniejsze badania były ograniczone do małej liczby pacjentów z różnymi schorzeniami o różnym czasie trwania epizodów chorobowych, co niewątpliwie przekłada się na ocenę skuteczności terapii zogniskowaną pozaustrojową falą uderzeniową. Również brak możliwości oceny pacjenta po dłuższym czasie od terapii utrudniło sformułowanie jednoznacznych wniosków na temat ESWT.

Niewątpliwą skuteczność terapii ESW można potwierdzić u pacjentki z zapaleniem rozciągniętego podszewowego stopy oraz u pacjenta z zespołem bolesnego barku. W przypadku pacjentki po urazie stawu kolanowego terapia ESW nie spowodowała poprawy sprawności tego stawu. Być może inne zabiegi fizykalne okazałyby się skuteczniejsze/lepsze dla tej pacjentki.

U pacjenta z zapaleniem nadkłykcia bocznego kości ramiennej zaobserwowano poprawę sprawności stawu łokciowego podczas krótkotrwałych codziennych czynności, jednakże nadal pozostał problem z długotrwałym jednym rodzajem ruchu związanym ze sportem/grą na instrumencie. Niewątpliwie dobrym uzupełnieniem leczenia mogłyby być inne zabiegi fizykalne (np.: jonoforeza).

Dalsze badania ze stworzeniem jednorodnych grup pod względem rozpoznania z możliwością porównania z grupą kontrolną będą mogły potwierdzić skuteczność terapii pozaustrojową zogniskowaną falą uderzeniową. Należy pamiętać, że skuteczność terapii ESW zależy w dużej mierze od patofizjologii danej jednostki chorobowej i od przypadku osobniczego. ESWT powinna być

stosowana przed leczeniem chirurgicznym, w momencie kiedy leczenie zachowawcze zawiodło.

### Piśmiennictwo

1. Daecke W., Kusnierczak D., Loew M.: Long-term effects of extracorporeal shockwave therapy in chronic calcific tendinitis of the shoulder. *J. Shoulder Elbow. Surg.*, 2002, 11, 5, 476-480.
2. Takahashi N., Ohtori S., Saisu T. et al.: Second application of low-energy shock waves has a cumulative effect on free nerve endings. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2006, 443, 315-319.
3. McClure S., Dorfmueller Ch.: Extracorporeal shock wave therapy: theory and equipment. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 2003, 2, 4, 348-357.
4. Wu Y.H., Liang H.W., Chen W.S. et al.: Electro-physiological and functional effects of shock waves on the sciatic nerve of rats. *Ultrasound in Med. & Biol.*, 2008, 34, 10, 1688-1696.
5. Wang C.J., Yang K. D., Ko J.Y. i wsp.: The effects of shockwave on bone healing and systemic concentrations of nitric oxide (NO), TGF- $\beta$ 1, VEGF and BMP-2 in long bone non-unions. *Nitric Oxide*, 2009, 20, 298-303.
6. Charin J.E., Noël E.R.: Shockwave therapy under ultrasonographic guidance in rotator cuff calcific tendinitis. *Joint Bone Spine*, 2001, 68, 241-244.
7. Wang F.S., Wang C.J., Huang H.J.: Physical shock wave mediates membrane hyperpolarization and Ras activation for osteogenesis in human bone marrow stromal cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2001, 287, 648-655.
8. Kurczyk J.: Nowoczesne zastosowanie ESWT w ortopedii i rehabilitacji. *Pasaż Medyczny*, 2008, 9-13.
9. Ohl C.D., Wolfrum B.: Detachment and sonoporation of adherent HeLa cells by shock wave-induced cavitation. *Biochim. Biophys. Acta*, 2003, 1624, 1-3, 131-138.
10. Gummesson Ch., Atroshi I., Ek Dahl Ch.: The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2003, 4, 11, 6-11.
11. <http://www.dash.iwh.on.ca/index.htm>
12. Murray D. W., Fitzpatrick R., Rogers K. et al.: The use of the Oxford hip and knee scores. *J. Bone Joint. Surg. Br.*, 2007, 89-B, 1010-1014.
13. Jenkinson C., Heffernan C., Doll H.R.: Fitzpatrick chorobą Parkinsona Questionnaire (PDQ-39): dowód na to metoda Jenkinson C., Heffernan C., Doll H. et al.: The Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39): evidence for a method of wyliczenia brakujących danych. *Wiek Starzenie 2006 r.*; 35-5:497-502. imputing missing data. *Age Ageing*, 2006, 35-5, 497-502.
14. [http://www.orthopaedicscore.com/scorepages/oxford\\_knee\\_score.html](http://www.orthopaedicscore.com/scorepages/oxford_knee_score.html)
15. Gollwitzer H., Diehl P., von Korff A. et al.: Extracorporeal Shock Wave Therapy for Chronic Painful Heel Syndrome: A Prospective, Double Blind, Randomized Trial Assessing the Efficacy of a New Electromagnetic Shock Wave Device. *Foot Ankle Surg.*, 2007, 46, 5, 348-357.
16. Rompe J.D., Kullmer K., Riehle H.-M. et al.: Effectiveness of low-energy extracorporeal Shock Waves for chronic plantar fasciitis. *Foot Ankle Surg.*, 1996, 2, 215-221.
17. Speed C.A., Nichols D., Wies J. et al.: Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomized controlled trial. *J. Orthop. Res.*, 2003, 21, 937-940.
18. Thomas J.L., Christensen J.C., Liaison B. et al.: The Diagnosis and Treatment of Heel Pain. *J. Foot Ankle Surg.*, 2001, 40, 5, 329-340.
19. Haussdorf J., Lemmens M.A., Heck K.D.W. et al.: Selective loss of unmyelinated nerve fibres after extracorporeal shockwave application to the musculoskeletal system. *Neuroscience*, 2008, 155, 138-144.
20. Ochiai N., Ohtori S., Sasho T. et al.: Extracorporeal shock wave therapy improves motor dysfunction and pain originating from knee osteoarthritis in rats. *Osteoarthritis Cartilage*, 2007, 15, 1093-1096.
21. Hausdorf J., Lemmens M., Kaplan S. et al.: Extracorporeal shockwave application to the distal femur of rabbits diminishes the number of neurons immunoreactive for substance P in dorsal root ganglia L5. *Brain Res.*, 2008, 1207, 96-101.
22. Ghatta S., O'Rourke S.T.: Nitroglycerin-induced release of calcitonin-related peptide from sensory nerves attenuates the development of nitrate tolerance. *J. Cardiovasc. Pharmacol.*, 2006, 47, 175-181.
23. Ohtori S., Inoue G., Mannoji C. et al.: Shock wave application to rat skin induces degeneration and reinnervation of sensory nerve fibers. *Neurosci. Lett.*, 2001, 315, 57-60.
24. Maier M., Averbek B., Milz S. et al.: Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. *Clin. Orthop.*, 2003, 406, 237-245.
25. Lam F., Bhatia D., van Rooyen K. et al.: Modern management of calcifying tendinitis of the shoulder. *Curr. Orthop.*, 200, 20, 446-452.
26. Peters J., Luboldt W., Schwarz W. et al.: Extracorporeal shock wave therapy in calcific tendinitis of the shoulder. *Skeletal Radiol.*, 2004, 33, 12, 712-80.
27. Liu H.M., Chao C.M., Hsieh J.Y. et al.: Humeral head osteonecrosis after extracorporeal shock-wave treatment for rotator cuff tendinopathy. A case report. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2006, 88, 6, 1353-1356.

### Adres do korespondencji:

Honorata Nawrocka-Bogusz  
Katedra i Zakład Biofizyki  
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu  
ul. Fredry 10  
61-701 Poznań  
Tel. 854 60 95