

ROBERT DYMAREK¹, KUBA PTASZKOWSKI², LUCYNA SŁUPSKA², JAKUB TARADAJ^{3,4,5}¹Instytut Fizjoterapii Państwowej Medycznej Wyższej Szkoły Zawodowej w Opolu, ²Katedra Fizjoterapii Akademii Medycznej im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, ³Katedra i Zakład Biofizyki Lekarskiej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, ⁴Katedra Podstaw Fizjoterapii Klinicznej Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach, ⁵Niepubliczny Specjalistyczny Zakład Opieki Zdrowotnej Limf-Med w Chorzowie

Podstawy biofizyczne i kliniczne fizykoterapii skojarzonej

Praca recenzowana

■ Świadome, uzasadnione i celowe aplikowanie różnych bodźców fizykalnych w nowoczesnej fizykoterapii wymaga wielopłaszczyznowego i kompleksowego oddziaływania na poziomie poszczególnych układów, narządów oraz tkanek organizmu ludzkiego.

Odpowiednie, a przede wszystkim bezpieczne połączenie i kojarzenie stosowanych powszechnie energii fizycznych w celu maksymalizacji efektu terapeutycznego, podtrzymania leczniczego oddziaływania krótko- i długoterminowego, jak również aktywizowania biologicznych mechanizmów synergistycznych stanowią cel priorytetowy. Zwiększenie indywidualnego dostosowania zabiegów do osobniczych cech pacjenta oraz jego jednostkowych problemów i potrzeb zdrowotnych wydaje się stanowić właściwy kierunek rozwoju współczesnej medycyny fizykalnej. Powszechnie wyróżnia się dwa typy procedur kojarzenia energii fizykoterapeutycznych. Pierwsza polega na aplikowaniu zabiegów jeden po drugim z zachowaniem właściwej kolejności, druga natomiast opiera się na jednoczesnym dawkowaniu dwóch lub trzech bodźców terapeutycznych podczas sesji zabiegowej i wydaje się być korzystnym rozwiązaniem, które wymaga jednak dalszej weryfikacji naukowej.

Terapia skojarzona (ang. *combined therapy/combination therapy*) jest najlepszym przykładem kontrolowanej i uzasadnionej kombinacji dwóch odmiennych, lecz nie przeciwstawnych i/lub wykluczających się wzajemnie typów energii fizycznej, tj. mechanicznej i elektrycznej. Najszerzej opisywanym i najczęściej wykorzystywanym w praktyce fizjoterapeutycznej połączeniem jest mechaniczna impulsowa ultradźwiękowa fala akustyczna (USW – ang. *Ultrasound Wave*) sprzężona z elektrycznym prądem zmiennym o przebiegu impulsowym (AIC – ang. *Alternating Impulse Current*). Postać komponenty elektrycznej w terapii skojarzonej stanowi najczęściej prąd typu TENS (ang. *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*) oraz HVS (ang. *High Voltage Stimulation*). Nieco rzadziej stosowane są prądy Nemecka (interferencyjne), Bernarda (diadynamiczne) i Trauberta (ultrabodźcowe) (12, 13, 17, 18).

W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne i biofizyczne z zakresu klasycznych bodźców fizykalnych wcho-

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono podstawy biofizyczne bodźców fizykalnych składających się na terapię skojarzoną. Omówiono niezbędne zaopatrzenie sprzętowe i opisano metodologię samego zabiegu z zaznaczeniem praktycznych zaleceń oraz wskazań i przeciwwskazań zdrowotnych. Zaprezentowano także przykładowe zastosowanie terapii skojarzonej w kontekście wybranych jednostek chorobowych układu ruchu. Przedstawiono optymalne pozycje ułożeniowe pacjenta, rozmieszczenie elektrod i głowicy podczas zabiegu. Przybliżono najważniejsze parametry aplikacji kojarzonych form energii mechanicznej i elektrycznej. Ponadto

dokonano skrupulatnego przeglądu dostępnego piśmiennictwa naukowego w kontekście możliwości klinicznego zastosowania omawianej metody fizykoterapeutycznej z uwzględnieniem charakterystyki pacjentów, parametrów i metod zabiegowych oraz uzyskanych rezultatów.

SŁOWA KLUCZOWE: terapia skojarzona, ultradźwięki, TENS, HVS, medycyna fizykalna.

SUMMARY:

The biophysical basis of physical impulses that are composing combined therapy have been shown in the article. Necessary equipment has been introduced as well as the methodology with practical recommendations, indications and contrain-

dications. In the context of chosen motor system disease entities the exemplary use of combined therapy has been emerged. Authors enunciated optimal disposal positions of the patient as well as electrodes' and knob's spacing during the treatment. The most important application parameters of associated form of the mechanic and electric energy have been brought nearer. In addition authors made scrupulous scientific literature review in the context of possibilities in clinical use of the presented physiotherapy method including patient's characterization, methods and treatment parameters and obtained results of research.

KEY WORDS: combined therapy, sonotherapy, TENS, HVS, physical medicine.

dzących w skład terapii skojarzonej. Poruszono jednocześnie biologiczne efekty oddziaływania energii mechanicznej oraz elektrycznej na poziomie poszczególnych narządów i układów ustroju ludzkiego. Uwzględniono istotne wskazania i niezbędne przeciwwskazania zdrowotne do fizykalnego zabiegu skojarzonego. Porównano także zalety oraz wady omawianej metody fizykoterapeutycznej. Przybliżono zagadnienia związane z przykładową aparaturą i niezbędnym sprzętem oraz metodologią aplikacji samego zabiegu. Opisano również praktyczne możliwości terapii w aspekcie wybranych jednostek chorobowych. Autorzy dokonali także szczegółowego przeglądu dostępnego piśmiennictwa naukowego w celu przedstawienia opublikowanych wyników badań, których tematem wiążącym była terapia skojarzona oraz elementarne czynniki fizykalne wchodzące w jej skład.

Podstawy biofizyczne fizykoterapii skojarzonej

Najbardziej powszechną kombinacją energii mechanicznej z elektryczną w terapii skojarzonej jest połączenie akustycznej fali ultradźwiękowej z prądami z zakresu przezskórnej elektrycznej stymulacji nerwów (TENS) lub z prądami wysokonapięciowymi (HVS lub HVPC – ang. *High Voltage Pulsed Current*). Komponenta elektryczna terapii skojarzonej obejmuje w głównej mierze powyższe prądy, które pod względem klinicznym są prądami zmiennymi o przebiegu pulsującym, zgodnie z wytycznymi opisowego systemu podziałów Amerykańskiego Towarzystwa Medycyny Fizykalnej (APTA – ang. *American Physical Therapy Association*). Tego typu prądy charakteryzują się oddzieleniem każdego impulsu fazą przerwy.

Wśród prądów TENS wyróżniono powszechnie kilka jego rodzajów stosowanych w praktyce. Ze względu na swoje właściwości przeciwbólne, szeroko opisane w piśmiennictwie, zdecydowanie najczęściej w terapii skojarzonej używany jest TENS konwencjonalny o wysokiej częstotliwości impulsów (ang. CHF – *Conventional*

High Frequency), które oscylują w granicach 80-20 Hz. Czas ich trwania wynosi około 50-0 μ s, a natężenie prądu wzrasta stopniowo od 0,1 mA i przeważnie dochodzi do wartości 30-50 mA. Wykorzystywane impulsy są przeważnie dwufazowe i mają zazwyczaj kształt prostokątny lub trapezoidowy, ich szerokość natomiast wynosi od 50 μ s do 200 μ s. Prądy TENS w terapii skojarzonej pobudzają czuciowo włókna nerwowe, w celu stymulacji neurofizjologicznego zjawiska bramki rdzeniowej (1, 10-6, 18, 19, 20).

Kolejnym rodzajem energii elektrycznej wykorzystywanej jednocześnie z falą akustyczną jest prąd wysokonapięciowy, który swoją nazwę zawdzięcza wysokiej amplitudzie napięcia sięgającej nawet 500 V. Podkreślić należy, że wartości napięcia terapeutycznego wynoszą 100-50 V, a szczytowe napięcie ograniczone jest ze względów bezpieczeństwa (możliwość poparzeń skóry). Cechą rozpoznawczą tego prądu jest specyficzny kształt impulsu w postaci podwójnej iglicy. Częstotliwość kombinacji podwójnego impulsu zbliżonego do prostokątnego wynosi około 1-100 Hz. Czas trwania impulsu wynosi zazwyczaj od 5 μ s do 200 μ s, a odstęp pomiędzy dwiema iglicami impulsu może być krótszy lub dłuższy i waha się przeważnie w granicach 7-50 μ s. Impulsy cechują się szybkim czasem narastania i krótkim czasem trwania, około 7 μ s. Zjawisko nałożenia się dwóch impulsów powoduje wzmocnienie efektu i wydłużenie czasu ich trwania do 14 μ s. Z tego względu istnieje potrzeba dostarczenia znacznych wartości napięcia koniecznego do stymulacji nerwowej. Wartości szczytowego natężenia prądu są znaczące i dochodzą do 2-2,5 A, przy zachowaniu średniego poziomu natężenia rzędu 1-1,5 mA. Zaznaczyć należy, iż ilość przepływającego przez tkanki prądu, czyli jego natężenie, zależy przede wszystkim od zastosowanych wartości napięcia prądu, jak również oporu tkankowego, który jest sumą oporów pojawiających się na każdym poziomie przepływu prądu. Opisana zależność zgodna jest z prawem Ohma, które tłumaczy poniższy wzór (wzór 1).

Ważnym zagadnieniem w kontekście wielkości zjawisk termicznych spowodowanych przepływem prądu w określonym czasie przez tkanki poddane terapii skojarzonej jest prawo Joule'a, ujęte następującym wzorem (wzór 2) (12, 15, 17, 21).

$$U = I \cdot R$$

gdzie, U – napięcie prądu; I – natężenie prądu; R – opór tkanek (wzór 1)

$$H = I^2 \cdot R \cdot t$$

gdzie, H – stopień ciepła; I – natężenie prądu; R – opór tkanek; t – czas (wzór 2)

Ultradźwiękami określa się mechaniczne drgania oscylacyjne cząstek ośrodka o częstotliwości przekraczającej 20 000 Hz (10, 11, 13, 15). Generowane są one w oparciu o zjawisko odwrotnego efektu piezoelektrycznego, występującego w kryształach, i polega na odkształcaniu się piezoelektryków w wyniku działania prądu elektrycznego, którego efektem są drgania pola elektrycznego.

Właściwości biofizyczne ultradźwięków wskazują na wyzwalanie harmonicznych drgań mechanicznych na poziomie komórkowym i tkankowym. W praktyce fizjoterapeutycznej wykorzystywane są częstotliwości z zakresu 0,5-5 MHz oraz gęstość mocy w przedziale 0,1-2 W/cm² (1, 10). Fale ultradźwiękowe rozchodzą się ze stałą prędkością określaną mianem propagacji. Jej wartość zależna jest od histologicznych właściwości tkanek, stąd największą szybkość odnotowuje się w obrębie kości, gdzie wynosi w przybliżeniu 2800 m/s. W płynach ustrojowych, tkankach miękkich oraz skórze i tkance tłuszczowej jest prawie dwukrotnie mniejsza, rzędu około 1500 m/s. Podkreślić należy, iż w przypadku obecności metalowych ciał obcych (np. endoprotez) propagacja sięgać może nawet do 5000 m/s, co wiąże się z bardzo dużym efektem termicznym (11, 15). Wykazano, iż najistotniejsze zmiany w rozkładzie energii obserwowane są na granicy tkanki kostnej i okostnej (1, 10). Prędkość fali ultradźwiękowej określana jest jako iloraz częstotliwości fali w stosunku do jej długości. ▶

WSKAZANIA	PRZECIWWSKAZANIA
<ul style="list-style-type: none"> przewlekłe zespoły bólowe stawów kręgosłupa i stawów obwodowych entezopatie i zwyrodnienia przyczepów kostno-ścięgowych mięśni punkty spustowe i punkty maksymalnej bolesności mięśni szkieletowych choroba zwyrodnieniowa stawów kręgosłupa i stawów obwodowych przewlekłe stany zapalne i pourazowe stawów, mięśni, ścięgien, kałek przukurcze i bóle mięśniowe przewlekłe choroby reumatyczne zaburzenia mikrokrążenia skórniego neuralgie nerwów obwodowych zespół rwy kulszowej (<i>ischialgia</i>) zespół rwy ramiennej (<i>brachialgia</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> ostre infekcje ogólnoustrojowe ostre stany zapalne i pourazowe choroba nowotworowa stan po przebytej radioterapii implanty metalowe i elektroniczne stany zapalne i uszkodzenia skóry zabiegi okolicy słuźówki i oczu przepływ energii przez ciężarną macicę nadźwiewanie gruczołów płciowych aplikacje w obrębie klatki piersiowej zabiegi w okolicy przedniej części szyi aplikacje w obrębie głowy zabiegi okolicy rdzenia przedłużonego zaburzenia krążenia obwodowego niewydolność krążeniowo-oddechowa obszary zagrożone krwotokiem niezakończony wzrost kostny świeża zakrzepica i zapalenia żył zaburzenia sensoryczne ostre formy zaburzeń psychicznych zaburzenia świadomości, epilepsja

Tabela 1. Wskazania i przeciwwskazania zdrowotne do fizykajnej terapii skojarzonej

PARAMETR/PRĄD	HVS	TENS
polaryzacja	zmienna	zmienna
kształt impulsu	prostokątny, podwójna iglica	prostokątny, dwufazowy
częstotliwość	1-100 Hz	80-120 Hz
czas impulsu	5-200 μs	50-80 μs
czas przerwy	7-50 μs	
amplituda	100-150 V	
natężenie	1,2-1,5 mA	0,1-30/50 mA
oddziaływanie	rozluźniające	przeciwbólowe
habitacja	mniejszego stopnia	większego stopnia
zwiększenie natężenia podczas zabiegu	niezalecane	wskazane

Tabela 2. Zestawienie podstawowych parametrów najczęstszych bodźców elektrycznych terapii skojarzonej

ZALETY	WADY
<ul style="list-style-type: none"> intensyfikacja efektu terapeutycznego i większy stopień jego kompleksowości efektywne skrócenie czasu serii zabiegów dla pacjenta oraz terapeuty możliwość mobilnego przemieszczania głowicy zależnie od poziomu objawów możliwość zastosowania środków leczniczych w formie maści i żelów większy stopień indywidualizacji zabiegu do cech osobniczych pacjenta prawdopodobieństwo synergistycznego oddziaływania leczniczego tkanek stopniowanie intensywności bodźca adekwatnie do poziomu nasilenia i miejsca występowania dolegliwości możliwość przeprowadzenia procedury elektrodiagnostycznej przed zabiegiem 	<ul style="list-style-type: none"> brak jednoznacznych i przekonujących dowodów badań klinicznych wąska tematyka danych metodycznych i praktycznych w obecnej literaturze niebezpieczeństwo zaszkodzenia przez przedawkowanie ultradźwięków dostosowanie środka sprzęgającego do właściwości fizycznych obydwu energii utrudniona ocena skuteczności każdej z metod fizykalnych oddzielnie konieczność dostępu do aparatów integrujących różne formy bodźców sytuacje wzajemnego wykluczenia w niektórych jednostkach chorobowych ze względu na oddzielne przeciwwskazania

Tabela 3. Powszechne zalety i wady związane z zastosowaniem terapii skojarzonej

► Zależność opisywana jest poniższym wzorem (wzór 3). Pamiętać należy, iż ultradźwięki o wyższej częstotliwości (np. 3 MHz) oddziałują bardziej powierzchownie, do około 2 cm. Natomiast te o niższej częstotliwości (np. 1 MHz) odznaczają się głębszym stopniem penetracji rzędu 4-7 cm (10, 15, 22).

Absorpcja energii fali ultradźwiękowej uzależniona jest w głównej mierze od gęstości i elastyczności tkanek (tzw. impedancji akustycznej). Parametr ten mówi o oporze, który dana struktura tkankowa stawia ultradźwiękom, powodując swoiste utrudnienie w ich absorpcji. Impedancja wskazuje na poziom zaabsorbowanej, załamanej lub odbitej energii pomiędzy dwoma ośrodkami. W sytuacji znacznego stopnia oporności tkanek może dojść do silnego zjawiska hipertermicznego, które grozi trwałym uszkodzeniem; fakt ten tłumaczy poniższy wzór (wzór 4).

Kolejnym istotnym parametrem fizycznym ultradźwięków jest natężenie ich fali, którą stanowi ilość energii przenoszonej w jednostce czasu poprzez określoną powierzchnię, której ustawienie jest prostopadłe w stosunku do rozchodzącej się fali ultradźwiękowej (wzór 5) (11, 13, 15).

$$R = \rho \cdot v$$

gdzie R – oporność falowa; ρ – gęstość ośrodka; v – prędkość fali (wzór 3)

$$v = f \cdot \lambda$$

gdzie v – prędkość fali; f – częstotliwość fali; λ – długość fali (wzór 4)

$$I = E/t$$

gdzie I – natężenie fali; E – wartość energii fali; t – czas rozchodzenia się fali (wzór 5)

Oddziaływanie biologiczne terapii skojarzonej

Skutki terapeutyczne terapii skojarzonej koncentrują się w głównej mierze na oddziaływaniu analgetycznym i rozluźniającym. Liczne badania wskazują, że najczęściej stosowanymi czynnikami elektrofizjologicznymi w walce z bólem są zabiegi z zakresu stymulacji elektrycznej. Mechanizmy przeciwbólowe komponenty elektrycznej terapii skojarzonej tłumaczy zjawisko bramki kontrolnej, której istotą jest blokada

przewodzenia bólu włóknami A (szybkiego) lub C (wolnego), na poziomie rogów tylnych rdzenia kręgowego, opisana przez Melzacka i Walla. Według tej teorii dopływ i percepcja bodźców bólowych regulowana jest przez swobodną bramkę, która może być otwarta lub zamknięta na sygnały pochodzące z układu nerwowego, przez co istnieje możliwość wybiórczego zwiększania lub zmniejszania odczuwalnego poziomu bólu.

Podczas zabiegu dochodzi do hamowania nocyceptywnego poprzez stymulację mechanoreceptorów włókien A_{β} (bardzo szybkie), których próg pobudliwości jest znacznie niższy od włókien A_{δ} i C. Stymulacja włókien A_{δ} zadziała przeciwbólowo w sytuacji zahamowania sygnału przez włókna C do centralnego układu nerwowego, która nastąpi na skutek modulacji wydzielonymi enkefalinami oraz β -endorfinami. Ponadto obserwowana jest poprawa ukrwienia, efekt tonizujący oraz rozluźniający w obrębie włókien mięśniowych i tkanek miękkich (1, 12-15, 19, 20).

Efekty lecznicze składowej mechanicznej terapii skojarzonej w formie fali akustycznej polegają na przetworzeniu energii mechanicznej na energię termiczną w wyniku oscylacji i drgań cząsteczek. Delikatne, kontrolowane podwyższenie miejscowej temperatury tkanek (nawet o około 2-3°C) za pomocą sonoterapii oddziałuje przeciwbólowo i rozluźniająco, jak również poprawia trofikę i odżywienie, ich metabolizm oraz aktywność na poziomie komórkowym (tzw. diatermia ultradźwiękowa) (1, 13, 17, 23). Następnym efektem aplikacji ultradźwięków mogą być również efekty pozatermiczne, powodujące naprężenia tkanek poddanych zabiegowi. Do korzystnych następstw leczniczych zaliczyć należy mikromasaż, definiowany jako drgania tkanek spowodowane gradientem ciśnień i zmieniającym się naciskiem, który zachodzi w szybkim tempie (11, 15). Faktem jest, iż energia ultradźwiękowa w dawce terapeutycznej nie ma możliwości percepcji przez receptory nerwowe człowieka, stąd drgania te nie są odczuwalne przez pacjenta (10).

Aktualne doniesienia naukowe nie opisują jednoznacznych dowodów związanych z mechanizmami terapeutycznymi zjawiska kawitacji (formowania się niewielkich pęcherzyków powietrza w ośrodkach upłynionych) oraz strumienia akustycznego (ciśnienia uformowanego przez tkanki wykazujące zdolność odbicia energii fali ponadnaddźwiękowej) (13, 17).

Reasumując, biologiczne oddziaływanie ultradźwięków odnosi się do przyspieszenia metabolizmu komórkowego, zwiększenia przepuszczalności błon, poprawy mikrokrążenia, aktywacji reakcji enzymatycznych, zmiany odczynu tkanek w kierunku zasadowym, przyspieszenia procesów regeneracyjnych, zwiększenia progu bólowego, obniżenia napięcia włókien mięśniowych oraz poprawy elastyczności włókien kolagenowych (1, 11, 12, 15, 22).

Każda efektywna metoda terapeutyczna niesie za sobą pewne ryzyko wystąpienia efektów ubocznych i nieprzewidzianych do końca negatywnych rezultatów, stąd też nie wszyscy pacjenci spełniają kryteria kwalifikacyjne do leczenia. Podobnie jak ma to miejsce we wszystkich formach zabiegów fizykalnych, tak i podczas stosowania terapii skojarzonej należy mieć na uwadze wskazania oraz przeciwwskazania zdrowotne. Przy aplikowaniu wszelkich rodzajów energii fizycznych należy pamiętać o podstawowych zasadach bezpieczeństwa oraz stosować się do teoretycznych i praktycznych reguł. Ponadto wymagana jest poprawność metodyczna w adekwatnym doborze kombinacji dwóch form energii w zależności od jednostki chorobowej, w ustaleniu wygodnej i bezpiecznej pozycji ułożeniowej chorego, jak również w indywidualnym określeniu parametrów samego zabiegu. Rzecz naturalną jest, że przeciwwskazania chorobowe w przypadku terapii skojarzonej obejmować będą zarówno stany patologiczne, jak i sytuacje kliniczne wykluczające pacjentów z możliwości aplikacji sonoterapii oraz elektroterapii jednocześnie (tab. 1) (1, 10, 11, 13, 15, 17, 22, 23).

Zaopatrzenie sprzętowe oraz metodologia zabiegu

Najistotniejszym elementem sprzętowym umożliwiającym wykonanie zabiegu terapii skojarzonej jest dostęp do odpowiedniej aparatury elektromedycznej zapewniającej jednoczesne połączenie ultradźwięków z prądem elektrycznym. Do tego celu wykorzystać można urządzenie Ionoson-IF-Expert (Physiomed, Niemcy), które poprzez wybór prawidłowych opcji oprogramowania oraz technicznych parametrów zabiegowych pozwala na zastosowanie kombinacji tych dwóch energii (fot. 1, str. 46).

Przed ułożeniem elektrod pamięta należy o optymalnej, bezpiecznej i wygodnej pozycji pacjenta, która zapewni maksymalne rozluźnienie aparatu mięśniowo-powięziowo-więzadłowego i będzie gwarancją maksymalnego komfortu podczas zabiegu. Pozycja powinna być dostosowana także do indywidualnych warunków biomechanicznych pacjenta, aby uniknąć niekorzystnego napięcia tkanek przy jednoczesnym zapewnieniu delikatnego i bezbolesnego ich rozciągnięcia. Podczas właściwego zabiegu fizykalnej terapii łączonej, oprócz samej fali akustycznej emitowanej z głowicy ultradźwiękowej, aplikowany jest także prąd elektryczny o ładunku dodatnim lub ujemnym, w zależności od wskazań i pożądanego efektu terapeutycznego (najczęściej ujemny biegun – katoda). Drugi biegun, zamykający obwód prądu, stanowi klasyczna elektroda płytkowa metalowa lub gumowa, która układana jest pośrednio na ciele pacjenta przez mokry, ciepły podkład (najczęściej dodatni biegun – anoda).

W trakcie zabiegu terapii skojarzonej głowica ultradźwiękowa spełnia funkcję elektrody czynnej, gdyż zlokalizowana jest najczęściej w miejscu dolegliwości bólowych, w ich najbliższym sąsiedztwie lub na poziomie peryferyzacji objawów chorobowych. Elektroda bierna natomiast jest elektroda płytkowa umieszczona poza sferą bólu, a zasady jej ułożenia są analogiczne do podstaw ogólnych zabiegów elektroterapeutycznych, tj. przeciwległe w stosunku do miejsca występowania objawów (przepływ poprzeczny) lub po tej samej ►

fot. archiwum autora



Fot. 1. Przykładowy aparat do terapii skojarzonej wraz z głowicą ultradźwiękową oraz elektrodą węglową i podkładem



Fot. 2. Bóle przeciążeniowe odcinka lędźwiowego kręgosłupa podczas ciąży. **Katoda** (-): głowica w miejscu bólu, TENS + UD, 3 MHz, 0,1 W/cm², impulsowo 1:9, 4-6 min. **Anoda** (+): elektroda kontrlateralnie, TENS, 100 Hz, t_{impulsu} 50 μs, mA do powierzchni elektrody, 4-6 min



Fot. 3. Zespół bólowy odcinka lędźwiowo-krzyżowego kręgosłupa na poziomie L₅-S₂ z peryferyzacją objawów neurologicznych do stopy, tzw. rwa kulszowa. **Katoda** (-): głowica w miejscu L4, TENS + UD, 1 MHz, 0,5 W/cm², fala ciągła, 20-25 min. **Anoda** (+): elektroda w miejscu zakończenia bólu, TENS, 100 Hz, t_{impulsu} 80 μs, mA do odczuciu, 20-25 min



Fot. 4. Zespół bólowy czynnościowego przejścia kręgosłupa szyjnego i piersiowego C₇ - Th₁. **Katoda** (-): głowica w miejscu bólu, TENS + UD, 1 MHz, 0,4 W/cm², fala impulsowa 1:5, 12-15 min. **Anoda** (+): elektroda kontrlateralnie, TENS, 90 Hz, t_{impulsu} 60 μs, mA do odczuciu, 12-15 min



Fot. 5. Punkt spustowy w obrębie części zstępującej mięśnia czworobocznego grzbietu. **Katoda** (-): głowica na punkcie spustowym, HVS + UD, 3 MHz, 0,5 W/cm², fala impulsowa 1:4, 9-13 min. **Anoda** (+): elektroda kontrlateralnie, HVS, 100 Hz, 100 V, t_{impulsu} 100, μs, t_{przerwy} 20 μs, mA do odczuciu, 9-13 min

► stronie powyżej bądź poniżej dolegliwości bólowych (przepływ podłużny). W momencie zabiegów w strefie przykręgosłupowej elektroda płytkowa zamyka obwód kontrlateralnie. Przy zabiegach w obrębie kończyny górnej elektroda bierna zlokalizowana może być w okolicy międzyłopatkowej lub barku. Podczas aplikacji na poziomie kończyny dolnej elektrodę ułożyć można w okolicy pośladkowej lub lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa.

Konieczne jest zastosowanie właściwego środka sprzęgającego, którego właściwości fizykochemiczne pozwolą na przekazywanie obu form energii oraz będą się charakteryzować dobrym przewodnictwem elektrycznym (żel wodny, maści z zastosowaniem reguł polaryzacji ładunków w zabiegach jonoforezy i fonoforezy), unikać należy natomiast olejów parafinowych. Ponadto wyróżnić można także szereg ogólnych implikacji praktycznych oraz naukowych związanych z tą formą terapii (tab. 1, str. 44) (15-18).

Kolejność włączania bodźców fizycznych jest ściśle ustalona. Najpierw następuje podłączenie ultradźwięków generowanych przez głowicę, co nie wywołuje żadnych odczuć u pacjenta. Następnie aplikujemy prąd elektryczny, który emitowany będzie zarówno przez elektrodę płytkową, jak i aplikator ultradźwięków. Subiektywne wrażenia pacjenta związane z właściwą dawką prądu będą odczuwalne w postaci wyraźnego, lecz bezbolesnego mrowienia, bez widocznego efektu motorycznego ze strony mięśni, zarówno pod głowicą, jak i pod elektrodą płytkową. Natężenie prądu dobierane jest do osobniczych odczuć chorego (do 30-50 mA w przypadku prądów TENS oraz do 1,2-1,5 mA średniego natężenia prądów HVS). Elektroda bierna (płytkowa – anoda) jest stabilna, umieszczona w tym samym miejscu podczas trwania całego zabiegu, elektrodą czynną jest natomiast głowica – katoda. Wykonywane są labilne, powolne ruchy koliste i spiralne analogiczne do klasycznej metody sonoterapii. Typowe i najczęstsze parametry fali ultradźwiękowej podczas zabiegu odznaczają się częstotliwością 1-3 MHz, gęstością mocy 0,5-1 W/cm² oraz falą impulsową o współczynniku wypełnienia okresu 1:5. Parametry prądu TENS oraz HVS scharakteryzowane zostały szczegółowo w tabeli 3 (tab. 2, str. 44).

Czas trwania zabiegu jest zmienny i bezwzględnie uzależniony od typu schorzenia oraz okolicy poddawanej zabiegowi; przeważnie wynosi on 1 – 20-30 minut, z częstością 3-5 zabiegów tygodniowo. Pod rycinami zamieszczone zostały przykładowe parametry zabiegu w wybranych jednostkach chorobowych. Wysunięcie podkładów oraz brak opasek lub woreczków mocujących były celowe dla lepszego zobrazowania układu elektrod (fot. 2-5) (10, 15-18, 20).

Przegląd doniesień naukowych

Medycyna oparta na faktach i dowodach naukowych (EBM), a nie wyłącznie próba potwierdzenia domysłów popartych samym doświadczeniem klinicznym oraz subiektywnymi przesłankami, jest w dzisiejszej nauce podstawą krytycznego i empirycznego analizowania skuteczności wszystkich rodzajów, środków oraz metod terapii. Podejście takie jest konsekwencją

potrzeby obiektywizowania wyników i efektywności leczenia, co przekłada się na jakość publikowanych rezultatów badań naukowych oraz na skuteczność samego systemu leczenia pacjentów.

Prawidłowo udokumentowane dowody biofizyczne, oparte na przesłankach naukowych, stanowią cenne i wiarygodne źródło wiedzy krytycznej. W połączeniu z różnymi sytuacjami klinicznymi, kompetencjami i doświadczeniem terapeuty oraz systemem wartości pacjenta z jego racjonalnym zaangażowaniem stanowi klucz do kompleksowego, wielopłaszczyznowego, świadomego i uzasadnionego działania w nowoczesnej medycynie, w tym fizjoterapii klinicznej.

Dość istotnym mankamentem jest fakt, iż w przypadku znacznej większości zabiegów fizykalnych brak jest fizycznej możliwości przeprowadzenia badań z zastosowaniem efektu ślepej próby, podwójnej, a tym bardziej pojedynczej, co w znacznym stopniu wywiera wpływ na zmniejszenie jakości i wiarygodności wyników. Szczegółowy przegląd dostępnego piśmiennictwa oraz międzynarodowych baz medycznych w aspekcie fizykalnej terapii skojarzonej oraz form energii wchodzących w jej skład pozwolił autorom na wyłonienie interesujących wyników wybranych, choć wciąż nielicznych eksperymentów. Wyniki zdecydowanej większości doniesień przemawiają w głównej mierze za istotnym zmniejszeniem natężenia i intensywności odczuwanych przez pacjentów dolegliwości bólowych spowodowanych różnymi schorzeniami narządu ruchu (PI – ang. *Pain Intensity*). Wykazano również znaczące zwiększenie proggu odczuwania bólu (PT – ang. *Pain Threshold*), poprawę zakresu ruchomości stawów (ROM – ang. *Range Of Motion*), zwiększenie siły mięśniowej (MSL – ang. *Muscle Strenght Level*), usprawnienie codziennej aktywności funkcjonalnej (FA – ang. *Functional Activity*) oraz poprawę jakości snu (RSQ – ang. *Refreshing Sleep Quality*) czy też szeroko pojętej jakości życia (QOL – ang. *Quality Of Life*) (1, 5, 7, 8, 9, 12, 15).

Od dawna wiadomo, iż zabiegi fizykalne ukierunkowane bezpośrednio

na ciężarną macicę stanowią jedno z podstawowych i bezwzględnych przeciwwskazań zdrowotnych na całym świecie. Jednak zastosowanie prądów TENS oraz fali ultradźwiękowej w przypadku czynnościowych dolegliwości bólowych dolnego odcinka kręgosłupa o charakterze przeciążeniowym u kobiet w ciąży wydaje się być uzasadnione pod warunkiem zachowania szczególnej ostrożności i ściśle określonych procedur medycznych. Za tym stanem rzeczy przemawiają doniesienia grona ekspertów zajmujących się badaniami nad możliwościami terapeutycznymi prądów TENS w przypadku bólów dolnego odcinka kręgosłupa (LBP – ang. *Low Back Pain*) u ciężarnych kobiet. Naukowcy dowodzą korzystnych efektów i braku skutków ubocznych, które mogłyby zagrazić płodowi czy wywołać przedwczesne skurcze macicy. Opisują wskazówki metodyczne zabiegu, które skupiają się na topografii elektrod, i wnioskuje, że ich usytuowanie jest najbardziej efektywne ponad korzeniami nerwowymi odcinka lędźwiowo-krzyżowego. Informują jednocześnie o unikaniu układania elektrod w pobliżu spojenia łonowego. Autorzy podają także metodę przeliczania gęstości natężenia prądu, która jest wyrażona jako iloraz jego przeciętnego poziomu natężenia rzędu 20 mA do pola powierzchni elektrody, które wynosi zazwyczaj 50 cm². Stąd wielkość dawki nie powinna przekroczyć przy tych danych wartości 0,4 mA/cm². Ponadto wzmiankują, że jest wysoce prawdopodobne, iż gęstość prądu na skórze w czasie zabiegu będzie mniejsza, niż jest ona potrzebna do dotarcia w obręb macicy, ze względu na wcześniejsze rozproszenie w tkankach. Badacze na podstawie przeglądu piśmiennictwa potwierdzają brak dowodów na szkodliwość omawianego zabiegu w ciąży, jednak podkreślają że ta forma terapii nie odgrywa głównej roli w leczeniu bólów kostno-mięśniowych podczas ciąży. Autorzy potwierdzają, iż ryzyko silnego lęku kobiet, związanego z zabiegiem prądami TENS, w pierwszym trymestrze jest nieco wyższe niż w późniejszych etapach, więc powinno być zlecane bardzo rozważnie. Jednakże, jak zaznaczono wcześniej,

nie stwierdzono żadnych negatywnych skutków tej metody podczas każdego etapu ciąży. Co więcej TENS odznacza się mniejszym ryzykiem w porównaniu z silnymi lekami zwalczającymi i łagodzącymi dolegliwości bólowe dolnego odcinka kręgosłupa.

Z kolei Barnett i wsp. (2, 3, 4) wyjaśniają możliwość aplikowania sonoterapii w ciąży. Podkreślają, że dawki ultradźwięków, stosowane podczas postępowania diagnostycznego u kobiet w ciąży, sięgają wartości natężenia na poziomie do 0,1 W/cm² i zbliżone są tym samym do niskich dawek odnajdujących praktyczne zastosowanie w fizykoterapii. Ze względu na znaczną głębokość oraz objętość tkanek człowieka, jak również zdolności absorpcyjne fali ultradźwiękowej, mogłyby zapewnić bezpieczne wchłonięcie dostarczonej energii, przez co ryzyko pojawienia się uszkodzeń zmniejszyłoby prawie do zera (13).

Ciekawą odmianą i nowatorskim rozwiązaniem wydaje się być możliwość wykorzystania terapii skojarzonej z zastosowaniem fali ultradźwiękowej oraz modulowanych prądów średniej częstotliwości w celach elektrodiagnostycznych przed aplikacją właściwej formy zabiegu. O tego typu praktyce donosi Almeida i wsp. (1), przedmiotem badań których zostali pacjenci z fibromialgią (FS – ang. *Fibromyalgia Syndrome*). Przed aplikacją terapii skojarzonej naukowcy dokonali swoistej procedury diagnostycznej, której celem było wykrycie tkanek o wzmożonej wrażliwości bólowej oraz ustalenie ich topografii. Wykorzystali w tym celu ultradźwięki o przebiegu ciągłym, których częstotliwość wynosiła 1 MHz, a natężenie sięgało wartości 0,5 W/cm². Skojarzoną komponentę elektryczną stanowiły prądy interferencyjne średniej częstotliwości – 4000 Hz, o częstotliwości terapeutycznej (AMF – ang. *Amplitude Modulated Frequency*) równej 100 Hz, z zastosowaniem progowej intensywności prądu. Metodyka określonego przez badaczy „mapowania” jest stosunkowo zbliżona do techniki właściwego zabiegu terapii skojarzonej. Elektrodę bierną, zazwyczaj w formie płytki zamykającej obwód prądu, ►

► układa się z dala od miejsca bólu (np. kontrateralnie, po przeciwnej stronie ciała). Elektroda czynną jest przeważnie głowica, która początkowo znajduje się w pewnej odległości od miejsca bólu zgłaszanego przez chorego. Najpierw należy podłączyć ultradźwięki, a następnie prąd interferencyjny oraz dostosować indywidualny próg natężenia prądu do subiektywnych odczuć pacjenta. Kolejno stopniowo przemieszcza się głowicę w kierunku miejsca schorzenia, zwracając jednocześnie uwagę na topografię punktów wzmożonej bolesności, napięcia, bólu miejscowego czy bólu z przeniesienia. Podczas tej procedury określone są punkty maksymalnej bolesności, które stanowią centralne punkty schorzenia. Precyzowana zostaje ich lokalizacja topograficzna, która zdaniem naukowców jest zazwyczaj stała i w dużym stopniu powtarzalna.

Podsumowanie

W Polsce omawiana metoda fizykalnej terapii skojarzonej znana jest od wielu lat. Przez długi okres zabieg ten, ze względu na nieusystematyzowane podstawy teoretyczne oraz brak wiarygodnych i jednoznacznych rezultatów eksperymentów klinicznych, aplikowany był niejednokrotnie w sposób niepoprawny, przez co prowadził do pogorszenia stanu pacjenta i poważnego zagrożenia jego zdrowia.

Obecnie, mimo coraz większych, lecz i tak zdecydowanie niewystarczających przesłanek naukowych na temat słuszności leczniczej omawianego zabiegu, jak również udogodnień w formie bardziej zaawansowanego technicznie sprzętu elektromedycznego, zabieg terapii skojarzonej jest wciąż w małym stopniu doceniany i rzadko stosowany w codziennej praktyce fizjoterapeutycznej.

Niemniej jednak, istnieje uzasadniona konieczność wyteżonego obserwowania najnowszych doniesień oraz rezultatów wielośrodkowych, prospektywnych i randomizowanych badań naukowych, aby bezspornie wyjaśnić wszelkie wątpliwości związane z wykorzystaniem fizykalnych zabiegów łączonych. Pozwoli to w przyszłości na bardziej wszechstronne zastosowanie terapii skojarzo-

nej w coraz to liczniejszych jednostkach chorobowych. □

Zdjęcia do artykułu wykonane zostały dzięki uprzejmości Ewy Ziółko, kierownik Wrocławskiego Centrum Profilaktyki Kręgosłupów „Spartan”.

Piśmiennictwo

- Allen R.J.: *Physical agents used in the management of chronic pain by physical therapists*, „Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.”, 2006, 17: 315-345.
- Citak-Karakaya I., Akbayrak T., Demirtürk F., Ekici G., Bakar Y.: *Short and long-term results of connective tissue manipulation and combined ultrasound therapy in patients with fibromyalgia*, „J. Manipulative Physiol. Ther.”, 2006, 29(7): 524-528.
- Barnett S.B., Maulik D. International Perinatal Doppler Society: *Guidelines and recommendations for safe use of Doppler ultrasound in perinatal applications*, „J. Matern. Fetal. Med.”, 2001, 10(2): 75-84.
- Barnett S.B., Rott H.D., Ter Haar, G.R., Ziskin M.C., Maeda K.: *The sensitivity of biological tissue ultrasound*, „Ultrasound Med Biol.”, 1997, 23(6): 805-12.
- Barnett S.B., Ter Haar G.R., Ziskin M.C., Rott H.D., Duck F.A., Maeda K.: *International recommendations and guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine*, „Ultrasound Med. Biol.”, 2000, 26(3): 355-66.
- Coldron Y., Crothers E., Haslam J., Notcutt W., Sidney D., Thomas R., Watson T.: *ACPDH guidelines on the safe use of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) for musculoskeletal pain during pregnancy*, „J. Assoc. Chart Physiother. Wom. Health.”, 2007, 101, 102-105.
- Durmus D., Durmaz Y., Canturk F.: *Effects of therapeutic ultrasound and electrical stimulation program on pain, trunk muscle strength, disability, walking performance, quality of life, and depression in patients with low back pain: a randomized, controlled trial*, „Rheumatol Int.”, 2010, 30: 901-910.
- Gabriel Y.F.: *Comparing therapeutic ultrasound with microamperage stimulation therapy for improving the strength of Achilles tendon repair*, „Conn. Tiss. Res.”, 2010: 1-5.
- Korabiewska I., Sipko H., Lewandowska M., Białoszewski I.: *Ocena skuteczności leczenia falą uderzeniową i terapią skojarzoną pacjentów z tzw. łokciem tenisisty*, „Acta Balneologia”, 2010, 2: 76-83.
- Łazowski J.: *Podstawy fizykoterapii*, Wydawnictwo AWF Wrocław, Wrocław 2002.
- Mika T.: *Fizykoterapia. Podręcznik wydziałów fizjoterapii medycznych studiów zawodowych. Wydanie III*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1999.
- Polak A., Grymel-Kulesza E., Romaniak M., Kubacki J., Król P.: *Comparison of the efficacy of Ketonal iontophoresis and the combination of ultrasound and electrical stimulation as adjunctive treatment for rotator cuff injuries*, „Fizjoter Pol.”, 2010, 10, 2(4): 123-135.
- Robertson V., Ward A., Low J., Reed J.: *Fizykoterapia. Aspekty kliniczne i biofizyczne*, Wydawnictwo Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2009.
- Stasiak-Pietrzak A., Długosz M., Krokora K., Czernicki J.: *Wpływ wybranych zabiegów fizykalnych na wydzielanie beta-endorfin*, „Acta Balneologia”, 2009, 51(4): 258-263.
- Straburzyńska-Lupa A., Straburzyński G.: *Fizjoterapia*. Wydanie III, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2006.
- Taradaj J., Feliksik M., Franek A., Błaszczak E.: *Terapia skojarzona (TENS + ultradźwięki) w leczeniu bólów krzyża*, „Rehab. Prakt.”, 2008, 4: 38-39.
- Taradaj J., Dolibog P.: *Nowoczesna sonoterapia*. „Rehab. Prakt.”, 2006, 3: 26-28.
- Taradaj J., Sieroń A., Jarzębski M.: *Fizykoterapia w praktyce*. Wydawnictwo Elamed, Katowice 2010.
- Taradaj J.: *Elektroterapia w leczeniu choroby zwyrodnieniowej stawów*, „Rehab. Prakt.”, 2006, 1: 20-27.
- Taradaj J.: *Elektroterapia w schorzeniach narządu ruchu*, „Rehab. Prakt.”, 2009, 1: 42-43.
- Taradaj J.: *Elektroterapia wysokonapięciowa – EWN*, „Rehab. Prakt.”, 2007, 1: 28-30.
- Watson T.: *The role of electrotherapy in contemporary physiotherapy practice*, „Man Ther.”, 2000, 5(3): 132-141.
- Watson T.: *Ultrasound in contemporary physiotherapy practice*, „Ultrasonics.”, 2008, 48(4): 321-329.