Wpływ dawki terapeutycznej na skuteczność laseroterapii nisko- i wysokoenergetycznej (HILT)

The influence of the therapeutic dose on the efficacy of the low and High Intensity Laser Therapy (HILT)

Andrzej Kwolek, Jolanta Zwolińska, Aneta Weres

Instytut Fizjoterapii, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Warszawska 26a, 35-205 Rzeszów,
tel. +48 505 09 51 99, e-mail: budzinska2@tlen.pl

Streszczenie

Celem pracy jest porównanie skuteczności różnych form i metod laseroterapii na podstawie przeglądu literatury. Uwzględniono opublikowane w latach 2003–2011 prace badawcze skatalogowane w medycznych bazach danych PubMed, Embase, Cochrane oraz liczne pozycje piśmiennictwa anglojęzycznego i polskiego z przedmiotowej tematyki. Dane wskazują na szerokie możliwości zastosowania laseroterapii, zarówno jako samodzielnej metody, jak również metody skojarzonej. Zauważalna jest jednak niewielka liczba badań naukowych o wysokiej jakości metodologicznej, a tylko właściwie zaplanowane i rzetelnie realizowane badania naukowe mają istotne znaczenie dla podejmowania ważnych decyzji terapeutycznych w praktyce klinicznej.

Słowa kluczowe: niskoenergetyczna terapia laserowa, wysokoenergetyczna terapia laserowa, dawka terapeutyczna

Abstract

The main goal of this paper is to compare the effectiveness of various forms and applied methods of laser therapy, basing on the literature survey. This review is based on the papers published in years 2003–2011, presented in the medical databases PubMed, Embase, Cochrane and in English and Polish language literature. The various laser therapy applications as an independent method or as a combination therapy, are discussed. There are some scientific studies of high methodological quality, what is important, since only carefully planned and thoroughly executed scientific studies are helpful in therapeutic decisions in clinical practice.

Keywords: Low Level Laser Therapy (LLLT), High Intensity Laser Therapy (HILT), therapeutic dose

Wstęp

Celem pracy była analiza najnowszej literatury z zakresu laseroterapii, ze szczególnym uwzględnieniem skuteczności różnych metod naświetlania wiązką laserową. Dokonano przeglądu piśmiennictwa w medycznych bazach danych: Cochrane Library, PuBMed, EMBASE i aktualnej literatury. Wstępna analiza wskazuje na dużą liczbę badań nad skutecznością laseroterapii. Istotną kwestią jest różnorodność czynników determinujących skuteczność tej terapii, a także ocena naukowa prezentowanych prac.

Badania *in vitro* i *in vivo* prowadzone na całym świecie w ostatnich dwudziestu latach potwierdziły korzystny wpływ naświetlań laserowych. Można jednak zauważyć, iż badania kliniczne znacznie wyprzedzają podstawowe badania fizjologiczne. Jedna z hipotez dotyczących działania biologicznego zakłada, że w wyniku pochłoniętej energii wiązki laserowej powstają związki aktywne biologicznie, odgrywające ważną rolę w metabolizmie komórki zarówno w obszarze naświetlanym, jak i w miejscach bardzo odległych. Taki „efekt systemowy" uzyskiwany jest dzięki temu, że energia wiązki laserowej przekazywana jest do odległych struktur ustroju [1]. Pochłonięte promieniowanie laserowe o odpowiedniej dawce działa stymulująco na metabolizm komórki [2].

Światło laserowe wykorzystywane jest obecnie prawie we wszystkich dziedzinach medycyny, począwszy od medycyny estetycznej aż po chirurgię. Początkowo stosowano lasery dużej mocy w celu przeprowadzania fotodestrukcji i fotokoagulacji tkanek. Uzyskane przy zastosowaniu nieco niższych energii korzystne efekty w żywej tkance doprowadziły do powszechnego wykorzystania niskoenergetycznych laserów terapeutycznych LLLT (*Low Level Laser Therapy*) [3]. Urządzenia te, o maksymalnej mocy nieprzekraczającej 500 mW i gęstości mocy nie mniejszej niż 5 mW/cm², zaliczane są do 3 klasy bezpieczeństwa. Są to lasery niepowodujące wzrostu temperatury naświetlanej tkanki powyżej 1°C [3–5]. Skuteczność terapeutyczna uwarunkowana jest efektami fotobiostymulującymi oraz fotobiomodulującymi. Obserwuje się aktywację łańcucha oddechowego (zwiększenie przyswajania tlenu), pobudzenie aktywności pompy sodowo-potasowej, lepsze przenikanie jonów wapnia do komórki, wzrost syntezy ATP (adenozynotrifosforan), RNA (kwas rybonukleinowy), DNA (kwas dezoksyrybonukleinowy) i wydzielania β-endorfin oraz proliferacji komórkowej; w tym komórek Schawanna, ograniczenie przewodzenia bodźców bólowych we włóknach aferentnych oraz działanie antymutagenne. Wykazano też wpływ wazodylatacyjny i naczyniotwórczy światła laserowego, skutkujący poprawą ukrwienia obwodowego i mikrokrążenia krwi. Uzyskuje się stymulację syntezy kolagenu i regulację procesów enzymatycznych. Niskoenergetyczne promieniowanie laserowe wykazuje też działanie hipokoagulacyjne i immunostymulacyjne. Powyższe efekty pozwalają wykorzystać laser w terapii przeciwbólowej, w przyśpieszaniu procesu regeneracji tkanek po urazach narządu ruchu, w chorobach reumatycznych, neurologicznych, dermatologicznych czy stomatologicznych [1–4, 6–17].

We współczesnym lecznictwie znajduje też zastosowanie stymulacja wiązką laserową o długości 633 nm i 670 nm z wykorzystaniem bardzo niskiego poziomu gęstości mocy (0,15 mW/cm²), która przy określonym trybie pracy wywołuje istotne skutki biologiczne w tkankach. Skuteczność tej metody znalazła potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach na hodowlach komórkowych i modelach zwierzęcych. Terapia ta, określana jako ultraniskoenergetyczna laseroterapia (ULLLT – *Ultra Low Level Laser Therapy*), staje się przedmiotem badań klinicznych mających na celu potwierdzenie jej skuteczności [18].

Nowoczesną metodą wykorzystującą niskoenergetyczne promieniowanie laserowe jest magnetolaseroterapia. Skojarzone działanie wiązki laserowej z zakresu widma widzialnego bądź

podczerwonego i zmiennego pola magnetycznego niskiej częstotliwości i indukcji (z zakresu magnetostymulacji) pozwala uzyskać pozytywny efekt terapeutyczny. Terapia ta znajduje zastosowanie w leczeniu zarówno w ostrych, jak i przewlekłych procesów chorobowych [19, 20].

Stopniowe zwiększanie gęstości mocy i dawki terapeutycznej spowodowało pojawienie się na rynku laserów wysokiej mocy służących do biostymulacji termicznej, w trakcie której lasery HILT (*High Intensity Laser Therapy*) generują impulsy o mocy do 3 kW. Urządzenia te zaliczane są do 4 klasy bezpieczeństwa, co oznacza konieczność ochrony zarówno wzroku, jak i skóry przed takim promieniowaniem [21–24]. Dotychczas lasery wysokoenergetyczne wykorzystywane były w chirurgii w celu wywoływania procesów fotodestrukcyjnych. Generowane z dużą mocą impulsy cechuje krótki czas trwania i dostatecznie długie przerwy, co umożliwia przeprowadzenie bezpiecznej terapii przy jednoczesnym wyeliminowaniu ryzyka uszkodzenia termicznego tkanek. Wysoka moc wyjściowa promieniowania HILT pozwala na głębszą penetrację tkanek z większą dawką energii w krótszym czasie [4, 25].

Efekty fotochemiczne wynikają z absorpcji promieniowania laserowego przez elementy tkanki żywej, tj. melaninę, związki porfirynowe, enzymy i wodę. Powoduje to usprawnianie procesów utlenowania tkanek, wzrost zawartości ATP, RNA i DNA w komórce oraz stymulację syntezy kolagenu [26–28]. Ponadto HILT wpływa korzystnie na przepuszczalność błony komórkowej, podziały komórkowe oraz stymulację aktywności komórek kościotwórczych [29, 30]. Efekty fotomechaniczne związane są z absorpcją krótkotrwałych impulsów laserowych wysokiej mocy i powstawaniem fali akustycznej, na drodze której mają miejsce cykliczne zmiany ciśnienia i swoisty mikromasaż tkanek. Niektóre ze wzbudzanych fal to fale uderzeniowe wykorzystywane w chirurgii przy ablacji tkanek. Moc tych impulsów przekracza wartość 10^6 W. W fizjoterapii znajdują zastosowanie impulsy o wartości mocy do 3 kW i szerokości impulsów 100–200 μs [31]. Zwiększanie mocy wiązki laserowej przy większej długości fali powoduje lepszą penetrację światła w tkankach, co nie jest możliwe w przypadku fal krótszych. Przy zastosowaniu laserów dużej mocy w tkankach powierzchownych zostaje zaabsorbowana duża dawka promieniowania, stąd pojawiające się efekty termiczne. Pozostała część wiązki przenoszona jest do głębiej położonych tkanek, wywołując jedynie efekty fotobiochemiczne, czyli procesy biostymulacyjne, dlatego też według niektórych autorów terapia dużej mocy powinna być ograniczona do zmian głębiej położonych [32, 33].

Dokonany przegląd ukazuje różnorodność czynników warunkujących efekty terapii laserowej. Niezwykle trudna jest zatem ocena i porównanie analizowanych prac.

Skuteczność biostymulacji laserowej w badaniach klinicznych

W badaniach dotyczących wpływu niskoenergetycznej terapii laserowej na funkcję nerwu pośrodkowego wykorzystano laser półprzewodnikowy (długość fali 810 nm, moc 100 mW, tryb ciągły), aplikując dawkę 2,38 J/cm² oraz 9,52 J/cm². Oceniano przewodnictwo we włóknach ruchowych i czuciowych. Wykazano, że po zastosowaniu dawki 2,38 J/cm² uzyskano wydłużenie latencji końcowej we włóknach ruchowych. Naświetlanie dawką 2,38 J/cm² i 9,52 J/cm² nie spowodowało istotnych statystycznie zmian szybkości przewodnictwa we włóknach ruchowych i czuciowych. Nie zmieniła się także istotnie statystycznie amplituda potencjałów wywołanych we włóknach ruchowych i czuciowych. Uzyskano jednak znaczne podwyższenie progu czucia we włóknach nerwu przy zastosowaniu tych dawek energii [34].

Wstępna obserwacja wpływu biostymulacji laserowej na stan pacjentów z zaawansowaną chorobą wieńcową wykazała pozytywny wpływ tej terapii na oceniane parametry kardiologiczne. Naświetlanie okolicy przedsercowej wiązką laserową (laser He-Ne) w dwóch miesięcznych cyklach z 4-tygodniową przerwą spowodowało poprawę wyniku badania EKG spoczynkowego, poprawę wyników 6-minutowego marszu i prób wysiłkowych, a także obniżenie ciśnienia tętniczego krwi. Lokalna aplikacja wiązki laserowej pozbawiona efektu cieplnego nie spowodowała u badanych osób żadnych powikłań [35].

Z oceny wpływu promieniowania laserowego na wzrost aktywności acetylocholinoesterazy erytrocytarnej (AChE) w zależności od sposobu aplikacji wynika, że zastosowanie impulsowo energii 6 J i 3 J oraz 9 J i 3 J jest bardziej skuteczne w porównaniu z działaniem ciągłym 9 J i 12 J [36].

W badaniach Hirschla i in. oceniano skuteczność niskoenergetycznej terapii laserowej w zmniejszaniu dolegliwości u pacjentów z chorobą Raynauda [37]. Grupa leczona poddawana była terapii przez 5 dni w tygodniu przez okres 3 tygodni. W grupie kontrolnej zastosowano placebo. Po naświetlaniu zaobserwowano zmniejszenie częstości ataków i obniżenie nasilenia dolegliwości.

Chow [38] badał wpływ promieniowania laserowego o długości 830 nm i mocy 300 mW na ustąpienie dolegliwości w przewlekłym bólu karku. Grupę 90 pacjentów poddano prospektywnej podwójnie ślepej, randomizowanej, kontrolowanej próbie. Naświetlano metodą kontaktową bolesne miejsca karku przez 7 dni. Do oceny wykorzystano skalę bólu VAS (*Visual Analogue Scale*), kwestionariusz jakości życia Short-Form 36 Quality-of-life, kwestionariusz Northwick Park Neck Pain, skalę bólu i niepełnosprawności oraz kwestionariusz bólu McGill. Oceny dokonywano przed leczeniem oraz po 7 i 12 tygodniach leczenia. W grupie naświetlanej poprawa dotyczyła 48,5% badanych osób, w grupie kontrolnej zaś jedynie 3,99%.

W badaniach Stergioulasa u chorych z łokciem tenisisty zastosowano naświetlania 2 razy w tygodniu przez okres 4 tygodni, następnie 1 raz w tygodniu przez okres 4 tygodni [39]. Wykorzystano laser Ga-As o mocy 40 mW emitujący falę o długości 904 nm. Stosowano tryb pracy impulsowej (50 Hz) i gęstość energii 2,4 J/cm². W grupie naświetlanej stosowano równolegle kinezyterapię, w grupie kontrolnej zaś stosowano placebo i identyczny program kinezyterapeutyczny. Dokonywano trzykrotnej oceny poziomu nasilenia bólu oraz stanu funkcjonalnego pacjentów. Badanie wykonywano przed terapią, bezpośrednio po jej zakończeniu oraz po upływie 8 tygodni od zakończenia terapii. W grupie naświetlanej w drugim i w trzecim badaniu wykazano istotne statystycznie obniżenie natężenia bólu, zwiększenie zakresu ruchu oraz wzrost siły uścisku ręki.

W celu oceny skuteczności laseroterapii w leczeniu bolesnego stawu ramiennego przeprowadzono badania z udziałem 40 chorych podzielonych w sposób randomizowany na dwie grupy. W grupie pierwszej zastosowano laseroterapię i kinezyterapię, w grupie kontrolnej kinezyterapię i naświetlania placebo. Oceniano poziom nasilenia bólu, wrażliwość dotykową oraz wrażliwość struktur mięśniowo-szkieletowych na bodziec bólowy techniką algometrii uciskowej. Dokonywano także pomiaru zakresu ruchu w bolesnym stawie. U 17 osób wykazano po laseroterapii zmniejszenie wrażliwości dotykowej w porównaniu z grupą kontrolną, gdzie podobny efekt uzyskano u 6 osób. W grupie naświetlanej zaobserwowano też znaczne zwiększenie zakresu biernego wyprostu w stawie ramiennym. Zmiany pozostałych parametrów były porównywalne w obu badanych grupach [40].

Kaviani i in. wykorzystali niskoenergetyczną wiązkę laserową (Ga-As, 890 nm, 1,5 J/cm²) w leczeniu obrzęku kończyny górnej występującego u kobiet po mastektomii [41]. Naświetlaniu poddawano kończynę górną oraz okolicę pachową. W grupie kontrolnej zastosowano placebo. W badaniach oceniano: nasilenie dolegliwości bólowych, zakres ruchu w stawach kończyny górnej, obwody oraz ciężar kończyny, a także poziom motywacji u pacjentek do kontynuacji leczenia. Oceny dokonywano na początku terapii oraz po 3, 9, 12, 18 i 22 tygodniach. Do badań włączono 11 osób, z czego 8 ukończyło terapię. Po 22 tygodniach u wszystkich pacjentek zaobserwowano zmniejszenie obwodu kończyny, jednak w grupie naświetlanej był wyraźny efekt. Ponadto u wszystkich kobiet zaobserwowano po leczeniu większą motywację do kontynuacji terapii. Obniżenie poziomu bólu

było większe w grupie naświetlanej w porównaniu z grupą kontrolną (z wyjątkiem badania po 3. i 9. tygodniu terapii). Nie wykazano istotnej różnicy pomiędzy grupą leczoną i kontrolną w zakresie ruchomości kończyny.

Sharma i in. sprawdzali skuteczność laseroterapii niskoenergetycznej w chorobie De Quervaina. W leczeniu zastosowano promieniowanie ciągłe i dawkę 2–4 J/cm². Po leczeniu dokonywano pomiaru siły uścisku i siły uchwytu szczypcowego. Do oceny wykorzystano również pomiary ultrasonograficzne: mięśnia odwodziciela długiego kciuka oraz mięśnia prostownika krótkiego kciuka. Po naświetlaniu stwierdzono istotny wzrost siły ścisku i siły chwytu szczypcowego oraz zmniejszenie wymiarów struktur ocenianych ultrasonograficznie. W grupie placebo nie wykazano poprawy [42].

Stwierdzono też skuteczność terapii laserowej u dzieci z przewlekłym zapaleniem dziąseł. Sto osób podzielono na dwie grupy. W grupie I zastosowano podstawową terapię stosowaną w tej jednostce chorobowej, natomiast w grupie II dodatkowo aplikowano wiązkę laserową małej mocy. Próba ta pokazała, że zastosowanie niskoenergetycznej terapii laserowej u dzieci z przewlekłym zapaleniem dziąseł może znacznie poprawić efekty leczenia [43].

Korzystny wpływ laserów biostymulujących na przyspieszenie regeneracji włókien nerwowych stanowił przesłankę do wykorzystania laseroterapii u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym. Naświetlanie kontaktowe wykonywano w okolicy kręgosłupa szyjnego oraz szyjno-piersiowego. Zabiegi trwały 10 minut i wykonywane były przez 21 kolejnych dni. Do badań włączono 100 pacjentów z trwałą niesprawnością, która w skali EDSS (*Expanded Disability Status Scale*) wynosiła co najmniej 5 pkt. Badaną grupę podzielono ze względu na stopień niesprawności w skali EDSS: I grupa do 6 pkt. (50 osób), II grupa do 7 pkt. (30 osób) i III grupa 8 pkt. (20 osób). Po zakończeniu terapii w grupie I u 15% nie wykazano zmian w stanie neurologicznym, również u 15% uzyskano poprawę subiektywną, a u 20% – poprawę w badaniu lekarskim. W grupie II u 15% nie uzyskano poprawy stanu neurologicznego, u 10% uzyskano poprawę subiektywną i jedynie u 5% pacjentów wykazano poprawę w badaniu lekarskim. W grupie III u 15% pacjentów nie było po leczeniu zmian w stanie neurologicznym, u 5% uzyskano poprawę subiektywną i u żadnego pacjenta nie wykazano badaniem lekarskim poprawy po naświetlaniu [44].

W leczeniu 30 osób z dyskopatią szyjną wykorzystano laser półprzewodnikowy (GaAlAs, 50 mW). Naświetlania wykonywano codziennie, aplikując dawkę 0,2 J/cm² w czasie 3 minut. Po 10 zabiegach uzyskano częściowe zniesienie dolegliwości bólowych [45].

Biostymulację laserową zastosowano w leczeniu zapalenia nadkłykcia bocznego kości ramiennej. Na okolicę bolesną przez okres 1 miesiąca aplikowano dawkę 12,24 J/cm², jednak zastosowana terapia nie przyniosła oczekiwanych efektów [46].

Badania Króla i in. dotyczyły skuteczności laseroterapii w leczeniu owrzodzeń żylnych goleni. Pacjenci zostali podzieleni na trzy grupy (A – 17 osób, B – 15 osób, C – 17 osób). We wszystkich grupach zastosowano farmakoterapię i kompresoterapię. Dodatkowo w grupie A wykonywano naświetlania wiązką o długości 810 nm, aplikując dawkę 4 J/cm². W grupie B stosowano *quasi*-laseroterapię. Efekt był porównywalny z placebo [13].

Przeprowadzone badania pilotażowe dotyczyły zastosowania laseroterapii w zmniejszaniu zmęczenia mięśni wywołanego stymulacją metodą NMES (*Neuromuscular Electrical Stimulation*). Do naświetlań zastosowano laser o mocy 500 mW emitujący długość fali 808 nm. Wykazano, że mięśnie naświetlane są bardziej odporne na zmęczenie wywołane NMES [47].

W badaniach przeprowadzonych z udziałem 32 pacjentów z dolegliwościami bólowymi i zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego oceniano wpływ promieniowania laserowego (laser półprzewodnikowy o mocy 400 mW, długość fali 810 nm). W trakcie 10-dniowej serii metodą kontaktową zaaplikowano energię o gęstości powierzchniowej 12,7 J/cm². Uzyskano istotne statystycznie zmniejszenie dolegliwości bólowych ocenianych skalą VAS (poprawę stwierdzono u 91% badanych) oraz kwestionariuszem Laitinena (poprawę stwierdzono u 59% badanych). Odnotowano także istotne statystycznie zmniejszenie częstotliwości bólu ocenianej kwestionariuszem Laitinena. Zastosowana laseroterapia nie wpłynęła znacząco na poprawę codziennej aktywności i zmniejszenie częstości przyjmowanych analgetyków [48].

W celu porównania skuteczności przeciwbólowej wybranych metod fizykalnych przebadano 94 osoby z zespołem bólowym części lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa. Badanych podzielono na 3 grupy. U 35 osób wykonano 10 zabiegów laseroterapii (długość fali 808 nm, 510 mW/cm², fala ciągła, metoda skaningu). Dawkę dzienną 12 J/cm² aplikowano na powierzchnię 100 cm². W pozostałych grupach zastosowano sonoterapię (grupa B) oraz terapię skojarzoną w postaci fali podciśnieniowej i prądów Träberta (grupa C). Po laseroterapii uzyskano istotne statystycznie zmniejszenie dolegliwości bólowych oraz zmniejszenie częstości stosowania leków analgetycznych. W grupie leczonej za pomocą ultradźwięków stwierdzono najmniejszą skuteczność przeciwbólową. Istotną statystycznie poprawę ruchomości kręgosłupa wykazano w grupie sonoterapii i terapii skojarzonej [49].

W celu porównania skuteczności laseroterapii i sonoterapii (żel leczniczy jako substancja sprzęgająca) pacjentów z ostrogą piętową poddano 10-zabiegowej serii terapeutycznej. W grupie I wykorzystano laser półprzewodnikowy o mocy 300 mW, emitujący falę o długości 820 nm i techniką kontaktową (z uciskiem w miejscu największej bolesności) aplikowano 4–6 J/cm². W grupie II zastosowano impulsową falę ultradźwiękową o częstotliwości 0,8 MHz i natężeniu 0,8–1 W/cm² w czasie 5 minut. Zarówno laseroterapia, jak i sonoterapia wpłynęły na zmniejszenie doleg-liwości bólowych, nie wykazano jednak istotnej statystycznie różnicy między ich skutecznością. Po laseroterapii uzyskano istotne statystycznie obniżenie nasilenia bólu ocenianego skalą VAS. Wyniki wykorzystanego w badaniach kwestionariusza Lai-tinena wykazały lepszą skuteczność laseroterapii w zmniejszaniu częstości występowania bólu, a także w częstości zażywania środków przeciwbólowych. Fonoforeza bardziej skutecznie obniżała intensywność bólu, a poprawa aktywności ruchowej była w obu grupach porównywalna. Liczba pacjentów zgłaszających ból nocny, spoczynkowy oraz ból występujący podczas chodzenia uległa redukcji zarówno w grupie I, jak i II [50].

Analiza skuteczności laseroterapii i elektroterapii u pacjentów z zespołem bolesnego barku wykazała, że naświetlanie wiązką laserową o długości fali 810 nm i mocy 200 mW jest bardziej skuteczne w porównaniu z zastosowaną elektroterapią. W grupie I (23 osoby) aplikowano metodą kontaktową z uciskiem dawkę 6 J/cm², równocześnie z laseroterapią stosowano kinezyterapię. W grupie II (23 osoby) zastosowano 15-minutową stymulację prądami TENS (*Transcutaneous Electrical Nervous Stimulation*) i kinezyterapię. W obu grupach cykl usprawniania obejmował 15 zabiegów fizykalnych wykonywanych codziennie i połączonych z 45-minutowym programem kinezyterapeutycznym. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na większą skuteczność laseroterapii w porównaniu z prądami TENS w zakresie zmniejszania bólu. Laseroterapia zwiększała zakres ruchu w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. Terapia prądami TENS poprawiła ruchomość barku w płaszczyźnie poprzecznej [51].

W badaniach Konstantinovica i in. oceniano skuteczność niskoenergetycznego promieniowania laserowego w leczeniu chorych z ostrym bólem krzyża połączonym z zespołem korzeniowym [52]. Terapii poddano 3 grupy pacjentów (łącznie 546 osób). W grupie I zastosowano farmakoterapię połączoną z biostymulacją laserową (długość fali 904 nm, 5000 Hz, laser diodowy 100 mW, gęstość mocy 20 mW/cm², 12 J/cm²), w II grupie zastosowano tylko farmakoterapię, a w grupie III zastosowano farmakoterapię i naświetlania placebo. Przed terapią i po jej zakończeniu oceniano poziom dolegliwości bólowych, ruchomość kręgosłupa lędźwiowego oraz jakość życia badanych. Uzyskano istotną statystycznie różnicę między grupą leczoną za pomocą laseroterapii a grupami nienaświetlanymi.

W grupie 88 pacjentów z przewlekłym zespołem bólowym części lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa wykorzystano wiązkę laserową (długość fali 810 nm, 400 mW) i metodę McKenziego

MDT (*Mechanical Diagnosis and Therapy*). W grupie A (43 pacjentów) stosowano dawki ciągłe 9 J (11,25 J/cm²), w grupie B (45 pacjentów) stosowano dawkę frakcjonowaną 3 J + 6 J/punkt (3,75 J/cm² + 7,5 J/cm²), zachowując 30-minutową przerwę miedzy aplikacjami. Całkowita energia w obu grupach wynosiła 330 J. Po terapii uzyskano istotną statystycznie redukcję nasilenia i częstotliwości dolegliwości bólowych. Wykazano też, że dawka frakcjonowana promieniowania laserowego pozwoliła uzyskać istotne statystycznie mniejsze nasilenie bólu i częstotliwości jego występowania w porównaniu z dawką ciągłą [53].

Laseroterapia znalazła też zastosowanie w chirurgii stomatologicznej, między innymi do zniesienia bólu i obniżenia poziomu lęku przed zabiegiem operacyjnym. Wiązka laserowa (50 mW, 4 J/cm², 120 sek), podobnie jak pole magnetyczne niskiej wartości indukcji aplikowane bezpośrednio przed zabiegiem, obniżają śród- i pooperacyjne dolegliwości bólowe [54].

Do oceny stanu 35 dzieci z przewlekłym zapaleniem zatok przynosowych wykorzystano diagnostykę termowizyjną. Po zastosowaniu farmakoterapii (głównie antybiotyków) dzieci podzielono losowo na dwie grupy. W grupie pierwszej (20 dzieci) przez 10 dni aplikowano promieniowanie laserowe (długość fali 670 nm, 3500 Hz), podając w czasie 5 minut metodą kontaktową całkowitą energię 12 J. W grupie drugiej (15 dzieci) powtórzono serię antybiotykoterapii. Grupę kontrolną stanowiły dzieci zdrowe, u których obraz termowizyjny był prawidłowy. Do oceny stanu po leczeniu oprócz metody termowizyjnej wykorzystano kwestionariusz oceny subiektywnej dotyczącej uczucia zatkanego nosa i bólu głowy. Normalizację obrazu termowizyjnego uzyskano u 80% dzieci po leczeniu laseroterapią, jak też u 80% dzieci leczonych antybiotykami. U jednego dziecka po leczeniu laseroterapią stwierdzono pogorszenie stanu klinicznego. W grupie pierwszej dzieci wcześniej odczuwały poprawę drożności nosa [55].

W grupie 61 osób z uszkodzeniem gałązek czuciowych nerwu trójdzielnego przeprowadzono badania, których celem była ocena wpływu biostymulacji laserowej na powrót czucia dotyku i ustępowanie dolegliwości bólowych. Zastosowano metodę podwójnie ślepej próby. Pacjentów podzielono na dwie grupy: pierwszą poddano terapii laserowej (promieniowanie podczerwone, 50 mW, tryb ciągły, 2 J/cm², metoda kontaktowa), drugą grupę – terapii placebo. Oceny stanu chorych dokonywano metodą określającą ilościową utratę wrażliwości dotyku, a także za pomocą kwestionariusza dotyczącego subiektywnych odczuć pacjenta. Po leczeniu w obydwu grupach wrażliwość dotykowa wzrosła, w grupie laserowej jednak uzyskana poprawa była znaczniejsza i różnica między grupami była istotna statystycznie. Wykazano też istotną statystycznie różnicę między efektami leczenia w grupie naświetlanej i w grupie placebo wyrażoną subiektywną oceną pacjenta; po stymulacji laserowej pacjenci częściej zgłaszali poprawę czucia bezpośrednio po zabiegu [56].

Pacjentów z łokciem tenisisty (49 osób) podzielono w sposób randomizowany na dwie grupy. W grupie I wykonywano naświetlania laserem półprzewodnikowym w serii 15 zabiegów przez okres 3 tygodni. W grupie II zastosowano placebo. Efekty oceniano bezpośrednio po zakończeniu terapii, a następnie po upływie 12 tygodni. Zmiany ocenianych parametrów wskazujące na poprawę stanu chorych obserwowane były w obu grupach bez istotnych statystycznie różnic między efektami leczenia w grupie naświetlanej i w grupie placebo. Badanie oceniające efekty odległe (po 12 tygodniach terapii) wykazało istotną statystycznie różnicę między grupami [57].

Do randomizowanego badania z podwójnie ślepą próbą włączono 60 pacjentów z ostrym bólem szyi spowodowanym radikulopatią. Osoby badane podzielono na dwie grupy. W grupie I zastosowano niskoenergetyczną wiązkę laserową (długość fali 905 nm, częstotliwość 5000 Hz, 12 J/cm²) przez okres 3 tygodni (15 zabiegów). W grupie II zastosowano placebo. Oceniano nasilenie dolegliwości bólowych (skala VAS), ruchomość kręgosłupa szyjnego, współczynnik niesprawności szyi, wykorzystano też skalę jakości życia. Badanie wykonywano na początku terapii oraz po upływie 3 tygodni. Wyniki pokazały, że niskoenergetyczna terapia laserowa daje lepsze efekty krótkoterminowe w porównaniu z placebo: po naświetlaniu uzyskano obniżenie intensywności bólu i poprawę ruchomości kręgosłupa szyjnego. Różnica między efektami uzyskanymi w obu grupach była istotna statystycznie [58].

Badania *in vitro* wykazały, że zastosowanie dawki 0,45 mJ/cm² stymuluje aktywność czynnika wzrostu nerwów NGF (*Nerve Growth Factor*) i jednocześnie chroni komórkę przed stresem oksydacyjnym. Pozytywne efekty wykazano też przy zastosowaniu tej metody w przypadku obrzęku i hiperalgezji u szczurów. Badania kliniczne potwierdziły również pozytywne wyniki takich naświetlań (potwierdzone badaniem ultrasonograficznym) w leczeniu zaburzeń mięśniowo-szkieletowych [18].

Do badań oceniających wpływ niskoenergetycznej laseroterapii na markery uszkodzenia mięśnia włączono 36 zdrowych mężczyzn, których podzielono na dwie grupy. W grupie pierwszej wykonywano naświetlania mięśni prostowników stawu kolanowego niskoenergetyczną wiązką laserową, w drugiej grupie stosowano placebo. Następnie wszyscy badani wykonali serię ćwiczeń aktywizujących mięśnie prostowniki kolana. Przed ćwiczeniami oraz 24 godziny i 48 godzin po ich zakończeniu dokonywano oceny bolesności mięśni (skala VAS) i poziomu dehydrogenazy mleczanowej oraz kinazy kreatynowej w surowicy krwi. W grupie naświetlanej zaobserwowano mniejszy wzrost wartości stężenia dehydrogenazy mleczanowej po 48 godzinach w porównaniu z grupą kontrolną. Różnica między badanymi grupami była istotna statystycznie. Wykazano też mniejszy wzrost stężenia kinazy kreatynowej po 24 godzinach (różnica istotna statystycznie) oraz po 48 godzinach (różnica wysoce istotna statystycznie) [59].

Do badań oceniających skuteczność laseroterapii LLLT w obniżaniu poziomu bólu i polepszaniu zdolności funkcjonalnych pacjentów z ostrą i przewlekłą dyskopatią lędźwiową kręgosłupa włączono 80 osób (40 pacjentów z ostrym bólem okolicy lędźwiowej i 40 pacjentów z bólem przewlekłym). Grupa pierwsza (20 osób z ostrym bólem) poddana została zabiegom ciepłoleczniczym i laseroterapii. Grupę drugą (20 osób z przewlekłym bólem) poddano identycznej terapii, w grupie trzeciej (20 osób z ostrym bólem) zastosowano zabiegi ciepłolecznicze i naświetlania placebo, natomiast w grupie czwartej z bólem przewlekłym (20 osób) – zabiegi ciepłolecznicze i naświetlania placebo. Terapię prowadzono w ciągu trzech tygodni (15 zabiegów). Do oceny stanu pacjentów wykorzystano skalę bólu VAS, test Schobera, kwestionariusz niesprawności Rolanda i zmodyfikowany Kwestionariusz Niesprawności Oswestry. Po 3-tygodniowej terapii uzyskano istotne statystycznie obniżenie poziomu bólu, a także istotną poprawę w zakresie pozostałych parametrów we wszystkich badanych grupach, natomiast nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami leczonymi laseroterapią i placebo [60].

Grupę 80 pacjentów z bolesnym stawem skroniowo-żuchwowym poddano 10-dniowej terapii laserowej (laser GaAlAs, długość fali 830 nm, 400 mW). W grupie badanej (61 osób) aplikowano energię 10 J/cm² lub 15 J/cm², natomiast w grupie kontrolnej energię o wartości 0,1 J/cm². Wykazano istotną statystycznie różnicę w nasileniu dolegliwości bólowych po leczeniu między grupą naświetlaną a grupą kontrolną. Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w efektach leczenia z zastosowaniem dwu różnych gęstości energii (10 J/cm² i 15 J/cm²) [61].

Podobne badanie przeprowadzono w grupie 48 pacjentów z bolesnym stawem skroniowo-żuchwowym. Badanych podzielono w sposób randomizowany na dwie grupy. Grupa badana naświetlana była dwiema dawkami energii (25 J/cm² i 60 J/cm²), natomiast w grupie kontrolnej zastosowano placebo. Terapię prowadzono dwa razy w tygodniu przez okres 4 tygodni. Oceniano nasilenie dolegliwości bólowych skalą VAS bezpośrednio po terapii oraz 30 dni po jej zakończeniu. W grupie naświetlanej wykazano istotne statystycznie zmniejszenie poziomu bólu w przeciwieństwie do grupy kontrolnej. W żadnej z grup nie wykazano natomiast istotnej statystycznie różnicy w aktywności mięśni ocenianej badaniem elektromiograficznym przed leczeniem i po jego zakończeniu [62].

Badania dotyczące skuteczności laseroterapii niskoenergetycznej były szeroko prowadzone na zwierzętach. Cressoni i in. oceniali wpływ promieniowania laserowego na regenerację chirurgicznie uszkodzonego mięśnia piszczelowego przedniego u szczura [63]. Naświetlania rozpoczęto 24 godziny po urazie mięśnia laserem emitującym promieniowanie ciągłe o mocy 75 mW i długości fali 785 nm. Okolica mięśnia naświetlana była dawką 2,7 J w trzech punktach po 0,9 J/punkt. Z przeprowadzonych badań wynika, że terapia laserowa stosowana w przebiegu procesu zapalnego wywołanego urazem ma działanie przeciwzapalne, zmniejsza liczbę leukocytów w miejscu uszkodzenia oraz przyspiesza regenerację tkanki łącznej.

W badaniach Krynickiej i in. oceniano wpływ laseroterapii na proces gojenia się świeżych ran pooperacyjnych u szczurów [64]. Rany naświetlano ciągłą wiązką laserową o długości 810 nm i z mocą 100 mW aplikowano energię 15 J w czasie 150 sek na 3 cm² naświetlanej powierzchni. Wykazano, że promieniowanie laserowe przyspiesza proces gojenia ran, natomiast badania fizykochemiczne wykazały brak wpływu zabiegów na wytrzymałość tkanki na zrywanie.

W badaniach dotyczących działania wiązki laserowej na reakcję skurczową tętnicy ogonowej szczura wykorzystano laser półprzewodnikowy o mocy maksymalnej 400 mW, emitujący falę o długości 810 nm. Naświetlano w trybie ciągłym proksymalny odcinek tętnicy ogonowej, stosując kolejno trzy różne wartości mocy (10 mW, 30 mW i 110 mW). Wykazano, że promieniowanie zmniejsza napięcie mięśniówki gładkiej naczyń tętniczych, a efekty te są proporcjonalne do zastosowanej mocy lasera [65].

W badaniach Calin i Botea [66] dokonano oceny wpływu sposobu dawkowania energii laserowej na gojenie ran u szczurów. Porównano skuteczność jednorazowo zaaplikowanej dawki promieniowania laserowego (długość fali 635 nm, moc 15 mW, czas naświetlania 600 sek), z naświetlaniem podwójnym (moc 15 mW, czas naświetlania 2 razy 300 sek). Zaobserwowano szybsze gojenie rany po dawce podwójnie frakcjonowanej (po 2 dniach terapii) w porównaniu z dawką jednorazową (po 3 dniach terapii).

Badania przeprowadzone przez Medalha i in. dotyczyły wpływu niskoenergetycznej stymulacji laserowej na aktywność komórek kościotwórczych i utratę masy kostnej u zwierząt po uszkodzeniu rdzenia kręgowego [67]. Zwierzęta podzielono na 4 grupy: grupa I – bez uszkodzeń, grupa II – z uszkodzeniem rdzenia kręgowego, grupa III – z uszkodzeniem rdzenia kręgowego i naświetlana wiązką laserową (laser GaA o długości fali 830 nm, 30 mW/cm², 250 J/cm²) i grupa IV poddana elektrostymulacji. W grupie zwierząt poddawanej elektrostymulacji wykazano mniejszą utratę masy kostnej w porównaniu z grupą niepoddaną terapii, a efekty uzyskane w grupie zwierząt naświetlanych wiązką laserową były porównywalne do efektów stymulacji elektrycznej. Obie zastosowane formy terapii nie miały wpływu na wzrost parametrów biomechanicznych i zmiany densytometryczne.

Laser półprzewodnikowy (długość fali 810 nm, 50–70 mW) zastosowano do naświetlań u psów z objawami neurologicznymi. Aplikowano w trybie ciągłym dawkę 8–10 J/cm² przy jednoczesnym podawaniu witaminy B_1, B_{12}, Nivalinu i Prednizolonu. W drugim i trzecim tygodniu po rozpoczęciu terapii objawy neurologiczne zaczęły ustępować i obserwowano powrót funkcji porażonych kończyn [17].

Do badania porównującego skuteczność terapii niskoenergetycznej i sonoterapii aplikowanych oddzielnie bądź w terapii skojarzonej włączono 50 szczurów z uszkodzonym ścięgnem Achillesa. W grupie kontrolnej nie stosowano żadnej terapii, w grupie II zastosowano terapię ultradźwiękami, a w grupie III wykonywano laseroterapię. W pozostałych dwóch grupach stosowano jednocześnie nadźwiękawianie i naświetlanie, z tym że kolejność aplikowanych czynników fizykalnych była różna (grupa IV: naświetlanie po nadźwiękawianiu, grupa V: nadźwiękawianie po naświetlaniu). Po 5 dniach zabiegowych dokonywano oceny struktury badanych ścięgien. Stwierdzono istotną statystycznie większą gęstość włókien kolagenowych typu pierwszego w grupie II (UD), III (LLLT) oraz w grupie V (LLLT + UD) [68].

Skuteczność terapii niskoenergetycznej oceniano w badaniach przeprowadzonych u królików z chirurgicznie wykonanym nacięciem rzepki udowej. Zwierzęta podzielono na dwie grupy. W grupie kontrolnej nie stosowano żadnego leczenia, a grupę badaną dwa razy w tygodniu naświetlano niskoenergetyczną wiązką laserową (długość fali 810 nm, 1500 Hz, 4,8 J/cm²). Dokonywano po naświetlaniu oceny makroskopowej i histologicznej uszkodzonej tkanki. Wyniki w grupie badanej były lepsze w porównaniu z grupą kontrolną, jednak nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między badanymi grupami zwierząt [69].

Liu i in. [70] badali efekty biologiczne terapii niskoenergetycznej w złamaniach kości piszczelowej u królików. Do oceny struktury kości wykorzystano badania radiologiczne, histologiczne i densytometryczne 14 królików podzielonych na dwie grupy. W grupie naświetlanej zastosowano wiązkę laserową (długość fali 830 nm, 40 J/cm², 200 mW/m²) w czasie 50 sekund w czterech punktach wzdłuż złamanej kości piszczelowej. Wykazano, że LLLT – zwłaszcza w początkowej fazie – przyspiesza proces gojenia złamań kości, zwiększa bliznę kostną oraz gęstość mineralną kości.

Skuteczność terapeutyczna oddziaływania laserów wysokoenergetycznych

Badania dotyczące przeciwbólowego oddziaływania laseroterapii wysokoenergetycznej HILT przeprowadzono na grupie 15 chorych leczonych metodą Ilizarowa. Równolegle z naświetlaniem prowadzono kinezyterapię. Grupa kontrolna liczyła 14 pacjentów leczonych tą samą metodą operacyjną i prowadzonych identycznym programem kinezyterapeutycznym. Wykorzystano laser wysokoenergetyczny (moc 1–3 kW, częstotliwość 10–30 Hz), aplikując w trzech fazach zabiegowych sukcesywnie wzrastającą gęstość energii (510 mJ/cm², 610 mJ/cm² i 710 mJ/cm²). Łączna energia zabiegu wynosiła 1500 J. Skuteczność naświetlań oceniano za pomocą kwestionariusza Laitinena. Zastosowana terapia pozwoliła zmniejszyć częstotliwość i intensywność odczuwanego bólu, a uzyskane zmiany były istotne statystycznie [23].

Randomizowane badania dotyczące krótkoterminowych efektów wysokoenergetycznej terapii laserowej przeprowadzono w grupie 70 pacjentów z zespołem ciasnoty podbarkowej. Badani zostali podzieleni na dwie grupy. Grupę I (35 osób) leczono laseroterapią wysokoenergetyczną (laser Nd-YAG, długość fali 1064 nm, moc szczytowa pojedynczego impulsu 1 kW, moc średnia 6 W, energia maksymalna pojedynczego impulsu 150 mJ, gęstość energii 760 mJ/cm²), grupę II poddano terapii ultradźwiękowej (fala ciągła o częstotliwości 1 MHz i natężeniu 2 W/cm²). Na zabieg laseroterapii składały się trzy fazy; we wstępnej fazie dawka energii wynosiła 1000 J, w fazie środkowej 50 J i fazie końcowej 1000 J. Łącznie podczas 3 faz zabiegowych aplikowano w czasie 10 minut całkowitą energię wynoszącą 2050 J. Do oceny stanu chorych wykorzystano skalę bólu VAS, ocenę funkcji kończyny w skali Constanta-Murleya i Prosty Test Ramienia. Różnica między efektami terapeutycznymi w obu badanych grupach – wyrażona skalą VAS – była istotna statystycznie. U osób naświetlanych wiązką laserową wykazano większą redukcję bólu i zwiększenie ruchomości stawu ramiennego, lepszą funkcjonalność i wytrzymałość mięśni obręczy barkowej w porównaniu z osobami leczonymi falą ultradźwiękową [71].

Przeprowadzone badania Łukowicz i in. wskazują na brak pozytywnych efektów leczenia wysokoenergetyczną wiązką laserową, a nawet nasilenie dolegliwości u pacjentów ze świeżymi urazami [24].

Badania Zalewskiego i in. dotyczyły efektu termicznego laseroterapii występującego w zdrowych tkankach [72]. Wykonano naświetlanie powierzchni 0,5 cm² w okolicy przedramienia. Moc promieniowania wynosiła 1500 mW. W pierwszym etapie wykorzystano falę 808 nm, aplikując kolejno dawki 2 J/cm², 5 J/cm², 9 J/cm² i 15 J/cm². W drugim etapie zastosowano równocześnie dwie wiązki o długości fali 808 nm i 940 nm i aplikowano kolejno dawki 2 J/cm², 5 J/cm² i 9 J/cm² (łącznie 4 J/cm², 10 J/cm²

i 18 J/cm²). Porównano działanie obu długości fal przy aplikacji identycznych porcji energii, a także skuteczność różnych technik naświetlania: bez ucisku i z uciskiem. Wykazano, że HILT jest metodą termiczną wywołującą wzrost temperatury tkanek zależny od długości fali (większy przyrost temperatury uzyskano przy długości fali 940 nm), od porcji energii i techniki naświetlania (technika kontaktowa z uciskiem wywołała większy wzrost temperatury).

Wyniki kolejnego badania wskazują na skuteczność leczenia nawracającej opryszczki wargowej terapią HILT poprzedzoną naświetlaniem niskoenergetyczną wiązką laserową [73]. W tym samym badaniu uzyskano również zbliżone pozytywne efekty po zastosowaniu LLLT w połączeniu z substancją fotouczulającą.

Dyskusja

Idea medycyny opartej na dowodach EBM (*Evidence Based Medicine*) ma istotne znaczenie w rehabilitacji, w tym także w fizykoterapii. Realizacja paradygmatów EBM przyczynia się do udoskonalenia praktyki fizykoterapeutycznej, nie ograniczając jednocześnie niezależności działań fizykoterapeuty na polu zawodowym [74]. EBM stanowi milowy krok w fizjoterapii [75]. Wprowadzona przez Sacketta w 1996 roku metoda oceny wiarygodności naukowej prac badawczych umożliwia klasyfikację publikowanych doniesień na 5 różnych poziomach referencyjności [76]. Dostępne światowe bazy literatury oraz tematyczne periodyki i pozycje książkowe prezentują badania nieprzekraczające zazwyczaj trzeciego poziomu [77]. Pomimo wielu przeprowadzonych badań z zakresu laseroterapii, ich wyniki nie dały dotąd jednoznacznej odpowiedzi dotyczącej doboru parametrów zabiegu. Podkreśla się też, że laseroterapia niskiej mocy nie może być bezkrytycznie stosowana [1].

Opinia świata medycznego dotycząca skuteczności terapeutycznej terapii laserowej nie jest jednoznaczna. Opracowania naukowe donoszą zarówno o pozytywnych, jak i negatywnych wynikach leczenia, niekiedy obserwuje się też po naświetlaniu pogorszenie stanu klinicznego [55, 60, 78]. U pacjentów z ostrą rwą kulszową naświetlanie punktów wzdłuż przebiegu nerwu kulszowego nie dało oczekiwanych rezultatów terapeutycznych. Domniemaną przyczyną nieskuteczności była według autorów pracy zbyt mała penetracja niskoenergetycznej wiązki laserowej [79]. Inne przeprowadzone badania wykazały nieskuteczność terapii niskoenergetycznej w zespole cieśni kanału nadgarstka [80]. Zaostrzenie dolegliwości zaobserwowano natomiast po zastosowaniu laseroterapii niskoenergetycznej u pacjentów z ostrogą piętową [50]. Łukowicz podkreśla [24], że przeprowadzone dotychczas badania nie do końca potwierdziły skuteczność laseroterapii w procesach kościotworzenia, co może być spowodowane zbyt małą penetracją niskoenergetycznej wiązki laserowej. Badania Liu X. i in., a także Bayat M. i in. wykazały jednak pozytywny wpływ niskoenergetycznego światła laserowego na proces gojenia uszkodzonej tkanki kostnej, chociaż różnice między grupami naświetlanymi a placebo nie były istotne statystycznie [69, 70]. Wyniki przeprowadzonych badań dotyczących wpływu biostymulacji laserowej nerwów obwodowych na czynność bioelektryczną mózgu nie potwierdziły ani też nie podważyły oddziaływania tej terapii na ośrodkowy układ nerwowy [81]. Szerokie wykorzystanie laseroterapii w rehabilitacji neurologicznej wynika z faktu, iż promieniowanie laserowe nie wpływa na zdrowe nerwy obwodowe, natomiast stymuluje regenerację nerwów uszkodzonych [82].

Specyficzne właściwości wiązki laserowej pozwalają w tkankach uzyskać istotne efekty biofizyczne, które znajdują odzwierciedlenie na różnych poziomach funkcjonowania ustroju. Doświadczenia wskazują, że skuteczność biostymulacji laserowej wynosi aż 80% [44]. Terapia HILT wykorzystywana jest w rehabilitacji. Efekt termiczny występujący przy stosowaniu średnich i dużych gęstości mocy stanowi ograniczenie do stosowania terapii HILT w przypadku świeżych urazów i ostrych stanów zapalnych [24, 72]. Badania Lemana i in. potwierdziły natomiast korzystne działanie laseroterapii wysokoenergetycznej w leczeniu opryszczki wargowej [83]. Wyniki innego badania wykazały porównywalną skuteczność skojarzonych metod laseroterapii (LLLT i HILT) z efektami terapii niskoenergetycznej z wykorzystaniem związków fotouczulających, co mogłoby sugerować możliwość zamiennego stosowania HILT z terapią fotodynamiczną [73].

Autorzy prac badawczych podkreślają, że niezgodność wyników różnych badań może być spowodowana zróżnicowaną metodyką zabiegów oraz mało precyzyjnie przytaczanymi danymi dotyczącymi aparatury i sposobu naświetlania [84–86]. Wydaje się, iż szczególnie istotne znaczenie dla uzyskanych efektów terapeutycznych ma zastosowana gęstość energii i mocy [24, 53, 87]. Wpływ na efekt terapeutyczny ma także długość emitowanej wiązki laserowej, zastosowany tryb pracy (ciągły, impulsowy) i związany z nim czas trwania pojedynczych impulsów promieniowania [88]. Niektórzy zauważają, że nie ma dotychczas dokładnie ustalonych dawek promieniowania w leczeniu poszczególnych jednostek chorobowych [13, 89]. Nawet najnowsze doniesienia podają zbyt mało uściślone zakresy dawek, aby pozwalały one na jednoznaczną ocenę wyników przeprowadzonych badań [90]. W badaniach Fikackovej i in. oceniających efekty leczenia stawów skroniowo-żuchwowych zastosowano dawkę 10 J/cm² i 15 J/cm², w podobnych zaś badaniach Veneziana i in. zastosowano 25 J/cm² i 60 J/cm² [61, 62]. Mimo że w badaniu Fikackovej zastosowano 4-krotnie mniejszą dawkę w porównaniu z maksymalną dawką w badaniach Veneziana, uzyskane efekty były porównywalne. Aby porównywać skuteczność stosowanych dawek terapeutycznych, niezbędna jest kontynuacja badań prowadzonych na odpowiednio dobranych grupach chorych, z zastosowaniem ściśle ustalonych dawek i parametrów zabiegu.

Według zaleceń WALT (*World Association of Laser Therapy*) dotyczących parametrów laseroterapii niskoenergetycznej całkowita energia zabiegu i czas naświetlania są zależne od długości zastosowanej wiązki laserowej. Dla fali o długości od 780–860 nm najniższa wartość całkowitej energii zabiegu (4 J) znajduje zastosowanie w przypadkach: łokcia tenisisty, zapalenia stawów ręki, stawu ramienno-promieniowego, stawu barkowo-obojczykowego i stawu skroniowo-żuchwowego. Z kolei najwyższą wartość całkowitej energii zabiegu (16 J) zaleca się w zapaleniach stawów międzykręgowych szyjnego i lędźwiowego odcinka kręgosłupa. Zalecany czas naświetlania dla tej długości fali wynosi według WALT 20–300 sekund. Dla fali o długości 904 nm najniższa wartość całkowitej energii zabiegu (1 J) znajduje zastosowanie w stanach zapalnych stawów ręki. Z kolei najwyższą wartość całkowitej energii zabiegu (4 J) zaleca się w stanach zapalnych w obrębie mięśnia nadgrzebieniowego i podgrzebieniowego, rozcięgna podeszwowego, kręgosłupa szyjnego, lędźwiowego, stawu biodrowego i kolanowego. Zalecany czas naświetlania dla tej długości fali według WALT jest dłuższy i wynosi 30–600 sekund. Dla obydwu długości fal zaleca się prowadzenie terapii codziennie przez okres 2 tygodni bądź co drugi dzień przez okres 3–4 tygodni [5].

Laseroterapia może być uzupełnieniem innych metod leczenia, szczególnie w przypadkach istniejących przeciwwskazań do farmakologii i innych metod fizjoterapeutycznych. Zastosowanie laserów w codziennej praktyce klinicznej jest coraz bardziej powszechne. Wynika to między innymi ze stosunkowo niskich kosztów zabiegów i urządzeń laserowych, nieinwazyjnego charakteru terapii, jak również możliwości stosowania w ostrych stanach chorobowych [90]. Perspektywa rozwoju wiąże się z aspektami technicznymi odpowiednio dostosowanego sprzętu i doskonaleniem metod, które umożliwią dalsze badania dotyczące oddziaływania na tkanki wiązki laserowej generowanej przez różne typy laserów.

Naukowa weryfikacja klinicznych doświadczeń w stosowaniu wiązki laserowej jest niezbędna, aby laseroterapia mogła zostać uznana za metodę o udowodnionej i niepodważalnej skuteczności. Niewątpliwie takiej weryfikacji posłużą ujednolicone zalecenia dotyczące dawkowania energii i metodyki zabiegów. ■

Literatura

1. M. Bonikowska-Zgaińska: ***Laseroterapia w rehabilitacji***, Rehabilitacja w praktyce, vol. 2, 2008, s. 38-40.
2. A. Sieroń, J. Pasek, R. Mucha: ***Lasery w medycynie i rehabilitacji***, Rehabilitacja w praktyce, vol. 2, 2006, s. 26-30.
3. A. Ward, V. Robertson, J. Low, A. Reed: ***Fizykoterapia. Aspekty kliniczne i biofizyczne***, wyd. I polskie, red. M. Łukowicz, Urban & Partner, Wrocław 2006.
4. W. Kasprzak, A. Mańkowska: ***Fizykoterapia medycyna uzdrowiskowa i SPA***, PZWL, Warszawa 2008.
5. http://www.walt.nu/dosage-recommendations.html
6. J. Zwolińska, A. Weres, G. Magoń, R. Skalska-Izdebska: ***Wykorzystanie biostymulacji laserowej i światła VIP w leczeniu chorób narządu ruchu***, Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego, vol. 5(3), 2007, s. 275-288.
7. A. Sieroń, J. Pasek, R. Mucha: ***Światło niskoenergetyczne w medycynie i rehabilitacji***, Rehabilitacja w praktyce, vol. 1, 2007, s. 25-27.
8. A. Dube, C. Bock, E. Bauer, R. Kohli, P.K. Gupta, K.O. Greulich: ***He-Ne laser irradiation protects B lymphoblasts from UV – A induced DANN damage***, Radiat Environ Biophys, vol. 40, 2001, s. 77-82.
9. A. Rapp, C. Bock, H. Diettmar, H.O. Greulich: ***UV-A breakage sensitivity of human chromosomes measured by COMET-FISH depends on gene density and not on the chromosome size***, J Photochem Photobiol B, vol. 56, 2000, s. 109-117.
10. O. Aguejouf, E. Malfatti, F. Doutrepuich, M. Doutrepuich: ***Thrombogenic potential of contrast media in an experimental model of laser induced thrombosis***, Thromb Res, vol. 26, 2000, s. 357-363.
11. A.D. Agaiby, L.R. Ghali, R. Wilson, M. Dyson: ***Laser modulation on angiogenic factor production by T-lymphocytes***, Lasers Surg Med, vol. 26, 2000, s. 357-363.
12. A. Piasecka, W. Leyko, E. Krajewska, M. Bryszewska: ***Effects of combined treatment with perindoprilat and low power red light irradiation on human erythrocyte membrane fluidity membrane potential and acetylocholinesterase activity***, Scand J Clin Lab Invest, vol. 60(5), 2000, s. 395-402.
13. A. Franek, M. Kucharzewski, A. Sieroń: ***Zachowawcze leczenie owrzodzeń żylnych podudzi***, [w:] A. Franek, A. Polak: ***Elektrostymulacja wysokonapięciowa w leczeniu owrzodzeń***, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 2001, s. 58-68.
14. A. Ziółko, K. Kucia, M. Pieniążek: ***Porównanie wyników rehabilitacji u pacjentów po dwuetapowej rekonstrukcji z wynikami pacjentów po pierwotnym zespoleniu uszkodzonych ścięgien zginaczy w strefie drugiej***, Rehabilitacja Medyczna, vol. 14(1), 2010, s. 16-24.
15. R. Ankri, R. Lubart, H. Taitelbaum: ***Estimation of the optima wavelengths for laser-induced wound healing***, Lasers Surg Med, vol. 42(8), 2010, s. 760-764.
16. A. Kwolek, M. Pabis, A. Bożek-Sochacka, J. Zwolińska: ***Postępowanie w obwodowym porażeniu nerwu twarzowego***, Postępy rehabilitacji, vol. 18(4), 2004, s. 45-48.
17. M. Chyczewski, M. Jałyński, M. Nowicki, W. Brzeski: ***Biostymulacja laserowa w chorobach neurologicznych psów***, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, vol. 60(7), 2005, s. 55-58.
18. L. Baratto, L. Calza, R. Capra, M. Gallamini, L. Giardino, A. Giuliani, L. Lorenzini, S. Traverso: ***Ultralow level laser therapy***, Lasers Med Sci, vol. 26(1), 2011, s. 103-112.
19. J. Pasek, A. Misiak, R. Mucha, T. Pasek, A. Sieroń: ***Nowe metody w fizykoterapii – magneto laseroterapia***, Fizjoterapia Polska, Medsportpress, vol. 8, 1(4), 2008, s. 1-10.
20. J. Pasek, T. Pasek, A. Sieroń: ***Magnetolaseroterapia w leczeniu suchego zębodołu – opis przypadku***, Insight on-line library, vol. 5(1), 2008, s. 21-24.
21. L.R. Wertz: ***Class IV „High-Power" Laser Therapy In Chiropractic and rehabilitation***, Dynamic Chiropractic, vol. 24(23), 2006.
22. ***Cold laser and high-power laser therapies clinical policy bulletin***, vol. 6(15), 2010.
23. M. Czajkowska, D. Białoszewski, A. Przeradzka, T. Czasak, M. Lewandowska, S. Zarek, J. Macia: ***Zastosowania laseroterapii wysokoenergetycznej HILT w podwyższaniu progu bólowego u chorych leczonych metodą Ilizarowa – doniesienie wstępne***, Balneologia Polska, vol. 49(4), 2007, s. 243-247.
24. M. Łukowicz, A. Pawlak, J. Pawlikowski, M. Weber-Zimmerman, P. Zalewski: ***Laseroterapia wysokoenergetyczna (HILT) – zastosowania kliniczne***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 13(4), 2007, s. 326-330.
25. J. Trykowski, S. Żmuda, A. Górnicka, W. Zawadzki: ***Zastosowanie lasera Nd:YAG w leczeniu zębów z martwą zakażoną miazgą***, Magazyn Stomatologiczny, vol. 2, 1998, s. 42-44.
26. T.I. Karu, L.V. Playtibrat, G.S. Kalendo: ***Cell attachment modulation by radiation from a pulsed light diode (lambda = 820) and various chemicals***, Laser Surg Med, vol. 28(3), 2001, s. 227-236.
27. J. Kujawa, L. Zavodnik, V. Buko, A. Lapshyna, M. Bryszewska: ***Effect of low-intensity (3,75-25 J/cm²) near-infrared (810 nm) laser radiation on red blood cell ATPase activities and membrane structure***, J Clin Laser Med Surg, vol. 22(2), 2004, s. 111-117.
28. U. Oron, S. Ilic, L. De Taboada, J. Streeter: ***Ga-As (808 nm) laser irradiation enhances ATP in human neuronal cells in culture***, Photomed Laser Surg, vol. 25(3), 2007, s. 180-182.
29. P. Moore, T.D. Ridgway, R.G. Higbee, E.W. Howard, M.D. Lucroy: ***Effect of wavelength on low-intensity laser irradiation – stimulatd cell proliferation in vitro***, Lasers Surg Med, vol. 36(1), 2005, s. 8-12.
30. T. Ninimiya, Y. Miyamoto, T. Ito et al.: ***High intensity pulsed laser irradiation accelerate bone formation in mataphyseal trabecular bone I rat femur***, J Bone Miner Metab, vol. 21(2), 2003, s. 67-73.
31. D. Fortuna, G. Rossi, B. Grigolo, R. Buda, A. Zati, T.W. Bilotta, S. Ganniini, P. Mondardini, L. Masotti, A. Crovace: ***High intensity laser therapy in the treatment of deep osteochondral defect. Pilot study in an animal model***, Osteoarthritis and Cartilage, vol. 13(Supplement A), 2005, s. 86.
32. J. Tuner, L. Hode: ***Laser therapy, clinical practice and scientific background: a guide for research scientists, doctors, dentists, veterinarians and other interested parties within the medical field***, Grangesberg: Prima Books, 2002, s. 92-97.
33. G.D. Baxter: ***Therapeutic lasers, theory and practice, Churchill Livingstone***, First edition 1995, reprinted 2005, s. 67-88.
34. M. Łukowicz, M. Weber-Zimmermann, Marszałek A.: ***Wpływ biostymulacji laserowej na parametry przewodnictwa w nerwie pośrodkowym***, Balneologia Polska, vol. 49(4) 2007, s. 248-254.
35. P. Życiński, M. Krzemińska-Pakuła, C. Peszyński-Drews, A. Kierus, E. Trzos, T. Rechciński, Ł. Figiel, M. Kurpesa, M. Plewka, Ł. Chrzanowski, J. Drożdż: ***Biostymulacja laserowa w zaawansowanej chorobie wieńcowej – obserwacja wstępna***, Kardiologia Polska, vol. 65(1), 2007, s. 13-23.
36. J. Kujawa, M. Sadowska, M. Boryszewska, I. Pieszyński, M. Janiszewski: ***Wpływ promieniowania laserowego (lambda = 810 nm, P = 100 mW) na aktywność acetylocholinesterazy erytrocytów człowieka w zależności od sposobu dawkowania energii***, Fizjoterapia Polska, vol. 4(2), 2004, s. 136-142.
37. M. Hirschl, R. Katzenschlager, C. Francesconi, M. Kundi: ***Low level laser therapy in primary Raynaud's phenomenon-results of a placebo controlled***, double blind intervention stud, J Rheumatol, vol. 31(12), 2004, s. 2408-2412.
38. R.T. Chow, G.Z. Heller, L. Barnsley: ***The effect of 300Mw 830 nm laser on chronic neck pain, A double-blind randomized placebo controlled study***, Clin J Pain, vol. 124(1-2), 2006, s. 201-210.
39. A. Stergioulas: ***Effects of low-level laser and plyometric exercises in the treatment of lateral epicondilitis***, Photomed Laser Surg, vol. 25(3), 2007, s. 205-213.
40. U. Bingol, L. Altan, M. Yurtkuran: ***Low-power laser treatment for shoulder pain***, Photomed Laser Surg, vol. 23 (5), 2005, s. 459-464.
41. A. Kaviani, M. Fateh, Yousefi R. Nooraie et al.: ***Low-level laser therapy in management of postmastectomy lymphydema***, Lasers Med Sci, vol. 21(2), 2006, s. 90-94.
42. R. Sharma, A. Thukral, S. Kumar, S.K. Bhargava: ***Effect of low laser in the Quervain's tenosynovitis***, Physiotherapy, vol. 88, 2002, s. 730-740.
43. M. Igi, L. Kesić, M. Apostolović, L. Kostadinović: ***Low-level laser efficiency In the therapy of chronic gingivitis in children***, Vojnosanit Pregl, vol. 65(10), 2008, s. 755-757.
44. C. Drews-Peszyński, E. Sztamska, A. Klimek: ***Rehabilitacja laserowa w zaawansowanych postaciach postępującego stwardnienia rozsianego***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 3(12), 2006, s. 179-181.
45. F. Ozdemir, M. Birtane, S. Kokino: ***The clinical efficacy of low power therapy on pain and function in cervical osteoarthritis***, Clin Rheumatol, vol. 20, 2001, s. 181-184.
46. J.R. Basford, C.G. Sheffield, K.R. Cieślak: ***Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low intensity Nd:YAG laser irradiation on lateral epicondilitis***, Arch Phys Med Rehabil, vol. 81, 2000, s. 1504-1510.
47. A.S. Gorgey, A.N. Wadee, N.N. Sobhi: ***The effect of low-level laser therapy on electrically induced muscle fatigue: a pilot study***, Photomed Laser Surg, vol. 26(5), 2008, s. 501-506.
48. J. Kujawa, J. Talar, K. Gworys, P. Gworys, I. Pieszyński, M. Janiszewski: ***Ocena skuteczności przeciwbólowej laseroterapii u chorych z chorobą zwyrodnieniową stawu kolanowego***, Ortopedia Traumatologia i Rehabilitacja, Medsportpress, vol. 6(3), 2004, s. 356-366.
49. M. Charłusz, J. Gasztych, R. Irzmański, J. Kujawa: ***Analiza skuteczności przeciwbólowej wybranych metod fizykoterapii u osób z zespołami bólowymi części lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa***, Ortopedia Traumatologia i Rehabilitacja, Medsportpress, vol. 12(3), 2010, s. 225-236.
50. M. Łukowicz, M. Weber-Rajek, K. Ciechanowska, A. Włodarkiewicz: ***Ocena skuteczności laseroterapii niskoenergetycznej i fonoforezy w leczeniu objawów ostrogi piętowej***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 15, 4, 2009, s. 340-343.

51. J. Kowalska, R. Boerner, R. Ratajczak, L. Kłęk-Górska, J. Kuciel-Lewandowska, M. Paprocka-Borowicz: ***Zastosowanie biostymulacji laserowej i przezskórnej elektrycznej stymulacji nerwów w połączeniu z kinezyterapią u pacjentów z zespołem bolesnego barku***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 16, 2010, s. 109-113.
52. L.M. Konstantinovic, Z.M. Kanjuh, A.N. Milovanovic, M.R. Cutovic, A.G. Djurovic, V.G. Savic, A.S. Dragin, N.D. Milovanovic: ***Acute low back pain with radiculopathy: a double-blind, randomized, placebo-controlled study***, Photomed Laser Surg, vol. 28(4), 2010, s. 553-560.
53. J. Kujawa, A. Cink, K. Gworys, I. Pieszyński, J. Talar: ***Ocena skuteczności przeciwbólowej dawek ciągłych i frakcjonowanych promieniowania laserowego w programie usprawniania chorych z przewlekłym zespołem bólowym części lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa***, Fizjoterapia Polska, vol. 4 (3), 2004, s. 237-244.
54. R. Koszowski, J. Śmieszek-Wilczewska, G. Dawiec: ***Porównanie efektu przeciwbólowego lasero- i magnetostymulacji przed chirurgicznymi zabiegami stomatologicznymi***, Wiadomości lekarskie, vol. 59(9-10), 2006, s. 630-633.
55. K. Wojaczyńska-Stanek, E. Marszał, A. Krzemień-Gabriel, J. Mniszek, M. Sitek-Gola: ***Monitorowanie termowizyjne terapii przewlekłego zapalenia zatok przynosowych u dzieci leczonych antybiotykami oraz laserem biostymulacyjnym***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 10, 2004, s. 75-83.
56. A. Demidaś, A. Koziatek, E. Boerner, A. Konieczna: ***Biostymulacyjne promieniowanie laserowe w regeneracji czucia dotyku***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 10, 2004, s. 31-36.
57. S.K. Emanet, L.I. Altan, M. Yurtkuran: ***Investigation of the effect of GaAs laser therapy on lateral Epicondilitis***, Photomed Laser Surg, vol. 28(3), 2010, s. 397-403.
58. L.M. Konstantinovic, M.R. Cutovic, A.N. Milovanovic, S.J. Jovic, A.S. Dragin, M.Dj. Letic, V.M. Miler: ***Low-level laser therapy for acute neck pain with radiculopathy: a double-blind placebo-controlled randomized study***, Pain Med, vol. 11(8), 2010, s. 1169-1178.
59. B.M. Baroni, E.C. Leal Junior, T. De Marchi, A.L. Lopes, M. Salvador, M.A. Vaz: ***Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans***, J Appl Physiol, vol. 110(4), 2010, s. 789-796.
60. S. Ay, S.K. Dogan, D. Evcik: ***Is low-level laser therapy effective in acute or chronic low back pain?***, Clin Rheumatol, vol. 29(8), 2010, s. 905-910.
61. H. Fikackova, T. Dostalova, L. Navratil, J. Klaschka: ***Effectiveness of low-level laser therapy in temporomandibular joint disorders***: a placebo – controlled study, Photomed Laser Surg, vol. 25(4), 2007, s. 297-303.
62. G.C. Venezian, M.A. da Silva, R.G. Mazzetto, M.O. Mazzetto: ***Low level laser effects on pain to palpation and electromyographic activity in TMD patients: a double-blind, randomized, placebo controlled study***, The Journal of Craniomandibular Practice – Cranio, vol. 28(2), 2010, s. 84-91.
63. M.D. Cressoni, H.H. Dib Giusti, R.A. Casarotto: ***The effects of a 785-nm AlGaInP laser on the regeneration of rat anterior tibialis muscle after surgically-induced injury***, Photomed Laser Surg, 2008 [Epub ahead of print].
64. I. Krynicka, R. Rutowski, J. Staniszewska-Kuś, J. Fugiel, A. Zaleski: ***Rola laseroterapii biostymulacyjnej we wczesnej rehabilitacji pooperacyjnej i jej wpływ na gojenie się rany***, Ortopedia Traumatologia i Rehabilitacja, Medsportpress, vol. 1(6), 2010, s. 67-79.
65. M. Mackiewicz-Milewska, G. Grześk, J. Talar, L. Szadujkis-Szadurski, I. Bułatowicz: ***Rola prostaglandyn w modulującym działaniu promieniowania laserowego na reaktywność mięśniówki gładkiej tętnic***, Fizjoterapia, vol. 11(3), 2003, s. 32-39.
66. M.A. Calin, S. Botea: ***In vivo comparison of simple and double-fractionated low-level laser irradiation schemes on healing of rat skin lesions***, Photomed Laser Surg, vol. 28(2), 2010, s. 245-250.
67. C.C. Medalha, B.O. Amorim, J.M. Ferreira, P. Oliveira, R.M.R. Pereira, C. Tim, A.P. Lirani-Galv, O.L. da Silva, A.C. Renno: ***Comparison of the effects of electrical field stimulation and low-level laser therapy on bone loss in spinal cord-injured rats***, Photomed Laser Surg, vol. 28(5), 2010, s. 669-674.
68. V.T. Woo, C.E. Pinfildi, M.A. Neves, N.A. Parizoto, B. Hochman, L.M. Ferreira: ***Collagen changes and realignment induced by low-level laser therapy and low-intenisty ultrasound in the calcaneal tendon***, Laser Surg Med, vol. 42(6), 2010, s. 559-565.
69. M. Bayat, F. Kamali, M. Dadpay: ***Effect of low-level laser therapy on large surgical osteochondral defect in rabbit: a histological study***, Photomed Laser Surg, vol. 27(1), 2009, s. 25-30.
70. X. Liu, R. Lyon, H.T. Meier, J. Thometz, S.T. Haworth: ***Effect of lower-level laser therapy on rabbit tibial fracture***, Photomed Laser Surg, vol. 25(6), 2007, s. 487-494.
71. A. Santamato, V. Solfrizzi, F. Panza, G. Tondi, V. Frisardi, Leggi: ***Short-term effect of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of people with subacromial impingement syndrome: a randomized clinical trial***, Physical Therapy, vol. 89(7), 2009, s. 643-652.
72. P. Zalewski, M. Łukowicz, A. Zając, J. Szymańska, K. Ciechanowska: ***Termowizyjna analiza efektów termicznych laseroterapii wysokoenergetycznej HILT w zależności od dawki energii promieniowania, długości fali oraz techniki aplikacji***, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et informatica Medica, vol. 1(14), 2008, s. 21-24.
73. J. Marotti, F.F. Sperandio, E.R. Fregnani, A.C. Aranha, P.M.de Freitas, P. Eduardo Cde: ***High-intensity laser and photodynamic therapy as a treatment for recurrent herpes labialis***, Photomed Laser Surg, vol. 28(3), 2010, s. 439-444.
74. R.A.B. Oostendorp, M.W.G. Nijhuis-van der Sanden, Y.F. Heerkens, E.H.M. Hendriks, P.A. Hiubregts: ***Evidence based rehabilitation medicine and physiotherapy: a critical appraisal***, vol. 12(1), 2008, s. 9-15.
75. R.A.B. Oostendorp, G.G.M. Peeters, R.A.H.M. Swinkels: ***Terapia fizykalna i manualna oparta na najlepszych dowodach – zalecenia dla pacjentów z ostrymi i przewlekłymi bólami krzyża***, Rehabilitacja Medyczna, vol. 6(2), 2002, s. 51-55.
76. D.L. Sackett, W.M. Rosenberg, J. Gray, R.B Haynes, W.S. Richardson: ***Evidence based medicine: what it is and what it isn't***, Clin Orthop Relat Res, vol. 455, 2007, s. 3-5.
77. D. Białoszewski, K. Wasiluk, A. Cabak: ***Skuteczność uzdrowiskowego leczenia choroby zwyrodnieniowej stawów. Przegląd piśmiennictwa***, Ortopedia Traumatologia i Rehabilitacja, Medsportpress, vol. 12(6), 2, 2010, s. 109-119.
78. A. Taradaj, J. Taradaj, A. Franek: ***Próba skuteczności biostymulacji laserowej w leczeniu wybranych jednostek chorobach***, Rehabilitacja medyczna, vol. 6, 2002, s. 61-65.
79. J.L. Zeredo, K.M. Sasaki, K. Toda: ***High-intensity laser for acupuncture-like stimulation***, Lasers Med Sci, vol. 22(1), 2007, s. 37-41.
80. J. Irvine, S.L. Chong, M. Amirjani, K.M. Chan: ***Double-blind randomized controlled trial of low-level therapy in carpal tunnel syndrome***, Muscle Nerve, vol. 30(2), 2004, s. 182-187.
81. A. Berwecki, M. Berwecka, J.Z. Kilar: ***Próba oceny jej wpływu na zapis EEG***, Fizjoterapia, vol. 10(3–4), 2002, s. 51-63.
82. A. Kwolek, S. Snela: ***Rehabilitacja w chorobach i uszkodzeniach obwodowego układu nerwowego***, Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego, vol. 1, 2008, s. 6-13.
83. M. Leman, M. Saltine, Y. Hearth: ***The effective treatment of acne vulgarism by a high-intensity narrow band 405-420 nm light source***, Journal of Cosmetic & Laser therapy, vol. 5, 2003, s. 111-116.
84. J. Kujawa: ***Molekularne i błonowe mechanizmy biostymulacyjnych efektów promieniowania laserowego o długości fali 810 nm. Praca habilitacyjna***, Wydział Wojskowo-Lekarski Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, 2004.
85. G. Kesava Reddy: ***Comparison of the photostimulatory effects of visible He-Ne and infrared Ga-As lasers on healing impaired diabetic rat wounds***, Lasers Surg Med, vol. 33(5), 2003, s. 344-351.
86. R. Lavi, A. Shainberg, H. Friedman, V. Shneyvays, O. Rickover, M. Eichler, D. Kaplan, R. Lubart: ***Low energy visible light induces reactive oxygen species generation and stimulates an increase of intracellular calcium concentration in cardiac cells***, J Biol Chem, vol. 278(42), 2003, s. 40917-40922.
87. A.D. Agaiby, L.R. Ghali, R. Wilson, M. Dyson: ***Laser modulation of angiogenic factor production by T-lymphocytes***, Lasers Surg Med, vol. 26(4), 2000, s. 357-363.
88. B. Kurkus, W. Kuliński: ***Laseroterapia w medycynie fizykalnej***, Balneologia Polska, vol. 3(4), 2005, s. 76-83.
89. D.R. Santos, R.E. Liebano, C.S. Baldan, I.B. Masson, R.P. Soares, E.I. Junior: ***The low-level laser therapy on muscle injury recovery: literature review***, J Health Sci Inst, vol. 28(3), 2010, s. 286-288.
90. M. Bugajski, J. Krukowska, J. Czernicki: ***Biostymulacyjne promieniowanie laserowe i możliwości jego zastosowania w fizjoterapii***, Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego i Narodowego Instytutu Leków w Warszawie, Rzeszów, vol. 3, 2010, s. 343-348.

otrzymano / received: 02.02.2011
poprawiono / corrected: 10.05.2011
zaakceptowano / accepted: 15.05.2011