

Marcin Bugajski, Jolanta Krukowska, Jan Czernicki

## **Biostymulacyjne promieniowanie laserowe i możliwości jego zastosowania w fizjoterapii**

Z Oddziału Rehabilitacji i Medycyny Fizykalnej, Uniwersyteckiego Szpitala  
Klinicznego im. Wojskowej Akademii Medycznej – Centralny Szpital Weteranów

*Wstęp: Różnorodne nieprawidłowości funkcjonalne i strukturalne w narządzie ruchu są często przyczyną wielu chorób cywilizacyjnych.*

*Występowanie ich związane jest najczęściej z niewłaściwym stylem życia, a brak ruchu i otyłość są głównymi przyczynami zmian zwyrodnieniowych. Liczba chorych z tego typu dolegliwościami gwałtownie rośnie. Stwierdza się, że 80% populacji europejskiej zarówno w wieku produkcyjnym, jak i poprodukcyjnym cierpi na zespoły bólowe. W ostatnich dziesięcioleciach jako jedną z metod w leczeniu pacjentów z zespołem dolegliwości bólowych zaczęto stosować różnego rodzaju lasery biostymulacyjne. Lasery te wykorzystywane są praktycznie w każdym ośrodku rehabilitacyjnym. Ta nowa, bo licząca niepełna 50 lat metoda fizjoterapii znalazła zastosowanie między innymi w ortopedii, neurologii i medycynie sportowej.*

*Celem pracy jest przegląd aktualnego piśmiennictwa dotyczącego zastosowania i możliwości wykorzystania biostymulacyjnego promieniowania laserowego w fizjoterapii. Praca ma na celu również przybliżenie zasad działania biostymulacyjnego promieniowania laserowego na organizm człowieka.*

*Autorzy po opisie ogólnych właściwości fizycznych i działania biologicznego wiązki laserowej oraz praktycznych wskazań do zastosowania w fizjoterapii dokonali przeglądu dotychczasowych doniesień naukowych oceniających przydatność tej metody.*

*W dostępnych publikacjach z tego zakresu, wielu autorów przedstawia pozytywne działanie promieniowania laserowego w różnych jednostkach chorobowych. Część badaczy nie zauważyła pozytywnych efektów działania stymulacji laserowej. Brak jednoznacznych zaleceń w zakresie metodyki i dawkowania zabiegów laseroterapii może być przyczyną braku pozytywnych efektów leczniczych. Można także wysnuć hipotezę, że nie do końca poznane jeszcze mechanizmy działania lasera nie pozwalają w sposób wiarygodny i niepodważalny uznać tej metody jako skutecznego środka terapeutycznego. Bez naukowej weryfikacji klinicznej działania biostymulacji laserowej, wyniki uzyskiwane przez badaczy będą niejednoznaczne.*

Słowa kluczowe: laser, biostymulacja, fizjoterapia

### ***Biostimulation laser radiation and possibility of using in physiotherapy***

*Variety of functional and structural abnormalities in the motion organ are often the cause of many diseases of civilization. The occurrence is usually related to the improper lifestyle and lack of exercise and obesity are major causes of degenerative changes. Number of patients with such ailments is growing rapidly. It is concluded that 80% of the population of Europe as both age and post-production suf-*

fers from pain syndromes. In recent decades, as one of the methods in the treatment of patients with pain began to use various types of laser biostimulation. Lasers are used in virtually any rehabilitation center. This new, because the numbering less than 50 years of physiotherapy method was applied, inter alia, in orthopedics, neurology and sports medicine. Aim of this study is to review the current literature on the use and usability biostimulation laser radiation in physiotherapy. Work is also closer to the principles of biostimulation laser radiation on the human body. The authors, out of the general description of the physical and biological action of the laser beam, and practical guidance for use in physiotherapy reviewed the existing scientific reports assessing the usefulness of this method. In the available publications in this field, many authors present the positive effects of laser radiation on sickness in various units. Some scholars have noticed the positive effects of laser stimulation. There are no clear recommendations for dosing methodologies and laser treatments can cause lack of positive therapeutic effects. You can also suggest the hypothesis that there are unknown mechanisms of action of a laser does not allow a credible and irrefutable consider this method as an effective means of therapeutic intervention. Without a scientific review of clinical laser biostimulation, the results obtained by the researchers will be inconclusive.

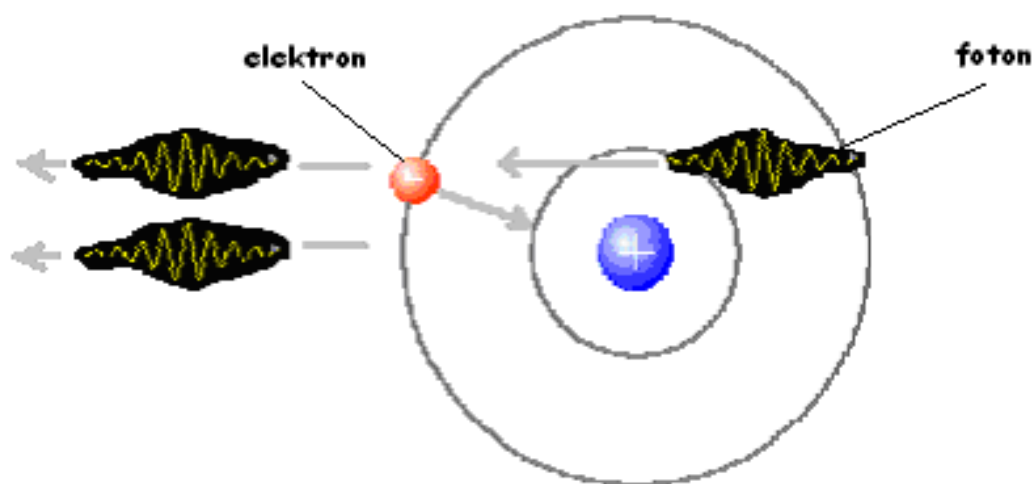
Key words: laser, biostimulation, physiotherapy

Od dawna już wiadomo, że dla prawie wszystkich form życia światło słoneczne jest jedynym źródłem energii. Światło to wywołuje szereg różnych procesów molekularnych, fotoreakcji, w pierwszym rzędzie fotosyntezy, co powoduje zmiany zachodzące w wielu układach biologicznych [1, 4].

Promieniowanie laserowe nie istnieje w przyrodzie, stworzone zostało przez człowieka. W celu lepszego zrozumienia oddziaływania promieniowania laserowego na materię żywą, coraz częściej są podejmowane badania nad oddziaływaniem promieniowania laserowego z układami biologicznymi [1, 2].

Wielki uczony fizyk Albert Einstein w 1905 roku opublikował pracę: *O wytwarzaniu i transformacji światła*; wyjaśnił w niej zjawisko foto-

elektryczne, potwierdzając jednocześnie kwantową naturę światła i istnienie cząstek później nazwanych fotonami. Poprzez analizę praw promieniowania świetlnego w roku 1917 Albert Einstein odkrył zjawisko wymuszonej emisji. Teorię tę eksperymentalnie uzasadnił w 1940 roku radziecki uczony W.A. Fabrikant. W latach 1952–1953 w Stanach Zjednoczonych koncepcję budowy wzmacniacza mikrofal działającego na zasadzie wymuszonej emisji przedstawili Charles H. Towns i jego współpracownicy. Urządzenie takie zostało zbudowane w 1954 roku – nazwano je laserem. Wynalazek ten polegał na rozszerzeniu wykorzystania zjawiska wymuszonej emisji promieniowania elektromagnetycznego na zakres fal świetlnych [1, 10, 12].



RYC. 1. Emisja wymuszona – elektron znajdujący się na zewnętrznej powłoce jest bombardowany fotonem i zmuszany do przejścia na niższą, wydzielając drugi identyczny foton. Fotony wyemitowane mają ten sam kierunek co fotony pada-

**FIGURE 1. Stimulated emission – the electron located on the outer shell is bombarded with a photon and forced move to lower, giving a second identical photon. Emitted photons have the same direction as the incident photons [1]**

Z pierwszym tego rodzaju projektem urządzenia wystąpił w 1958 roku ponownie Townes wraz z innym amerykańskim fizykiem Arthurem L. Schawlowem. Rok później Townes zbudował model lasera, lecz pierwsze próby nie wypadły pomyślnie. Pierwszy czynny laser został zbudowany w 1960 r. przez Theodora Maimana w pracowni badań lotniczych w Malibu w USA [cyt. za 1].

LASER to akronim utworzony z pierwszych liter: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Jest urządzeniem, w którym uzyskuje się wzmocnienie lub generację promieniowania elektromagnetycznego w wyniku emisji wymuszonej. Pojawienie się urządzeń emitujących światło laserowe otworzyło nowe możliwości nie tylko w technice, ale również w medycynie. Wzrosło zainteresowanie związane z wpływem tego światła na organizmy żywe. Praktyczne zastosowanie promieniowania emitowanego przez urządzenia laserowe wyprzedziło teoretyczne objaśnienie jego działania na organizmy żywe [1, 2].

Historia stosowania lasera w Polsce została zapoczątkowana w 1963 roku przez zespół naukowców z Katedry Podstaw Radiotechniki WAT pod kierunkiem prof. dr. inż. Zbigniewa Puzewicza. Był to laser rubinowy (na ciele stałym). W 1965 roku, na bazie tego lasera, zbudowano koagulator okulistyczny i mikrodrążarkę laserową.

Światło laserowe działa na wszystkich poziomach organizmu: molekularnym, biochemicznym, komórkowym, tkankowym i narządowym. Działanie wiązki promieniowania laserowego zależy od rodzaju lasera, długości fali emitowanej, mocy i czasu działania, a także od rodzaju tkanki poddanej napromienianiu. Wymienione czynniki decydują, na jaką głębokość wnika światło laserowe, a tym samym, jakie zmiany wywoła w tkankach, do których dotrze [1, 2, 4].

Promieniowanie generowane w wyniku emisji wymuszonej, choć w naturze tożsame z innymi rodzajami promieniowania elektromagnetycznego (EM), posiada jednak specyficzne cechy wyróżniające od promieniowania powstającego w wyniku procesów spontanicznych. Ogólnie można je określić jako cechy „bliźniacze” w stosunku do sygnału wymuszającego. Z punktu widzenia zastosowań medycznych ważne są następujące cechy:

- monochromatyczność – promieniowanie laserowe charakteryzuje się bardzo wąskim zakresem widmowym (nawet  $10^{-7}$  nm) w porównaniu do naturalnych źródeł promieniowania: gwiazd, lamp, i tym podobnych. Każde zwykłe źródło światła jako światło białe jest w rzeczywistości połączeniem wszystkich widzialnych i często niewidzialnych (IR, UV) długości fal. Po zastosowaniu pryzmatu możemy oddzielić poszczególne kolory składające się na światło białe. Każdy z kolorów opuszcza pryzmat pod innym kątem [1, 2].
- spójność, czyli koherencja – generowane w laserze fale elektromagnetyczne rozchodzą się, zachowując tę samą fazę, co odróżnia je od całkowicie niespójnego promieniowania spontanicznego. Zjawisko to zachodzi w laserze nawet przy dużych odległościach [1, 2].
- mała rozbieżność wiązki – promieniowanie lasera rozchodzi się w jednym, wyznaczonym przez oś rezonatora kierunku, a średnica wiązki rośnie niezwykle powoli z odległością od okna rezonatora. Kąt rozbieżności wiązki przyjmuje wartości od ułamka miliradiana dla laserów gazowych i na ciele stałym do ułamka radiana w przypadku laserów półprzewodnikowych (radian jest jednostką miary kąta, który oznacza stosunek długości łuku wycinka koła do jego promienia). Mała rozbieżność wiązki umożliwia przesyłanie jej na duże odległości, a także silne skupianie za pomocą układów optycznych [1, 2].

Wszystkie wymienione cechy promieniowania laserów wnoszą swój wkład do istotnej właściwości, jaką jest skupianie – ogniskowanie wiązki laserowej, szczególnie w związku z zastosowaniami chirurgicznymi i mikrochirurgicznymi laserów. Monochromatyczność umożliwia dodatkowo selektywne wzbudzenie poszczególnych substancji chemicznych w tkance w celu stymulacji określonych procesów chemicznych. Ta druga właściwość warunkuje postęp prac związanych z rozwojem PDT – fotodynamicznej terapii nowotworów i PDD – fotodynamicznej diagnostyki nowotworów [1, 2].

Z terapeutycznego punktu widzenia najistotniejsza jest odpowiednia absorpcja i głębokość penetracji promieniowania laserowego o określonej długości fali. Specyficzne właściwości promieniowania laserowego, które mają szczególne znaczenie w zastosowaniach medycznych, to jego

duża intensywność, mała rozbieżność wiązki oraz monochromatyczność. Promieniowanie laserowe można przekazywać do tkanek za pomocą światłowodu lub układu zwierciadeł metodą kontaktową lub bezkontaktową [1, 2, 5, 6].

Przechodzenie światła laserowego przez tkanki biologiczne jest skomplikowane. Przyczyną tego jest m.in. niejednorodna struktura tkanek. Procesy takie, jak: odbicie, ugięcie, rozproszenie czy absorpcja powodują osłabienie intensywności wiązki laserowej. Głębokość penetracji w tkance zależy też od jej struktury, zawartości wody, ilości hemoglobiny i melaniny [7, 8, 9].

Wszystkie lasery zbudowane są z ośrodka laserowego (czynnego), źródła energii wzbudzenia (układu pompującego) i komory rezonatora optycznego. Ze względu na moc lasery dzieli się na grupy: wysokoenergetyczne lasery dużej mocy (chirurgiczne) – powyżej 500 mW, lasery średniej mocy (7–500 mW), niskoenergetyczne lasery małej mocy (1–6 mW). Lasery biostymulacyjne (średniej i małej mocy) wykorzystują moc 1–500 mW. Biostymulacją laserową nazywamy reakcję komórek, tkanek, całego organizmu na napromienianie nisko- i średnioenergetycznym promieniowaniem laserowym. Lasery wykorzystujące to zjawisko znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach, jak: rehabilitacja, medycyna sportowa, dermatologia, reumatologia czy stomatologia [3, 10, 11].

Biostymulacja polega na zewnętrznym napromienianiu leczonego miejsca światłem lasera niskoenergetycznego, emitującego wiązkę promieniowania w zakresie od 630 do 1100 nanometrów (nm), co odpowiada barwom od jasnej czerwieni (633 nm) do bliskiej – niewidzialnej już podczerwieni (1100 nm). Przy tych długościach fali świetlnej tkanki skóry są prawie przezroczyste. Światło może docierać do 5–6 cm w głąb tkanki, a swoim działaniem może również objąć kości i stawy. Biostymulacji towarzyszy efekt wzrostu temperatury miejscowej tkanki, nie większy niż o 1°C [13]. Badania przeprowadzone przy pomocy lasera o długości fali 904 nm i mocy 10 mW techniką bezkontaktowego „przemiatania” w czasie 20 minut wykazały wzrost temperatury nie przekraczający 0,8°C [2, 7, 12, 13].

**TABELA 1. Głębokość penetracji w zależności od długości wiązki laserowej [12]**

**TABLE 1. The depth of penetration depending on the length of the laser beam [12]**

Długość wiązki	Głębokość penetracji
----------------	----------------------

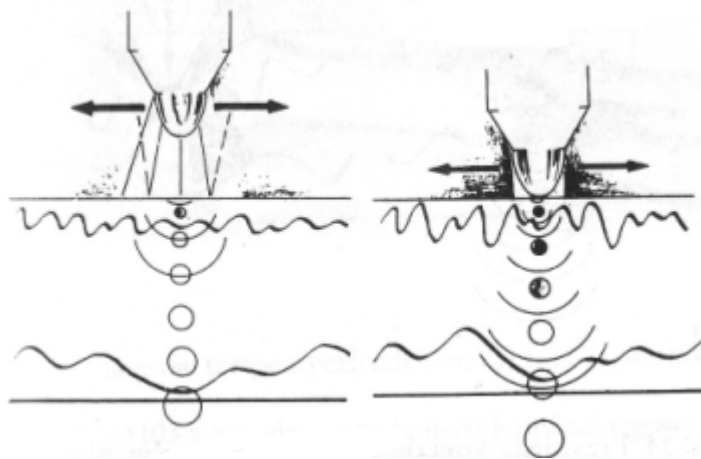
630 nm	2–20 mm
760 nm	2–20 mm
810–830 nm	40–60 mm
904 nm	10–50 mm

Wśród głównych efektów terapeutycznych biostymulacyjnego promieniowania laserowego wymienia się działanie przeciwbólowe, przeciwzapalne, przeciwobrzękowe, poprawiające krążenie i zwiększające odporność organizmu [1, 4]. Stosując zabiegi laserowe w określonej jednostce chorobowej należy umiejętnie dobrać parametry promieniowania, takie jak: rodzaj, moc, czas trwania, technikę naświetlania i ilość zabiegów w serii. Laseroterapia może być stosowana w formie monoterapii lub terapii skojarzonej z magnetoterapią, światłem spolaryzowanym i farmakoterapią [33]. Przy dobieraniu dawki energii promieniowania należy uwzględnić wiek pacjenta, kolor jego skóry, typ schorzenia, głębokość tkanek docelowych, stopień ich uszkodzenia i przebieg choroby. Naświetlając punktowo należy stosować odległości 1–2 cm pomiędzy punktami. Gdy chcemy osiągnąć efekt przeciwbólowy należy stosować niższe częstotliwości, wyższe w działaniu przeciwzapalnym i stymulowaniu regeneracji nerwów. Stosując światło podczerwone wykonuje się od 3 do 5 zabiegów w tygodniu, przy świetle czerwonym naświetla się 3 razy tygodniowo. W zależności od jednostki chorobowej liczba zabiegów w serii wynosi od 6 do 15. Czas napromieniania waha się w granicach od kilkunastu sekund do 20 minut [1, 32].

Techniki naświetlania dzieli się na bezkontaktowe i kontaktowe. Mogą one być ponadto punktowe (najczęściej wykonywane sondą ręczną), powierzchniowe (ręczne – przesuwanie sondy zabiegowej nad powierzchnią tkanki docelowej, automatyczne – poprzez skaner zwierciadlany), inwazyjne i nieinwazyjne. Najskuteczniejszym sposobem działania wiązki laserowej na tkanki organizmu ludzkiego jest metoda bezpośredniego kontaktu sondy z tkanką. Wszelkie zjawiska fizyczne towarzyszące padaniu promieniowania laserowego i powodujące stratę promieniowania w tej metodzie są najmniejsze. Zastosowanie techniki kontaktowej wymaga przemycia skóry pacjenta roztworem alkoholu. W podobny sposób należy oczyścić końcówkę zabiegowej sondy lasera. W celu zwiększenia głębokości penetracji promieniowania lasera w głąb tkanki stosuje się techniki kontaktowe z uciskiem (technika „dzio-bania” – „wood-pecker technique”) [1].

Zgodnie z prawem Arndta–Schultza „słabe bodźce pobudzają aktywność fizjologiczną, umiarkowane bodźce sprzyjają aktywności fizjologicznej, a bardzo silne bodźce mogą ją hamować” należy tak dobierać parametry promieniowania laserowego, aby oddziaływanie było opty-

malne i sprzyjało temu co chcemy osiągnąć, a także nie wywoływało żadnych skutków niepożądanych. Dlatego w biostymulacji laserowej najkorzystniej jest stosować dawki promieniowania laserowego o energii powierzchniowej od  $0,1\text{J}/\text{cm}^2$  do  $12\text{J}/\text{cm}^2$  [12].



RYC. 2. Technika przemieszczania wiązki laserowej: a) bezkontaktowo, b) kontaktowo [2]  
 FIGURE 2. Sweeping technic of laser beam: a) non-contact, b) contact [2]

W fizjoterapii biostymulacyjne promieniowanie laserowe wykorzystuje się przede wszystkim jako działanie przeciwbólowe, przeciwzapalne, przyspieszanie gojenia ran i poprawę przewodnictwa nerwowego [33]. Zgodnie z potwierdzonymi doświadczalnie efektami klinicznymi laseroterapia znajduje zastosowanie w leczeniu schorzeń narządu ruchu (choroba zwyrodnieniowa stawów i kręgosłupa, entezopatie, stany po urazach narządu ruchu, w schorzeniach reumatycznych (reumatoidalne zapalenie stawów, zeszywniające zapalenie stawów kręgosłupa), w schorzeniach neurologicznych (zespoły korzeniowe, neuralgia nerwu twarzonego i inne), w schorzeniach dermatologicznych (półpasiec, owrzodzenia podudzi), w leczeniu odleżyn i obrzęków pochodzenia limfatycznego [1, 4]. W chorobie zwyrodnieniowej kręgosłupa istotną statystycznie poprawę (zmniejszenie dolegliwości bólowych) zaobserwowało kilku badaczy [13, 18–21]. Należy podkreślić fakt, że owa poprawa widoczna była w zespołach bólowych zarówno w części szyjnej jak i lędźwiowo-krzyżowej kręgosłupa [13, 18–21]. Niewielka liczba prób klinicznych wskazuje konieczność przeprowadzenia większej ilości randomizowanych badań, ściśle uwzględniając metodykę aplikacji promieniowania laserowego [22].

Pozytywne efekty leczenia biostymulacyjnym promieniowaniem laserowym zaobserwowano

także w zespołach „bolesnego stawu łokciowego” i „bolesnego barku”. Metodą stymulacji było naświetlanie punktów spustowych (*trigger points*) przez 2–3 minuty na każdy. Warto podkreślić fakt, że w badanej grupie chorych poprawa następowała już po kilku zabiegach [4, 9, 14–16].

Podobne wyniki zaobserwowano w przypadku leczenia dolegliwości związanych ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego. Otrzymało zmniejszenie intensywności bólu, co korzystnie wpłynęło na ograniczenie ilości przyjmowanych leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych [13, 23].

Niektórzy badacze, stosując laseroterapię, nie stwierdzili pozytywnych wyników w leczeniu wyżej wymienionych jednostek chorobowych [24, 26, 28]. Przyczyn tego może być kilka, a mianowicie: brak obiektywnych skal bólu stosowanych do pomiarów, nieodpowiednie parametry użyte do biostymulacji [24, 26, 28].

Obszerną grupę wskazań do stosowania biostymulacyjnego promieniowania laserowego stanowią trudno gojące się rany, owrzodzenia, świeże blizny i przeszczepy skóry [3]. Liczba wykonywanych zabiegów i ich czas zależne są od rozległości rany (powierzchni i głębokości) oraz efektów przebiegającego leczenia. Widoczna poprawa następuje najczęściej po 20–40 zabiegach trwających od 5 do 15 minut. Najlepsze efekty obserwowane są przy codziennym naświetlaniu rany.

Do ran powierzchniowych zaleca się stosowanie lasera helowo-neonowego o długości fali 632,8 nm, mocy 5 mW techniką przemiatań bezkontaktowego z odległości od 2 do 15 cm. Do ran głębokich zaleca się stosowanie impulsowego lasera półprzewodnikowego o długości fali 904 nm i mocy 30 mW i częstotliwości impulsów 6400 Hz techniką przemiatań bezkontaktowego z odległości ok. 0,5 cm od powierzchni rany w czasie 10 minut [1–3, 27, 28].

Niektórzy autorzy opisują pozytywne efekty terapeutyczne działania biostymulacyjnego promieniowania laserowego w procesie leczenia obrzęków pochodzenia limfatycznego objawiające się 26–48-procentowym zmniejszeniem obwodu kończyny objętej obrzękiem [29–31].

Można wysnuć hipotezę, że nie do końca poznane jeszcze mechanizmy działania światła laserowego nie pozwalają w sposób wiarygodny i niepodważalny uznać tej metody jako skutecznego środka terapeutycznego. Bez naukowej weryfikacji klinicznej działania biostymulacji laserowej, wyniki otrzymywane przez badaczy będą niejednoznaczne. Jednak w procesie fizjoterapii nie można pomijać tej metody fizykanej. Według licznej grupy prowadzących badania nad skutecznością biostymulacji laserowej zalety tej metody są bezsporne i niepodważalne. Na podkreślenie zasługuje także stosunkowo niski koszt urządzeń laserowych, nieinwazyjny charakter zabiegów, a także możliwość wykonywania ich w stanach ostrych i podostrych.

## PIŚMIENNICTWO

- Glinkowski W, Pokora L: *Lasery w terapii*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1995; 61–84.
- Fiodor P, Kręćik T i wsp.: *Zarys klinicznych zastosowań laserów*. Wyd. „Ankar”, Warszawa 1995.
- Taradaj J.: *Lasery w medycynie i rehabilitacji*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001; 42–47.
- Sieroń A., Cieślak G., Adamek M.: *Magnetoterapia i laseroterapia niskoenergetyczna*. ŚIAM, Katowice 1993; 33–91.
- Mikołajczyk H.: *Lasery i promieniowanie optyczne*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 1990; 23:86.
- Kokosa J.M., Benedetto M.B.: *Probing plume protection problems in the health care environments*. J. Laser Appl. 1992; 4(3):39–43.
- Niemierzycka A., Janczak Z.: *Właściwości fizyczne promieniowania laserowego wpływające na sposób i technikę wykonywania biostymulacji*. Postępy Reh. 1994; 8(4):101–109.
- Nyka W., Szawłowski K.: *Ocena wyników doświadczeń własnych stosowania promieniowania laserowego w rehabilitacji*. Postępy Reh. 1993; 7(1):53–56.
- Mika T., Orłow H., Kuszelewski Z., Kalitowicz A.: *Lasero-we promieniowanie podczerwone w leczeniu zespołu bolesnego łokcia*. Postępy Reh. 1990; 4(3):21–24.
- Mester E.: *Experimentation on interaction between infrared laser and wound healing*. Z. Exp. Chirurgie. 1969; 2:94.
- Mika T.: *Fizykoterapia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1999; 137–158.
- Straburzyński G., Straburzyńska-Lupa A.: *Fizjoterapia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004; 55–71.
- Szawłowski K.: *Doświadczenia własne w leczeniu za pomocą lasera w rehabilitacji*. Postępy Reh. 1995; 9(1):47–53.
- Boerner E., Podbielska H.: *Badania skuteczności laseroterapii z wykorzystaniem metody placebo w chorobach zwyrodnieniowych narządów ruchu*. Balneol. Pol. 1999; 41(3–4):7–21.
- Boerner E., Podbielska H., Nesterowicz: *Badania skuteczności laseroterapii i elektroterapii w chorobach zwyrodnieniowych narządów ruchu*. Fizjoterapia 1999; 7(4):28–35.
- Kert J., Rose L.: *Clinical laser therapy. Low level laser therapy*. Scandinavian Medical Laser Technology, 1989.
- Brzezińska B., Wize J., Dziewczopulski W., Bendkowski P.: *Leczenie laserem małej mocy wysiękowego zapalenia stawów kolanowych w reumatoidalnym zapaleniu stawów i artropatii zwyrodnieniowej*. Reumatologia, 1998; 30:270–275.
- Berquist – Ullmann M., Larson U.: *Acute low back pain in industry*. Acta Orthop. Scand. 1997; 170:1–177.
- Goraj B., Kiwerski J.: *Wybrane metody fizykoterapeutycznego leczenia bólów krzyża*. Fizjoterapia, 1995; 3(3):33–35.
- Grabowski A., Weiss M.: *Zastosowanie energii laserowej w leczeniu zespołów bólów krzyża*. Pol. Tyg. Lek. 1981; 36:42–52.
- Niemierzycka A., Mika T., Markiewicz L.: *Niskoenergetyczne promieniowanie laserowe w leczeniu szyjnych zespołów korzeniowych*. Balneol. Pol. 1995; 37(1):17–22.
- Pyszora A., Adamczyk A.: *Zastosowanie niskoenergetycznego promieniowania laserowego w leczeniu bólu*. Polska Medycyna Paliatywna. 2005; 4(3):127–132.
- Niemrzycka A.: *Zastosowanie niskoenergetycznego promieniowania laserowego w chorobie zwyrodnieniowej stawów kolanowych*. Balneol. Pol. 1999; 41(3–4):57–65.
- Saunders L.: *The efficacy of low level laser therapy in supraspinatus tendonitis*. Clin Rehab. 1995; 9:126–134.
- Basford J.R., Sheffield Ch.G., Harmsen W.S.: *Laser therapy – a randomized controlled trial of the effects of low intensity Nd: YAG laser irradiation on musculoskeletal back pain*. Arch. Phys. Med. Rehab. 1995; 80:647–652.
- Klein R.G., Eek B.J.: *Low – energy laser treatment and exercises for chronic low back pain – double blind controlled trial*. Arch Phys. Med. Rehab. 1990; 71:34–37.
- Taradaj A., Taradaj J., Franek A.: *Próba oceny skuteczności biostymulacji laserowej w leczeniu wybranych jednostek chorobowych*. Rehabilitacja Medyczna, 2002; 4:61–65.
- Hopkins J., McLoda T.A., Seegmiller J.G., Baxter G.D.: *Low-level laser therapy facilitates superficial wound healing in humans: a triple-blind, sham-controlled study*. Journal of Athletic Training, 2004; 3:223–229.
- Twycross R.: *Novel treatments: low-level laser therapy*. [in:] Twycross R., Jenns K., Todd J. (red.): *Lymphoedema*. Radcliffe Medical Press. Oxon 2000; 282–284.

30. Piller N.B., Thelander A.: *Treatment of chronic postmastectomy lymphoedema with low level laser therapy: a 2,5 year follow-up*. *Lymphology*. 1998; 2:74–86.
31. Carati C.J., Anderson S.N., Gannon B.J., Piller N.B.: *Treatment of postmastectomy lymphoedema with low-level laser therapy: a double blind, placebo-controlled trial*. *Cancer*. 2003; 6:1114–1122.
32. Demidaś A., Koziatek A., Boerner E., Konieczna A.: *Bio-stymulacyjne promieniowanie laserowe w regeneracji czucia*. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*. 2004; 10(3–4):131–136.
33. Zwolińska J., Weres A., Magoń G., Skalska-Izdebska R.: *Wykorzystanie biostymulacji laserowej i światła VIP w leczeniu chorób narządu ruchu*. *Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego*, 2007; 3, 275–288.

Bugajski Marcin  
27-400 Ostrowiec Świętokrzyski, ul. Okrężna 9  
tel. 792420067  
e-mail: m.bugajski83@gmail.com