

Aneta Olszewska

Klinika Ortodoncji i Dysfunkcji Narządu Żucia,
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Julia Gibka

Wydział Medyczny i Nauk o Zdrowiu,
Uniwersytet Kaliski im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego, Kalisz

Jacek Matys

Klinika Chirurgii Stomatologicznej,
Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

ZASTOSOWANIE FOTOBIMODULACJI W STOMATOLOGII

APPLICATION OF PHOTOBIMODULATION IN DENTISTRY

Laseroterapia w stomatologii

Termin laser jest akronimem dla amplifikacji światła przez stymulowaną emisję promieniowania (ang. Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation) [1].

Początki zastosowania światła w terapii sięgają starożytności, jednak pierwsze naukowe podejście do wykorzystania fototerapii w medycynie szacuje się na początek XX wieku, kiedy zapoczątkowane zostały badania nad zastosowaniem światła słonecznego nie tylko w leczeniu chorób somatycznych, ale również w zapobieganiu i ograniczaniu dolegliwości bólowych [1, 2].

Przełomowym wydarzeniem w rozwoju fototerapii było skonstruowanie pierwszego lasera niskoenergetycznego w 1960 r. przez amerykańskiego fizyka Theodore Mainmana. W dziedzinie medycyny stosowanie laserów zapoczątkował węgierski chirurg Endre Mestre, który w 1967 r. opisał pozytywne efekty naświetlania laserem biostymulacyjnym trudno gojących się ran. Pierwsze doniesienia o wykorzystaniu laserów w stomatologii pochodzą z 1964 r., kiedy fizyk Leon Goldman zwrócił uwagę na właściwości lasera rubinowego i możliwości jego

zastosowania w stomatologii [3]. Od tego momentu rozpoczął się intensywny rozwój urządzeń laserowych, pozwalający na wprowadzenie szeregu ich nowych zastosowań. Laser jest urządzeniem zdolnym do emisji promieniowania elektromagnetycznego z zakresu światła podczerwonego, ultrafioletowego lub widzialnego [4].

Dynamiczny rozwój laserów spowodował wprowadzenie laseroterapii do szeregu specjalności medycznych, a także stomatologicznych. Właściwości analgetyczne laseroterapii pozwoliły na jej szerokie zastosowanie w takich dziedzinach stomatologii jak : chirurgia, periodontologia, endodoncja oraz ortodoncja. Początkowo lasery wprowadzone były z powodzeniem do leczenia stomatologicznego osób dorosłych, następnie coraz częściej stosowane są również w ortodoncji i stomatologii dziecięcej.

Lasery pozwalają na innowacyjne podejście do leczenia, mniej inwazyjne i efektywne w przeciwdziałaniu powikłaniom lub działaniom niepożądanym [5].

Laseroterapia – efekty biologiczne

Specyficzne właściwości światła laserowego, które decydują o wywoływanych efektach biologicznych :

- ▶ monochromatyczność – wszystkie fale wiązki mają jednakową długość fali i barwę
- ▶ równoległość – kolimacja wiązki, bardzo mała rozbieżność wiązki
- ▶ intensywność – duża intensywność w wąskiej linii widmowej
- ▶ spójność – koherentność – wszystkie fotony oscylują w tej samej fazie
- ▶ kierunkowość

Znajomość zjawisk fizycznych towarzyszących reakcji światła laserowego z różnymi tkankami oraz dobór odpowiednich parametrów wpływa na bezpieczeństwo prowadzenia zabiegów laserowych, które charakteryzuje większa precyzja, efektywność i minimalna inwazyjność przeprowadzanych procedur.

Wskazania do zastosowania danego typu lasera uwarunkowane jest nie tylko parametrami lasera, ale typem tkanki i jej właściwościami oraz rodzajem planowanego zabiegu.

Fotobiomodulacja (PBM)

Fotobiomodulacja (PBM) jest definiowana jako „inne niż cieplne oddziaływanie promieniowania monochromatycznego na obszar docelowy”[6]. W literaturze występują różnorodne terminy opisujące terapię laserową takie jak: fotobiostymulacja, biostymulacja laserowa, fototerapia, terapia światłem, laseroterapia, terapia światłem zimnym, laseroterapia niskoenergetyczna, fototerapia niskoenergetyczna, terapia laserem miękkim, laser terapeutyczny, laseroterapia o niskiej reaktywności[7].

Udowodniono, że niskoenergetyczne działanie promieniowania laserowego przyspiesza reakcje zachodzące w komórkach [8]. Światło lasera powoduje wzrost ATP w mitochondriach komórkowych, który jest źródłem energii potrzebnej do metabolizmu komórki. Zwiększenie poziomu ATP, przyspiesza reakcje komórkowe, a tym samym procesy regeneracyjne zachodzą

szybciej. Istotny wpływ na efektywność fotobiomodulacji ma głębokość penetracji wiązki lasera, która w przypadku lasera Nd:YAG jest największa [9, 10].

Zasadą działania laserów małej mocy, jako bezpiecznej formy fototerapii, jest znikomy wzrost temperatury $<10^{\circ}\text{C}$ w tkankach, na które oddziałuje (brak efektu termicznego), wyzwalając reakcję jedynie w obszarach dotkniętych zmianami chorobowymi. Według danych z literatury, lasery o takiej charakterystyce, mieszczą się w zakresie długości fali 600-1000nm [11, 12]. Długości fal widzialnych wywołują zmiany fotochemiczne w cytoplazmie wewnątrzkomórkowej, a efekty na poziomie błon komórkowych spowodowane są naświetlaniem wiązką promieniowania w zakresie podczerwieni [13]. Lasery niskoenergetyczne wywołują efekty pierwotne związane z aktywnością wewnątrzkomórkową: wzrost poziomu ATP, kwasu DNA, reakcje redoks i wymiana tlenu [14, 15]. Kolejne efekty czyli wtórne, są indukowane w tkankach docelowych. Zaliczamy do nich: zmniejszenie bólu, przyspieszenie gojenia, rozszerzenie naczyń, zmniejszenie obrzęku i przekrwienie w tkankach objętych procesem zapalnym [16]. Do efektów stymulujących laseroterapii zalicza się:

- ▶ zwiększoną proliferację komórek (makrofagów, limfocytów, fibroblastów, keratynocytów, komórek śródbłónka)
- ▶ zwiększoną oddychalność komórek/synteza ATP
- ▶ uwolnienie czynników wzrostu i innych cytokin
- ▶ transformacja fibroblastów do miofibroblastów
- ▶ syntezę kolagenu
- ▶ zwiększenie odpowiedzi czynnika wzrostu
- ▶ zwiększenie angiogenezy
- ▶ nasilenie przebudowy macierzy pozakomórkowej
- ▶ zmiany metabolizmu neuroprzekazników (serotoniny, endorfin)
- ▶ zmniejszenie aktywności nocycyptywnej
- ▶ zwiększona odpowiedź immunologiczna

NIEMIOTÓRE ZASTOSOWANIA PBM W STOMATOLOGII OBEJMUJĄ:

- ▶ kontrolowanie bólu, obrzęku i stanu zapalnego po zabiegu chirurgicznym, zmniejszając w ten sposób zapotrzebowanie na leki,
- ▶ zmniejszenie bólu po wypełnieniu zębów lub opracowaniu zębiny z hamującym działaniem na układ nerwowy miazgi
- ▶ przeciwwzapalny mechanizm PBM i jego zastosowanie kliniczne w fizjoterapii
- ▶ zmniejszenie bólu i obrzęku po implantacji oraz przyspieszenie tworzenia kości
- ▶ zmniejszenie bólu podczas leczenia ortodontycznego i przyspieszenie ruchu zębów, poprzez przyspieszenie resorpcji kości i apozycji
- ▶ zmniejszenie nerwobólu, bólu twarzy lub bólu spowodowany przez skurcze mięśni i zaburzenia stawu skroniowo-żuchwowego.
- ▶ zmniejszenie dolegliwości bólowych w nadwrażliwości zębiny [17, 18, 19].

W fotobiomodulacji stosowana jest wiązka światła widzialnego czerwonego lub podczerwonego. Określone parametry długości fali promieniowania determinują uzyskiwany efekt pierwotny i wtórny. W przypadku światła czerwonego transmisja następuje jedynie przez powierzchniowe warstwy komórkowe, natomiast fale świetlne w zakresie bliskiej podczerwieni mają zdolność penetracji na głębokość kilku milimetrów. Pozwala to na dobór odpowiedniej długości fali w zależności od potrzeby stymulacji poszczególnych głębokości funkcji komórkowych [20, 21]. Biostymulacjaiskoenergetyczna wykorzystuje zastosowanie monochromatycznej wiązki promieniowania o niskim natężeniu poniżej 250 mW. Zastosowanie laseroterapii o mocy powyżej 250 mW może prowadzić do uszkodzenia tkanek, wywołując odwrotny efekt od zamierzonego [22, 23].

Efekty działania laseroterapii

Efekt przeciwbólowy biostymulacji laserowej związany jest ze wzmożoną syntezą endorfin i bradykinin. Opisany jest również wpływ na zmianę progu bólowego [24, 25]. Według niektórych badaczy efekt przeciwbólowy wiąże się z uwolnieniem serotoniny i acetylocholiny w ośrodkowym układzie nerwowym oraz histaminy i prostaglandyn obwodowo [26]. LLLT może również wpływać modulująco na proces zapalny i poprzez obniżenie przepuszczalności naczyń krwionośnych oraz ograniczenie obrzęku prowadzić do zmniejszenia bólu [27, 28].

Efekt terapeutyczny laseroterapii określa się jako krótkoterminowy, obejmujący produkcję beta-endorfin i kortyzolu koniecznych do walki ze stresem związanym z uszkodzeniem tkanek oraz długoterminowy, kumulacyjny, objawiający się zwiększeniem produkcji ATP i DNA, prowadząc do poprawy metabolizmu komórkowego [28, 29]. W efekcie dochodzi do wzrostu aktywności mitochondrialnej, makrofagów, fibroblastów i szeregu innych ważnych funkcji komórek. Prowadzi to do wyraźnej poprawy angiogenezy, wzrasta potencjał regulacyjny błon komórkowych, poprzez wyrównanie poziomu jonów Na, Cl i K oraz uwalnianie są cytokiny [30, 31]. Zaletą biostymulacji jest końcowy efekt terapeutyczny dotyczący patologii, nie zaś modulacji objawów chorobowych, co charakteryzuje konwencjonalne metody leczenia bólu [32].

Klinicznie laseroterapia niskiego poziomu, bazując na mechanizmach stymulujących a nie ablacyjnych zapewnia fluencję (gęstość powierzchniową energii) $2\text{J}/\text{cm}^2$ w zależności od docelowej tkanki: nabłonek j. ustnej i tkanka dziąsłowa – $2\text{--}3\text{J}/\text{cm}^2$, napromieniowanie przezkostne (obszar wierzchołkowy) – $2\text{--}4\text{J}/\text{cm}^2$, zewnętrzne grupy mięśniowe/staw skroniowo-żuchwowy: $6\text{--}10\text{J}/\text{cm}^2$ [33, 34, 35].

Wpływ dawki na efekt działania fototerapii opisuje prawo Arndta-Schulza, zgodnie z którym słabe bodźce działają pobudzająco na aktywność komórkową, silniejsze stopniowo podnoszą ją do wartości maksymalnej, po przekroczeniu której dochodzi do hamowania aktywności aż do negatywnej odpowiedzi. Ważne klinicznie zjawisko dwufazowej odpowiedzi na dawkę fototerapii opisuje krzywa Arndta-Schulza. W odniesieniu do prawa Arndta-Schulza w przypadku bodźców o zbyt niskich parametrach nie nastąpi aktywacja funkcji docelowych,

jednocześnie przy podaniu dawki przewyższającej wartości zalecane może dojść do zahamowania, inhibicji tych funkcji [36].

W związku z powyższym w zależności od oczekiwanego efektu terapeutycznego zalecany jest dobór odpowiedniej długości fali oraz właściwej dawki energii, które determinują uzyskanie pożądanых reakcji.

Wpływ laseroterapii na kontrolę bólu

Zgodnie z badaniami dotyczącymi działania przeciwbólowego fototerapii zaleca się stosowanie nieco wyższej dawki całkowitej, aby osiągnąć efekt hamujący [37, 38].

W leczeniu bólu zaleca się laseroterapię wieloimpulsową o średnich częstotliwościach (73-700Hz) [38, 39].

Fototerapia z zastosowaniem niskoenergetycznego promieniowania laserowego stosowana jest medycynie (reumatologia, fizykoterapia) z pozytywnymi rezultatami klinicznymi, co znalazło potwierdzenie w licznych badaniach [40, 41, 42]. Zastosowanie fotobiomodulacji w stomatologii pozwala m.in. na zmniejszenie dolegliwości podczas podawania znieczulenia miejscowego, czy ortodontycznych wizyt kontrolnych, kiedy zmiana stosowanej siły poprzez wymianę łuku w aparacie stałym, rozkręcenie śruby w aparacie ruchomym czy zmianę nakładki może być lepiej tolerowana przez pacjenta po naświetleniu laserem przy zachowaniu dawek o potencjale analgetycznym.

Rozwój laseroterapii w stomatologii w aspekcie ograniczania dolegliwości bólowych i rozszerzanie zastosowań klinicznych fotobiomodulacji był związany ze wzrostem oczekiwań pacjentów, co do możliwości minimalnie inwazyjnych, bezbolesnych zabiegów stomatologicznych.

BIBLIOGRAFIA

1. Roelandts R. A new light on Niels Finsen, a century after his Nobel Prize. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2005; 21: 115–117.
2. AlGhamdi KM, Kumar A, Moussa NA. Lowlevelaser therapy: a useful technique for enhancing the proliferation of various cultured cells. *Lasers Med Sci* 2012; 27:237–249.
3. Kim WS, Calderhead RG. Is light-emitting diode phototherapy (LED-LLLT) really effective? *Laser Ther* 2011; 20: 205–215.
4. Sun G, Tuner J. Low-level laser therapy in dentistry. *Dent Clin North Am* 2004; 48: 1061–1076, viii.
5. Parker S. Low-level laser use in dentistry. *Br Dent J* 2007; 202: 131–138.
6. Barolet D. Light-emitting diodes (LEDs) in dermatology. *Semin Cutan Med Surg* 2008; 27:227–238.
7. Huang YY, Chen AC, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose Response* 2009; 7: 358–383.
8. Huang YY, Sharma SK, Carroll J, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy – an update. *Dose Response* 2011; 9:602–618.
9. Chow R, Armati P, Laakso EL, Bjordal JM, Baxter GD. Inhibitory effects of laser irradiation on peripheral mammalian nerves and relevance to analgesic effects: a systematic review. *Photomed Laser Surg* 2011;29: 365–381.
10. Holder MJ, Milward MR, Palin WM, Hadis MA, Cooper PR. Effects of red light-emitting diode irradiation on dental pulp cells. *J Dent Res* 2012; 91: 961–966.
11. Gursoy H, Ozcakir-Tomruk C, Tanalp J, Yilmaz S. Photodynamic therapy in dentistry: a literature review. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 1113–1125.
12. de Paula Eduardo C, de Freitas PM, Esteves-Oliveira M, Aranha AC, Ramalho KM, Simoes A, Bello-Silva MS, Tuner J. Laser phototherapy in the treatment of periodontal disease. A review. *Lasers Med Sci* 2010; 25: 781–792.
13. Gerschman JA, Ruben J, Gebart-Eaglemon J. Low level laser therapy for dentinal tooth hypersensitivity. *Aust Dental J* 1994; 39: 353–357.
14. Orhan K, Aksoy U, Can-Karabulut DC, Kalender A. Low-level laser therapy of dentin hypersensitivity: a short-term clinical trial. *Lasers Med Sci* 2011; 26: 591–598.
15. Flecha OD, Azevedo CG, Matos FR, Vieira-Barbosa NM, Ramos-Jorge ML, Goncalves PF, Koga Silva EM. Cyanoacrylate versus laser in the treatment of dentin hypersensitivity: a controlled, randomized, double-blind and non-inferiority clinical trial. *J Periodontol* 2013;84: 287–294.
16. Kreisler MB, Haj HA, Noroozi N, Willershausen Bd. Efficacy of low level laser therapy in reducing postoperative pain after endodontic surgery – a randomized double blind clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2004; 33: 38–41.
17. Tanboga I, Eren F, Altinok B, Peker S, Ertugral F. The effect of low level laser therapy on pain during dental tooth-cavity preparation in children. *Eur Arch Paediatr Dent* 2011; 12: 93–95.
18. Shigetani Y, Sasa N, Suzuki H, Okiji T, Ohshima H. GaAlAs laser irradiation induces active tertiary dentin formation after pulpal apoptosis and cell proliferation in rat molars. *J Endod* 2011; 37: 1086–1091.

19. Matsui S, Tsujimoto Y, Matsushima K. Stimulatory effects of hydroxyl radical generation by Ga-Al-As laser irradiation on mineralization ability of human dental pulp cells. *Biol Pharm Bull* 2007; 30: 27–31.
20. Igic M, Mihailovic D, Kesic L, Milasin J, Apostolovic M, Kostadinovic L, Janjic OT. Cytomorphometric and clinical investigation of the gingiva before and after low-level laser therapy of gingivitis in children. *Lasers MedSci* 2012; 27: 843–848.
21. Marțu S, Amălinei C, Tatarciuc M, Rotaru M, Potarnichie O, Liliac L, Căruntu ID. Healing process and laser therapy in the superficial periodontium: a histological study. *Rom J Morphol Embryol* 2012; 53: 111–116.
22. Igic M, Kesic L, Lekovic V, Apostolovic M, Mihailovic D, Kostadinovic L, Milasin J. Chronic gingivitis: the prevalence of periodontopathogens and therapy efficiency. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2012; 31: 1911–1915.
23. Makhoulouf M, Dahaba MM, Tuner J, Eissa SA, Harhash TA. Effect of adjunctive low level laser therapy (LLLT) on nonsurgical treatment of chronic periodontitis. *Photomed Laser Surg* 2012; 30: 160–166.
24. Obradović R, Kesić L, Mihailović D, Antić S, Jovanović G, Petrović A, Peševska S. A histological evaluation of a low-level laser therapy as an adjunct to periodontal therapy in patients with diabetes mellitus. *Lasers Med Sci* 2013; 28: 19–24.
25. Calderin S, Garcia-Nunez JA, Gomez C. Short-term clinical and osteoimmunological effects of scaling and root planing complemented by simple or repeated laser phototherapy in chronic periodontitis. *Lasers Med Sci* 2013; 28:157–166.
26. Ozawa Y, Shimizu N, Abiko Y. Low energy diode laser irradiation reduced plasminogen activator activity in human periodontal ligament cells. *Lasers Surg Med* 1997; 21: 456–463.
27. Boldrini C, de Almeida JM, Fernandes LA, Ribeiro FS, Garcia VG, Theodoro LH, Pontes AE. Bio-mechanical effect of one session of low-level laser on the bone-titanium implant interface. *Lasers Med Sci* 2013; 28: 349–352.
28. Omasa S, Motoyoshi M, Arai Y, Ejima K, Shimizu N. Low-level laser therapy enhances the stability of orthodontic mini-implants via bone formation related to BMP-2 expression in a rat model. *Photomed Laser Surg* 2012; 30: 255–261.
29. Naka T, Yokose S. Application of laser induced bone therapy by carbon dioxide laser irradiation in implant therapy. *Int J Dent* 2012; 2012: 409–496.
30. Yang HW, Huang YF. Treatment of burning mouth syndrome with a low-level energy diode laser. *Photomed Laser Surg* 2011; 29:123–125.
31. Munoz Sanchez PJ, Capote Femenias JL, Diaz Tejeda A, Tuner J. The effect of 670-nm low laser therapy on herpes simplex type 1. *Photomed Laser Surg* 2012; 30: 37–40.
32. Schindl A, Neumann R. Low-intensity laser therapy is an effective treatment for recurrent herpes simplex infection. Results from a randomized double-blind placebo-controlled study. *J Invest Dermatol* 1999; 113: 221–223.
33. Jajarm HH, Falaki F, Mahdavi O. A comparative pilot study of low intensity laser versus topical corticosteroids in the treatment of erosive-atrophic oral lichen planus. *Photomed Laser Surg* 2011; 29: 421–425.

34. Bjordal JM, Bensadoun RJ, Tuner J, Frigo L, Gjerde K, Lopes-Martins RA. A systematic review with meta-analysis of the effect of low-level laser therapy (LLLT) in cancer therapy-induced oral mucositis. *Support Care Cancer* 2011; 19: 1069–1077.
35. Bensadoun RJ, Nair RG. Low-level laser therapy in the prevention and treatment of cancer therapy-induced mucositis: 2012 state of the art based on literature review and meta-analysis. *Curr Opin Oncol* 2012; 24: 363–370.
36. Lončar B, Stipetić MM, Baričević M, Risić D. The effect of low-level laser therapy on salivary glands in patients with xerostomia. *Photomed Laser Surg* 2011; 29: 171–175.
37. Vidović Juras D, Lukac J, Cekić-Arambasin A, Vidović A, Canjuga I, Sikora M et al. Effects of low-level laser treatment on mouth dryness. *Coll Antropol* 2010; 34: 1039–1043.
38. Simunović-Soskić M, Pezelj-Ribarić S, Brumini G, Glazar I, Grzić R, Miletić I. Salivary levels of TNF-alpha and IL-6 in patients with denture stomatitis before and after laser phototherapy. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 189–193.
39. Marini I, Gatto MR, Bonetti GA. Effects of superpulsed low-level laser therapy on temporomandibular joint pain. *Clin J Pain* 2010; 26: 611–616.
40. Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: a clinical investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 141: 289–297.
41. Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis MA, Palin WM. Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry. *Dent Materials* 2014; 30(5): 465–475.

STRESZCZENIE

Wprowadzenie laserów początkowo w medycynie pozwoliło na stopniowy rozwój ich aplikacji również w stomatologii. Oczekiwania pacjentów dotyczące ograniczenia bólu oraz skrócenia czasu gojenia zmian w jamie ustnej doprowadziły do nowych zastosowań fotobiomodulacji w poszczególnych dziedzinach stomatologii.

SŁOWA KLUCZOWE: laser, LLLT, fotobiomodulacja, stomatologia

ABSTRACT

The introduction of lasers in medicine has led to the development of their applications also in dentistry. Patients' expectations regarding pain reduction and shortening the healing time of lesions in the oral cavity have resulted in new applications of photobiomodulation in specific fields of dentistry.

KEYWORDS: laser, LLLT, photobiomodulation, dentistry