

Romualda Mucha ■ Monika Mucha-Janota ■ Aleksander Sieroń

Diody LED – ledoterapia

27.3

Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

MECHANIZMY DZIAŁANIA BIOSTYMULACJI

Fotony światła w żywym organizmie są absorbowane przez cytochromy w mitochondriach oraz przez enzymy. Istotnym mechanizmem działania biostymulacji jest uczynienie fotoakceptorów łańcucha oddechowego, takich jak: FAD, FMN, NADP i cytochromy, czego wynikiem jest obserwowany wzrost liczby cząsteczek ATP w komórce. Wykazano także zachodzącą pod wpływem absorbowanego monochromatycznego światła laserowego fotoaktywację takich enzymów, jak: syntetaza ATP, dehydrogenaza NADPH, reduktaza flawinowa, fosfataza zasadowa, aminotransferaza, dysmutaza nadtlenkowa i dehydrogenaza glutaminowa. Zaobserwowano wzrost syntezy RNA, DNA oraz zwiększenie liczby mitochondriów, co warunkuje wiele dalszych zmian metabolicznych w komórce.

Niezwykle istotnym efektem w procesie biostymulacji światłem niskoenergetycznym diod LED jest wzrost aktywności i liczebności populacji limfocytów T, zachodzący pod wpływem światła małej mocy. Limfocyty T organizują reakcję układu immunologicznego i mają znaczący udział w procesach regeneracji przez miejscowe uwalnianie czynników: wzrostu śródbłonek, nabłonek, komórek nerwowych, komórek krwiotwórczych oraz angiokin, limfokin i interleukin. Wzrost aktywności limfocytów T stymuluje także aktywność fagocytarną i ruchliwość makrofagów oraz monocytów, co objawia się miejscowym podniesieniem bariery immunologicznej.

Równie ważnym efektem biostymulacji światła niskoenergetycznego jest wzrost aktywności i zwiększenie liczby fibroblastów oraz

przyspieszenie syntezy kolagenu. Wynikiem tego jest szybsze gojenie tkanki łącznej, a także lepsze właściwości mechaniczne nowo powstałego kolagenu: poprzez bardziej równoległe ułożenie cząsteczek tropokolagenu. Tkanka powstała pod wpływem niskoenergetycznej terapii diod LED jest bardziej odporna mechanicznie na ściskanie i zerwanie.

Zaobserwowano także stymulujący wpływ światła diod LED na osteoblasty, których aktywność warunkuje regenerację tkanki kostnej niezależnie od etiologii uszkodzenia. Istotne wydaje się też zwiększenie zawartości wapnia w naświetlanej tkance i gęstości beleczek kostnych.

Ważną cechą niskoenergetycznej terapii jest jej wpływ na komórki nerwowe. Poza hiperpolaryzacją błon i zwiększeniem amplitudy potencjałów czynnościowych wspomaga ona regenerację komórek nerwowych i komórek osłonki Schwanna.

Niskoenergetyczne promieniowanie ma również działanie antymutagenne. Komórki naświetlane uprzednio światłem podczerwonym, po zadziałaniu czynnika mutagennego (promieniowania gamma) wykazały częstość mutacji zbliżoną do grupy kontrolnej, tj. niepoddanej żadnemu rodzajowi promieniowania.

Wpływ biostymulacji niskoenergetycznej diod LED z zakresu R (czerwieni) i IR (podczerwieni) na tkanki wiąże się ze wzrostem poziomu endorfin. Te pochodne proopiomelanokortyny mają działanie przeciwbólowe 18–30 razy silniejsze od morfiny (w stosunku molowym) i jako substancje endogenne są mniej toksyczne niż leki przeciwbólowe. Miejscowy wzrost poziomu serotoniny uwalnianej z płytek krwi powoduje obkurczenie naczyń krwionośnych, a zmiana stężenia histaminy i heparyny umożliwia poprawę mikrokrążenia, co zmniejsza obrzęki pourazowe. Wspólnie ze zwiększonym po-

ziomem prostagladyn i kinin tkankowych czynniki te wywołują wyraźny efekt przeciwzapalny, obserwowany często już po pierwszym naświetleniu.

Bardzo istotną reakcją tkanek na niskoenergetyczną terapię światłem jest miejscowe podniesienie bariery immunologicznej, objawiające się wzrostem zawartości limfokin, lizozymu, interferonu i interleukiny, które powodują m.in. większą aktywność fagocytarną makrofagów i neutrofilów. Przyspieszenie regeneracji tkanek jest związane z aktywacją neoangiogenezy warunkującej prawidłowe gojenie oraz wzrostem ciśnienia parcjalnego tlenu w tkankach.

ŚWIATŁO NISKOENERGETYCZNE I LEDOTERAPIA

Światło widzialne zajmuje niewielki zakres widma w przedziale promieniowania elektromagnetycznego spotykanego w przyrodzie lub generowanego w sposób sztuczny.

Światło o niskiej energii widma światła widzialnego rozciąga się od światła fioletowego o długości fali 380 nm do światła czerwonego o długości 780 nm, a powyżej tej granicy do ok. długości fali 0,5 m jest to światło z zakresu podczerwieni, niewidzialne dla oka ludzkiego.

Ponieważ nasze ciało ma okno optyczne, w którym penetracja światła w głąb tkanki rozpoczyna się od 600 nm, medycyna fizykalna wykorzystuje tę drogę do terapeutycznego i diagnostycznego oddziaływania na tkankę żywą.

Wynalezienie lasera, urządzenia, w którym w wyniku emisji wymuszonej uzyskuje się wzmocnienie lub generację promieniowania elektromagnetycznego, stworzyło możliwość wykorzystania światła w medycynie. Oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego z materią żywą zachodzi poprzez absorpcję i emisję spontaniczną lub emisję wymuszoną wymagającą ingerencji zewnętrznej.

Początek terapii niskoenergetycznej to lasery niewielkiej mocy, których aplikatory emitują światło czerwone i podczerwone podobnie jak diody LED (ryc. 27.3.2).



Ryc. 27.3.1. Aparat Viofor JPS Standard z funkcją magnetostymulacji i Viofor Light z funkcją światła diod LED R i IR. Funkcję światła można stosować samodzielnie lub w synergii z polem magnetycznym z zakresu magnetostymulacji. Panele mają 260 diod świetlnych, razem 580 diod z możliwością naświetlania do 2 m² skóry

Diody LED stosowane w medycynie emitują impulsowe promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu światła czerwonego (R) i podczerwieni (IR), o długości fali czerwieni 630 nm i podczerwieni 855 nm z częstotliwością 181,8 Hz. W ledoterapii – tak nazywa się wykorzystanie diod LED do celów terapeutycznych – stosuje się promieniowanie „pseudolaserowe” w zakresie czerwieni i podczerwieni lub mieszane, RIR, różniące się od promieniowania laserowego zawartością składowych linii widmowych znajdujących się obok linii bazowej.

W przypadku laseroterapii rozkład długości fal składowych linii widmowych w stosunku do długości fali bazowej jest niewielki (ryc. 27.3.3).

W ledoterapii przedział długości fal linii składowych może być kilkanaście razy większy w stosunku do przedziału długości fal linii widmowych laseroterapii (ryc. 27.3.4).

Efekty leżące u podstaw zastosowania światła niskoenergetycznego, w tym diod LED, przypisywane są rezonansowej absorpcji energii promienistej na poziomie łańcucha oddechowego, którego elementy składowe działają jak barwniki u roślin. Charakter oddziaływania światła na tkankę zależy od właściwości tkanki: pigmentacji skóry, grubości jej poszczególnych warstw, ukrwienia okolicy naświetlanej, wielkości przepływu krwi, a także cech promieniowania.

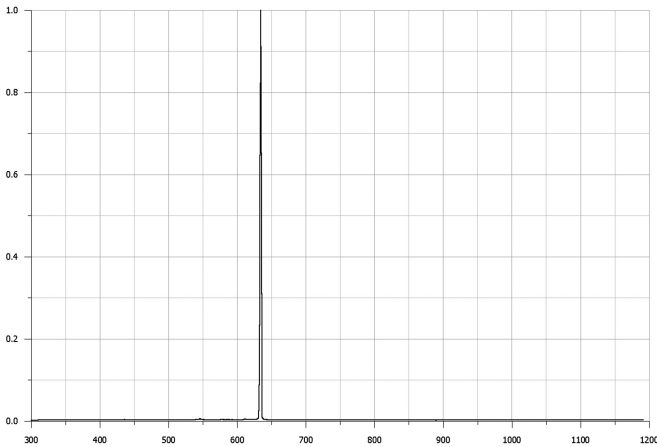
Głównymi absorbentami promieniowania są: melatonina, aminokwasy aromatyczne, jak tyrozyna i tryptofan, oraz małe cząsteczki aromatyczne, jak kwas urokanowy.

Efektem działania jest pochodna zaabsorbowanej energii, która zależy od natężenia padającego promieniowania oraz pochłaniania, rozpraszania i odbijania światła przez tkankę.

W badaniach klinicznych zaobserwowano efekt przeciwzapalny, przeciwbakteryjny i analgetyczny działania światła niskoenergetycznego, ponadto stwierdzono jego wpływ na właściwości piezoelektryczne elementów strukturalnych narządu ruchu oraz stymulację aktywności oddechowej komórek poprzez pobudzenie (w wyniku działania światła) procesów syntezy ATP w układach oksydo-redukcyjnych komórek o tlenowym i beztlenowym torze oddychania. Procesy te prowadzą do odtworzenia utraconych w wyniku zmian chorobowych zapasów ATP, co przynosi w efekcie wzbogacenie energetyczne komórek. Zwiększenie stężenia ATP wiąże się z nasileniem aktywności ATP-azo zależnych enzymów, odpowiedzialnych

LASER	DIODY LED
KOHERENTNOŚĆ	NIKOHERENTNOŚĆ
MONOCHROMATYCZNOŚĆ	MONOCHROMATYCZNOŚĆ
RÓWNOLEGŁOŚĆ	RÓWNOLEGŁOŚĆ
MOC I GĘSTOŚĆ	MOC I GĘSTOŚĆ

Ryc. 27.3.2. Podobieństwa i różnice niskoenergetycznego światła laserowego i diod LED



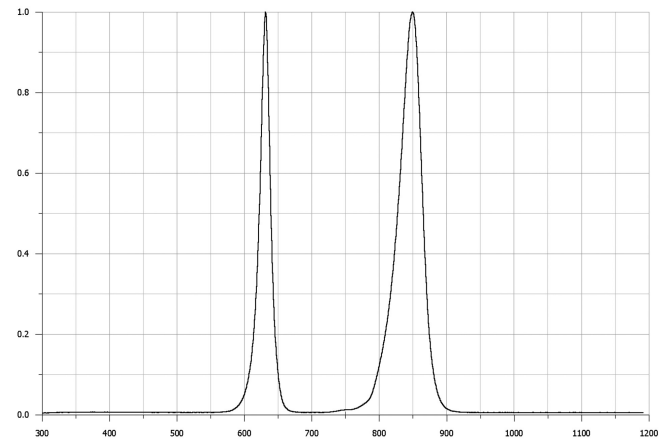
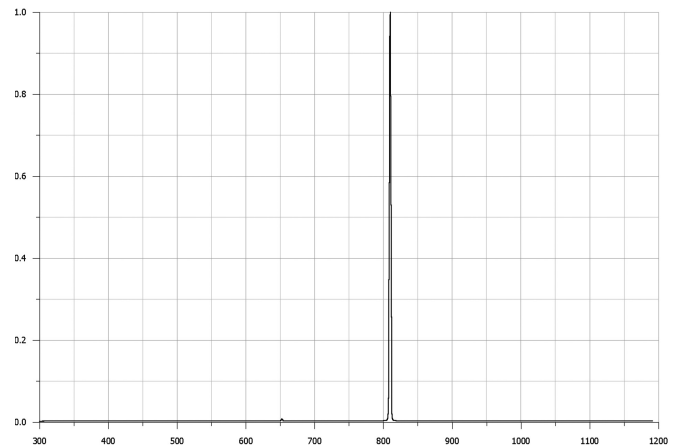
Ryc. 27.3.3. Widmo światła laserowego czerwonego R i podczerwonego IR

za syntezę enzymów pobudzających syntezę białek i kolagenu, co przyczynia się do lepszej stymulacji procesów regeneracyjnych w tkankach poddanym światłu niskoenergetycznemu.

Biologiczny efekt zachodzący w tkankach pod wpływem światła niskoenergetycznego zależy od użytej mocy, a efekty są wynikiem oddziaływania niecieplnego. Pod wpływem promieniowania światła małej i średniej mocy dochodzi do wielu zmian na poziomie komórki. Wielu badaczy pisze o działaniu: przeciwbólowym, poprawiającym mikrokrążenie, immunomodulacyjnym, hipokoagulacyjnym, angiogenetycznym i działaniu reparacyjno-regeneracyjnym. Poglądy te są wynikiem dwudziestu lat badań i obserwacji wpływu niskoenergetycznego promieniowania światła i jego oddziaływania na organizmy żywe. Rezultatem tych badań jest stosowanie niskoenergetycznego światła w medycynie sportowej, reumatologii, ortopedii, stomatologii oraz fizjoterapii.

Opierając się na podstawach i charakterystyce cech fizycznych światła niskoenergetycznego z zakresu światła R i IR laserowego i emitowanego przez diody LED oraz obserwując ich oddziaływanie na żywy organizm, dopatrzono się wspólnych cech i efektów działania tych czynników fizycznych. Wykorzystując to prawie identyczne działanie na poziomie komórkowym metod naświetlań światłem niskoenergetycznym laserowym i emitowanym z diod LED, mając jednak na uwadze możliwość zastosowania światła LED na znacznie większą powierzchnię zabiegową niż skupione światło laserowe, medycyna fizykalna wdrożyła do leczenia fizykalnego poszerzone widmo światła niskoenergetycznego. Zaowocowało to nową metodą fizjoterapeutyczną – ledoterapią – gwarantującą dobry efekt terapeutyczny.

Podjęto badania weryfikacji kilku metod fizjoterapeutycznych z zakresu pola magnetycznego i światła niskoenergetycznego, w tym diod LED, u pacjentów z rozpoznaną gonartrozą (ryc. 27.3.5). W grupie ledoterapii pacjenci poddani byli działaniu światła wysokoenergetycznych diod LED o długości fali promieniowania czerwonego R 630 nm, maksymalnej mocy w impulsie 500 mW, średniej mocy w czasie zabiegu 47 mW i powierzchniowej gęstości energii 0,1 J/cm². Dla fali promieniowania podczerwonego IR o długości 855 nm zastosowano maksymalną moc w impulsie o wartości 3400 mW, a średnią w czasie zabiegu 314 mW. Powierzchniowa gęstość energii wynosiła 0,67 J/cm², a czas zabiegu 10 min. Wykorzystano aplikator dwupanelowy, dwusekcyjny RIR. Zabiegi stosowano na okolice kolan dwa razy w ciągu dnia – rano i po południu.



Ryc. 27.3.4. Widmo światła z diod LED czerwonego R i podczerwonego IR

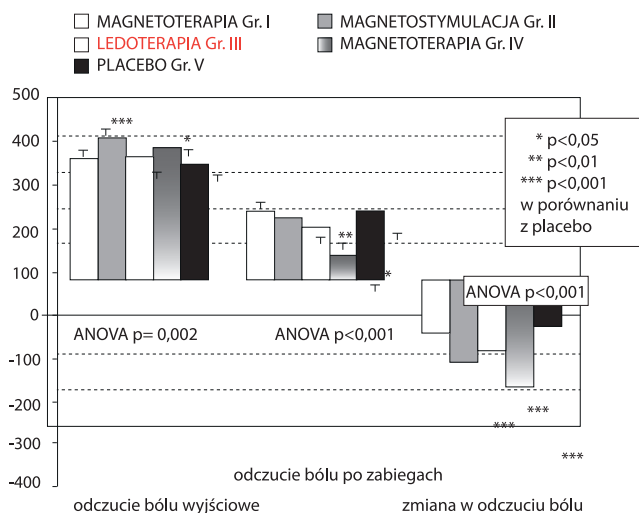
Badania Nauyena i Marksa poparte badaniami Cieślara przeprowadzone w warunkach doświadczalnych na zwierzętach laboratoryjnych pokazały, że za działanie przeciwbólowe pola magnetycznego i światła niskoenergetycznego odpowiedzialne jest wydzielanie b-endorfin, które nie tylko wykazują silne działanie przeciwbólowe, ale także pełnią funkcję neuroprzekaźnika w przekazywaniu bodźców w synapsach układu nerwowego, wpływając na samopoczucie pacjenta. Ma to bezpośredni związek z uczuciem zadowolenia, czyli jakością życia.

Światło diod LED wykorzystano także w leczeniu zmian zapalnych skóry.

Celem badania była ocena leczenia zmian zapalnych i nadżerkowych skóry prącia i żołądki za pomocą pola magnetycznego o niskich wartościach indukcji i światła R czerwonego i IR podczerwonego diod LED. Obserwację przeprowadzono u 50-letniego pacjenta z pięcioletnim wywiadem *balanoposthitis*.

Skóra prącia i żołądki składa się z naskórka, skóry właściwej i tkanki podskórnej. Zawiera naczynia krwionośne i chłonne oraz zakończenia nerwowe. Można więc oczekiwać podobnej reakcji tkankowej na światło R czerwone, IR podczerwone o niskich wartościach energetycznych jak w wypadku ubytków skórnych w innych okolicach ciała.

Opierając się na wcześniejszych doświadczeniach i przeprowadzonych badaniach leczenia zmian i ubytków skórnych, pacjenta podda-



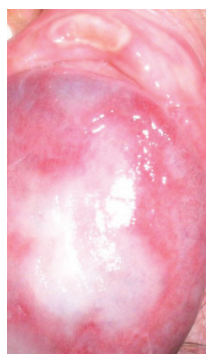
Ryc. 27.3.5. Porównanie zmian nasilenia bólu w skali VAS (mm) przed trzytygodniową terapią i po niej w grupach terapeutycznych pacjentów z gonartrozą z oceną statystyczną w porównaniu z grupą placebo

no monoterapii, którą była trzytygodniowa terapia z zakresu ledoterapii. W tym celu wykorzystano sterownik Viofor JPS Classic z zasilaczem aplikatora magnetyczno-świetlnego ZAMS 01/02, przeznaczony do wykonywania zabiegów magnetostymulacji z równoczesnym zastosowaniem światła diod LED. Użyto programu M1P2 z intensywnością 6. – dającą najwyższą energię promieniowania świetlnego. Czas zabiegu wynosił 10 min. Ze sterownika Viofor JPS uzyskano impuls o częstotliwości 160–195 Hz, indukcji pola magnetycznego o wartości szczytowej 600 μ T i wartości średniej 53,4 μ T. Z impulsami niejednorodnego pola magnetycznego zostało zsynchronizowane światło aplikatora magnetyczno-świetlnego. Powierzchnia oddziaływania pola magnetycznego odpowiadała okręgowi o średnicy 6 cm, światła – okręgowi o średnicy 5 cm. Aplikator zawierał cewki wytwarzające pole magnetyczne i dwadzieścia cztery diody z zakresu światła czerwonego o długości fali 630 nm, o powierzchniowej penetracji tkanki, i dwadzieścia cztery diody z zakresu światła IR podczerwonego o długości fali 860 nm, o właściwościach głębszej penetracji tkanki. Moc w impulsie światła R czerwonego wynosiła 105 mW, o średniej mocy 19,5 mW. Moc w impulsie światła IR podczerwonego – 720 mW, o średniej mocy 133,63 mW. Całkowita energia dostarczona w czasie jednego zabiegu wynosiła 92 J.

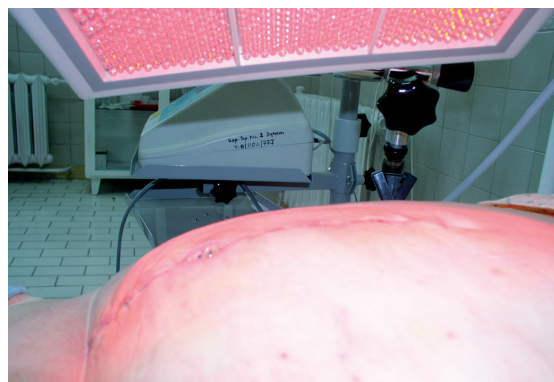
Po trzytygodniowej terapii uzyskano zmniejszenie bolesności i pieczenia przy oddawaniu moczu. Zmniejszenie obrzęku, zaczerwienienia i miejscowej temperatury. Spłycenie nadżerek, zanik białego nalotu i zapachu.

Zastosowano tygodniową przerwę w zabiegach i następnie podjęto kolejny trzytygodniowy cykl terapeutyczny. Parametry zabiegu pozostawiono na tym samym poziomie. W wyniku działania światła R czerwonego o długości 630 nm i IR podczerwonego o długości 860 nm oraz magnetostymulacji uzyskano całkowite wygojenie nadżerek na powierzchni prącia i żołądździ, ustąpienie zmian zapalnych skóry prącia, wyeliminowanie przykrego zapachu oraz ustąpienie dolegliwości pod postacią bólu i pieczenia przy oddawaniu moczu (ryc. 27.3.6).

Ledoterapię wykorzystano w dermatologii, w terapii opornej na typowe leczenie pokrzywki skórnej. Zmiany skórne wystąpiły



Ryc. 27.3.6. Porównanie obrazu skóry przed terapią (po lewej) i po dwóch trzytygodniowych sesjach ledoterapii (po prawej)



Ryc. 27.3.7. Naświetlanie światłem diod LED rany pooperacyjnej w otyłości brzusznej w oddziale ginekologii



Ryc. 27.3.8. Bliznowiec pooparzeniowy uda prawego przed terapią



Ryc. 27.3.9. Stan po kilkumiesięcznej terapii światłem diod LED R i IR bliznowca poparzeniowego uda prawego