

Laser — termin ten oznacza światło zwielowokrotnione przez wymuszenie emisji promieniowania. Jest to urządzenie wytwarzające promieniowanie laserowe. Do biostymulacji medycznej używa się promieniowania z zakresu światła widzialnego i podczerwieni.

Cechy promieniowania laserowego

1. Monochromatyczność

Jednobarwność — jednakowa częstotliwość oraz jednakowa długość fali całej wiązki promieniowania. Promieniowanie laserowe z danego aparatu ma tylko jedną barwę, nie rozszczepia się w pryzmacie i wykazuje widmo liniowe.

2. Koherencja

Spójność — kwanty (fotony) w wiązce są wzajemnie skorelowane, fale drgają jednocześnie i zgodnie w tej samej fazie i płaszczyźnie. W wyniku tego absorpcja, przenikanie i odbicie są takie same dla każdego równoległych składowych wiązki w jednakowych warunkach. Znaczenie koherencji dla działania biologicznego nie jest do końca poznane.

3. Kolimacja

Równoległość wiązki — wszystkie fotony poruszają się w jednym kierunku. Dzięki specjalnym soczewkom wiązkę można skupiać i rozszerzać; podobną równoległość wykazuje światło słoneczne.

4. Moc i gęstość

Tylko lasery pozwalają uzyskać szeroki zakres mocy i gęstości mocy, które można dokładnie dozować i ukierunkować. Dawkę promieniowania można precyzyjnie określić dla wiązki padającej na tkanki.

Lasery medyczne można podzielić według

- substancji aktywnej (gaz, ciecz, ciało stałe)
- długości fali
- rodzaju emisji promieniowania
- mocy
- konstrukcji

1) Ze względu na rodzaj substancji

Substancja laserująca decyduje o długości fali i mocy emitowanego promieniowania.

- gazowe (CO₂, ekscymerowe, helowo-neonowe)
- cieczowe (barwnikowe)
- ciała stałe (krystaliczne, rubinowe)
- półprzewodnikowe (diody, np. GaAs) — najczęściej stosowane do biostymulacji

2) Ze względu na długość fali

Długość fali i związana z nią energia kwantów emitowanego promieniowania są stałe dla danego lasera. Od długości fali zależy zdolność przenikania i absorpcji w różnych tkankach. Do biostymulacji używa się laserów emitujących promieniowanie z zakresu czerwieni i podczerwieni.

3) Ze względu na rodzaj emisji

- ciągłe
- impulsowe

Emisja ciągła występuje z jednakową mocą od włączenia do wyłączenia lasera. Emisja impulsowa polega na wyzwalaniu pojedynczych impulsów lub serii impulsów; ich częstotliwość może być stała lub regulowana.

4) Ze względu na moc

Moc jest cechą emisji każdego lasera. W laserach impulsowych dawka obliczana jest ze średniej mocy emisji impulsowej — takiej, która występowałaby, gdyby rozłożyć energię

impulsu równomiernie na cały czas emisji (wraz z przerwami między impulsami). Średnia moc emisji impulsowej jest zwykle znacznie mniejsza od mocy chwilowej (szczytowej) w impulsie.

Przy impulsach o kształcie prostokątnym moc średnia i moc szczytowa mogą być równe; przy impulsach trójkątnych moc średnia jest około dwa razy mniejsza niż szczytowa. To rozróżnienie jest istotne, ponieważ od mocy szczytowej może zależeć głębokość penetracji promieniowania. Dawkę wylicza się ze średniej mocy impulsów.

5) Ze względu na konstrukcję

- chirurgiczne
- biostymulacyjne

Inne aparaty służą do niszczenia termicznego (koagulacja) lub fotoablasji (przy krótkich impulsach o bardzo dużej mocy).

Fotoablacja

Przy fotoablasji następuje rozbitcie związków chemicznych oraz uwolnienie elektronów i jąder atomowych, co daje efekt mikrowybuchu z wyparowaniem materii i z pominięciem procesów termicznych.

Fotodynamiczna terapia

Technika wykorzystuje fotosensybilizatory, lasery o średniej mocy i ekspozycję trwającą od kilku do kilkunastu godzin. Promieniowanie powoduje niszczenie tylko tej tkanki, w której został zaabsorbowany fotosensybilizator (np. tkanka nowotworowa).

Lasery biostymulacyjne

Lasery niskooenergetyczne używane w fizykoterapii. Laseroterapię zachowawczą nazywa się biostymulacją — ma ona wykorzystywać bezpośrednie działanie promieniowania na procesy tkankowe bez ich uszkodzenia (działanie nietermiczne). Stosuje się promieniowanie czerwone i podczerwone o mocach od około 1 do 500 mW; przy takich mocach nie powinien występować efekt termiczny.

Czas trwania impulsów w wielu urządzeniach wynosi np. 200 ns (1 ns = jedna miliardowa część sekundy). Obecnie częściej stosuje się emisję impulsową niż ciągłą.

Zalety emisji impulsowej

- pozwala użyć znacznie większej mocy szczytowej niż emisja ciągła
- regulacja częstotliwości (repetycji) impulsów pozwala uzyskać różne średnie moce z tego samego urządzenia

Częstość impulsów jest regulowana zwykle w zakresie od 1 do 6 400 Hz, w niektórych aparatach do 10 000 Hz (10 kHz). Przerwy między impulsami są wielokrotnie dłuższe niż sam impuls, co zapobiega kumulacji ciepła i pozwala mówić o „zimnej laseroterapii”. Przy emisji impulsowej stosuje się impulsy o dużej mocy szczytowej (np. 50 W), podczas gdy emisja ciągła o mocy już 0,1 W/cm² może podnosić temperaturę tkanek — stąd znaczenie gęstości mocy i czasu ekspozycji.

Podział ze względu na średnią moc emisji

- słabe — do 5 mW
- średnie — 6-100 mW
- silne — powyżej 100 mW

Podział ten ma charakter historyczno-medyczny; współczesne urządzenia i protokoły opierają się raczej na konkretnych parametrach (długość fali, gęstość energii, czas, częstotliwość impulsów) niż samej kategorii mocy.

Aby scharakteryzować laser dla celów biostymulacji, należy uwzględnić:

- długość fali
- moc
- rodzaj emisji
- częstotliwość impulsów oraz zakres regulacji
- czas trwania impulsów (szerokość impulsu)
- geometrię emitowanej wiązki
- powierzchnię emitującą
- kąt rozbieżności i wielkość „plamki” padającej na pole zabiegowe

Te cechy pozwalają dokładnie obliczyć dawkę energii padającej na skórę. Określenie dawki pochłoniętej w głębszych warstwach tkanek jest trudniejsze i zależy od właściwości optycznych tkanek.

Biostymulacja laserowa — przebieg procesów

1) Odbicie i rozproszenie

Promieniowanie napotykając skórę ulega odbiciu od 20% do 80% — zależy to od barwy skóry, struktury powierzchni, odległości głowicy od skóry, kąta padania i geometrii wiązki. Ręka operatora wpływa na stopień odbicia. Część promieniowania może zostać po odbiciu ponownie wydalona na zewnątrz.

2) Absorpcja i przenikanie

Przenikanie zależy od długości fali oraz składu chemicznego i budowy tkanek. Woda silnie absorbuje promieniowanie krótsze od ~400 nm i dłuższe od ~1100 nm. Między tymi wartościami znajduje się okno optyczne, przez które promieniowanie penetruje głębiej. Hemoglobina i melanina selektywnie absorbują określone zakresy widma; najgłębszą penetrację dają fale w przybliżeniu 700–1100 nm. Głębokość penetracji zależy jednak od lokalnych właściwości tkanek i jest zazwyczaj mniejsza niż kilka centymetrów w większości zastosowań medycznych.

3) Udział w procesach fizjologicznych

Absorpcja fotonów może wpływać na cząsteczki w komórkach, zmieniając ich energię i aktywność, co z kolei może modulować procesy metaboliczne. Opisuje się mechanizmy przenoszenia energii w tkankach, w tym:

1. dalekozasięgowy, rezonansowy mechanizm Förstera — przekazanie energii wynikające z pokrywania się widm emisji i absorpcji;
2. krótkozasięgowy mechanizm Dexter — przekazanie energii na drodze kontaktowej między donorami i akceptorami;
3. hipotetyczne mechanizmy bezpośredniego przenoszenia energii w reakcjach redoks (koncepty fotobiochemiczne).

4) Skutki kliniczne

- efekt przeciwbólowy
- wydzielanie endorfin
- przyspieszenie regeneracji tkanek

Technika zabiegu

1. Zabiegi kontaktowe i bezkontaktowe

Metodę kontaktową stosuje się tylko na skórze nieuszkodzonej. Głowica dotyka skóry lekko lub z łagodnym uciskiem; można stosować ucisk przerywany („dziobanie”). Przed zabiegiem skórę można przetrzeć alkoholem 70%, a głowicę zdezynfekować po zabiegu.

Metodę bezkontaktową stosuje się przy skórze zmienionej chorobowo. Głowicę przesuwają się tuż nad polem zabiegowym — warstwa powietrza nie powinna być większa niż ok. 5 mm, gdyż większa odległość zwiększa straty energii.

2. Zabiegi labilne i stabilne

Zabiegi labilne (głowica ruchoma) — skanowanie: płynne ruchy okrężne lub faliste z prędkością około 1 cm/s, promieniowanie rozkłada się równomiernie nad obszarem.

Zabiegi stabilne (technika punktowa) — głowica utrzymywana w jednym punkcie (np. punkt spustowy lub akupunktury). Dawka podawana jest w J na punkt. Technika punktowa bywa wygodna, ale skuteczność w porównaniu z dokładnym skanowaniem może być mniejsza w zależności od wskazań.

3. Wiązka skupiona i rozproszona

Wiązka skupiona ma średnicę kilku milimetrów i dużą gęstość mocy (do $\sim 500 \text{ mW/cm}^2$) — stosowana do zabiegów punktowych i ruchomych. Wiązka rozogniskowana lub wielopunktowa o niskiej gęstości ($0,01\text{--}1 \text{ mW/cm}^2$) służy do napromieniania większych powierzchni. Promienie powinny padać prostopadle do powierzchni pola zabiegowego — ukośne padanie daje nierównomierne naświetlenie.

Promieniowanie laserowe może być szkodliwe dla oczu — terapeuta i pacjent powinni nosić okulary ochronne odpowiednie do typu lasera.

Wskazania

- Działanie przeciwbólowe
- ostre procesy chorobowe
- zespół bólowy kręgosłupa
- zastosowania w neurologii
- po urazach narządu ruchu

- po operacjach
- w stanach wymagających pobudzenia gojenia ubytków tkankowych
- w procesie regeneracyjnym
- w leczeniu zespołu Sudecka i innych stanów pourazowych
- w chorobie zwyrodnieniowej stawów
- w goście tkanek miękkich
- w chorobach dermatologicznych (blizny, wykwity, żylakowate owrzodzenia podudzi)
- w chorobach laryngologicznych
- w chorobach oczu (według określonych protokołów i zabezpieczeń)
- w stomatologii

Przeciwwskazania

- skłonności do krwawień
- tkanki nowotworowe (w miejscu aktywnego nowotworu)
- lokalne infekcje nieswoiste
- wysoka gorączka
- niemowlęta (ze względów ostrożności)
- ciąża (unikać napromieniania w okolicy brzucha i miednicy)

Uwagi i pojęcia

Termin biostymulacja wprowadził Endre Mester i dotyczy terapii laserowej małej mocy. Stwierdzono, że promieniowanie takie nie wywołuje podwyższenia temperatury tkanek większego niż 0,1-0,5 °C. Angielski skrót LLLT (low level laser therapy) oznacza terapię laserem małej mocy.

W biostymulacji stosowane są głównie lasery półprzewodnikowe (diodowe, np. GaAs) oraz helowo-neonowe (He-Ne). Lasery He-Ne emitują widzialne czerwone promieniowanie ~632 nm; lasery diodowe pracują zwykle w zakresie 635-980 nm.

Soft i hard laser

"Soft laser" (laser miękki) odnosi się do urządzeń o mocy poniżej 500 mW, natomiast "hard laser" (laser twardy) do urządzeń o mocy powyżej 0,5 W. Działanie biologiczne promieniowania obejmuje m.in.:

- zwiększenie syntezy kolagenu, białek i RNA
- zmiany w potencjale błony komórkowej

- zmiany w wydzielaniu neuroprzekazników
- usprawnienie dyspersji hemoglobiny (wpływ na zaopatrzenie tkanek w tlen)
- zwiększenie fagocytozy, syntezy ATP oraz prostaglandyn

Dalsze wskazania

- trudno gojące się rany i owrzodzenia (w tym odleżyny)
- przewlekłe stany zapalne
- utrudnione zrastanie się kości
- choroba zwyrodnieniowa stawów
- zespoły bólowe
- zapalenia okołostawowe
- zapalenie ścięgien, powięzi, pochewek ścięgnistych i kaletek
- nerwobóle
- neuropatia cukrzycowa
- trądzik pospolity

Bezpieczeństwo pracy z laserem

1. Pacjent i terapeuta powinni nosić okulary ochronne odpowiednie dla stosowanego typu lasera.
2. Pomieszczenie zabiegowe powinno być odpowiednio oznakowane.
3. Należy unikać odbić zwierciadlanych (przeszkłone drzwi, lustra) w polu pracy.
4. Aparat powinien być używany przez osoby przeszkolone i zabezpieczony zgodnie z instrukcją.
5. Niedopuszczalne jest kierowanie wiązki laserowej w stronę twarzy osoby niechronionej.

Inne

Laseroterapia jest metodą stosowaną w medycynie od kilkudziesięciu lat. Pierwsze urządzenie laserowe skonstruował Theodore Maiman w 1960 roku. Od tego czasu opracowano wiele rodzajów urządzeń, które znalazły zastosowanie zarówno w diagnostyce, jak i w terapii. Urządzenia medyczne dzielą się zasadniczo na dwie grupy: lasery wysokoenergetyczne (chirurgiczne) oraz lasery niskoenergetyczne (biostymulacyjne).

Lasery chirurgiczne służą do cięcia i koagulacji (najczęściej lasery średniej i dużej mocy).

Lasery biostymulacyjne to urządzenia małej mocy wykorzystywane do modulacji procesów zapalnych, łagodzenia bólu oraz pobudzania regeneracji tkanek. Ze względu na efektywność i bezpieczeństwo są coraz powszechniej stosowane w klinikach, przychodniach i gabinetach prywatnych.

Właściwości światła laserowego

- monochromatyczność
- spójność
- równoległość wiązki
- duża intensywność

Działanie lecznicze i przeciwbólowe lasera biostymulacyjnego polega na oddziaływaniu na komórki i tkanki poprzez absorpcję fotonów, co może inicjować kaskady biochemiczne i biofizyczne. Przechodząc przez warstwy skóry, światło ulega odbiciu, rozproszeniu, transmisji i absorpcji — zależnie od rodzaju tkanek, długości fali, energii i czasu ekspozycji.

Efekty pierwotne i wtórne

1. Efekty pierwotne — zachodzą w tkankach bezpośrednio naświetlanych: efekty biochemiczne, bioelektryczne i bioenergetyczne.
2. Efekty wtórne — wynikają z efektów pierwotnych i obejmują działanie przeciwbólowe, przeciwzapalne i biostymulujące.

Effekt biochemiczny może stymulować wydzielanie histaminy i serotoniny oraz wpływać na reakcje enzymatyczne związane z ATP, co przyczynia się do przyspieszenia procesów naprawczych. Effekt bioelektryczny może normalizować potencjał błonowy komórek, a efekt bioenergetyczny wspiera odżywianie i wzrost komórek.

Effekt przeciwbólowy obejmuje m.in. zwiększoną sekrecję endorfin, hyperpolaryzację błon komórek nerwowych oraz stymulację regeneracji obwodowych włókien nerwowych. Effekt przeciwzapalny przyspiesza resorpcję obrzęków i wysięków oraz poprawia mikrokrążenie. Effekt biostymulujący wspomaga syntezę białek, wzrost fibroblastów i tworzenie włókien kolagenowych.

Kiedy i jak stosować laser?

Podstawą jest ustalenie rozpoznania i zaplanowanie terapii: dobór długości fali, mocy, czasu zabiegu, liczby zabiegów i techniki naświetlania. Dawka energii zależy od rodzaju i stadium schorzenia oraz głębokości tkanek docelowych. Niższe częstotliwości impulsów często stosowane są w celu osiągnięcia efektu przeciwbólowego, wyższe częstotliwości

mogą sprzyjać efektom przeciwzapalnym — protokoły lecznicze powinny opierać się na dowodach i wytycznych klinicznych.

Techniki naświetlania obejmują techniki kontaktowe i bezkontaktowe oraz metody punktowe, powierzchniowe, inwazyjne i bezinwazyjne. Laseroterapia jest coraz szerzej stosowana ze względu na efektywność, bezbolesność, aseptyczność i stosunkowo niski profil działań niepożądanych, choć zawsze wymaga właściwego doboru parametrów i zachowania zasad bezpieczeństwa.

Bibliografia:

Łazowski - Podstawy fizykoterapii

Mika - Fizykoterapia