

Skalpel ze światła i jego ciemna strona

Dlaczego laser medyczny bez odsysania może stanowić zagrożenie

Od czasu wprowadzenia pierwszych systemów laserowych w latach 60. XX wieku technologia ta zrewolucjonizowała niemal każdą dziedzinę współczesnej medycyny. Możliwość skupienia energii świetlnej z niezwykłą precyzją na niewielkich obszarach tkanki pozwala na wykonywanie zabiegów, które byłyby niemożliwe przy użyciu skalpeli mechanicznych. Zasada selektywnej fototermolizy pozwala na oddziaływanie na konkretne struktury docelowe (chromofory, takie jak woda, hemoglobina czy melanina), chroniąc jednocześnie otaczającą je zdrową tkankę.



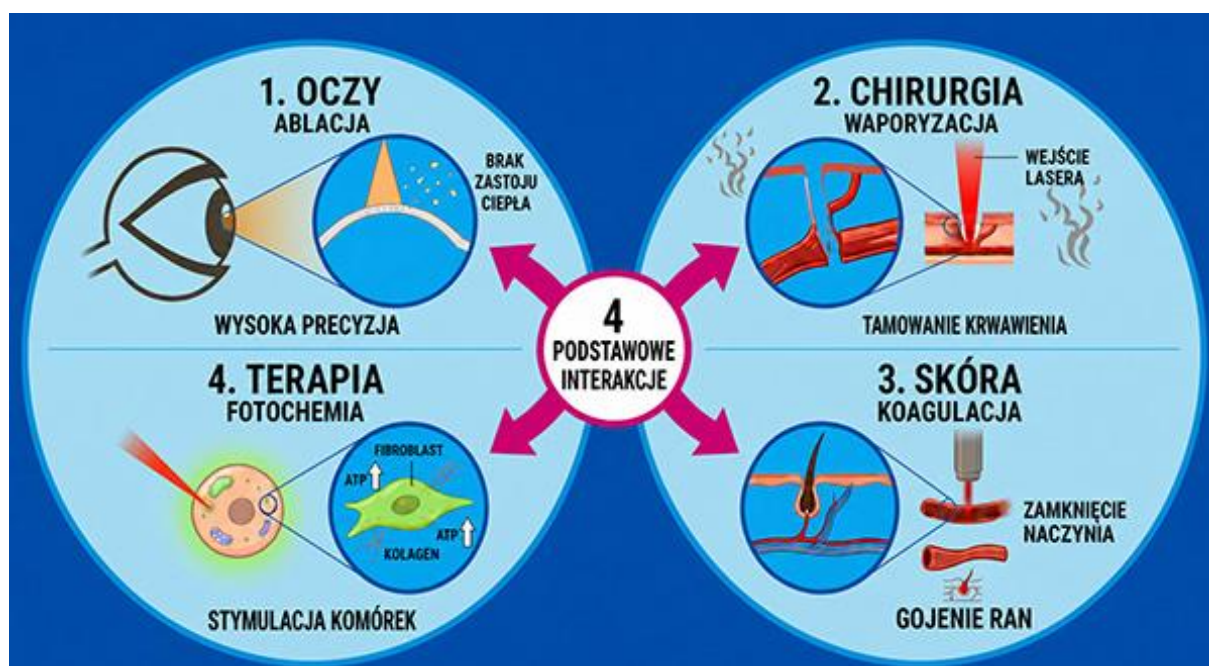
Ilustracja 1: Technologie laserowe znajdują coraz szersze zastosowanie w terapiach medycznych

Wszechstronne zastosowania

Przemiana lasera z narzędzia eksperymentalnego w standard kliniczny opiera się na możliwości technologicznej precyzyjnego dostosowania długości fali, czasu trwania impulsu i gęstości energii do specyficznych widm absorpcji różnych typów tkanek.

Ta zmienność umożliwia wysoce selektywne oddziaływanie na struktury biologiczne, co pozwala zminimalizować termiczne uszkodzenia uboczne i przyspieszyć procesy gojenia. W rezultacie wyspecjalizowane systemy laserowe stały się w wielu dyscyplinach medycznych nieodzownymi narzędziami do wykonywania złożonych zabiegów, m.in.:

- Okulistyka: korekcja wad wzroku za pomocą laserów ekscymerowych (LASIK), a także leczenie chorób siatkówki i zaćmy.
- Dermatologia: usuwanie zmian naczyniowych (znaków ognia), zaburzeń pigmentacji i tatuaży, a także ablacyjne „resurfacing” w leczeniu blizn i zmarszczek.
- Stomatologia: bezbolesne usuwanie próchnicy, redukcja bakterii w kanałach korzeniowych oraz minimalnie inwazyjna chirurgia dziąseł.
- Chirurgia HF (wysokiej częstotliwości) i chirurgia jamy brzusznej: Używana jako "lekki skalpel" do niskokrwawiającej resekcji guzów w silnie unaczynionych narządach poprzez jednoczesne uszczelnianie naczyń.



Ilustracja 2: Wielodyscyplinarne mechanizmy działania medycyny laserowej

Wada: Powstawanie i zagrożenia związane z „chmurą chirurgiczną”

Pomimo zalet klinicznych interakcja termiczna między wiązką lasera a tkanką biologiczną stanowi poważne, często niedoceniane zagrożenie dla zdrowia: powstawanie dymu laserowego (chmury chirurgicznej). Gdy tylko gęstość energii lasera przekroczy temperaturę wrzenia płynu wewnątrzkomórkowego, tkanka ulega gwałtownemu odparowaniu. Proces ten

powoduje uwolnienie nie tylko pary wodnej do otaczającego powietrza, ale także złożonej mieszaniny gazowych i cząsteczkowych produktów ubocznych.

Ten rozkład termiczny (piroliza) przekształca struktury organiczne w niebezpieczną mieszkankę aerozoli. Podczas gdy chirurg skupia się na mikroskopijnym polu operacyjnym, dym rozprzestrzenia się w sposób niekontrolowany po całym pomieszczeniu.

Ryzyko jest trojake:

1. Toksyczność chemiczna: Spalanie białek i lipidów powoduje powstanie ponad 150 lotnych związków organicznych (LZO). Analizy wykazują znaczne stężenia benzenu, toluenu i etylobenzenu, a także wysoce reaktywnej akroleiny i gazowego cyjanowodoru (cyjanku).
2. Ryzyko zakażenia biologicznego: Ciśnienie mechaniczne związane z odparowaniem może powodować aerosolizację nienaruszonych fragmentów komórek i mikroorganizmów. Udowodniono naukowo, że wirusowe DNA, takie jak DNA wirusów brodawczaka (HPV) lub wirusów zapalenia wątroby, może przetrwać w dymie laserowym i stać się zakaźne po wdychaniu.
3. Fizyczne narażenie na ultradrobne cząstki stałe: Około 80% emitowanych cząstek ma rozmiar mniejszy niż 0,5 μm . Cząstki te są wdychalne i wnikają głęboko do pęcherzyków płucnych, skąd mogą przekraczać barierę krew-powietrze.

Porównanie: Badania szacują, że wdychanie dymu powstałego w wyniku odparowania jednego grama tkanki odpowiada w przybliżeniu ilości zanieczyszczeń zawartych w 27–30 papierosach.

Ramy prawne i obowiązki operatorów

Stosowanie technologii odciągania dymu laserowego w medycynie laserowej nie jest działaniem dobrowolnym, lecz jest obowiązkowo wymagane przez krajowe i europejskie normy prawne. Przepisy te mają na celu ochronę personelu przed długotrwałymi szkodami zdrowotnymi i określają aktualny stan techniki medycznej.

- Kodeks pracy, dział X „Bezpieczeństwo i higiena pracy”: Zobowiązuje pracodawcę do identyfikowania i ograniczania zagrożeń u źródła oraz zapewnienia bezpiecznych warunków pracy. Jeżeli podczas procesu laserowego powstaje dym laserowy, odpowiedni odciąg miejscowy może być wymagany środkiem ochrony.
- Rozporządzenie z dnia 27 maja 2010 r. dotyczące narażenia na promieniowanie optyczne: Wymaga oceny narażenia pracowników na sztuczne promieniowanie optyczne, w tym promieniowanie laserowe, oraz zastosowania odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych.
- Przepisy BHP dotyczące czynników chemicznych: Dym laserowy może zawierać szkodliwe gazy, opary i cząstki. Należy ocenić ich wpływ oraz ograniczyć emisję u źródła, stosując odpowiednią wentylację lub odciąg punktowy

- Norma PN-EN 60825-1 oraz lasery klas 3B i 4: Norma określa klasyfikację i podstawowe wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń laserowych. Przy laserach klas 3B i 4 należy szczegółowo ocenić zagrożenia związane z promieniowaniem i produktami procesu. Niemieckie przepisy OStrV, TROS i DGUV nie obowiązują w Polsce bezpośrednio.

Techniczne środki ochronne: stosowanie systemów odciągania i filtracji

W świetle opisanych powyżej zagrożeń bierna ochrona zapewniana przez tradycyjne maski chirurgiczne jest całkowicie niewystarczająca. Maski te mają przede wszystkim chronić pacjenta przed wydychanym powietrzem personelu, nie zapewniają jednak znaczącej skuteczności filtracji w przypadku ultradrobnych, toksycznych aerozoli laserowych. Nowoczesna ochrona personelu i pacjentów opiera się natomiast na aktywnej, technicznej koncepcji odciągania i filtracji.



Ilustracja 3: JUMBO Filtertrolley MED – mobilna instalacja filtrująca do medycznego dymu laserowego z zamontowanym ramieniem odciągowym

Proces rozpoczyna się od wychwytywania zanieczyszczeń powietrza. Aby zapobiec rozprzestrzenianiu się cząstek w pomieszczeniu i zapewnić jak najskuteczniejszą filtrację, idealnym rozwiązaniem jest odciąg punktowy. Następnie cząstki są wychwytywane w systemie filtrującym. Ważne jest – również ze względów ekonomicznych – aby czynniki techniczne i ergonomiczne szły w parze:

- Skuteczność wychwytywania: Skuteczność odsysania maleje kwadratowo wraz z odległością od miejsca nacięcia. Wysoki współczynnik wychwytywania zapewnia odciąg punktowy, tj. wychwytywanie cząstek bezpośrednio u źródła zanieczyszczeń.
- System filtrujący: Aby skutecznie wychwytywać zarówno cząstki, jak i gazy, często stosuje się systemy wielostopniowe:
 - Filtr wstępny: Oddziela grube cząstki, zwiększając w ten sposób żywotność filtra głównego.
 - Filtry ULPA (Ultra Low Penetration Air): W przeciwieństwie do tradycyjnych filtrów HEPA, filtry ULPA (klasa U15 lub wyższa) zapewniają skuteczność wychwytywania na poziomie 99,999% dla cząstek o rozmiarach sięgających zakresu nanometrów. Pozwala to na bezpieczne zatrzymanie nawet najmniejszych fragmentów wirusów.
 - Adsorpcja na węglu aktywnym: Ponieważ gazy i lotne związki organiczne (VOC) bez przeszkód przechodziłyby przez filtr cząsteczkowy, sensowne jest stosowanie sorbentów/środków adsorpcyjnych, takich jak węgiel aktywny. Wiąże on toksyczne substancje chemiczne i neutralizuje nieprzyjemne zapachy typowe dla procesu laserowego.

Podsumowanie

Laser jest nieodzownym narzędziem współczesnej medycyny, które dzięki swojej precyzji wyznaczyło nowe standardy w opiece nad pacjentami. Jego bezpieczne stosowanie wymaga jednak wysokiej świadomości w zakresie bezpieczeństwa pracy oraz potencjalnych zagrożeń związanych z emisjami termicznymi. Tylko konsekwentne stosowanie odpowiednich systemów odciągu i filtracji może w dłuższej perspektywie zapewnić zdrowie personelu medycznego i pacjentów oraz skutecznie zapobiec zanieczyszczeniu powietrza w pomieszczeniach. Dlatego też niezbędne jest, aby kliniki i gabinety inwestowały w najnowocześniejsze technologie filtrujące, aby nie przyćmić technologicznej doskonałości lasera możliwymi do uniknięcia zagrożeniami dla zdrowia. Ostatecznie to właśnie jakość zarządzania powietrzem określa bezpieczeństwo i profesjonalizm całego środowiska medycznego.

Autor:

Stefan Meißner, Dział Komunikacji Korporacyjnej ULT AG

marketing@ult.de