

Mgr Marek Mindak

Laser Projekt 2000

Zamykanie naczyń na nogach

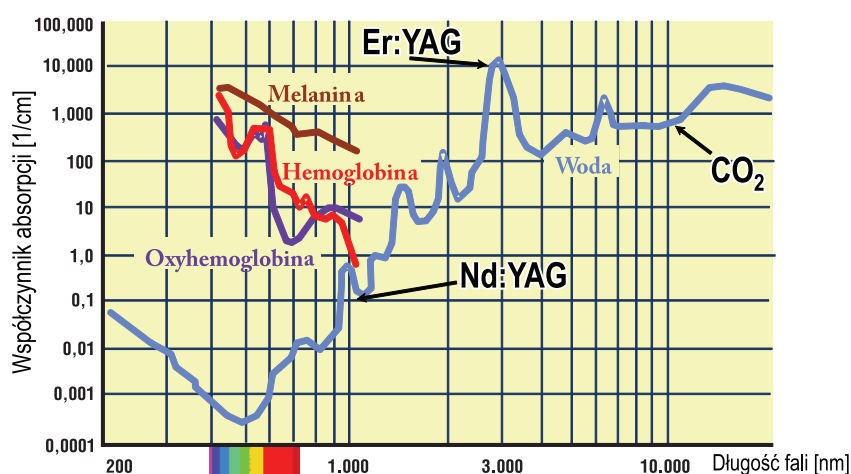
– LUTRONIC CLARITY laser YAG/ALEX o długim impulsie

Optymalna długość fali

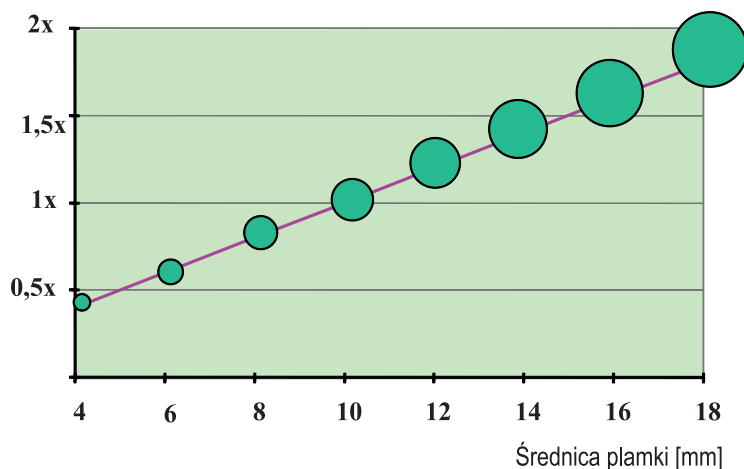
Wybór optymalnej długości fali światła do zamykania naczyń uwarunkowany jest stopniem pochłaniania światła przez tkankę nad zmianą. Pozornie oczywisty jest wybór długości fali silnie pochłanianej we krwi, ale jednocześnie, aby w ogóle dotrzeć do naczynia, musimy wziąć pod uwagę transmisję tkanek nad zmianą. Analizując krzywe absorpcji światła w chromoforach występujących w tkankach (hemoglobina, melanina i woda), zapomina się często, że tkanki to nie jednorodny

optycznie roztwór, tylko zawiesina, w której o propagacji światła decyduje nie tylko jego pochłanianie, ale również rozpraszanie.

Udział rozpraszania w osłabianiu impulsu światła gwałtownie rośnie z drogą, jaką światło musi przejść w tkance. Rozpraszanie maleje przy wzroście długości fali, co oznacza, że skuteczne działanie na głębiej położone naczynia uzyskamy tylko, gdy zastosujemy fale dłuższe, tj. podczerwień. Istotny udział rozpraszania oznacza także, że wystąpi duża różnica penetracji związana ze średnicą wiązki na skórze. Przy tej samej gęstości



Ryc. 1. Absorpcja światła w funkcji długości fali dla podstawowych składników tkanek.



Ryc. 2. Względna gęstość energii w skórze w zależności od średnicy plamki.

energii wiązka laserowa o większej średnicy dotrze głębiej.

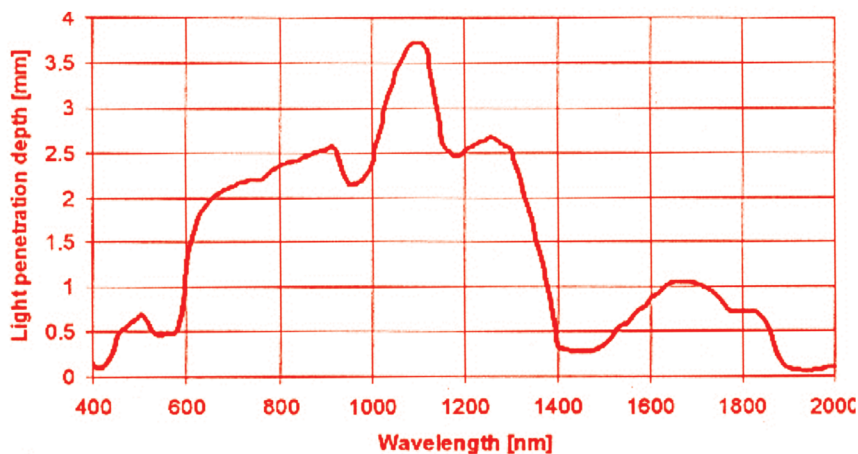
Czynnikiem działającym na tkanki jest zawsze gęstość energii [J/cm^2], nazywana czasami dawką lub dawką energii (*fluence*), lub gęstością mocy [W/cm^2], a nigdy całkowitą mocą czy całkowitą energią. Zachowanie stałej gęstości energii przy coraz większych plamkach wymaga dużej energii impulsu. Na

wykresie (ryc. 3.) pokazano wzrost energii impulsu, niezbędnej do zachowania stałej gęstości energii dla coraz większych plamek, np. przy średnicy 6 mm wystarczy 5 J, ale przy 12 mm potrzebny jest impuls laserowy o energii 20 J.

Wpływ rozproszenia światła w zakresie bliskiej podczerwieni dobrze opisuje empiryczne prawo mówiące, że głębokość dzia-



Ryc. 3. Gwałtowny wzrost energii impulsu niezbędny do zachowania stałej gęstości energii przy wzroście średnicy plamki.



Ryc. 4. Penetracja światła w skórze w funkcji długości fali.

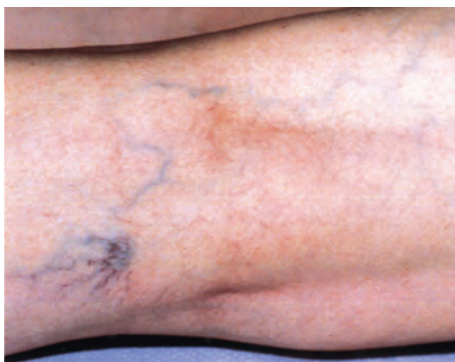
łania impulsu laserowego jest w przybliżeniu równa połowie średnicy plamki na skórze. Inaczej wiązka o średnicy 2 mm jest skuteczna do głębokości 1 mm, ale po to, by skutecznie działać na głębokości 4 mm, wiązka musi mieć średnicę > 8 mm. Jednocześnie potwierdzają to efekty kliniczne – naczynie, które nie reaguje na impulsy o średnicy plamki 2, 3 czy 5 mm, zamyka się natychmiast, gdy plamka osiąga średnicę 8 mm – cały czas mówimy o tej samej gęstości energii.

Krzywe absorpcji składników tkanek podane powyżej nie wyznaczają granicy, do której dotrze ostatni foton w tkance. Oznaczają jedynie grubość warstwy, która pochłonie 63% padającego światła (1/e). Pozostałe 37% wnika dalej i na pewno powoduje reakcje biologiczne. Wydaje się, że bardziej użytecznym parametrem jest droga penetracji światła, na której pochłonięte zostanie 90% energii.

Uwzględnienie rozpraszania prowadzi do zaskakującego wyniku, pokazanego na ry-

Laser	Długość fali [nm]	Penetracja [mm]	Chromofor
H II YAG	532	1,33	Melanina, krew
Barwnikowy	585	2,0	Krew, melanina
Rubinowy	694	3,99	Melanina
Aleksandrytowy	755	4,32	Melanina
Nd:YAG	1.064	5,31	Melanina, krew
Er:YAG	2.940	0,003	Woda
CO2	10.600	0,065	Woda

Tabela 1. Penetracja światła różnych laserów w białej skórze – głębokość, na jakiej zostanie zaabsorbowane 90% wiązki.



Ryc. 5. Przykład znakomitych efektów zamykania dużych żył siatkowatych laserem Nd:YAG
(za pozwoleniem dra Davida Wildera, Augsburg, Niemcy).

sunku 4. W przedziale 1000-1180 nm występuje wyraźne „okno” transmisyjne. Chcąc skutecznie działać w głębi skóry, trzeba się posługiwać światłem z tego zakresu.

Selektywność działania światła

Genialnie prostą zasadę selektywnej fototermolizy tkanek sformułowali w 1983 r. Anderson i Parrish [Selective Photothermolysis, Science 1983, 220, 524-7] – należy tak dobrać długość fali i czas impulsu, aby uzyskać optymalny efekt w tkance zmiany, na którą chcemy działać, przy minimalnym efekcie w tkankach otaczających. Zgodnie z tą zasadą mamy:

- doprowadzić fotony z minimalnymi stratami do wybranej tkanki,
- przez wybór długości fali lasera zapewnić maksymalne pochłanianie fotonów w wybranej tkance i podgrzanie jej aż do wywołania destrukcji (termoliza),
- ograniczyć do minimum uszkodzenia termiczne tkanek otaczających.

W przypadku zmian naczyniowych proces selektywnej termolizy realizuje się przez:

- selektywność spektralną – wybór opty-

malnej dla danej lokalizacji naczynia długości fali, maksymalnie pochłanianej przez krew i dobrze transmitowanej przez tkanki nad zmianą,

- selektywność termiczną – taki dobór sekwencji czas impulsu światła/czas przerwy, aby doprowadzić do maksymalnego podgrzania krwi w naczyniu ($>60^{\circ}\text{C}$) przy jednoczesnym nieoparzeniu tkanek otaczających. Selektywność termiczna uwarunkowana jest proporcją czasów relaksacji naczynia (a ten zależy od średnicy naczynia) i otaczającej tkanki. Im większe naczynie, tym wolniej stygnie w stosunku do tkanek otaczających. Różnica temperatury może być zwiększona przez zastosowanie dodatkowego chłodzenia skóry przed impulsem laserowym.

Mamy różne sposoby techniczne lub metodologiczne, które umożliwiają optymalizację efektu działania impulsu laserowego. Selektywność spektralna wydaje się warunkiem trywialnym tak długo, gdy nie weźmiemy pod uwagę głębokości położenia naczynia. Samo dopasowanie długości fali impulsu lasera do absorpcji hemoglobiny, np. piku

przy 532 nm, prowadzi na manowce, gdy naczynie leży głębiej niż 0,5 mm pod powierzchnią skóry. Ta długość fali tam po prostu nie dotrze, a do tego znacznie oparzymy naskórek! Aby ominąć absorpcję górnych warstw skóry, musimy przesunąć się w kierunku fal dłuższych: 585 nm – laser barwnikowy lub laser Nd:YAG – 1064 nm czy laser półprzewodnikowy – 970 nm. Ten ostatni ze względów technicznych ma problem z generacją krótkich impulsów o dużej energii.

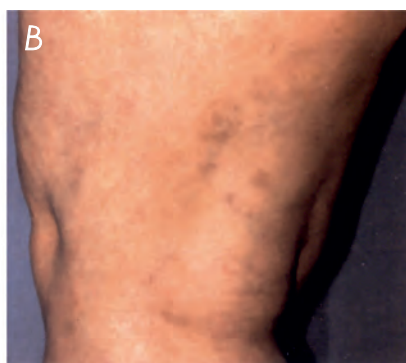
Zmiana naczyniowa, zwłaszcza duża, stygnie znacznie wolniej niż otaczająca skóra, co umożliwia „budowanie” temperatury naczynia kilkoma kolejnymi impulsami o czasie trwania krótszym od czasu relaksacji termicznej naczynia i czasie przerwy między impulsami większym od czasu relaksacji skóry. Oznacza to, że w czasie przerwy tkanki otaczające naczynie odprowadzają ciepło i obniżają temperaturę przed kolejnym impulsem, a naczynie pozostanie gorące. Kolejne impulsy powiększą tę różnicę, doprowadzając do uszkodzenia termicznego naczynia bez nieodwracalnych zniszczeń w skórze.

Działanie kilkoma krótkimi impulsami ma jeszcze tę istotną zaletę, że po zaabsorbo-

waniu pierwszego mikroimpulsu hemoglobina przechodzi w metahemoglobinę, której absorpcja dla 1064 nm jest znacznie (4-5 razy) większa! Kolejne impulsy o tej samej energii będą więc znacznie silniej nagrzewać naczynie.

Termiczny mechanizm zamykania naczyń

Przy pomocy lasera Nd:YAG jesteśmy w stanie zamknąć przepływ w żyłę o średnicy do 5 mm położonej do 4 mm pod skórą. Takie naczynia stanowią największy dyskomfort estetyczny, głębszych po prostu nie wiadać. Jeszcze kilka lat temu starannie tłumaczyłem na wykładach, jak to impuls laserowy, pochłonięty w hemoglobinie, podgrzewa ją aż do powstania „clodu” zamykającego naczynie. Teoria była ładna, tylko praktyka pokazywała, że niektóre naczynia „stawały” dopiero 1-3 dni po zabiegu, a to już do teorii skoagulowanej hemoglobiny nie pasowało! Teraz widzimy problem jako bardziej złożony i kilkietapowy. W laserowej technice zamykania naczyń pierwszy impuls powoduje podgrzanie krwi i zamianę hemoglobiny



Ryc. 6. Złożone zmiany naczyniowe:

A – stan przed zabiegiem.

B – 3 miesiące po zabiegach: 2 zabiegi laserem Nd:YAG i 3 zabiegi głowicą IPL

(Dr Marc Troxler (flebolog), Arlesheim, Szwajcaria).



Ryc. 7. Laser Clarity z torem światłowodowym.

w metahemoglobinę, która ma znacznie wyższą absorpcję dla 1064 nm. Kolejne impulsy podnoszą temperaturę krwi w naczyniu, a ta nagrzewa i w końcu parzy śródbłonek naczynia. To komórki śródbłonek sprawiają, że krew w całym układzie krążenia płynie laminarnie i praktycznie bez oporu! Bez nich nasze serce, aby wymusić krążenie, musiałoby mieć moc ok. 400 W i byłoby noszone na plecach, a baterie akumulatorów w obu rękach!

Oparzony śródbłonek traci swoje cudo-owne właściwości i powoduje wykrzepia-



Ryc. 8. Końcówka zabiegowa ze światłowodem do lasera Clarity.

nie krwi aż do powstania „clodu”, zamykającego krążenie 1-2 dni po zabiegu. W szczególnych warunkach może dojść do „zniknięcia” naczynia zaraz po strzale lub do natychmiastowego zatrzymania krążenia. Naczynie wtedy staje się ciemniejsze i nie znika po naciśnięciu. W pierwszym przypadku doszło do wypchnięcia krwi przez wytworzoną parę wodną, efekt bardzo częsty przy płytkich naczyniach i długości fali 532 nm. W drugim krążenie było wolne i korek ze skrzepu wytworzył się natychmiast.

Oba te pozytywne rezultaty oznaczają, że zastosowana gęstość energii była za duża. To samo można było osiągnąć nieco później, stosując niższe parametry, mniej niszczące otaczające tkanki. Konieczne jest doskonałe poznanie sprzętu, na którym się pracuje. Trzeba cierpliwie nabrać dużej wprawy, nie zrażać się brakiem natychmiastowego efektu lub pokazowymi oparzeniami. Optymalne parametry leżą pośrodku!

Clarity Nd:YAG/ Alex – uniwersalna platforma laserowa do zamykania zmian naczyniowych

Laser Clarity jest impulsowym laserem Nd:YAG o bardzo dużej energii – do 100 J w jednym „strzale”. Krótkie impulsy 0,35-5,0 ms są monoimpulsami. Impulsy o czasie trwania 12-300 ms składają się z kilku (2-6) mikro impulsów o czasie trwania 5 ms każdy. Taki sposób działania zwiększa absorpcję w metahemoglobinie i pozwala ostygnąć skórę, chroniąc ją przed oparzeniem. Laser wyposażony jest w elastyczny światłowód prowadzący wiązkę do końcówki zabiegowej o zmiennej średnicy pola zabiegowego (2-20 mm). Maksymalna gęstość energii (Nd:YAG) sięga 600 J/cm². Czas trwania impulsów można regulować w zakresie 0,35-300 ms, natomiast częstotliwość powtarzania impulsów 0,5-10 Hz. Prostopadły impuls elektryczny, zasilający lampę



Ryc. 9. Zestaw wymiennych końcówek z soczewkami.

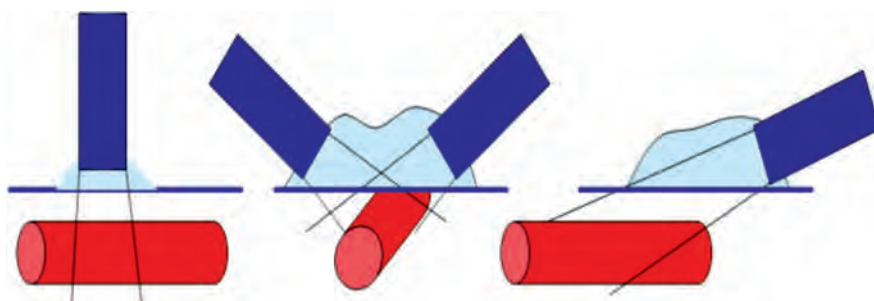
pompującą, zapewnia całkowicie płaski profil gęstości energii na tkance, co daje wyjątkową powtarzalność efektów leczenia. Niespotykany, bardzo szeroki zakres parametrów impulsów laserowych umożliwia zamykanie zmian naczyniowych o średnicy 0,2-5 mm na głębokości do 4 mm. Można skutecznie zamykać także naczyniaki jamiste. W wersji Clarity Combo zamontowane są dwa lasery: Nd:YAG i alksandrytowy o energii impulsu do 55 J.

Technika naświetlania naczyń

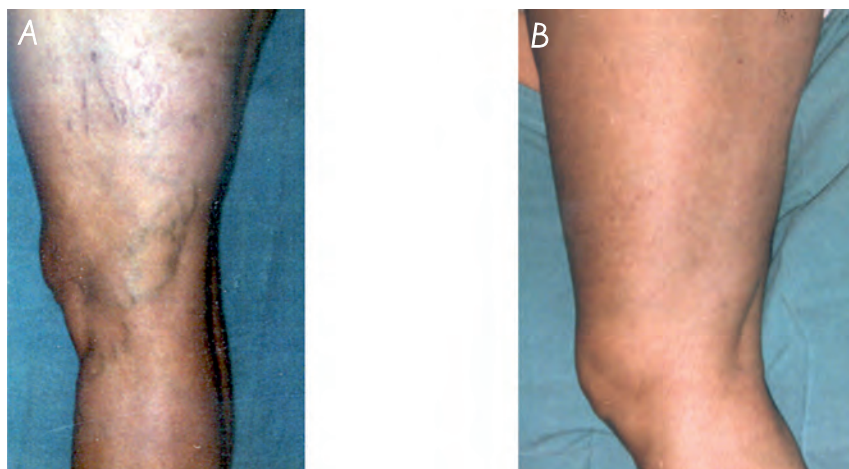
Metoda naświetlania jest bardzo istotna dla skuteczności zabiegu. Naszym celem jest jak najsilniejsze ogrzanie naczynia na długim odcinku bez oparzenia skóry. Chcemy zdeponować jak największą energię i dlatego

maksymalizujemy drogę światła w naczyniu – schemat B i C, kąt 45° . Naświetlanie prostopadłe zapewnia najkrótszą drogę światła i stosujemy je do naczyń małych (0,5-1,0 mm) i płytkich. Nigdy nie należy „strzelać” dwa razy w to samo miejsce, co więcej odstępy między kolejnymi impulsami powinny być większe niż 1,5 średnicy plamki. Np. plamka 4 mm – kolejne punkty odległe o 6 mm. Taki sposób działania ogranicza prawdopodobieństwo oparzenia. Ucisk na naczynie (przed impulsem lasera) 2 cm w kierunku dystalnym powiększy naczynie, zwolni przepływ i poprawi skuteczność. Zabiegi powtarza się nie częściej jak co 8-12 tygodni. Tym dłuższa przerwa, im większe było naczynie.

Prostym i skutecznym sposobem ochrony skóry przed oparzeniem jest zastosowanie chłodzenia przed i długo (> 15 min) po



Ryc. 10. Schematy naświetlania naczyń.



Ryc. 11. Usuwanie zmian naczyniowych aparatem VascuLight

A – stan przed zabiegiem.

B – 3 zabiegi laserem YAG na żyły siatkowe (144 J/cm^2 , 2 imp. po 5,5 ms z przerwą 15 ms).
Potem 3 zabiegi głowicą IPL VL na pozostałe teleangiektazje (47 J/cm^2 , filtr 570 nm, 2 imp. po 3,5 ms z przerwą 15 ms)

(Dr Marc Troxler, Szwajcaria).

impulsie laserowym. Jednak chłodzenie przed zabiegiem naczyń powierzchniowych i małych ($< 1 \text{ mm}$) jest błędem, ponieważ kurczą się i pochłaniają mniej światła. Pominięcie chłodzenia po zabiegu zamykania naczyń na nogach jest dużym błędem i częstym powodem widowiskowych blizn oparzeniowych. Nieocenione są najprostsze sposoby chłodzenia, np. żel (naczynia małe) i zimne „cold” packi przyłożone na chwilę przed i ponad 15 min po zabiegu. Oczywiście, wydłuża to zabieg, ale wspaniale skraca czas gojenia. Firma Candela wprowadziła bardzo przemysłowe „inteligentne” chłodzenie skóry natryskiem kriogenu – szybko parującego płynu, który natryskiwany jest na ułamek sekundy przed uderzeniem impulsu laserowego i drugi raz chwilę po. Działa to doskonale przeciwbólowo, po impulsie zimna skóra nie rejestruje następnego impulsu parzącego. Metoda sprawdza się przy średnich gęstościach energii, w depilacji. Przy zmianach naczyniowych cold pack odprowadza 100-1000 razy więcej ciepła niż impuls bardzo wygodnego kriogenu.

Piśmiennictwo:

1. Anderson P.R., Parrish J.A.: Selective photothermolysis, Science, 1983, 222, 524-7.
2. Rybak Z.: Skleroterapia w niewydolności żył kończyn dolnych, Derm. Estetyczna v.4/5/02, 272-8.
3. Muszyński M.: „Pajączki”, czyli teleangiektazje kończyn dolnych, - Derm. Estetyczna v.2/1/00, 30-5.
4. Campos V.B, Anderson R.R.: Use of an 800nm High-power laser for the Treatment of leg Teleangiektazja. Materiały inf. Coherent Med. Group, 2000.
5. Eckhouse S., Kreindel M.: The Appl. of Selective Photothermolysis in Treating Leg Vein, Mat. ESC, Yokneam 96.
6. Colaiuda S., Colaiuda F., Gasparotti M.: Treatment of deep underlying reticular veins by Nd:YAG laser and IPL source, Minerva Cardioangiologica v. 48, 2000.
7. Troxler M.: One clinic's experience in the treatment of Varicose Veins and leg teleangiektazja, Cl. Appl. Notes v.8/3, 2000, ESC.
8. Lepselter J., M.Elman M.: Biol. And clinical aspects in laser hair removal, J. of dermatological treatment, v. 15, 72-83, 04.