

Metody obrazowania efektów zabiegów laserowego usuwania pigmentów zdeponowanych w skórze z uwzględnieniem zabiegów wykonanych laserem pikosekundowym

Methods of imaging the effects of laser removal of pigments deposited in the skin, including treatments performed with a picosecond laser

WSTĘP

Historia usuwania tatuaży za pomocą lasera zaczyna się w latach 60. ubiegłego wieku i dotyczy zastosowania laserów argonowych (Ar laser, *argon laser*) i laserów dwutlenkowo-węglowych (laser CO₂, *carbon-dioxide laser*). Jednakże sposób działania tych laserów generował skutki uboczne o dużym natężeniu, głównie przebarwienia i bliznowacenie w miejscach, gdzie były

usuwane tatuaże. W latach 80., ubiegłego wieku wprowadzono do użycia w celu usuwania tatuaży lasery Q-switched: neodymowo itrowo-glinowo-granatowy, aleksandrytowy i rubinowy (*Q-switched neodymium yttrium-aluminum-garnet, Q-switched alexandrite, and Q-switched ruby laser*), co dało możliwość celowanego usuwania pigmentów stosowanych do tatuowania [1].

Krzysztof Gemza^{1,2}
Agnieszka
Surgiel-Gemza^{1,2,3}

¹ Specjalistyczna
Praktyka Lekarska
Medycyna Estetyczna,
Pediatria
ul. Damrota 64
43-100 Tychy
M: +48 602 256 849
E: krzysztofgemza62@gmail.com

² Kierunek Medycyna
Estetyczna
Śląska Wyższa
Szkoła Medyczna
w Katowicach
ul. Adama
Mickiewicza 29
40-085 Katowice
³ Wydział Nauk
o Zdrowiu
Uniwersytet
Humanistyczno-
Przyrodniczy im.
Jana Długosza
ul. A. Krajowej 13/15
42-200 Częstochowa

STRESZCZENIE

Popularyzacja tatuaży oraz makijażu permanentnego zarówno u kobiet jak i mężczyzn pociąga za sobą zwiększone zapotrzebowanie na skuteczne usuwanie wprowadzonych do skóry pigmentów.

Istnieje wiele metod usuwania pigmentów. Do niedawna złotym standardem były lasery nanosekundowe Q-switched neodymowo-yagowe (Nd:YAG). Dzięki postępowi technologicznemu opracowano nowe rozwiązania. Lasery pikosekundowe Nd:YAG oraz lasery pikosekundowe aleksandrytowe oferują zarówno skuteczniejsze usuwanie pigmentów czarnych i kolorowych jak również, zmniejszoną ilość powikłań po zabiegach.

Celem pracy było przedstawienie najbardziej skutecznej metody laserowego usuwania pigmentów oraz czynników mających wpływ na skuteczność zabiegu. Zaprezentowano również możliwości obrazowania efektów zabiegowych.

Nowe metody usuwania pigmentów zdeponowanych w skórze, pozwalają na skuteczne wykonywanie zabiegów.

Słowa kluczowe: laseroterapia, laser, usuwanie tatuażu, makijaż permanentny, pigment, ultrasonografia skóry, ultrasonografia wysokich częstotliwości

ABSTRACT

The popularization of tattoos and permanent makeup in both women and men entails an increased demand for effective removal of pigments introduced into the skin.

There are many methods of removing pigments. Until recently, the gold standard was Q-switched neodymium yag (Nd:YAG) nanosecond lasers. Thanks to technological progress, new solutions have been developed. Nd:YAG picosecond lasers and alexandrite picosecond lasers offer both more effective removal of black and color pigments as well as reduced number of complications after procedures.

The aim of the study was to present the most effective method of laser removal of pigments and factors influencing the effectiveness of the treatment. The possibilities of imaging treatment effects were also presented.

New methods of removing pigments deposited in the skin allow for effective treatments.

Keywords: laser therapy, laser, tattoo removal, permanent makeup, pigment, skin ultrasound, high frequency ultrasound

384

otrzymano / received
01.07.2020

poprawiono / corrected
14.07.2020

zaakceptowano / accepted
28.07.2020

Lasery Q-switched Nd:YAG od momentu wprowadzenia ich do usuwania pigmentów skórnych, są najczęściej stosowanymi laserami w tym wskazaniu. Wynika to z tego, że przewaga pigmentów stosowanych w tatuażach i makijażach permanentnych balansuje w odcieniach od czarnego do szarości, a dobra skuteczność laserów Q-switched Nd:YAG w usuwaniu pigmentu tego koloru jest udowodniona [2, 3].

Jednakże im bardziej wzrastała potrzeba upiększania skóry wśród klientów gabinetów zajmujących się makijażem permanentnym oraz tatuażami, tym bardziej rosło zapotrzebowanie na usługi usuwania pigmentów.

Bazując na wiedzy, że występująca w tuszu indyjskim cząstka pigmentu ma zwykle średnicę około 40 nm i czas relaksacji termicznej poniżej 1 ns, wykazano, że użycie lasera o czasie trwania impulsu mierzonego w pikosekundach daje efektywniejsze względem laserów nanosekundowych usuwanie pigmentów przy użyciu mniejszej gęstości energii, a co za tym idzie mniejsze pozabiegowe objawy uboczne [3, 4].

Użycie lasera pikosekundowego neodymowo-tytanowo-glinowo-granatowego, czy też aleksandrytowego (*picosecond-activated Q-switched Nd:YAG laser, alexandrite picosecond laser*) o długościach fal odpowiednio 1064 i 532 nm oraz 755 nm, zwiększyło skuteczność w usuwaniu czarnych i kolorowych pigmentów przy użyciu niższych gęstości energii, oraz zmniejszyło ilość wykonywanych zabiegów i ilość objawów ubocznych po zabiegach [4].

USUWANIE PIGMENTÓW ZA POMOCĄ LASERA PIKOSEKUNDOWEGO

Ideą stworzenia lasera do usuwania pigmentów, generującego impulsy o czasie trwania mierzonym w pikosekundach, było z jednej strony zwiększenie skuteczności usuwania pigmentów, w tym pigmentów kolorowych, skrócenie czasu uzyskania zadowalającego efektu zabiegowego oraz zmniejszenie niepożądanych objawów pozabiegowych [1].

Skutkiem działania impulsu mierzonego w pikosekundach generowanego przez laser pikosekundowy jest głównie efekt fotoakustyczny ograniczony do cząstki usuwanego pigmentu z niewielką komponentą fototermiczną, w przeciwieństwie do efektu generowanego przez impuls lasera Q-switched mierzonego w nanosekundach, gdzie występuje fototermoliza poprzez reakcję fototermiczną, z bardzo małym efektem fotomechanicznym, a skutki reakcji

fototermicznej przenoszone są na tkanki otaczające pigment [5]. Dzięki użyciu lasera pikosekundowego dostarczana jest do chromoforu (którym jest pigment) bardziej skoncentrowana energia, co daje możliwość zastosowania mniejszych wartości fluencji, a to przekłada się na bezpieczeństwo zabiegu i ograniczenie występowania bliznowaceń i przebarwień lub odbarwień w polu zabiegowym [4, 6, 7].

Natomiast zmniejszenie niepożądanych objawów pozabiegowych w tkankach otaczających pigment (chromofor) jest związane z dopasowaniem długości fali światła lasera, a co za tym idzie jej pochłaniania przez pigment (chromofor) oraz czasu trwania impulsu do koloru i czasu relaksacji termicznej docelowego pigmentu (chromoforu) [8].

Zachowanie się pigmentów pod wpływem światła lasera pikosekundowego wykazuje, że następuje zaburzenie struktury komórek bogatych w pigment z uwalnianiem go do skóry właściwej, a w następnej kolejności jest on usuwany przez układ krwionośny oraz komórki żerne układu limfatycznego. Dodatkowo cząsteczki pigmentu, po rozbiciu ich przez działanie światła lasera, są już cząsteczkami o mniejszych średnicach, które zbliżając się do długości fali światła widzialnego powodują wewnętrzne rozproszenie światła padającego przez skórę, przez co są one mniej widoczne z powierzchni skóry [4, 9].

Kolejnym zjawiskiem, od którego zależy stopień usunięcia pigmentu jest stan zapalny będący skutkiem laseroterapii, w połączeniu z jednoczesną stymulacją immunologicznej odpowiedzi organizmu gospodarza, ostatecznie prowadzi do usunięcia pigmentu z miejsca jego występowania przez układ limfatyczny [9, 10].

Powody, dla których niektóre pigmenty nie dają się całkowicie usunąć, obejmują zarówno kolor pigmentu i związane z nim spektrum absorpcji pigmentu, głębokość podania pigmentu jak i jego właściwości strukturalne. Ponadto niektóre cząstki pigmentów mogą pozostać w skórze właściwej po ponownej fagocytozie przez komórki obecne w polu zabiegowym, gdzie pigmenty były laserowo usuwane [11].

KOLOR PIGMENTU A DOBÓR DŁUGOŚCI FALI LASERA

Zależność pomiędzy kolorem pigmentu, a długością fali światła laserowego, i co za tym idzie doborem rodzaju lasera emitującego pożądaną długość fali, przedstawia tabela 1. W każdym zakresie fal w niej wymienionych, są dostępne lasery pikosekundowe.

Tabela 1 Dobór lasera w zależności od koloru pigmentu do usunięcia

LASER DŁUGOŚĆ FALI	KOLOR FIOLETOWY	KOLOR NIEBIESKI	KOLOR ZIELONY	KOLOR BRĄZOWY/CZERWONY/ POMARAŃCZOWY/ŻÓŁTY	KOLOR CZARNY
Neodymowo-tytanowy 532 nm	nie	nie	nie	tak	nie
Rubinowy 694 nm	tak	tak	tak	tylko brązowy	tak
Aleksandrytowy 755 nm	nie	tak	tak	tylko brązowy	tak
Neodymowo-tytanowy 1064 nm	nie	tak	nie	tylko brązowy	tak

Źródło: [12]

Inne kryteria warunkujące efekty laserowego usuwania pigmentów

Na efekty zabiegu usuwania tatuażu duży wpływ ma jego sposób wykonania. Tatuaże amatorskie położone powierzchownie zawierają mniej pigmentu, są zazwyczaj monochromatyczne, a tym samym łatwiejsze do usunięcia. Natomiast tatuaże profesjonalne wykonane

z użyciem wielu różnobarwnych pigmentów oraz położone na różnych głębokościach w skórze właściwej stwarzają więcej problemów przy ich usuwaniu [10, 13, 14]. Do grupy tatuaży zalicza się też tatuaże pourazowe oraz tatuaże lecznicze, wykonywane do celów radioterapii onkologicznej.

Substancje użyte do komponowania pigmentów mogą przyczynić się do trudności w ich usuwaniu jak również do reakcji ze strony organizmu podczas zabiegów laserowych. W pigmentach można znaleźć proste związki, takie jak tusz indyjski, ale również pochodne spalonego papieru, bawełny, czy też drewna, substancje nieorganiczne pod postacią tlenku żelazowego, zielonego chromu, niebieskiego kobaltu, żółtego kadmu, które mogą dawać nieoczekiwane reakcje na światło laserowe [14].

Dotychczas nie opracowano standardów w zakresie ilości zabiegów laserowych, które należy wykonać do osiągnięcia zamierzonego efektu. Ich ilość zależy od głębokości podania pigmentu i jego gęstości, składu i użytych kolorów pigmentów. Przyjmuje się, że liczba zabiegów laserowych, w zależności czy pigment został podany amatorsko, profesjonalnie bądź został zdeponowany w skórze na przykład podczas wybuchu materiałów pirotechnicznych, waha się od 5 do 25, co zgadza się z obserwacjami autorów artykułu [9, 14]. W estymacji ilości zabiegów dla danej osoby, pomocna może być skala Kirby-Desai. Parametry uwzględnione w tej skali to typ skóry (w oparciu o typ skóry Fitzpatricka), lokalizacja pigmentu, kolor pigmentu, ilość użytego pigmentu, występowanie blizn pozabiegowych, maskowanie istniejącego tatuażu kolejnym nałożeniem pigmentów [9].

Autorzy zaobserwowali, że również wiek tatuażu lub makijażu permanentnego korelujący z techniką podania mają kluczową rolę. Im straszny tatuaż lub makijaż permanentny, tym starsza technika podawania pigmentu, co w wielu wypadkach wiąże się z trudnościami w ich usuwaniu. Z kolei druga zależność pokazuje, że wcześniej położony pigment przed zabiegiem laserowego usuwania, ale z głęboką depozycją i z użyciem składu nowej generacji daje podobne trudności w jego eliminacji z tkanki.

W jednym z doniesień naukowych proponuje się, aby w początkowej fazie usuwania pigmentu zdeponowanego w skórze użyć lasera z ustawioną niższą fluencją wiązki laserowej, którą można zastosować najpierw do usunięcia górnej warstwy pigmentu. Kolejne zabiegi z rosnącą fluencją mogą pomóc usunąć pigment położony głęboko w skórze właściwej [8].

Fototyp skóry także ma znaczenie. Fototypy z wysoką zawartością melaniny, która konkuruje w absorpcji fali światła lasera, wymagają fali 1064 nm dla usuwania pigmentów od niebieskich do czarnych, natomiast fototypy z mniejszą zawartością melaniny wymagają fali światła o długości 755 nm dla tych samych pigmentów. Czasami jednakże, dla określonych pigmentów, na przykład czerwonych, jest do wyboru tylko jedna długość fali, a mianowicie fala o długości 532 nm, i tu nie można już kierować się fototypem skóry [2].

Bardzo istotne są kryteria zależne od lasera, którym wykonywany jest zabieg. Możliwość regulacji mocy wiązki laserowej, szerokości plamki zabiegowej, częstotliwości impulsów podczas kolejnych zabiegów, gdy ilość pigmentu stopniowo zmniejsza się, a jego położenie w skórze (głębokość depozytów pigmentu) również podlega dynamicznym zmianom jest nieocenioną pomocą w jego w skutecznym usuwaniu [15]. Z obserwacji autorów wynika, że możliwość regulacji wymienionych parametrów w dynamicznym procesie usuwania pigmentów, gdy trzeba ich „poszukiwać” w skórze, daje możliwość przeprowadzenia kolejnych skutecznych zabiegów aż do osiągnięcia pełnej satysfakcji.

Istnieje też zależność pomiędzy wielkością cząstek pigmentu a pochłanianiem przez nie energii, i co za tym idzie fragmentacją cząstek i ich usuwaniem. Większe cząstki pochłaniają więcej energii, i w związku z tym ulegają szybszej fragmentacji. Podczas kolejnych zabiegów, aby spowodować dalszy rozpad mniejszych już cząstek poprzez pochłonięcie przez nie większej energii należy mieć możliwość regulacji mocy wiązki lasera oraz wielkości plamki zabiegowej [16]. Wykazano jednakże, że kolor pigmentu też ma znaczenie, gdyż dla koloru czarnego istnieje zależność pochłaniania wysokich energii przez małe cząstki pigmentu, co skutkuje ich szybką eliminacją, a słaba reakcja białego pigmentu wiąże się z tym, że ma on duże cząstki, ale o minimalnej zdolności pochłaniania energii [17].

Kryteria które powinny być uwzględnione podczas kwalifikacji osoby do zabiegu laserowego usuwania pigmentów to: ogólny stan zdrowia, przyjmowane leki i suplementy diety, alergie, aktualne i przebyte choroby, zachowanie się pigmentu w czasie od jego podania do skóry, do czasu wizyty kwalifikacyjnej, skłonność do powstawania keloidów. Wśród innych przeciwwskazań, często ukrywanych i rzadko branych pod uwagę, jest poziom odpowiedzi immunologicznej osoby poddawanej zabiegom laserowego usuwania tatuaży. Osoby z obniżoną odpornością spowodowaną niezdiagnozowaną chorobą lub przyjmowanymi lekami (na przykład sterydami) mogą manifestować gorszą reakcję usuwania pigmentu przez układ immunologiczny z miejsca, gdzie poddany on był działaniu fali światła laserowego. Jeśli zatem stopień usuwania pigmentów u danej osoby znacznie odbiega od dotychczasowych efektów, które były osiągnięte u innych, operator powinien poszerzyć wywiad o informacje związane z zaburzeniami odporności, które występowały u danej osoby w przeszłości lub występują obecnie.

Kolejne kryterium warunkujące skuteczność zabiegu usuwania pigmentów, zwłaszcza na brwiach, to obecność włosów. Według przyjętych standardów należy włosy na brwiach zgolić. Z doświadczeń własnych autorów wynika jednak, że większość kobiet, u których nieprawidłowo wykonano makijaż permanentny brwi, celowo nie goli włosów, aby podczas okresów międzyzabiegowych móc maskować pozostałości nieudanego makijażu permanentnego, aż do

momentu wykonania kolejnego makijażu permanentnego. W takim wypadku należy poinformować o konsekwencjach obecności włosów na brwiach, a mianowicie: potencjalnie dłuższym okresie usuwania pigmentu z brwi ze względu na obecność melaniny we włosach, która będzie konkurowała z pigmentem w absorpcji światła laserowego, chwilowym zbieleniu włosów oraz osłabieniu łodygi włosa oraz uzyskać zgodę na prowadzenie zabiegów laserowych.

MOŻLIWOŚCI OBRAZOWANIA EFEKTÓW ZABIEGOWYCH

Najprostszym sposobem obrazowania efektów zabiegowych laserowego usuwania pigmentów skórnych jest fotografia. Wykonanie zdjęć przed, w trakcie i po serii zabiegów jest obligatoryjne i pomaga zarówno operatorowi jak i osobie poddanej zabiegowi ocenić efekty.

Podczas przygotowania do zabiegu, po dokładnym wywiadzie dotyczącym okresu, w którym wykonano tatuaż, jego rodzaju, ilości warstw, konsultacji połączonej z badaniem osoby, oznaczeniu fototypu skóry, należy bezwzględnie wykonać test plamkowy. Pozwala on ocenić reakcję skóry na zaplanowane do zabiegu parametry światła laserowego oraz, w szczególnych przypadkach, reakcję pigmentu zdeponowanego w polu zabiegowym na określoną długość fali lasera. Ma to szczególne znaczenie podczas usuwania pigmentów w odcieniach od bladorożowego do czerwonego położonych na konturach warg podczas pigmentowania ust. Część pigmentów zawierających tlenek żelazowy reaguje zmianą koloru na odcienie od szarości do czarnego po naświetleniu światłem lasera (fot. 1). Dzieje się tak za sprawą utlenienia tlenku żelazowego do tlenku żelazowego, co powoduje zmianę koloru na odcienie szarości. Jest to ważna informacja dla operatora, ale przede wszystkim dla osoby poddawanej zabiegowi, która powinna być poinformowana o możliwości wystąpienia takiej reakcji na zabieg laserowy oraz pisemnie wyrazić zgodę na wykonanie zabiegu mimo, że może dojść do nieprzewidzianej reakcji pigmentu na światło lasera.



Fot. 1 Reakcja pigmentu zdeponowanego w konturach ust po zastosowaniu lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 532 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórniego. Widoczna wyraźna zmiana koloru pigmentu na szary. W okolicy lewego kąćka ust na wardze dolnej ślad po wykonanym teście plamkowym **Źródło:** Archiwum własne autorów

Na fot. 2 i 3 zobrazowano typowy dla zabiegów usuwania pigmentów efekt natychmiastowego zbielenia obszaru z ciemnym pigmentem po zadziałaniu na ten obszar światła laserowego. Sugeruje się, że jest to związane z reakcją para wodna – węgiel, z wytworzeniem wodoru i tlenku węgla [16]. Efekt ten może powodować zaburzenie przenikania kolejnych impulsów lasera do skóry właściwej podczas kolejnych przejść. Jest wprawdzie proponowana technika zabiegowa, zwana R20, sugerująca utrzymanie 20 minutowych odstępów pomiędzy kolejnymi przejściami w tej samej sesji laserowej, jednakże technika ta jest dobrze przebadana dla fali o długości 755 nm, a mniej dla fali 1064 nm, która daje większy efekt fototermiczny mogący nasilać się przy kolejnych przejściach. W związku z dużą czasochłonnością techniki R20 wprowadzono jej modyfikację, tzw. R0, gdzie do likwidacji zbielenia jest używana miejscowo podana perfluorodekalina (PFD) – wysoce rozpuszczalny w gazie ciekły fluorowęglowodór, który likwiduje reakcję wybielenia w ciągu kilku sekund, tym samym skracając czas oczekiwania 20 minut do minimum [12].



Fot. 2 A – typowe zbielenie okolicy zabiegowej tuż po zastosowaniu lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórniego. Pacjentka nie zgodziła się na zgolenie włosów na brwiach przed zabiegiem. **B** – typowe zbielenie okolicy zabiegowej tuż po zastosowaniu lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórniego. Brwi bez włosów **Źródło:** Archiwum własne autorów



Fot. 3 Typowe zbielenie okolicy zabiegowej tuż po zastosowaniu lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórniego **Źródło:** Archiwum własne autorów

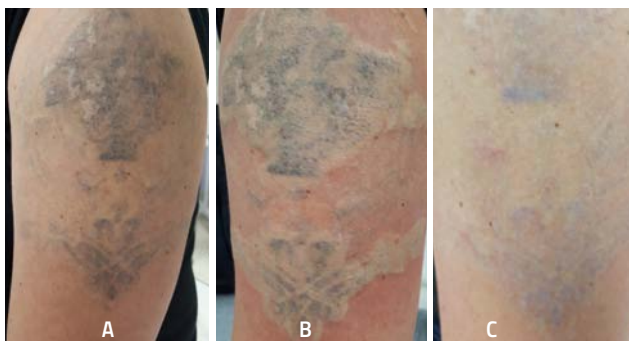
Obrazowanie fotograficzne umożliwia również śledzenie zanikania pigmentu podczas zabiegów (fot. 4, 5).



Fot. 4 A – tatuaż przed zabiegiem, **B** – tatuaż tuż po zabiegu, charakterystyczne zbielenie obszaru zabiegowego. **C** – tatuaż dwa miesiące po zabiegu z zastosowaniem lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórniego **Źródło:** Archiwum własne autorów

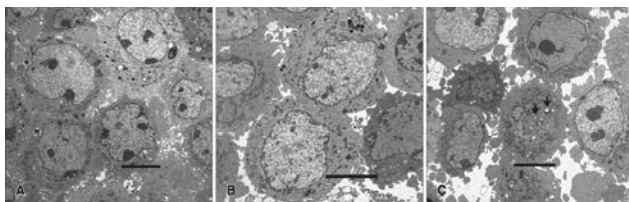


Fot. 5 A – tatuaż przed zabiegiem, B – tatuaż tuż po zabiegu, C – tatuaż tydzień po zabiegu, D – tatuaż dwa miesiące po zabiegu z zastosowaniem lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm oraz 755 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórnoego. Źródło: Archiwum własne autorów



Fot. 6 A – tatuaż przed zabiegiem, B – tatuaż tuż po zabiegu, charakterystyczne zbieżenie obszaru zabiegowego, C – tatuaż dwa miesiące po zabiegu z zastosowaniem lasera pikosekundowego Pico Light D18 o długości fali 1064 nm do zabiegów usuwania pigmentu skórnoego. Źródło: Archiwum własne autorów

Innym rodzajem obrazowania jest pobranie wycinków skórnych, odpowiednie ich wybarwienie i przedstawienie jako obraz z mikroskopu świetlnego lub elektronowego pod postacią miografów elektronowych. W ten sposób można zobrazować zachodzące zmiany z pigmentem pod wpływem działania światła laserowego w komórkach skóry, w których jest on zdeponowany (fot. 7) [19].



Fot. 7 Mikrografie elektronowe melanocytów typu Mel-Ab. A – w cytoplazmie komórek obserwowano cząstki pigmentu o dużej gęstości elektronowej. B – po zabiegu pikosekundowym laserem aleksandrytowym o długości fali 755 nm cząstki pigmentu w cytoplazmie komórek Mel-Ab zniknęły lub rozpadły się na mniejsze części bez uszkodzenia komórek. C – po zabiegu laserem nanosekundowym Nd:YAG o długości fali 1,064 nm cząstki pigmentu zmniejszyły liczbę i rozmiar, ale niektóre ściany komórkowe zostały zniszczone i pojawiły się w cytoplazmie pęcherzykowe wakuole (strzałki) wskazujące na uszkodzenie komórki. Źródło: [19]

Kolejnym sposobem obrazowania wpływu odpowiedniej długości światła laserowego na reakcję kolorowych pigmentów podczas ich usuwania jest analiza kolorymetryczna (rys. 1). Intensywność kolorymetryczną w cytowanym przykładzie zmierzono i porównano przed i 3 tygodnie po zabiegu z użyciem lasera nanosekundowego o długości fali 1064 i 532 nm oraz lasera pikosekundowego o długości fali 1064, 532 i 755 nm [20].

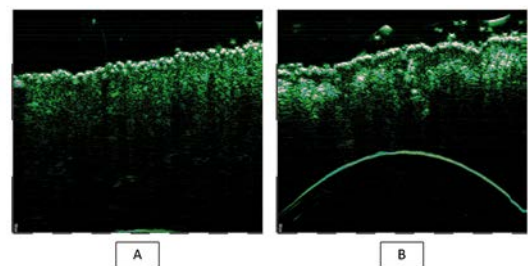
Obiektywną metodą wykorzystywaną coraz częściej, ze względu na swoją precyzję, do badania normalnej oraz patologicznie zmienionej skóry jest ultrasonografia wysokiej częstotliwości (HFU). W zakresie częstotliwości 20-100 MHz penetracja w głąb skóry mieści się w zakresie 12-3 mm, a rozdzielczość tej metody, sięgająca od 80 do 16 μm , jest wysoka i bywa porównywalna do histologii. Wystarcza to do badania naskórka, skóry właściwej i tłuszczu podskórnego oraz występujących tam zmian [21, 22].

Opisana metoda obrazowania została wykorzystana w gabinecie autorów do oceny reakcji czarnego i kolorowych pigmentów na światło lasera pikosekundowego o długości fali 1064 nm, 755 nm i 532 nm.

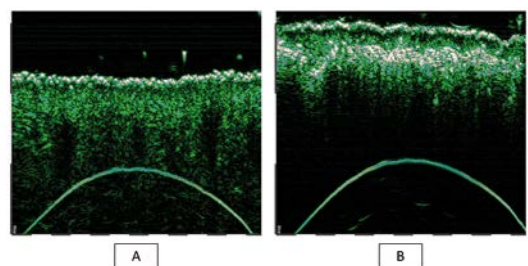
Zabiegi zostały przeprowadzone z użyciem lasera pikosekundowego Pico Light D18 (dystrybutor La Pelle Gold, Polska).

Zmiany położenia pigmentu w skórze po zabiegach laserowych oceniane były z użyciem HFU, a mianowicie cyfrowego ultradźwiękowego urządzenia DUB SkinScanner (TPM GmbH, Niemcy) z liniową sondą mechaniczną 75 MHz (rozdzielczość osiowa 21 μm , rozdzielczość boczna 33 μm , głębokość skanowania 3,2 mm).

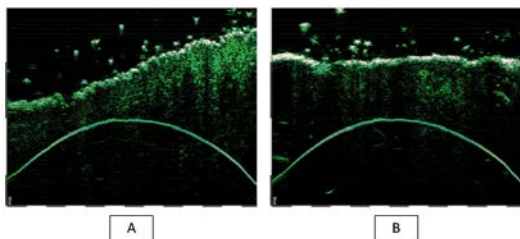
Na rys. 2-4 przedstawiono reakcję pigmentów zdeponowanych w tkankach na światło lasera.



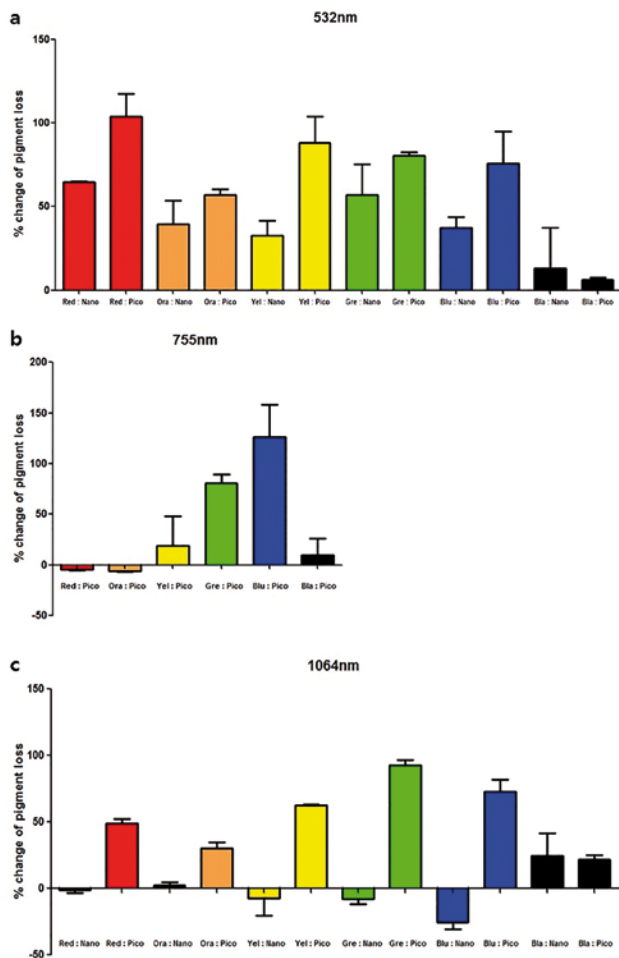
Rys. 2 A – obraz czarnego pigmentu przed zabiegiem laserem Pico Light D18. Widoczne równomierne ułożenie pigmentu w skórze. B – obraz czarnego pigmentu po zabiegu laserem Pico Light D18, fala 1064 nm. Widoczna zmiana położenia pigmentu oraz jego brak pod naskórkiem jak również gromadzenie się pigmentu pod postacią nieregularnych skupisk jako reakcja na światło lasera. Źródło: Archiwum własne autorów, we współpracy z firmą IT4KAN



Rys. 3 A – obraz zielonego pigmentu przed zabiegiem laserem Pico Light D18. Widoczne równomierne ułożenie pigmentu w skórze. B – obraz zielonego pigmentu po zabiegu laserem Pico Light D18, fala 755 nm. Widoczna zmiana położenia pigmentu oraz jego brak pod naskórkiem, jak również gromadzenie się pigmentu w skórze pod postacią nieregularnych skupisk jako reakcja na światło lasera. Źródło: Archiwum własne, we współpracy z firmą IT4KAN



Rys. 4 A – obraz czerwonego pigmentu przed zabiegiem laserem Pico Light D18. Widoczne równomierne ułożenie pigmentu w skórze. B – obraz czerwonego pigmentu po zabiegu laserem Pico Light D18, fala 532 nm. Widoczny brak obecności lub zmniejszenie ilości pigmentu w okolicy podnaskórkowej i w skórze właściwej, zmiana położenia pigmentu oraz gromadzenie się pigmentu w skórze pod postacią nieregularnych skupisk jako reakcja na światło lasera
Źródło: Archiwum własne, we współpracy z firmą IT4KAN



Rys. 1 Analiza kolorymetryczna. Intensywność kolorymetryczną zmierzono i porównano przed i 3 tygodnie po zabiegu.

A – laser pikosekundowy 532 nm wykazywał > 50% zmianę intensywności pigmentu we wszystkich kolorach z wyjątkiem czerni.
B – laser pikosekundowy 755 nm był skuteczny tylko w usuwaniu kolorów zielonych i niebieskich, a zmiany w intensywności pigmentów zielonych i niebieskich były największe.
C – laser nanosekundowy 1064 nm prawie nie miał żadnego efektu w usuwaniu jakiegokolwiek koloru oprócz czarnego. Jednak laser pikosekundowy 1064 nm spowodował zmniejszenie o > 50% pigmentów złotych, zielonych i niebieskich, jednocześnie skutecznie redukując kolory czerwony i pomarańczowy Źródło: [20]

PODSUMOWANIE

Postęp w dziedzinie usuwania pigmentów zdeponowanych w skórze, zarówno czarnych jak i kolorowych pozwala na wykonywanie skutecznych zabiegów. Lasery pikosekundowe Nd:YAG o długości fal 1064 i 532 nm oraz aleksandrytowe o długości fali 755 nm znacząco poprawiły efektywność i bezpieczeństwo takich zabiegów względem laserów Nd:YAG nanosekundowych.

Wynika to z faktu, że cząstka pigmentu, która średnio ma statystycznie przyjętą średnicę 40 nm ma czas relaksacji termicznej poniżej 1 nanosekundy. Aby ograniczyć zatem uszkodzenia w obrębie kolagenu skórno otaczającego cząstki pigmentu należy użyć źródła energii – lasera, który emituje impulsy o długościach mierzonych w pikosekundach. Wtedy energia światła laserowego pozostaje zdeponowana w cząstce pigmentu bez znaczącego oddawania ciepła do otaczających ją struktur tkankowych [4]. To wpływa na skuteczność zabiegu usuwania pigmentów skórnymi laserem pikosekundowym z radykalnym ograniczeniem objawów ubocznych związanych z przegrzaniem tkanek otaczających zdeponowany pigment.

Należy pamiętać, że najważniejsze jest zdrowie osoby u której wykonywany jest zabieg, ponieważ reakcje organizmu mogą się różnić. Istotna jest również realna ocena możliwych efektów. Lepiej wstępnie ustalić większą ilość zabiegów i zredukować ją do minimum, w przypadku osiągnięcia zadowolających obie strony efektów, niż zwiększać ją wywołując niezadowolony osobę poddanej zabiegom.

LITERATURA

- Torbeck R, Bankowski R, Henize S, Saedi N. Lasers in tattoo and pigmentation control: role of the PicoSure® laser system. *Medical Devices: Evidence and Research*. 2016;9:63-67.
- Kilmer S, Lee L, Grevelink MS, Flotte JM, Anderson TJ. The Q-switched Nd:YAG laser effectively treats tattoos. *Arch. Dermatol.* 1993;129:971-978.
- Kilmer S, Anderson. Clinical use of the Q-switched ruby and the Q-switched Nd:YAG (1064 nm and 532 nm) lasers for treatment of tattoos. *J Dermatol Surg Oncol.* 1993;19:330-338.
- Ross E, Naseef G, Lin Ch, et al. Comparison of Responses of Tattoos to Picosecond and Nanosecond Q-Switched Neodymium: YAG Lasers. *Arch Dermatol.* 1998;134(2):167-171.
- Kasai K. Picosecond Laser Treatment for Tattoos and Benign Cutaneous Pigmented Lesions (Secondary publication). *Laser Therapy.* 2017;26(4):274-281.
- Herd RM, Alora MB, Smoller B, Arndt KA, Dover JS. A clinical and histologic prospective controlled comparative study of the picosecond titanium:sapphire (795 nm) laser versus the Q-switched alexandrite (752 nm) laser for removing tattoo pigment. *J Am Acad Dermatol.* 1999;40(4):603-606.
- Saedi N, Metelitsa A, Petrell K, Arndt KA, Dover JS. Treatment of tattoos with a picosecond alexandrite laser: a prospective trial. *Arch Dermatol.* 2012;148(12):1360-1363.
- Ho DD, London R, Zimmerman GB, Young DA. Laser-tattoo removal – a study of the mechanism and the optimal treatment strategy via computer simulations. *Lasers Surg Med.* 2002;30(5):389-397.
- Kirby W, Desai A, Desai T, Kartono F, Geeta P. The Kirby-Desai Scale: A Proposed Scale to Assess Tattoo-removal Treatments. *J Clin Aesthet Dermatol.* 2009;2(3):32-37.
- Ferguson JE, Andrew SM, Jones CJ, August PJ. The Q-switched neodymium: YAG laser and tattoos: A microscopic analysis of laser-tattoo interactions. *Br J Dermatol.* 1997;137:405-410.
- Zelickson BD, Mehregan DA, Zarrin AA, et al. Clinical, histologic, and ultrastructural evaluation of tattoos treated with three laser systems. *Lasers Surg Med.* 1994;15(4):364-372.
- Sardana K, Ranjan R, Ghunawat S. Optimising laser tattoo removal. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery.* 2015;8(1):16-24.
- Sardana K, Garge VK. *Lasers in Dermatological Practice*. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Pub; 2014: 106-160.
- Karsai S, Raulin C. *Laser treatment of tattoos and other dyschromia*. Berlin: Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine; 2011:189-210.
- Bernstein EF, Civiok JM. A continuously variable beam-diameter, high-fluence, Q-switched Nd: YAG laser for tattoo removal: Comparison of the maximum beam diameter to a standard 4-mm-diameter treatment beam. *Lasers Surg Med.* 2013;45:621-627.
- Luebberding S, Alexiades-Armenakas M. New tattoo approaches in dermatology. *Dermatol Clin.* 2014;32:91-96.
- Leu FJ, Huang CL, Sue YM, Lee SC, Wang CC. Effects of tattoo ink's absorption spectra and particle size on cosmetic tattoo treatment efficacy using Q-switched Nd: YAG laser. *Lasers Med Sci.* 2015;30:303-309.
- Chen H, Diebold G. Chemical generation of acoustic waves: a giant photo-acoustic effect. *Science.* 1995;270:963-966.
- Lee SH, Lee MH, Noh TK, Choi KH, Won CHH, Chang SE, Lee MW, Choi JH. Successful Treatment of Tattoos with a Picosecond 755 nm Alexandrite Laser in Asian Skin. *Ann Dermatol.* 2016;28(5):673-675.
- Choi MS, Seo HS, Kim JG, Choe SJ, Park BC, Kim MH, et al. Effects of picosecond laser on the multi-colored tattoo removal using Hartley guinea pig: A preliminary study. *PLoS ONE.* 2018;13(9):e0203370.
- Bezугly A. High frequency ultrasound study of skin tumors in dermatological and aesthetic practice. *Med Ultrason.* 2015;17(4):541-544.
- Gemza K, Korzekwa S, Surgiel-Gemza A. Nowe możliwości w laseroterapii i obrazowaniu efektów zabiegów laserowych. *Dermatologia Estetyczna.* 2019;1(120):50-56.

CITE / SPOSÓB CYTOWANIA

Gemza K, Surgiel-Gemza A. Metody obrazowania efektów zabiegów laserowego usuwania pigmentów zdeponowanych w skórze z uwzględnieniem zabiegów wykonanych laserem pikosekundowym. *Aesth Cosmetol Med.* 2020;9(4):383-388.