

Monica Elman¹, Nathalie Fournier², Golbert Barnéon³
Eric F. Bernstein⁴, Gary Lask⁵

¹Elman Laser Clinic, Rishon Le-Zion, Izrael,

²CLDP, Clapiers, Francja,

³Centre Pathology, Montpellier, Francja,

⁴Main Line Centre for Laser Surgery, Ardmore, PA, USA,

⁵UCLA Medical School, Los Angeles, CA, USA

RAPORT Z OBSERWACJI KLINICZNEJ

Frakcyjne leczenie starzejącej się skóry przy użyciu urządzenia Tixel, ocena kliniczna i histologiczna

Zabiegi dermabrazji skóry przy użyciu lasera frakcyjnego są powszechnie stosowane w dermatologii. Za jeden z najlepszych sposobów przeprowadzania wysoko precyzyjnej ablacji cienkich warstw tkanek bez krwawienia i z minimalnymi uszkodzeniami ubocznymi uważane są lasery CO₂ o krótkim czasie impulsu^[1]. Są one szeroko stosowane podczas zabiegów dermabrazji frakcyjnej skóry^[2,3] w celu poprawy jej gładkości oraz likwidacji drobnych zmarszczek.

Leczenie jest bolesne i wiąże się z koniecznością zastosowania kremów znieczulających oraz środków ochrony oczu. Czas wyłączenia pacjenta z powodu rekonwalescencji wynosi ok. 5 dni. Przy głębokości penetracji tkanki na poziomie 30-50 μm i promieniem lasera o długości fali 10,6 μm , można wyparować kraterzy w skórze aż do warstwy brodawkowatej skóry właściwej, a nawet głębiej, uzyskując znakomite efekty wygładzenia. Stosując matrycę zogniskowanych punktów wiązki laserowej o średnicy ~100-

150 μm , frakcyjna dermabrazja ~12-20% powierzchni skóry zapewnia szybkie gojenie. Energia odpowiadająca za wyparowanie tkanki za pomocą CO₂ jest energią wyłącznie termiczną. Podczas procesu wyparowywania temperatura wytwarzana w czasie pojedynczego przejścia promienia lasera osiąga w kraterze poziom ~350-400°C^[4].

Mając na uwadze fakt, że energia termiczna powoduje wyparowanie tkanki, można spodziewać się, że przyłożenie do skóry elementu metalowego o wysokim

przewodnictwie cieplnym (podgrzanego do temperatury $\sim 350\text{-}400^{\circ}\text{C}$) na czas kilku milisekund i głębokość $\sim 50\text{-}150\text{ }\mu\text{m}$ może skutkować działaniem ablacyjnym, które pod względem klinicznym będzie identyczne jak działanie lasera CO_2 .

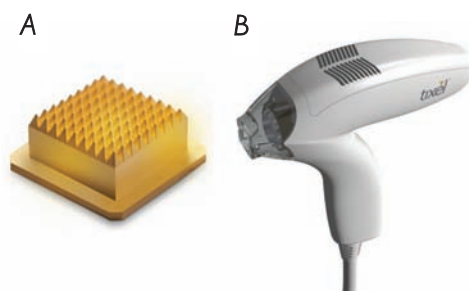
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie innowacyjnej technologii ablacji termiczno-mechanicznej (ablacji TMA) przy zastosowaniu urządzenia Tixel oraz dostarczenie odpowiednich danych klinicznych i histopatologicznych. Artykuł zawiera również porównanie działania tej technologii z danymi histologicznymi uzyskiwanymi podczas zabiegów wykonywanych przy użyciu frakcyjnego lasera CO_2 .

Materiały i metody

Tixel

Tixel (Novoxel, Niemcy) jest termiczno-mechanicznym systemem do ablacji skóry. Zawiera końcówkę wykonaną z połączonych metalicznych materiałów biokompatybilnych (Ryc. 1A). Końcówka jest umocowana na dystalnej części aplikatora urządzenia, który wyposażony jest w silnik liniowy (Ryc. 1B). Aktywna powierzchnia końcówki składa się z układu 81 piramid o wymiarach 9×9 , rozmieszczonych w takiej samej odległości od siebie na powierzchni $1 \times 1\text{ cm}$.

Piramidy mają wysokość $1,25\text{ mm}$ i promień ok. 100 mikronów na wierzchołku. Tylne płaszczyzny końcówki jest płaska i połączona z podgrzewaczem wielkości monety, którego temperatura podczas działania urządzenia utrzymywana jest na stałym poziomie 400°C . Gdy urządzenie nie jest włączone, końcówka jest w ustawieniu podstawowym w odległości 20 mm od powierzchni skóry. Końcówka waży 7 g i jest wielokrotnego użytku. System sprawdza, kontroluje, monitoruje, sterylizuje i wymienia koń-



Ryc. 1. A – Końcówka Tixel z matrycą piramid, B – Aplikator urządzenia Tixel.

cówki automatycznie. Czyszczenie końcówki po zabiegu trwa 5 minut w temperaturze 540°C uzyskiwanej w dodatkowym urządzeniu czyszczącym. Autosterylizacja przeprowadzana jest w ciągu 3 minut w temperaturze 350°C . Czyszczenie końcówki, sterylizacja oraz biokompatybilność zostały poddane walidacji. Aplikator waży 270 g . Zastosowano dwa typy końcówek: D o wysokim przewodnictwie cieplnym oraz S o niskim przewodnictwie cieplnym. Gdy użytkownik naciska na przycisk aplikatora, silnik liniowy gwałtownie wysuwa końcówkę, która wchodzi w krótkotrwały kontakt z tkanką. Energia cieplna zostaje przeniesiona na skórę, tworząc w niej mikrokratery poprzez wyparowanie. Końcówka wycofuje się do pozycji wyjściowej z dala od tkanki na precyzyjnie kontrolowaną odległość i w precyzyjnie kontrolowanym czasie (Ryc. 2). Czas trwania impulsu, tzn. czas kontaktu końcówki ze skórą, może oscylować pomiędzy 6 ms a 19 ms . Istnieje możliwość wyboru trybu impulsu podwójnego. Dokładność przesunięcia silnika mieści się w ramach $1\text{-}8\text{ }\mu\text{m}$, a częstotliwość powtarzania impulsów wynosi 1 Hz . Impuls trwający 10 ms dostarcza $\sim 15\text{ mJ}$ na krater, a impuls trwający 6 ms dostarcza $\sim 10\text{ mJ}$ na krater. Podstawy teoretyczne i inżynierskie technologii urządzenia Tixel zostały opisane już przez Lask i in. w roku 2012^[5]. Zastosowanie urządzenia Tixel nie wymaga korzystania ze środków ochrony oczu ani odsysacza dymu.

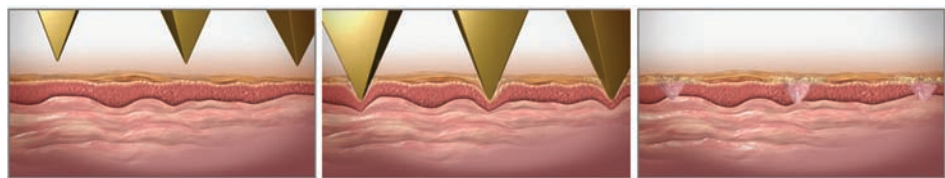
Model termiczny

Efekty termiczne zastosowania końcówek urządzenia Tixel na skórze zostały zasymulowane (MATLAB, wersja 8.5, Mathworks, USA) przy użyciu modelu dynamicznego biorącego pod uwagę zarówno profil ruchu końcówki, jak i właściwości cieplne skóry i materiałów, z których zbudowana jest końcówka. Początkowa temperatura końcówki wynosi 400°C i założono, że w trakcie kontaktu ze skórą powoduje ona wyparowanie wody zawartej w tkance i schładza się do temperatury 100°C . Po osiągnięciu temperatury 100°C założono, że występuje wyłącznie uszkodzenie termiczne. Na pierwszym etapie symulacji obliczono wartość wyparowania tkanki. Każde powtórzenie cyklu modelu składa się z 3 kroków: obliczenie objętości tkanki poddawanej parowaniu dzięki energii cieplnej końcówki, penetracja końcówki w kraterze, który teraz poddawany jest parowaniu oraz obliczenie nowej temperatury końcówki, jak również szkód ubocznych opisanych w pozycji 5. bibliografii.

Procedura zabiegowa i jej ocena

Zabiegi frakcyjnej dermabrazji skóry za pomocą urządzenia Tixel przeprowadzane były przez dwa niezależne zespoły powołane przez badacza.

Zespół I zakwalifikował do badania 10 kobiet, mających poddać się zabiegowi redukcji zmarszczek głównie w okolicach oczodołów i wokół ust. Osiem z nich zostało poddanych pełnej procedurze zabiegowej, natomiast dwie zrezygnowały z przyczyn niezwiązanych z bezpieczeństwem zabiegu. Pacjentki były w wieku od 42 do 65 lat i miały skórę o fototypie według skali Fitzpatricka od II do IV. Leczenie obejmowało trzy sesje zabiegowe w odstępie czasowym 35 dni, z 1-6 miesięczną kontrolą po trzeciej sesji zabiegowej. Cała twarz ($n=1$), okolice oczodołów ($n=6$) i/lub okolice ust ($n=5$) zostały poddane zabiegom przeprowadzonym za pomocą urządzenia Tixel przy użyciu końcówki D (pojedynczy impuls trwający 14 ms lub impuls podwójny trwający 9 ms) lub końcówki S (pojedynczy impuls trwający 9 ms). Badanie zostało ocenione przez badacza. Każda sesja zabiegowa oraz sesja kontrolna obejmowała ocenę stanu cery, ocenę zmarszczek według skali Fitzpatricka, poziom bólu podczas zabiegu, czas wyłączenia pacjentki w związku z rekonwalescencją po zabiegu oraz czas ustąpienia rumienia. Wykonano zdjęcia twarzy *en face* oraz z półprofilu lewego i prawego (900) za pomocą aparatu fotograficznego Nikon D7100 przed i po każdej sesji. Zadowolenie pacjentek oceniono po każdej sesji za pomocą specjalnego kwestionariusza.

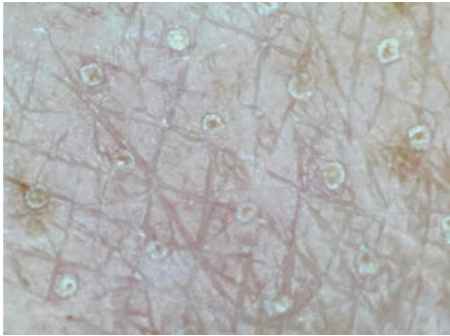


A – Przed kontaktem

B – Krótki kontakt

C – Kratery po kontakcie

Ryc. 2. Schematyczne ujęcie procesu wyparowywania kraterów w skórze za pomocą końcówek termicznych z matrycą piramid. (A) Szybkie dotknięcie tkanki. (B). Krótki kontakt na powierzchni skóry i przeniesienie energii termicznej do tkanki. (C) Wyparowane kratery po wycofaniu końcówki urządzenia. Temperatura 400°C i krótki czas kontaktu ze skórą są identyczne z odpowiednimi parametrami lasera CO_2 i zapewniają reakcję tkanki bardzo podobną do reakcji uzyskiwanej za pomocą lasera CO_2 (lub lasera erbowego).



Ryc. 3. Widok mikroskopowy skóry ludzkiej natychmiast po zabiegu. Widać liczne punkty koagulacji. Parametry: końcówka D, podwójny impuls trwający 9 ms.

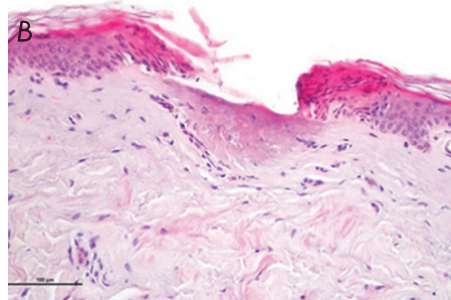
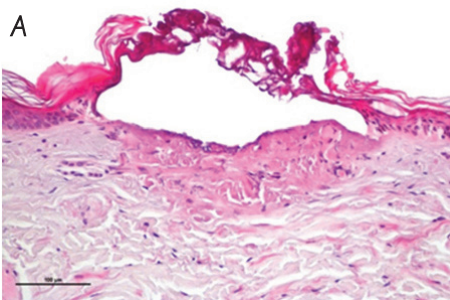
Zespół 2 zakwalifikował 23 pacjentki. 18 z nich zostało poddanych pełnej procedurze zabiegowej, a 5 z nich zrezygnowało z przyczyn niezwiązanych z bezpieczeństwem zabiegów. Pacjentki były w wieku od 50 do 75 lat i posiadały skórę o fototypie II-IV według skali Fitzpatricka. Siedemnaście pacjentek miało uszkodzenia skóry spowodowane promieniami słonecznymi o intensywności od lekkiej po średnią. Leczenie obejmowało 3 zabiegi na całą twarz w odstępie 1-2 miesięcy z dwiema wizytami kontrolnymi – 1-2 miesiące i 3-4 miesiące po trzeciej sesji zabiegowej. Wykonano zabieg na całą twarz (n=18) przy użyciu urządzenia Tixel z koń-

cówką D lub końcówką S przy zastosowaniu pojedynczego impulsu o czasie trwania 9-16 ms. Niniejsze badanie stanowiło przegląd zapisów ocenianych retrospektywnie przez badacza. Każda sesja obejmowała ocenę poziomu bólu podczas zabiegu, czas wyłączenia pacjentki w związku z rekonwalescencją oraz czas, po którym ustępował rumień. Obraz twarzy *en face* oraz z prawego i lewego półprofilu uzyskiwany był za pomocą Canfield Reveal Imager przed i po każdej sesji. Zadowolenie pacjentek oceniane było podczas sesji kontrolnej.

Wszystkie pacjentki po zabiegu stosowały płyny Biafine lub Cicalfate i mogły stosować krem z wysokim filtrem UV (SPF 50) oraz nieperfumowane kosmetyki do makijażu po pojawieniu się mikrostrupków.

We wszystkich przypadkach poziom bólu oceniano według skali od 1 do 10, gdzie 1 oznaczało brak bólu, a 10 oznaczało bardzo dużą bolesność. Zabiegi przy użyciu urządzenia Tixel przeprowadzane były bez stosowania jakichkolwiek substancji znieczulających czy chłodzenia.

Raportowane były: średni czas rekonwalescencji, czas ustąpienia zaczerwienienia i poziom bólu dla wszystkich sesji łącznie.



Ryc. 4. Obraz histopatologiczny po zastosowaniu lasera (A) i urządzenia Tixel (B) natychmiast po zabiegu na skórze ludzkiej. Oba kraterki wykazują wyparowanie naskórka i koagulację skórną warstwy brodawkowej skóry właściwej. Laser (Quanta, YouLaser, 24 W, 36 mJ na zmianę), Tixel (tryb ablacji, końcówka D, podwójny impuls, czas trwania 9 ms).

Obraz histopatologiczny

Wykonano biopsję z przedramion i ramion dwóch ochotników płci męskiej, natychmiast po zabiegu wykonanym za pomocą urządzenia Tixel z zachowaniem serii parametrów. Dodatkowo dla celów porównawczych zastosowano również laser CO₂ (You-tLaser, Quanta, 24 W, 750 μ s, podwójny impuls, gęstość: 100 punktów na cm², 36 mJ na punkt oraz Lumenis 1080 S, CW, 30 W, 50 ms na impuls w połączeniu z frakcyjnym urządzeniem ręcznym Alma Pixel CO₂ Omnifit, ułożenie 9x9 w strefie zabiegu 11x11 mm). Próbki histologiczne zostały poddane ślepej ocenie przeprowadzonej przez histopatologa.

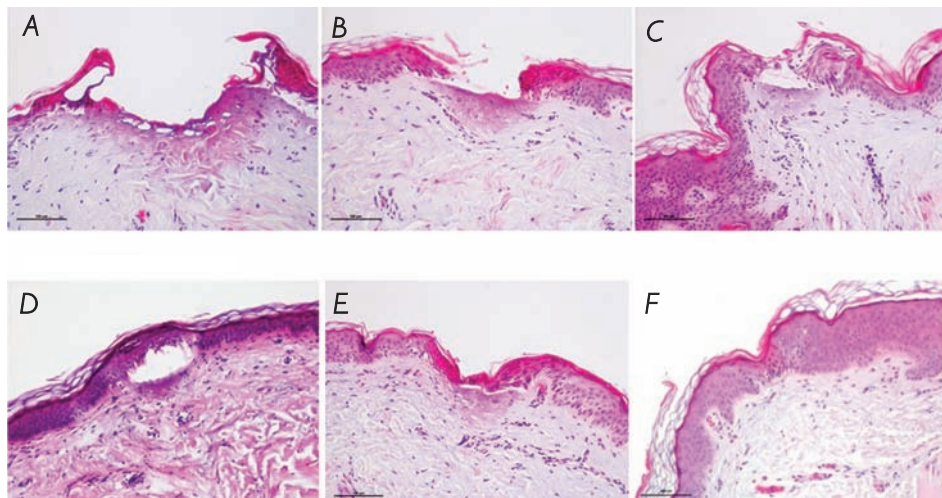
Dodatkowo samica świni domowej (wiek: 7 tygodni, Kibbutz Lahav, Izrael) została poddana *in vivo* potrójnemu zabiegowi przy użyciu urządzenia Tixel na obszarze po-

łożonym w bocznej części grzbietowej. Biopsja skóry została wykonana natychmiast po zabiegu oraz 7 dni po zabiegu. Próbki histologiczne zostały poddane ocenie zaślepionej przez histopatologa. Badanie zostało zatwierdzone przez komisję ds. etyki działu badań przedklinicznych Centrum Medycznego Assaf Harofeh.

Wyniki

Charakterystyka kraterów

Frakcyjna ablacja termo-mechaniczna wykorzystuje podgrzane końcówki do wytworzenia matrycy kraterów w skórze, otoczonych zdrową tkanką (Ryc. 3). Czyste kratery ukazane na rycinie mają średnicę koagulacji ok. 320 μ m na powierzchni skóry, odpowiadającą obszarowi czynnemu ok. 10%.



Ryc. 5. Obrazy histopatologiczne zabiegów przy użyciu urządzenia Tixel przy różnych ustawieniach, bezpośrednio po zabiegu na skórze ludzkiej.

A – końcówka D, impuls podwójny, czas trwania 14 ms.

B – końcówka D, impuls podwójny, czas trwania 9 ms.

C – końcówka D, impuls pojedynczy, czas trwania 9 ms.

D – końcówka S, impuls pojedynczy, czas trwania 14 ms.

E – końcówka S, impuls podwójny, czas trwania 9 ms.

F – końcówka S, impuls pojedynczy, czas trwania 9 ms.

Tab. 1. Podsumowanie charakterystyki kraterów.

Uszkodzenie termiczne μm			Efekt termiczny w		Czas trwania impulsu Tixel	Typ końcówki	Urządzenie
Rycina	Głębokość	Szerokość	Skórze właściwej	Naskórku			
4A	170	330	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Ablacja parowanie	-	-	Laser CO ₂
5A	180	380	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Ablacja parowanie	14 ms, podwójny	D	Tixel
5B	170	160	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Ablacja parowanie	9 ms, podwójny	D	Tixel
5C	160	200	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Ablacja parowanie	9 ms, pojedynczy	D	Tixel
5D	165	210	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Nieablacyjna wakuolizacja koagulacyjna	14 ms, pojedynczy	S	Tixel
5E	170	160*	Koagulacja górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej	Nieablacyjna wakuolizacja koagulacyjna	9 ms, podwójny	S	Tixel
5F	100	100	Norma	Nieablacyjna wakuolizacja koagulacyjna	9 ms, pojedynczy	S	Tixel

* – Wymiar wewnętrznej szerokości krateru.

Tixel a laser

Rycina 4 przedstawia obraz histopatologiczny kraterów utworzonych przez laser i urządzenie Tixel przy typowych parametrach zabiegowych obu urządzeń. Ablacyjny krater utworzony przy użyciu urządzenia Tixel i końcówki D przy podwójnym impulsie o czasie trwania 9 ms porównany jest z kraterem utworzonym przez laser CO₂. Frakcyjna abblacja termiczna przeprowadzona urządzeniem Tixel wytworzyła zmianę o średnicy 160 μm (przy średnicy krateru 320 μm utworzonego przez laser) oraz spowodowała uszkodzenie termiczne z koagulacją warstwy brodawkowatej skóry właściwej (głębokość 170 μm , tak samo jak w przypadku lasera). Chociaż krater utworzony przez urządzenie Tixel i laser CO₂ są bardzo podobne, to jednak te utworzone przez urządzenie Tixel, w odróżnieniu od tych utworzonych przez laser, są wolne od tkanki martwiczej czy zwęglenia.

Różnorodność kraterów tworzonych przez urządzenie Tixel

Właściwości kraterów oraz zakres uszkodzeń termicznych po zabiegach przeprowa-

dzanych za pomocą urządzenia Tixel są ściśle związane z wyborem końcówki, czasem trwania impulsu oraz liczbą powtórzeń impulsu. Końcówka D tworzy krater abblacyjny (Ryc. 5D-F). Tabela 1 podsumowuje główne cechy kraterów utworzonych przy kilku różnych czasach trwania impulsu urządzenia Tixel. Wymiary zmian to szerokość 100-380 μm oraz głębokość 100-180 μm . Obraz histologiczny nie ukazuje krwotoku ani opuchlizny.

Końcówka D powodowała czyste odparowanie naskórka oraz koagulację skóry na głębokości co najwyżej 180 μm , co odpowiada górnej warstwie brodawkowatej skóry właściwej.

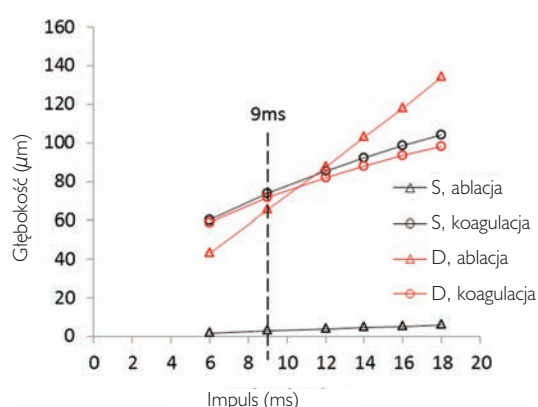
Końcówka S ma łagodniejsze działanie. Skoagulowany naskórek zostaje zachowany, tworząc zasadniczo zaopatrzony krater. Naskórek zostaje skompresowany przez kontakt z końcówką, przestrzeń zewnątrzkomórkowa pomiędzy komórkami powiększa się ze względu na kurczenie się komórek. Zachodzi proces wakuolizacji, a pomiędzy uszkodzonym naskórkiem a skórą właściwą tworzy się szczelina, jak widać na Ryc. 5D i E lub łagodna wakuolizacja, jak na Ryc. 5D. W tym drugim przypadku nie dochodzi do koagulacji górnej warstwy brodawkowatej skóry właściwej z powodu bardzo krótkiego impulsu.

Model termiczny ablacji wykonanej przy użyciu urządzenia Tixel wykazuje zakres odparowania i uszkodzeń termicznych jako funkcję czasu trwania impulsu zarówno dla końcówki S, jak i końcówki D (Ryc. 6). Istnieje ogromna różnica pomiędzy końcówkami S i D w zakresie uszkodzeń ablacyjnych. Symulacja przewiduje, że końcówka D usuwa znaczną ilość tkanki, natomiast końcówka S przeprowadza ablację wyłącznie w minimalnym zakresie. Symulacja dla impulsu pojedynczego o czasie trwania 9 ms jest kompatybilna z wynikami histologicznymi przytoczonymi na Ryc. 5.

Kończówka D, która spowodowała wyparowanie na grubości całego naskórka (Ryc. 5C), wykazuje wyliczoną ablację 65 μm (Ryc. 6, czerwony trójkąt); końcówka S, która spowodowała zmianę nieablacyjną (Ryc. 5F), wykazuje wyliczoną ablację 5 μm (Ryc. 6 czarny trójkąt). Można to wyjaśnić różnicami pomiędzy ich współczynnikami dyfuzji termicznej. Tempo transferu ciepła z końcówki D na tkankę jest znacznie szybsze niż w przypadku końcówki S. Dla czasu trwania impulsu 9 ms model również przewiduje, że ablacja nastąpi w przeciągu pierwszych 0,25 ms dla końcówki D oraz pierwszej 0,01 ms dla końcówki S. Tak więc ablacja tkanki jest bardzo szybkim zjawiskiem w porównaniu do całej długości impulsu. Ponadto uszkodzenia termiczne, które wyliczono na poziomie ok. 74 μm dla obu przypadków (Ryc. 6, kółka) również pasują do obrazu histologicznego. Uszkodzenia koagulacyjne, spowodowane w trakcie przesuwania się końcówki w tkance, określa się za pomocą dyfuzyjności termicznej tkanki a nie dyfuzyjności termicznej końcówki. Ponieważ obie końcówki stykają się z tkanką przez podobny okres czasu, spodziewany jest podobny zakres koagulacji.

Proces gojenia

Zbadano obrazy histologiczne z tego samego dnia, w którym przeprowadzono zabieg przy użyciu urządzenia Tixel oraz po 7 dniach od zabiegu na świni w warunkach *in vivo* (Ryc. 7). Badanie wykazuje pojawienie się krateru o szerokości 250 μm i głębokości 170 μm z ogniskową martwicą naskórka i ogniskową koagulacją skóry poniżej (Ryc. 7A). Po siedmiu dniach obserwuje się regenerację naskórka ze strupem na powierzchni i szczeliną pomiędzy naskórkiem a skórą właściwą (150x50 μm) wypełnioną nowymi fibroblastami i makrofagami (Ryc. 7D), co dowodzi, że proces gojenia zachodzi normalnie. Takie działanie wiąże się z formowaniem nowego kolagenu. Impuls nieablacyjny występuje również wówczas, gdy naskórek i jego warstwa rogowa nie są usuwane w wyniku ablacji (Ryc. 7B). Zamiast tego ulegają one kompresji. Na połączeniu naskórka i skóry właściwej tworzy się szczelina, a w skórze właściwej widać minimalną martwicę powierzchniową. Po siedmiu dniach (Ryc. 7E) następuje zupełna regeneracja naskórka z ogniskowymi strupami na rogowej warstwie i minimalną szczeliną pomiędzy naskórkiem a skórą właściwą z ogni-



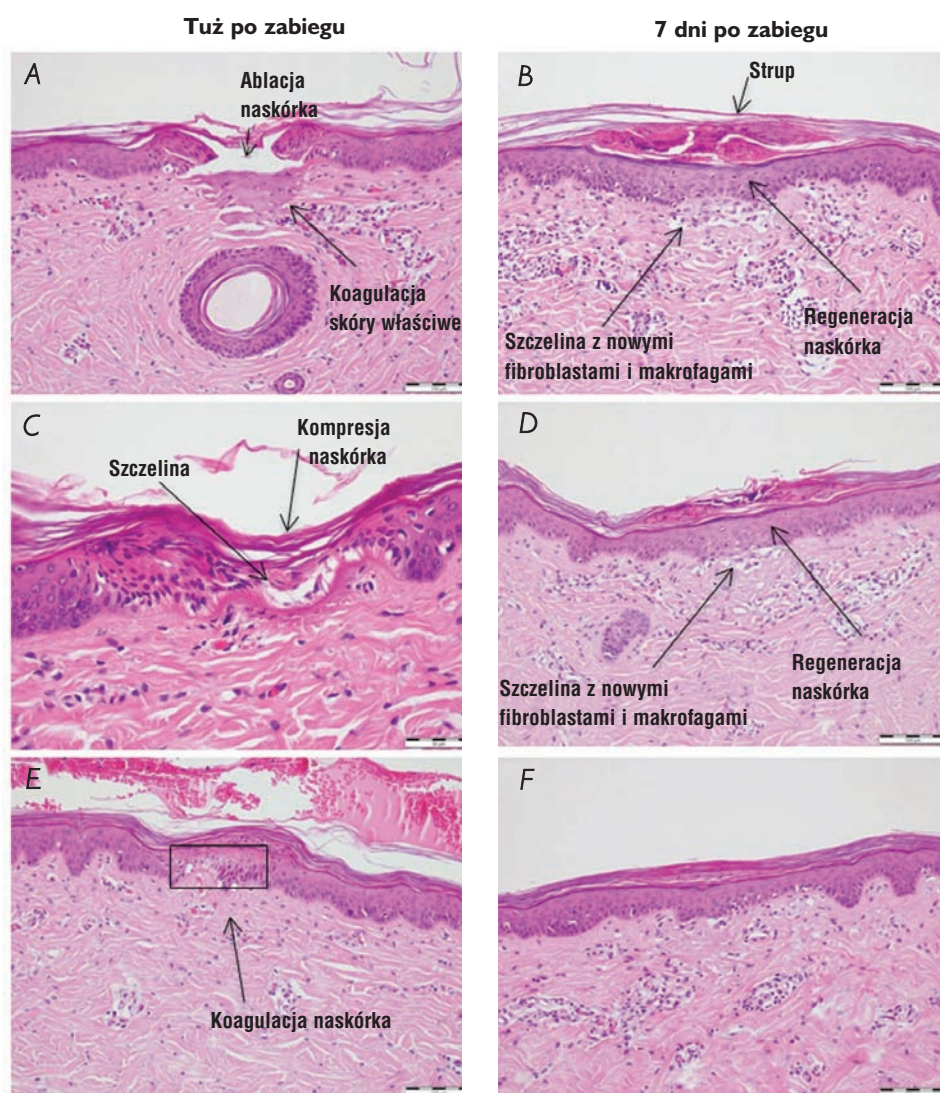
Ryc. 6. Teoretyczny model termiczny dla urządzenia Tixel z końcówkami D i S, wykazujący zakres ablacji tkanki i koagulacji tkanki podczas różnych czasów trwania impulsów.

skową degeneracją kolagenu i infiltracją makrofagów. Krater niskoenergetyczny nieablacyjny wiąże się z minimalnym uszkodzeniem naskórka z wakuolizacją połączenia pomiędzy naskórkiem a skórą właściwą i brakiem koagulacji skóry (Ryc. 7C). Po siedmiu dniach obserwuje się zupełną regenerację naskórka z mini-

malnym strupem i minimalną degeneracją kolagenu (Ryc. 7F).

Wyniki kliniczne

Wszystkie pacjentki (100%) zgodziły się lub całkowicie zgodziły się w obu badaniach,



Ryc. 7. Obraz histologiczny zabiegu za pomocą urządzenia Tixel z końcówką S na skórze świni tuż po zabiegu oraz 7 dni po zabiegu.

A, D – Tryb ablacyjny z wysokoenergetycznym impulsem.

B, E – Tryb nieablacyjny ze średnioenergetycznym impulsem.

C, F – Tryb nieablacyjny z niskoenergetycznym impulsem.

że podczas zabiegów nie ma potrzeby podawania żadnych środków znieczulających ani przeciwbólowych.

Średni poziom bólu odczuwanego przez pacjentki bez środków znieczulających był na poziomie $3,3 \pm 2$ ($n=13$) dla grupy 1 i $3 \pm 1,5$ ($n=56$) dla grupy 2 (skala bólu: 1 minimum do 10 maksimum). Okres wyłączenia pacjenta w związku z rekonwalescencją był krótki w obu grupach, od zera do jednego dnia dla grupy 1 i brak takiego okresu w grupie 2 (91% sesji zabiegowych, $n=57$), niezależnie od zastosowanego typu końcówki. Rumień ustępował po 2-3 dniach w obu grupach, a w kilku przypadkach bardziej agresywnych zabiegów ablacyjnych (tzn. końcówka D, 16 ms) w przeciągu 4-6 dni. W obu grupach pacjentek 75% z nich było zadowolonych lub bardzo zadowolonych podczas wizyty kontrolnej, która odbyła się jeden miesiąc po trzeciej sesji zabiegowej.

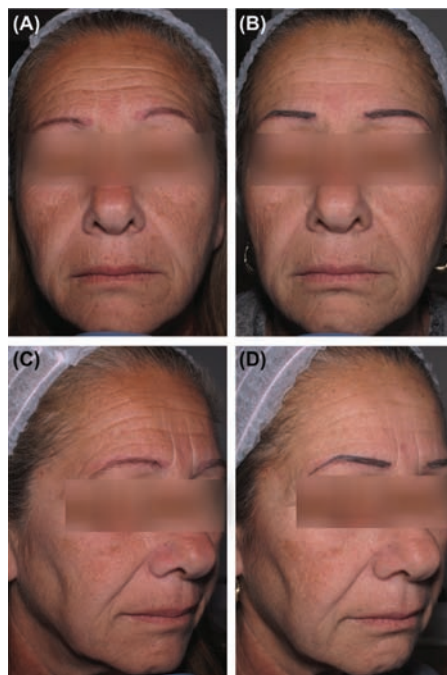
U wszystkich pacjentek nastąpiła poprawa cery i redukcja uszkodzeń spowodowanych działaniem promieni UV. Dodatkowo w grupie 1 u 87%, a w grupie 2 u 69% pacjentek nastąpiło wygładzenie zmarszczek na poziomie ok. 75% w obu grupach (Ryc. 8-10). Wyniki kliniczne podsumowane są w Tabeli 2. Poprawa cery, a w niektórych przypadkach redukcja zmarszczek, były widoczne po pierwszej sesji zabiegowej, przy czym dalsza poprawa następowała po kolejnych sesjach. U jednej pacjentki, która nie poddała się leczeniu profilaktycznemu, uaktywniła się opryszczka. Nie było przypadków krwawienia, bliznowacenia tkanek ani nadmiernej pigmentacji pozapalnej. Ryc. 11 ukazuje rumień bezpośrednio po zabiegu i widoczne mikrostrupki po 5 dniach.

Dyskusja i wnioski

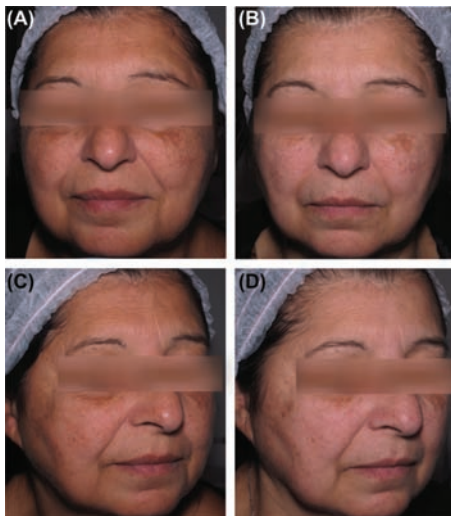
Zabiegi frakcyjne przy użyciu urządzenia Tixel to innowacyjne zabiegi termicznej dermabrazji skóry, które mogą wytworzyć abla-

cyjne i nieablacyjne mikrokratery w skórze. Podgrzanie w tkankach skóry cząsteczek wody do wysokich temperatur za pomocą metalicznej końcówki o wysokim przewodnictwie jest skuteczną metodą odparowania komórek skóry w bezpieczny, dokładny i przewidywalny sposób.

Końcówka D urządzenia Tixel tworzy kratery ablacyjne o bardzo podobnych właściwościach jak te wytwarzane przez lasery frakcyjne CO₂. Przy zastosowanych ustawieniach, końcówka S urządzenia Tixel tworzy nieablacyjne „zamknięte” kratery z termicznym uszkodzeniem sięgającym poniżej warstwy brodawkowatej. Naskórkowy opatrunek krateru przyspiesza gojenie, zapewnia szybką reepitelizację i regenerację naskórka w okolicach zmiany. Ponadto przykrycie



Ryc. 8. Zabieg na całą twarz. (A, C) Przed i (B, D) 4 miesiące po trzeciej sesji zabiegowej przeprowadzonej przy użyciu końcówki D, pojedynczy impuls o czasie trwania 9-14 ms, pojedynczy przebieg. Kobieta w wieku 58 lat, fototyp IV.



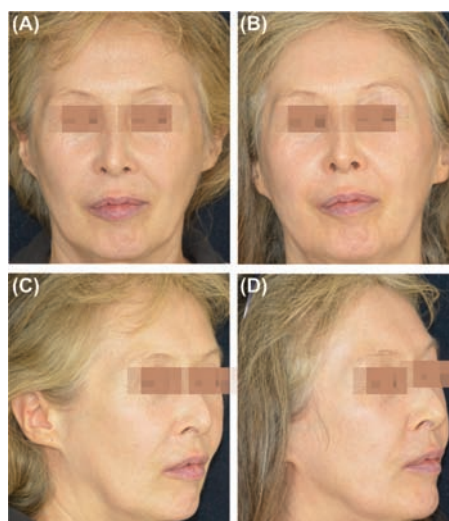
Ryc. 9. Zabieg na całą twarz. (A, C) Przed i (B, D) 4 miesiące po trzeciej sesji zabiegowej przeprowadzonej przy użyciu końcówki D, pojedynczy impuls o czasie trwania 9-14 ms, pojedynczy przebieg. Kobieta w wieku 58 lat, fototyp IV.

krateru może działać jako naturalny fizjologiczny opatrunek chroniący przed infekcją po zabiegu podczas procesu gojenia.

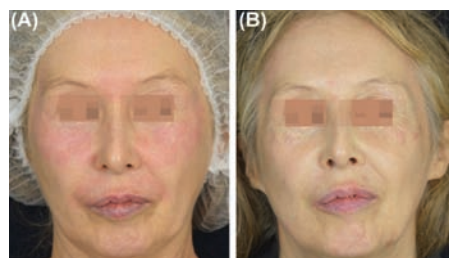
Technologia ta jest bezpieczna i daje dobre rezultaty w zakresie poprawy struktury skóry przy niemalże zerowym czasie wyłączenia pacjenta na czas rekonwalescencji. Kratery o średnicach mniejszych niż średnice kraterów tworzonych przez laser wiążą się z szybszym procesem gojenia. Mając na uwadze fakt, że okres rekonwalescencji jest bardzo krótki, można przeprowadzać dodatkowe, liczniejsze niż w przypadku laserów frakcyjnych ablacyjnych i nieablacyjnych, zabiegi w celu uzyskania lepszych efektów.

Zabiegi wiążą się z niewielkim dyskomfortem dla pacjentki. Urządzenie jest proste w użyciu, ponieważ nie wytwarza dymu, nie ma potrzeby stosowania środków ochrony oczu, jak również nie ma ryzyka przypadko-

wego narażenia pacjenta, lekarza czy innego personelu na niewidzialne promieniowanie laserowe. Poziom bólu podczas zabiegu jest niski, nie wymaga zastosowania kremów znieczulających. W przeciwieństwie do laserów, które wiążą się z koniecznością zastosowania środków znieczulających i chłodzenia, aby obniżyć dolegliwości bólowe pacjenta, pacjenci poddawani kuracji przy użyciu



Ryc. 10. Zabiegi na okolice oczu. (A, C) Przed i (B, D) 1 miesiąc po drugiej sesji zabiegowej przeprowadzonej przy użyciu końcówki D, pojedynczy impuls, 14 ms, jedno przejście. Kobieta w wieku 59 lat, fototyp II.



Ryc. 11. Zabiegi na okolice oczu. (A) Bezpośrednio po zabiegu, (B) 5 dni po zabiegu przeprowadzonym przy użyciu końcówki D, pojedynczy impuls, 14 ms. Kobieta w wieku 59 lat, fototyp II.

Tab. 2. Wyniki kliniczne, grupy 1 i 2.

Liczba pacjentów	26
Poziom bólu podczas zabiegu ^{a,b}	3,1
Czas wyłączenia z powodu rekonwalescencji ^b	0,16 dnia
Ustąpienie rumienia ^b	3,5 dnia
Zadowolenie pacjenta	75%
Wygładzenie zmarszczek ^c	75%

^a W skali od 1 minimalny do 10 maksymalny, bez środków znieczulających ani przeciwbólowych.

^b Średni wynik.

^c Udział procentowy pacjentek, u których nastąpiło wygładzenie zmarszczek.

urządzenia Tixel nie prosili o środki przeciwbólowe podczas zabiegów ani po nich. Niski poziom bólu jest prawdopodobnie wynikiem kilku czynników: (a) mniejszej średnicy kraterów w porównaniu do kraterów tworzonych po zastosowaniu laserów; (b) chociaż ogólna wartość energii przyłożonej na krater jest podobna do lasera, urządzenie Tixel wykorzystuje ułamek gęstości energii; (c) Podczas jednego kroku trwającego ok. 15 ms tworzona jest cała matryca 81 kraterów, podczas gdy pojedynczy promień lasera o znacznie wyższej gęstości energii stosowany jest przez czas 0,5 ms i powtarzany do 100 razy, aby wytworzyć obszary leczenia o powierzchni 1 cm². Ta nowa technologia powinna być przedmiotem dalszych badań, niemniej jednak niniejsza ocena kliniczna dostarczyła ilościowych i jakościowych danych, które dają możliwość pojęcia możliwości urządzenia Tixel.

Podsumowując, Tixel to obiecujący wszechstronny system frakcyjny, który może być stosowany do ablacyjnej i nieablacyjnej poprawy struktury skóry.

Uwaga

Niektóre aspekty technologii ablacji termo-mechanicznej są opatentowane, a dodatkowo innych zgłoszenia patentowe oczekują na rejestrację.

Deklaracja o braku konfliktu interesów

Wszyscy autorzy oświadczają, że nie dotyczy ich konflikt interesów w związku z niniejszym artykułem. Autorzy mogą być wynagrodzeni w przyszłości przez spółkę.

Piśmiennictwo:

- 1. Railan D, Kilmer S. Ablative treatment of photoaging. Dermatol Ther. 2005;18:227–241.
- 2. Bronz G. Clinical uses of CO2 lasers in plastic surgery. Aesthetic Plast Surg. 2001;25:313–325.
- 3. Saluja R, Koury J, Detwiler S, Goldman M. Histologic and clinical response to varying density settings with fractionally scanned carbon dioxide laser. J Drugs Dermatol. 2009;8:17–20.
- 4. Choi B, Chan EK, Barton JK, Thomsen SL, Welch AJ. Thermographic and histological evaluation of laser skin resurfacing scans. IEEE Journal of selected topics in Quantum electronics. 1999;5: 1116–1126.
- 5. Lask G, Elman M, Fournier N, Slatkine M. Fractional vaporization of tissue with an oscillatory array of high temperature rods – Part I: Ex vivo study. J Cosmet Laser Ther. 2012;5:218–223.