

9

Zastosowanie stałokrystalicznego (półprzewodnikowego) lasera Katana LaserSoft w chirurgii refrakcyjnej

Matteo Piovella, Fabrizio I. Camesasca i Barbara Kusa

Zastosowanie techniki laserowej w chirurgii refrakcyjnej stało się w ciągu ostatnich 20 lat bardzo powszechne. Wprowadzenie koncepcji – takich jak analiza czoła fali i zindywidualizowana ablacja – wymagało wielokierunkowego opracowania prowadzącego do zwiększenia precyzji leczenia. Obecność laserów półprzewodnikowych w chirurgii okulistycznej oznacza zwiększenie wydajności energii, jak również zmniejszenie rozmiarów i kosztów. Obecnie lasery półprzewodnikowe nowej generacji wytwarzające promieniowanie ultrafioletowe stają się dostępne dla chirurgii refrakcyjnej, w tym takie lasery jak LaserSoft i CustomVis^{1, 2}.

APARATURA

Dobrym przykładem lasera stałokrystalicznego półprzewodnikowego stosowanego w chirurgii refrakcyjnej jest LaserSoft – całkowicie stałokrystaliczny laser UV o ciągłej fali wprowadzony ostatnio przez firmę Katana Technologies (ryc. 9.1). Laser stałokrystaliczny nie jest laserem ekscymerowym, ponieważ promieniowanie laserowe UV generowane jest przez konwersję nieliniowej częstotliwości światła podczerwonego lasera. Konwersja sekwencyjnej częstotliwości nieliniowych kryształów zmienia długość fali promieniowania lasera w zakres 208–210 nm. Budowa rezonatora oraz system wytworzenia wiązki zapewniają emisję promieniowania lasera z TEM₀₀ transwersalnego modu. Fala ciągła diody wzbudzonej zapewnia wytworzenie stałych kolejnych impulsów UV z imponująco długotrwałą stabilnością.

Zastosowanie wiązki Gaussa oznacza doskonałą dystrybucję punktu światła UV na rogówce oraz możliwość nakładania na siebie pojedynczych punktów ablacji w łączny profil ablacji, który jest gładki niż ten wytworzony przez punkty w spłaszczonym profilu. Ponieważ punkty gaussowskie są właściwie generowane przez rezonator lasera podczerwonego, i niezmiennie przez procesy nieliniowej konwersji, nie są potrzebne żadne do-



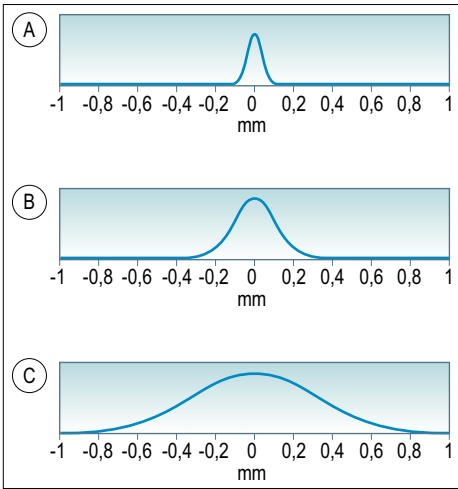
■ **RYCINA 9.1** Laser stałokrystaliczny LaserSoft (dzięki uprzejmości firmy Katana).

datkowe elementy tworzące wiązkę, jak to jest w laserze ekscymerowym.

W przeciwieństwie do laserów ekscymerowych, w laserze stałokrystalicznym nie zachodzą procesy wymiany i rozkładu gazu, które mają związek z destabilizacją wyjściowego promieniowania wynikającą z właściwości fizycznych procesu rozkładu. Dostępność półprzewodników zmniejsza wymagania co do obsługi technicznej oraz koszty, zapewniając wysoką trwałość i długą żywotność urządzenia.

Urządzenie lasera stałokrystalicznego generuje latający punkt o średnicy 0,2 mm z częstotliwością 1 kHz (ryc. 9.2). Dzięki tej wysokiej częstotliwości energia przypadająca na impuls jest niższa niż w standardowym leczeniu laserem ekscymerowym. Ablacja ma znacznie zredukowaną falę uderzeniową i nie słychać żadnego dźwięku spowodowanego ablacją lub impulsami lasera. Cała procedura przebiega w ciszy, zapewniając pacjentowi poczucie bezpieczeństwa, bez ryzyka nagłego poruszenia się wywołanego głośnym dźwiękiem.

Do pełnego wykorzystania możliwości zindywidualizowanej ablacji bardzo szybkie lasery, takie jak Laser-



■ **RYCINA 9.2** Porównanie wielkości latającego punktu w laserach półprzewodnikowych i tradycyjnych ekscymerowych. (A) LaserSoft; (B) lasery ekscymerowe nowej generacji; (C) lasery ekscymerowe starej generacji.

Soft, potrzebują szybkiego systemu monitorującego ruch oka (lokalizator oka). Lokalizator oka (*eye tracker*) w LaserSoft (1 ms latencji, częstotliwość 1 kHz) zapewnia właściwą centrację ablacji w osiach *x-y* oraz rotację oka z wysoką powtarzalnością. Ten szybki system monitorujący ruch oka wykorzystuje pierścieni z referencyjnymi punktami optycznymi, uwzględniając wyjątkowo krótką latencję (ryc. 9.3), ponieważ punkt referencyjny pozwala na użycie analogowego monitorowania bliskości, ograniczone przez szerokość pasma analogowych systemów pozycjonowania. Ten pierścieniowy system może być używany zarówno w zabiegach LASIK, jak i w PRK; nie wymaga rozszerzenia źrenicy oraz uwzględnia cyklotrację. Wszystkie te cechy sprawiają, że laser stałokrystaliczny jest idealnym narzędziem do wykonywania dokładnej zindywidualizowanej ablacji.

Profile ablacji stosowane obecnie w tych laserach są zaprojektowane tak, aby zachować silnie asferyczną fizjologiczną krzywiznę rogówki, jak również zminimalizować indukcję aberracji sferycznej. Różnice odbłasków i płynne wartości dla różnych kątów występujące podczas ablacji promieniem lasera w trakcie zabiegu zostały również uwzględnione w algorytmie ablacji.

W tab. 9.1 przedstawiono różnice pomiędzy powszechnie używanymi laserami ekscymerowymi oraz laserem stałokrystalicznym (półprzewodnikowym). Obecnie laser stałokrystaliczny jest przykładem licznych, znaczących nowości technicznych wykorzystywanych w laserach stosowanych w chirurgii refrakcyjnej.

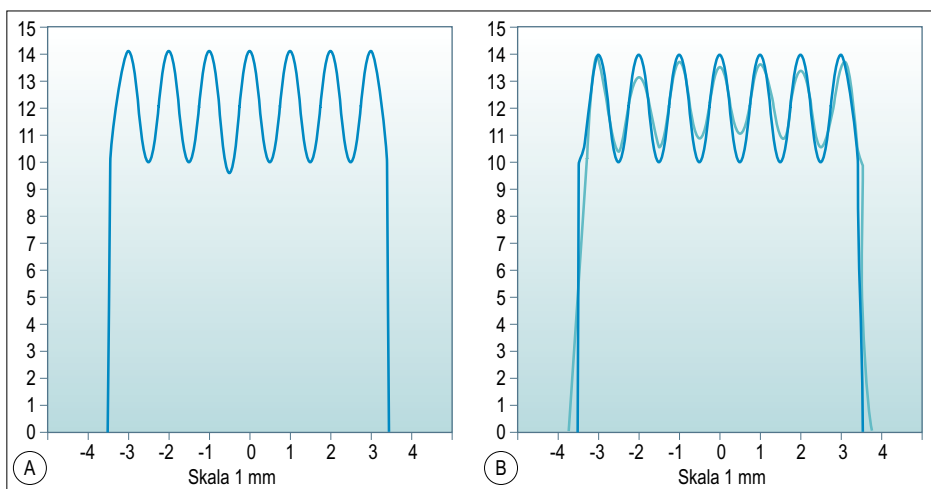
Niezmiernie ważną cechą dostępnych na rynku laserów ekscymerowych jest jednomilimetrowy latający punkt. Punkty te nie są nigdy mniejsze niż 0,65 mm, dlatego obszar ablacji punktowej jest znacznie szerszy niż w laserze stałokrystalicznym (ryc. 9.4).



■ **RYCINA 9.3** Pierścień z referencyjnymi punktami optycznymi do monitorowania oka.

TABELA 9.1 Laser ekscymerowy w porównaniu z laserem stałokrystalicznym w chirurgii refrakcyjnej

	Popularny laser ekscymerowy	Laser stałokrystaliczny
Wielkość punktu (mm)	0,8–1,0	0,2
Jakość wiązki	Wielomodowy (dodatki optyczne do oczyszczenia wiązki ekscymerowej)	Pojedynczy mod (gaussowski)
Częstotliwość	50–500 Hz	1 kHz
Szybkość monitorowania oka	Okolo 150 Hz	Ponad 1 kHz



■ **RYCINA 9.4** Końcowy profil ablacji (siatka): wielkość punktu (A) 0,2 mm i (B) 0,8 mm (za duży do dorównania profilowi).

Użycie lasera ekscymerowego o zwyczajnej częstotliwości i wielkości punktu 0,2 mm oznaczałoby bardzo długi czas zabiegu i problemy z całkowitą precyzją wynikające z ruchów oka. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom technicznym częstotliwość lasera stałokrystalicznego jest znacznie większa niż laserów ekscymerowych.

Lasery półprzewodnikowe wydają się łatwiejsze w użyciu w chirurgii refrakcyjnej, a ich obsługa techniczna jest mniej skomplikowana.

WSKAZANIA I PRZECIWSKAZANIA

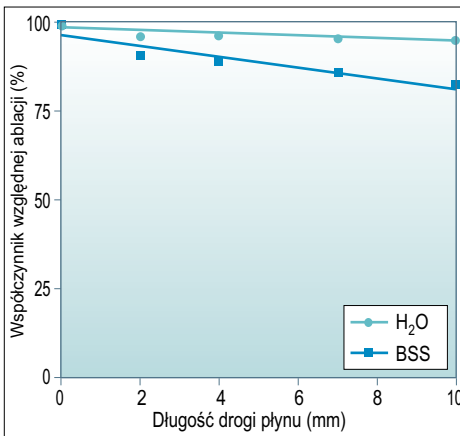
LaserSoft jest urządzeniem, którego można z powodzeniem używać zarówno w zabiegach LASIK, jak i PRK, podobnie jak obecnie dostępnych laserów ekscymerowych. Jak w innych laserach, przed rozpoczęciem leczenia krótkowzroczności powyżej $-7,00$ dioptrii zaleca się:

- dokładną ocenę grubości rogówki,
- ocenę przedniej i tylnej krzywizny rogówki,
- natomiast $+3,00$ dioptrie należy przyjąć za górną granicę nadwzroczności możliwej do skorygowania.

Biorąc pod uwagę, że promieniowanie nie jest istotnie ograniczane przez płyn, taki jak roztwór BSS czy Laser-Vis, autorzy nie zalecają zabiegu PRK z użyciem LaserSoft (ryc. 9.5). Teoretycznie, LaserSoft z jego bardzo małym punktem jest idealnym laserem do przeprowadzenia zindywidualizowanej ablacji; trwają obecnie badania w tym kierunku (ryc. 9.6).

TECHNIKA CHIRURGICZNA

Autorzy wykonują zabieg LASIK po wytworzeniu 160-mikrometrowej klapki. Leczenie za pomocą LASIK wymaga pierścienia stabilizującego z podpórką na klapkę



■ **RYCINA 9.5** Na ablację laserem LaserSoft nie ma wpływu ani woda, ani roztwór BSS. Współczynnik względnej ablacji wynosi 210 nm.