

# Operacja zaćmy z użyciem lasera femtosekundowego

LINGMIN HE<sup>a</sup>, KATRINA SHEEHY<sup>b</sup>, WILLIAM CULBERTSON<sup>c</sup>

## Cel pracy

W 2010 r. Agencja ds. Żywności i Leków (Food and Drug Administration, FDA) zarejestrowała laser femtosekundowy do stosowania w operacjach usunięcia zaćmy. Opisywana technologia, dostępna na rynku od 2011 r., może znacząco wpłynąć na rozwój techniki operacyjnej usunięcia zaćmy.

## Ostatnie odkrycia

Lasery femtosekundowe oferują chirurgom możliwość wykonywania bardzo precyzyjnych cięć na wybranym obszarze gałki ocznej bez uszkodzania tkanek otaczających. Opisywana technologia znacząco zmieniła chirurgię refrakcyjną, a obecnie oczekuje się podobnych zmian w chirurgii zaćmy. Trzy firmy, OptiMedica, LenSx (zakupiona przez Alcon we wrześniu 2010 r.) oraz LensAR, na różnych etapach procesu certyfikacji FDA opracowują systemy lasera femtosekundowego przystosowane do operacji zaćmy.

## Podsumowanie

W niniejszym artykule podkreślono korzyści wynikające z zastosowania lasera femtosekundowego podczas operacji usunięcia zaćmy, przedstawiono wstępne wyniki porównania układów LensAR, LenSx/Alcon i OptiMedica oraz wczesne wyniki kliniczne leczenia.

## Słowa kluczowe

kapsulotomia, laser femtosekundowy, fragmentacja, laserowa operacja zaćmy, koherentna tomografia optyczna, refrakcyjna operacja zaćmy

## Wprowadzenie

Lasery są wykorzystywane w operacjach zaćmy od lat 70. ubiegłego wieku. W 1975 r. Krasnov [1] opisał zastosowanie szybkozmiennego lasera rubinowego (Q-switched ruby laser, QSR) (694 nm) w celu wytworzenia mikrootworów w torebce przedniej soczewki, co pozwoliło na stopniowe uwolnienie i postępujące z czasem wchłanianie materiału soczewki. Po opublikowaniu tych wstępnych doniesień, a przed zastosowaniem laserów pracujących w zakresie podczerwieni w latach 80. XX wieku, zainteresowano się wykorzystaniem laserów ultrafioletowych (193–351 nm), ułatwiających operacje usunięcia zaćmy [2]. Laser Nd: YAG (neodymium-doped yttrium aluminium garnet laser)

po raz pierwszy zastosowano podczas kapsulotomii tylnej w oczach pseudofakijnych, irydotomii obwodowej i lizy błon źrenicznych [3,4]. W tym samym czasie Aron-Rosa i Aron [5] wykonywali za jego pomocą kapsulotomię przednią poprzedzającą tradycyjną operację. Stwierdzili, że owe pionierskie zabiegi znacząco zmniejszyły częstość występowania zmętnienia torebki tylnej soczewki u chorych leczonych kapsulotomią laserową (3,27 vs 50%), co zaintrygowało i zachęciło do dalszych badań. Natomiast przednia kapsulotomia laserowa nigdy nie zyskała większej popularności z powodu problemów związanych ze stanem zapalnym, wzrostem ciśnienia wewnątrzgałkowego (intraocular pressure, IOP) oraz słabym rozszerzaniem źrenicy po zabiegu [2].

<sup>a</sup>Department of Ophthalmology, Stanford University, Stanford, Kalifornia, Stany Zjednoczone

<sup>b</sup>OptiMedica Corporation, Santa Clara, Kalifornia, Stany Zjednoczone

<sup>c</sup>Bascom Palmer Eye Institute, University of Miami, Miami, Floryda, Stany Zjednoczone

Adres do korespondencji: William Culbertson, MD, Bascom Palmer Eye Institute, University of Miami, 900 NW, 17th Street, Miami, FL 33136, USA; e-mail: wculbertson@med.miami.edu

*Current Opinion in Ophthalmology* 2011, 22:43–52

Potem lasery zaczęto wykorzystywać podczas fakoemulsyfikacji i fotolizy. Wstępne badanie Peyman i Katoh [6] poświęcili bezpośredniemu skupieniu wiązki światła na jądrze soczewki, co powodowało optyczny rozpad materiału soczewki. Następnie wykorzystano w tym celu laser erbowo-yagowy o różnych poziomach dostarczania energii i czasie trwania impulsu, by zmniejszyć ilość uwalnianej energii, a dzięki temu liczbę utraconych komórek śródbłonna [2]. W kolejnych układach lasera Nd:YAG, takich jak Dodick Photolysis System lub urządzenia Paradigm Medical Industries, energia lasera jest przekazywana do anody tytanowej stanowiącej część złożonej głowicy laserowo-aspiracyjnej [7]. Pozwala to na wytworzenie fali plazmowej na końcu anody przy niższych poziomach energii. Fala plazmowa powoduje rozpad optyczny, a kolejno generowane fale wstrząsowe ułatwiają akustyczne rozbićcie mas zmętniałej soczewki [8]. W badaniach klinicznych, podczas których wykorzystywano te układy, obserwowano zmniejszenie całkowitej ilości uwalnianej energii, skrócenie średniego czasu trwania operacji i ograniczenie powikłań pooperacyjnych, a jednocześnie poprawę ostrości wzroku [9]. Metoda ta nie stała się jednak powszechna, ponieważ preferowana jest fakoemulsyfikacja.

## Lasery femtosekundowe

W laserach femtosekundowych wykorzystuje się krótszy czas trwania impulsu na poziomie  $10^{-15}$  s, w porównaniu z trwającym  $10^{-9}$  s impulsem stosowanym podczas fotokoagulacji (laser argonowy), fotoablacji (laser ekscymerowy) i fotodysrupcji (Nd:YAG). Ponieważ moc urządzenia jest funkcją energii w jednostce czasu, krótszy czas trwania impulsu dodatkowo zmniejsza wydatek energetyczny niezbędny do osiągnięcia określonego celu [10]. Ta cecha laserów femtosekundowych jest szczególnie ważna w operacjach zaćmy, w trakcie których oszczędzenie takich struktur gałki ocznej, jak rogówka, tęczęwka, więzadełka Zinna i torebka soczewki, ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania dobrych wyników leczenia. Cięcia laserowe polega wyłącznie na odparowaniu (waporyzacji) tkanki. Znaczne skupienie energii lasera powoduje utworzenie się plazmy, a następnie pęcherzyka kawitacyjnego, który się powiększa i zapada oddzielając tkankę [10]. Ponieważ promieniowanie lasera emitującego falę w bliskiej podczerwieni nie jest pochłaniane przez optycznie przezierną tkankę, można je skupiać precyzyjnie na różnej głębokości w obrębie komory przedniej oka.

Lasery femtosekundowe po raz pierwszy udostępniono chirurgii refrakcyjnej w 2001 r. Wykorzystano je wówczas do wytworzenia płatkę podczas zabiegu LASIK (Laser

In-Situ Keratomileusis) [11,12]. Płatki wytwarzane z użyciem laserów femtosekundowych były powtarzalne i jednorodnie, ich grubość i wyśrodkowanie były bardziej zbliżone do zaplanowanych, a profil bezpieczeństwa korzystniejszy od profilu płatków wykonywanych keratometem ręcznym. Od tamtej pory zastosowanie laserów femtosekundowych rozszerzono o inne operacje rogówki, a od niedawna również o operacje usunięcia zaćmy [13].

## Konieczność zapewnienia precyzji i bezpieczeństwa podczas operacji zaćmy

W 2006 r. w Stanach Zjednoczonych operacja zaćmy była głównym zabiegiem wykonywanym ambulatoryjnie. Przeprowadzono ich około 3 miliony [14]. W miarę starzenia się populacji liczba ta będzie się zwiększać. W 2004 r. Eye Diseases Prevalence Research Group oszacowała występowanie zaćmy obecnie lub w przyszłości u 20,5 miliona Amerykanów w 2000 r. i u 30,1 miliona Amerykanów w 2020 roku [15]. Do niedawna głównym celem chirurgii zaćmy było uzyskanie widzenia czynnościowego na poziomie 20/40 lub lepszym z dokładnością do  $\pm 1$  dioptrii. W 2006 r. podczas badania przeprowadzonego w Wielkiej Brytanii określono standardy dokładności korekcji wad refrakcji w zdrowych oczach po operacji usunięcia zaćmy na  $\pm 0,50$  dioptrii w 55% przypadków i  $\pm 1,00$  dioptrii w 85% przypadków [16]. Po zastosowaniu dostępnych obecnie metod biometrycznych i chirurgicznych w innym z badań stwierdzono osiągnięcie zakresu 0,5 dioptrii w odniesieniu do docelowej refrakcji pooperacyjnej zaledwie u 45% chorych, a u 6% chorych resztkowa wada refrakcji przekracza 2 dioptrie [17]. Dzięki wprowadzeniu wielogniskowych i akomodujących soczewek wewnątrzgałkowych, wcześniejszemu zgłaszaniu się chorych na operację oraz mniejszej tolerancji upośledzenia widzenia, okuliści zajmujący się chirurgią zaćmy muszą stawić czoła coraz większym oczekiwaniom chorych dotyczącym wyników korekcji wady refrakcji. Obecnie celem chirurgicznego leczenia zaćmy jest uzyskanie stanu zbliżonego do normowzroczności. Podobnie jak procedura LASIK, technologia wykorzystująca laser femtosekundowy może pozwolić na uzyskanie nadzwyczajnych korzyści w postaci powtarzalności i bezpieczeństwa procedury oraz odpowiedniego wyśrodkowania kapsulotomii, zapewniając w ten sposób niezbędną dokładność i precyzję pozwalającą uzyskać lepsze wyniki leczenia zaćmy niż w przypadku obecnie stosowanych w praktyce klinicznej metod. Dostępne układy są przystosowane do wykonywania czterech procedur,

do których należą: kapsulotomia, rozkawałkowanie jądra soczewki, nacięcia relaksacyjne służące korekcji astygmatyzmu oraz otwarcia komory przedniej w obrębie przezroczystej rogówki (clear corneal incision, CCI), wśród których są otwarcie główne oraz paracenteza. Wszystkie cięcia zostaną szczegółowo omówione w dalszej części artykułu.

### Kapsulotomia

Zastosowanie lasera femtosekundowego może zrewolucjonizować chirurgię zaćmy dzięki dokładności przeprowadzanej tą metodą kapsulotomii lub kapsuloreksji (ryc. 1). Wyniki badań wykazały znaczenie wielkości kapsuloreksji dla optymalizacji położenia soczewki wewnątrzgałkowej (intraocular lens, IOL). Jeśli stosowano jednoczęściowe asferyczne IOL, wykonanie niewielkiej kapsuloreksji (<5,5 mm) powodowało włóknienie torebki przedniej i nadwzroczność [18]. Natomiast po wykonaniu zbyt dużej kapsuloreksji torebka niedostatecznie pokrywa IOL, częściej też zdarzają się decentracje oraz zmętnienie torebki tylnej soczewki, wymagające czasem wymiany soczewki [19-21]. Wykorzystywanie akomodującej IOL wykonanej w technologii dual-optic, której przednia część optyczna jest poruszana za pomocą sił wywieranych przez ciało rzęskowe, wymaga wykonania kapsuloreksji całkowicie pokrywającej jej brzeg, by zapobiec wychyleniu się przedniej części optycznej implantu poza torebkę soczewki [22,23]. Inne akomodujące IOL wymagają z kolei większych kapsulotomii w celu umożliwienia odchylenia się implantu [24-27]. Wytworzenie precyzyjnych i przewidywalnych kapsulotomii powinno zmniejszyć częstość występowania wymienionych wyżej powikłań (ryc. 2). Symetryczne, jednorodne włóknienie i gojenie się rany pooperacyjnych może być również istotne dla wyników uzyskiwanych w przypadku akomodujących IOL, których działanie opiera się na ruchu wzdłuż osi przednio-tylnej oka uzyskiwanym dzięki symetrycznym skurczom mięśnia rzęskowego.

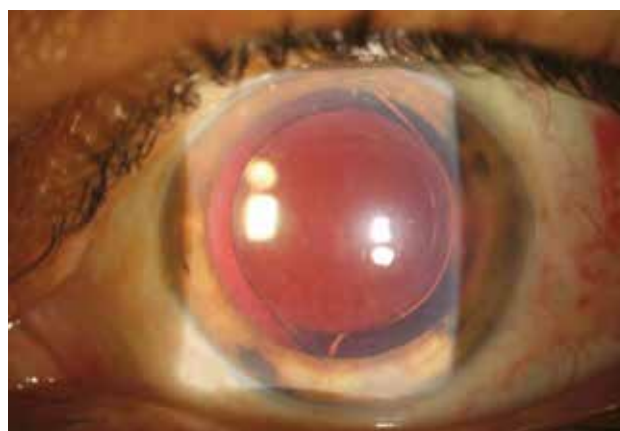
Charakterystyka kapsulotomii jest niezwykle ważna dla oszacowania efektywnego położenia soczewki w oku (effective lens position, ELP). Wartość ELP uzyskuje się na podstawie empirycznych danych, takich jak stała A i czynnik zależny od operatora wynikający z rodzaju stosowanej techniki operacyjnej. W jednym badaniu stwierdzono, że wielkość kapsuloreksji bezpośrednio wiąże się z ELP [28]. Zmienność ELP uznano za największą przyczynę błędów w przewidywaniu refrakcji pooperacyjnej na podstawie kalkulacji mocy IOL [29]. Różnica położenia soczewki wynosząca zaledwie 1 mm może zmienić wadę refrakcji o około 1,25 dioptrii [18,30,31]. Dla torycznych i wie-



**Rycina 1. Kapsulotomia laserowa**

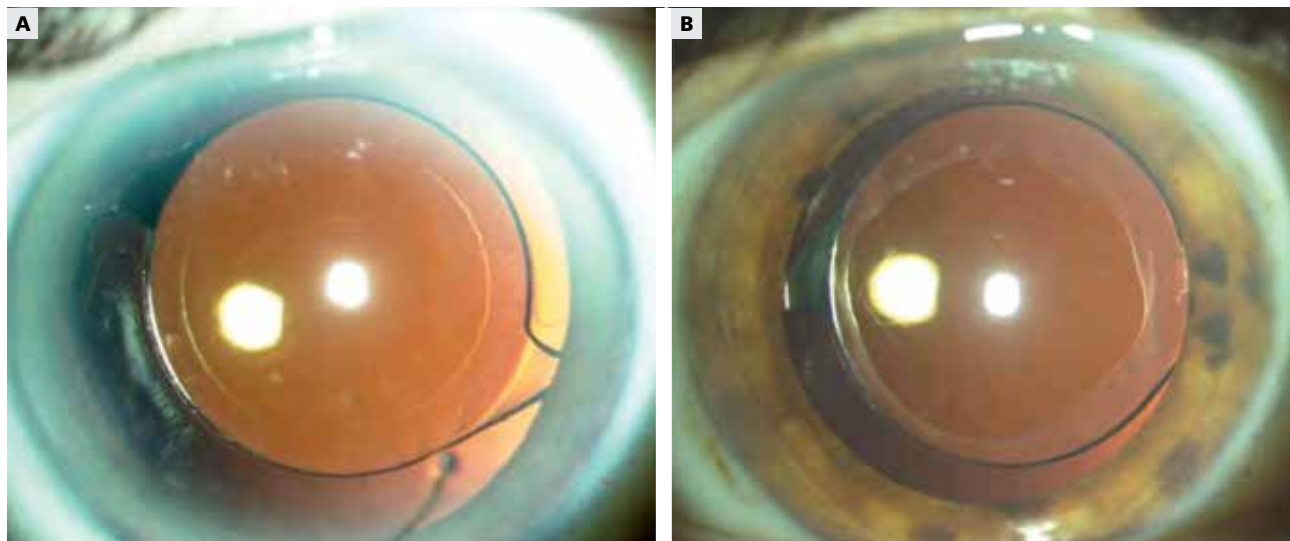
Obraz z systemu wideo w bliskiej podczerwieni z użyciem systemu Catalys ukazujący precyzyjnie wymierzoną, wymodelowaną i umiejscowioną kapsulotomię laserową.

loogniskowych IOL granica błędu jest nawet mniejsza. Poza z trudem tolerowanymi zaburzeniami, takimi jak halo lub koma, pochylenie, decentracja lub rotacja IOL mogą wyraźnie zmienić spodziewany wynik leczenia operacyjnego [21,32,33]. Uważa się, że powtarzalna kapsulotomia



**Rycina 2. Soczewka wewnątrzgałkowa z kapsulotomią laserową**

Obraz w lampie szczelinowej po operacji ukazujący kapsulotomię laserową z równomiernym nałożeniem na część optyczną soczewki wewnątrzgałkowej.



**Rycina 3. Miesiąc po zabiegu**

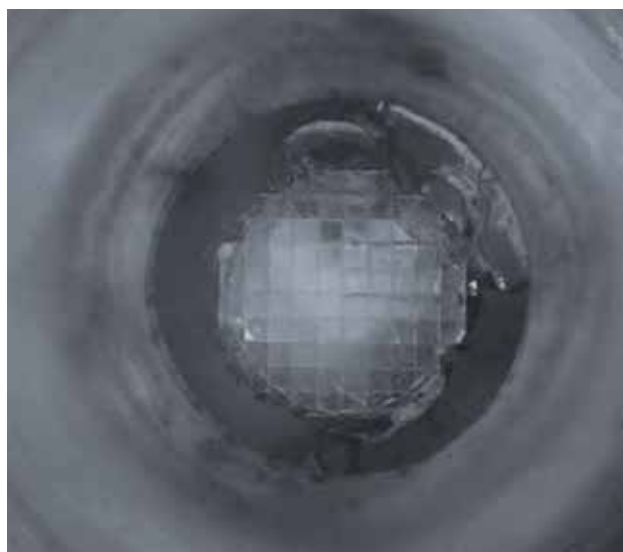
Porównanie kapsulotomii laserowej i ręcznej. (A) Widok w lampie szczelinowej po miesiącu od kapsulotomii i wszczępienia soczewki wewnątrzgałkowej. (B) Widok w lampie szczelinowej po miesiącu od ręcznej kapsuloreksji i wszczępienia soczewki wewnątrzgałkowej.

pomaga w wyśrodkowaniu IOL. Dzisiejsze technologie oferują narzędzia ułatwiające wyśrodkowanie kapsuloreksji, inne niż znaczniki anatomiczne, takie jak położenie źrenicy lub krawędzi rąbka. Zastosowanie lasera femtosekun-

dowego pozwala na wykonanie kapsulotomii o dokładnie określonej wielkości i centracji, dzięki czemu umieszczenie IOL częściej jest zgodne z przewidywaniami (ryc. 3).

### Fragmentacja soczewki

Lasery femtosekundowe mogą być wykorzystywane w celu rozkawałkowania jądra soczewki. Ich zastosowanie pozwala operatorowi na pominięcie trudnych etapów zabiegu, polegających na żłobieniu i rozdzielaniu fragmentów soczewki, w trakcie których najczęściej dochodzi do powikłań [34-36]. Ponadto szablon cięć można nanieść na jądro soczewki w celu zmiękczenia twardszych zaćm (ryc. 4). Postępowanie to umożliwia uwalnianie mniejszej energii ultradźwiękowej podczas fakoemulsyfikacji, dzięki czemu zmniejsza się ryzyko wystąpienia powikłań torebkowych oraz uszkodzeń śródbłona rogówki [37-39]. Ograniczenie liczby stosowanych narzędzi, ruchów wewnątrz gałki ocznej oraz manipulacji soczewką zwiększa bezpieczeństwo zabiegu. Możliwa jest również optymalizacja dynamiki irygacji/aspiracji, zmniejszająca ruch, sprężynowanie i wychylanie się tęczęwki.



**Rycina 4. Laserowe rozkawałkowanie jądra soczewki**

Obraz wideo w bliskiej podczerwieni z użyciem systemu Catalys ukazujący rozkawałkowanie jądra soczewki w odstępach wynoszących 500 µm.

### Nacięcia relaksacyjne

Laser femtosekundowy umożliwia wykonanie rogówkowych lub rąbkowych nacięć relaksacyjnych (limbal relaxing incision, LRI), korygujących astygmatyzm do poziomu 3,5 dioptrii, na drodze spłaszczenia stromego południka rogówki, co eliminuje źródło wady refrakcji [40]. Ręczne

wykonywanie nacięć jest trudne technicznie, dlatego LRI są stosowane zaledwie u niewielkiego odsetka operowanych. Niewielka niezgodność astygmatyzmu rogówkowego oraz umiejscowienia LRI wynosząca 5° zmniejsza skuteczność zabiegu aż o 17% [40]. Niejednorodne wyniki LRI wykonywanych tradycyjnie są skutkiem zmniejszonej precyzji dotyczącej głębokości, osi, długości łuku i strefy optycznej, w obrębie której są one przeprowadzane. Można przypuszczać, że większa dokładność jaką gwarantuje laser femtosekundowy może poprawić wiarygodność wyników leczenia tą metodą.

### Otwarcia w przezierniej rogówce

Wykonanie samouszczelniających CCI jest najchętniej stosowaną metodą otwarcia komory przedniej oka, wykorzystywaną przez 72% okulistów w Stanach Zjednoczonych ze względu na lepsze rezultaty w zakresie widzenia i szybszą rekonwalescencję [41,42]. Uważa się jednak, że ryzyko zapalenia wnętrza gałki ocznej jest większe w przypadku stosowania CCI [43]. Ten sposób otwarcia komory przedniej odpowiada za obserwowane rozwarstwienie rany od strony komory przedniej oraz odłączenia błony Descemeta [44]. Otwarcia wykonywane laserem w mniejszym stopniu uszkadzają tkanki i przyczyniają się do szybszego gojenia się rany dzięki właściwościom samej rany lub zmniejszeniu napięć mechanicznych podczas operacji [45,46].

### Laserowa operacja zaćmy

Wyróżnia się cztery główne etapy laserowej operacji zaćmy: planowanie, ustawienie, wizualizację i indywidualizację oraz leczenie. Dwa podukłady bardzo ważne w celu zapewnienia precyzji i bezpieczeństwa zabiegu laserowego to dokowanie interfejsu w trakcie ustawiania oraz system sterowania obrazem służący do uwidocznienia powierzchni optycznych oraz indywidualnego dostosowania leczenia. W dalszej części artykułu omówiono różne strategie postępowania dostosowane do urządzeń LenSx, LensAR i OptiMedica.

#### Planowanie

Przed operacją usunięcia zaćmy można zmierzyć wielkość źrenicy, grubość soczewki, grubość rogówki oraz ocenić inne cechy anatomiczne. Po wstępnym opracowaniu planu zabiegu dalsze planowanie następuje w czasie rzeczywistym za pomocą funkcji przeciągnij i upuść z poziomu interfejsu użytkownika z nacięciem nałożonym na obraz wideo i przekroje poprzeczne.

Parametrami planowanymi dla kapsulotomii są wielkość, kształt i żądany środek nacięcia. Podczas planowania wielkości kapsulotomii zasadniczą rolę odgrywa rodzaj soczewki wewnątrzgałkowej. Skuteczne rozkawałkowanie jądra soczewki wymaga uwzględnienia informacji o głębokości, średnicy i kształcie cięcia w obrębie jądra soczewki. Na tym etapie można uwzględnić również gęstość soczewki oraz dopasować preferowaną przez operatora technikę wykonywania zabiegu, skracając czas i zmniejszając ilość energii uwalnianej w trakcie fakoemulsyfikacji. Do wykonania LRI wykorzystuje się obecnie tradycyjne nomogramy rogówki. W przypadku techniki laserowej można jednak ilościowo określić efekt pneumodysekcji, a LRI wykonywane pod błoną Bowmana i w zrębie rogówki są obecnie przedmiotem badań, których rezultatem będzie prawdopodobnie ustalenie nowych nomogramów. Parametrami planowanymi dla CCI są umiejscowienie, głębokość i struktura nacięć.

#### Ustawienie

Przed zastosowaniem lasera oko pacjenta należy ustabilizować względem układu optycznego urządzenia. W chirurgii refrakcyjnej stabilizację tę uzyskuje się dzięki zastosowaniu pierścienia ssącego, który jednocześnie odkształca gałkę oczną. Badania prowadzone na gałkach ocznych świni oraz badania *in vivo* na oczach królika, porównujące rzeczywiste wartości IOP w trakcie zabiegu LASIK wykonywanego z użyciem laserów femtosekundowych i mechanicznego mikrokeratomu, wykazały, że w przypadku Intralase (Abbott Medical Optics, Santa Ana, Kalifornia, USA) obserwuje się wzrost IOP do około 89 mm Hg, a VisuMax (Carl Zeiss Meditec, Dublin, Kalifornia, USA) do 82 mm Hg [47,48]. Chociaż wzrost IOP jest dobrze tolerowany przez młodych pacjentów refrakcyjnych, w populacji chorych na zaćmę osób w podeszłym wieku choroby współistniejące mogą zwiększyć ryzyko uszkodzenia siatkówki w następstwie przejściowego niedokrwienia i wzrostu IOP. Idealny interfejs powinien umożliwiać utrzymanie i stabilność gałki ocznej bez jej odkształcania i bez konieczności zwiększania IOP. Ponadto powinien się on cechować szerokim polem widzenia, co umożliwi leczenie chorych z niewspółosiowością ośrodka optycznego, przechylonej części dokującej urządzenia, i nie wymaga od chirurga ścisłego wyśrodkowania pierścienia ssącego. Pozwala również chirurgowi na zobrazowanie rąbka w celu dostosowania parametrów rogówkowych i wykonania wszystkich nacięć bez konieczności ponownego ustawiania gałki ocznej i urządzenia. Interfejs powinien też zawierać płyn między układem lasera a powierzchnią oka, by zapobiec powstawaniu fałdów rogówki podczas

ssania i umożliwić dokładne skupienie wiązki lasera. Dzięki temu ogranicza się do minimum ilość uwalnianej energii, zmniejsza wymiary pęcherzyka kawitacyjnego i przyczynia do zoptymalizowania wyników leczenia.

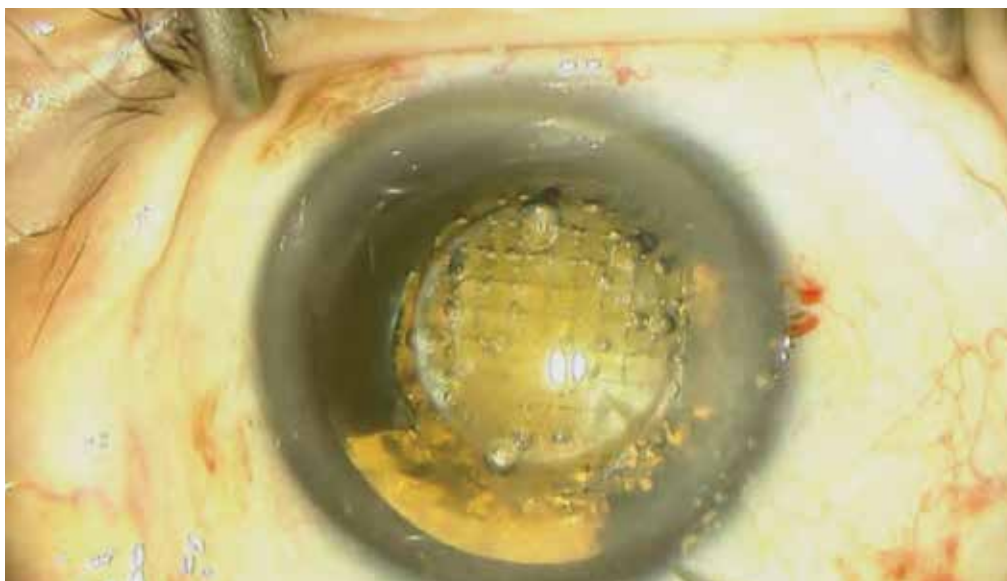
Wszystkie trzy wspomniane systemy skutecznie stabilizują oko i ograniczają do minimum wzrost IOP. Metoda oraz urządzenie do dokowania mogą jednak być różne dla każdej z platform. Płynowy interfejs optyczny lasera OptiMedica powoduje wzrost wartości IOP tylko o 8-12 mm Hg w trakcie ustawiania i zapewnia dobrą stabilizację gałki ocznej. Kształt pierścienia zaprojektowano tak, by nie uszkadzał on tkanki, co minimalizuje powstawanie wybroczyn, krwotoków podspojówkowych i uszkodzeń rogówki (ryc. 5). W urządzeniu LenSx stosuje się zakrzywione soczewki i system ssący. W laserze LensAR wykorzystano urządzenie ssąco-fiksacyjne wykorzystujące bezdotykową, nieaplanacyjną kąpiel wodną [49].

### Wizualizacja i indywidualizacja

System sterowania obrazem odgrywa zasadniczą rolę w laserowej chirurgii zaćmy, określa bowiem położenie i wielkość struktur oka (rogówki, tęczęwki oraz torebek przedniej i tylnej), umożliwia też chirurgowi dostosowanie położenia nacięć laserowych oraz stref fragmentacji jądra soczewki. Za pomocą tych systemów trzeba określić granice tęczęwki tak, by ukierunkować laser bezpiecznie nawet w asymetrycznie rozszerzonej źrenicy. Układy powinny również umożliwiać tworzenie odnośników dla wielkości i wyśrodkowania kapsułotomii, poprawiając aktualnie dostępne wskazówki wizualne oraz obliczenia chirurga.

Bardzo ważne jest wykrycie tylnej powierzchni soczewki w celu zachowania strefy bezpieczeństwa i uniknięcia nacięć w obrębie tylnej torebki soczewki. Należy określić grubość rogówki, by właściwie dostosować struktury nacięć relaksacyjnych i chirurgicznych u każdego z chorych.

Obrazowanie przedniego odcinka gałki ocznej metodą koherentnej tomografii optycznej w dziedzinie widmowej (Fourier-domain optical coherence tomography, FD-OCT) pozwala obecnie na przeprowadzanie pomiarów położenia soczewki, grubości rogówki, granic tęczęwki i wielkości kąta tęczęwkowo-rogówkowego z wysoką rozdzielczością w czasie rzeczywistym [50-52]. Chociaż wizualizacja ciała rzęskowego jest ograniczona z powodu bariery nabłonka barwnikowego tęczęwki, opisywana technologia oferuje jednak kilka korzyści, takich jak pomiar bezdotykowy, dokładność u chorych ze zmętnieniem rogówki, łatwość zastosowania oraz wysoką rozdzielczość profilu obrazowania [50]. Urządzenia LenSx i OptiMedica wykorzystują FD-OCT do trójwymiarowego obrazowania struktur gałki ocznej o wysokiej rozdzielczości. Natomiast LensAR wykorzystuje trójwymiarowy konfokalny strukturalny nadajnik iluminacyjno-skaningowy, bardzo podobny to kamery Scheimpfluga [49]. Systemy obrazowania metodą Scheimpfluga pozwalają na określenie map wzrostu czystej mocy rogówki, głębokości komory przedniej oka i czoła fali [53,54]. Ponadto gęstość soczewki można ocenić i przedstawić ilościowo, co umożliwia automatyczny wybór skutecznych parametrów do fragmentacji jądra soczewki [55]. Wstępne prezentacje oprogramowania każdej z firm ukazują wykorzystanie w nich stref bezpieczeństwa



**Rycina 5. Laserowa chirurgia zaćmy**

Widok po laserowej operacji usunięcia zaćmy z użyciem Catalys Precision Laser System. Po zastosowaniu płynowego interfejsu optycznego widoczne są niewielkie wybroczyny oraz krwotoki podspojówkowe.



**Rycina 6.**  
**Fakoemulsyfikacja**  
**po laserowej operacji**  
**zaćmy**

Widok kwadrantu soczewki w trakcie operacji. Zarys ukazuje głębokość fragmentacji soczewki z utrzymaniem stref bezpieczeństwa zarówno w obrębie przedniej, jak i tylnej torebki.

o różnych wielkościach, obejmujących również działania lekarza, dla upewnienia się, że energia lasera nie wpłynie niekorzystnie na tęczówkę, przednią ani tylną torebkę soczewki (ryc. 6).

### Leczenie

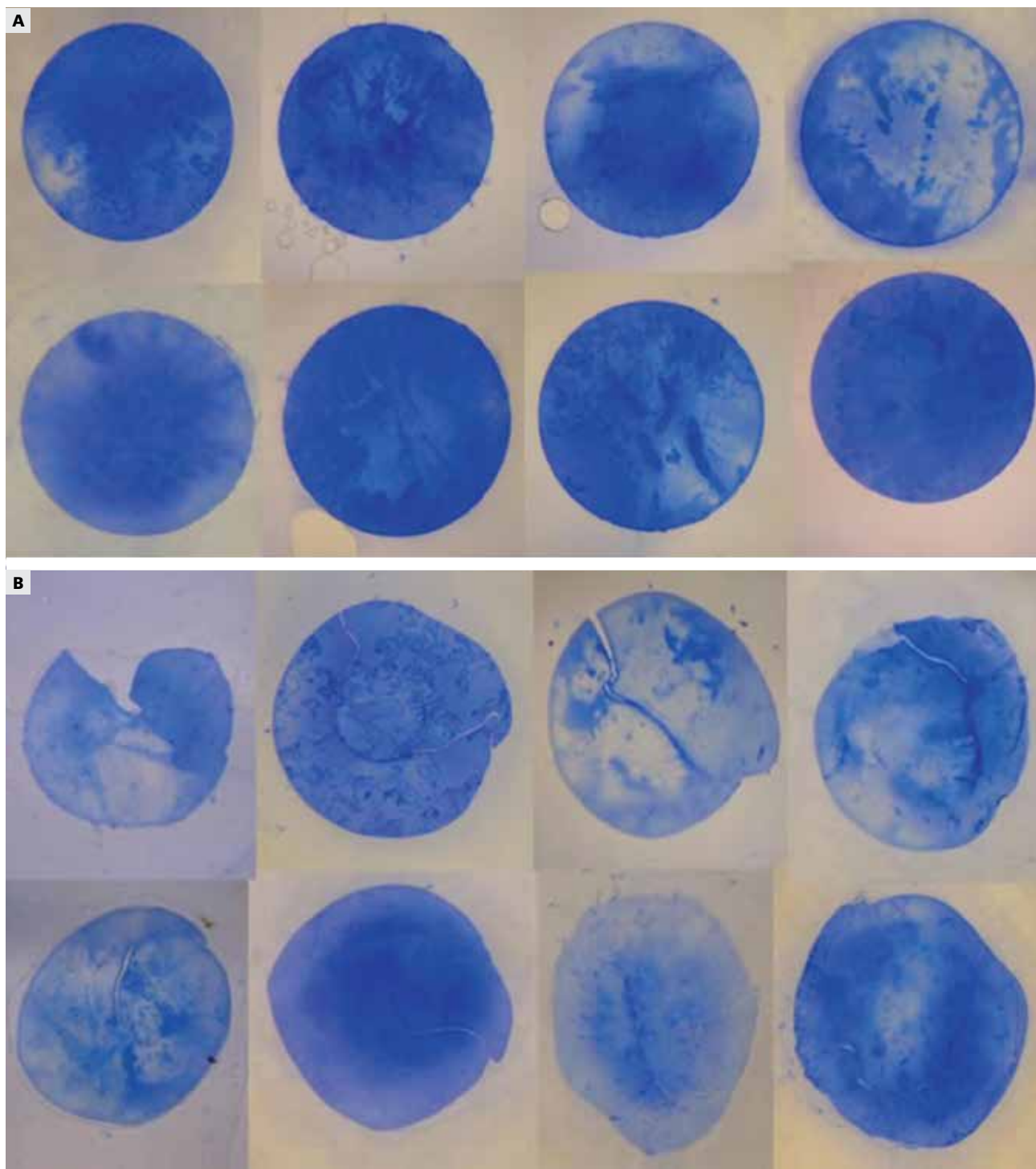
Końcowym etapem laserowej chirurgii zaćmy jest leczenie. Określony kształt ogniska lasera dla pojedynczych nacięć jest stosowany od tyłu do przodu planowanego zakresu operacji. Pozwala to na precyzyjne skupienie wiązki laserowej poprzez przeziernie ośrodki optyczne i zmniejsza ilość promieniowania docierającego do siatkówki (Palanker D, Blumenkranz MS, Anderson D i wsp., *Science Translational Medicine* 17 listopada 2010, tom 2, nr 58). Nie oceniono dokładnie optymalnego czasu między leczeniem laserem a usunięciem soczewki, chociaż zakłada się, że leczenie powoduje uwolnienie prostaglandyny i zwężenie źrenicy, skracając czas między opisywanymi etapami.

Trzy firmy oferują urządzenia różniące się kolejnością wykonywania nacięcia. System OptiMedica wykonuje najpierw kapsulotomię (dodatkowa treść cyfrowa 1, <http://links.lww.com/COOP/A1> [5,0 mm kapsulotomia przednia wykonana laserem femtosekundowym wchodzącym w skład systemu Optimedica Catalys]), a następnie rozkawałkowanie jądra soczewki (dodatkowa treść cyfrowa 2, <http://links.lww.com/COOP/A2> [fragmentacja i zmiękczenie zaćmy jądrowej 4 stopnia za pomocą lasera femtosekundowego systemu Optimedica Catalys]). Dzięki dokładnej identyfikacji powierzchni głębokość kapsuloto-

mii można ograniczyć do minimum, by zmniejszyć wytwarzanie pęcherzyka i wykluczyć interferencję z kolejno wykonywanymi nacięciami. Zachowanie takiej kolejności działań zmniejsza ryzyko rozerwania torebki soczewki lub zerwania więzadełek soczewki, ponieważ w trakcie rozkawałkowania możliwe jest zwiększenie objętości mas soczewki. W systemie LenSx w miarę postępu fragmentacji soczewki obrazy torebki są generowane ponownie, by uwiarygodnić stopień zaawansowania procesu. Następnie wykonuje się kapsulotomię [56].

### Wyniki kliniczne

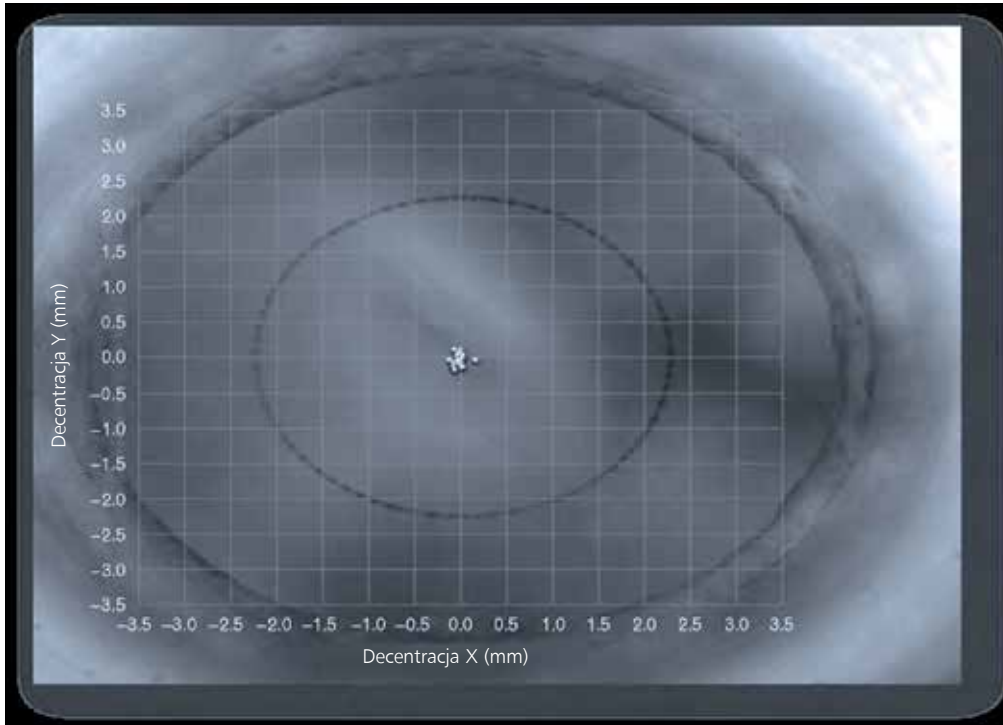
W 2009 r. Nagy i wsp. [57••] jako pierwsi opublikowali wyniki leczenia chorych, u których podczas operacji zaćmy zastosowali laser femtosekundowy LenSx. Porównali oni kapsulotomie laserowe z ręcznymi kapsuloreksjami wykonywanymi w oczach świńskich, biorąc po uwagę powtarzalność i maksymalny opór na rozciąganie. Stwierdzili większą powtarzalność, jednorodność i dokładność umiejscowienia kapsulotomii [57••]. Ocena w skaningowym mikroskopie elektronowym wykazała porównywalną gładkość krawędzi nacięcia, przy czym krawędź po nacięciu laserowym była bardziej wytrzymała na rozciąganie przed rozerwaniem [57••]. Autorzy wykazali w badaniach na oczach świńskich, że fragmentacja jądra soczewki na kwadranty pozwala na zmniejszenie energii stosowanej w czasie fakoemulsyfikacji o 43% i skrócenie czasu trwania zabiegu o 51% [57••]. Ponadto w dziewięciu ludzkich gałkach



**Rycina 7. Krążki torebki**

Porównanie metody laserowej z ręczną. Wycięte krążki tkankowe torebki soczewki ukazujące powtarzalność wielkości i kształtu (A) uzyskiwaną systemami laserowymi w porównaniu z (B) uzyskanymi techniką ręczną.





**Rycina 8.**  
**Wyśrodkowanie kapsulotomii**

Nałożenie diagramu środka kapsulotomii w odniesieniu do środka rozszerzonej źrenicy. Zdjęcie pokazuje dokładność ułożenia i precyzję systemu Catalys Precision Laser System.

ocznych zastosowali leczenie różnymi metodami laserowymi (w trzech była to wyłącznie kapsulotomia laserowa, w trzech wyłącznie fragmentacja jądra soczewki, a w pozostałych trzech skojarzenie obu tych metod). W pierwszym dniu po zabiegu stwierdzili jedynie niewielki obrzęk rogówki oraz śladową liczbę komórek zapalnych i wysięku białkowego w komorze przedniej. Objawy te ustąpiły całkowicie po tygodniu od operacji [57••]. Chociaż badanie to przeprowadzono w niewielkiej grupie chorych, autorzy wykazali dobrą tolerancję systemów laserów femtosekundowych w chirurgii zaćmy.

Wykazano wprawdzie większą precyzję wszystkich trzech systemów laserowych podczas wykonywania kapsulotomii w porównaniu z techniką ręczną, dokładność i stopień ich precyzji nie są jednak identyczne. Przedstawiamy wczesne wyniki badań klinicznych z 2010 r., dotyczące wielkości, kształtu i położenia kapsulotomii oraz łatwości wykonywania fragmentacji soczewki. Nadal niewiele jest danych dotyczących nacięcia rogówkowego [58].

### Kapsulotomia

Podczas stosowania urządzenia OptiMedica uzyskano kapsulotomie o średnicach mieszczących się w zakresie  $27 \mu\text{m}$  (SD,  $25 \mu\text{m}$ ) od oczekiwanej wartości (ryc. 7) [59]. Za pomocą urządzenia LensAR uzyskiwano wartość średnicy

wynoszącą  $183 \mu\text{m}$  (SD,  $246 \mu\text{m}$ ) [60]. Chociaż nie przedstawiono bezwzględnych danych liczbowych dotyczących mediany wielkości kapsulotomii uzyskanej za pomocą lasera LenSx, wytwarzająca go firma podaje, że średnica kapsulotomii mieści się w zakresie  $250 \mu\text{m}$  od oczekiwanej wartości [61]. Wszyscy producenci stwierdzili, że kapsulotomia laserowa była bardziej precyzyjna niż ręczna kapsuloreksja. Po zastosowaniu systemu OptiMedica dzięki technice ręcznej uzyskano wartości w zakresie  $339 \mu\text{m}$  (SD,  $248 \mu\text{m}$ ) od zamierzonej średnicy [59], a po zastosowaniu systemu LensAR uzyskano wartości dla ręcznej kapsuloreksji sięgające niemal  $500 \mu\text{m}$  [60]. OptiMedica podała również wstępne dane dotyczące związku między kapsulotomią oraz otworem w torebce po wszczepieniu soczewki, zwracając uwagę na stopień elastyczności torebki soczewki po wszczepieniu IOL oraz włóknienie, obkurczanie się i ostateczne wygojenie po miesiącu od operacji [62].

Każda z firm stosowała inne techniki oceny kształtu kapsulotomii, co utrudnia ich porównanie. OptiMedica zmierzyła kolistość jako funkcję średnicy kapsulotomii, a obszar o wartości 1 uznano za doskonale kolisty. Laserowe kapsulotomie z użyciem systemu OptiMedica osiągnęły wartość 0,942 (SD, 0,040) [59]. W systemie LensAR wykorzystano technikę analizy reszt, która wykazała sześciokrotne zwiększenie kolistości po zastosowaniu metody laserowej

w porównaniu z metodą ręczną ( $3\pm 5\ \mu\text{m}$  dla metody laserowej vs  $20\pm 13\ \mu\text{m}$  dla metody ręcznej) [60]. Kapsulotomie wykonane laserem LenSx były znacząco bardziej okrągłe ( $p=0,028$ ) w porównaniu z ręczną doskonale wypośrodkowaną kapsuloreksją [60].

Decentracja po zastosowaniu systemu OptiMedica wyniosła  $86\ \mu\text{m}$  (SD  $51\ \mu\text{m}$ ) od zamierzonej [59], natomiast po zastosowaniu systemu LenSx była znacząco lepsza ( $p=0,027$ ) w grupie leczonej laserem niż w grupie operowanej ręcznie (ryc. 8) [61]. Nie przedstawiono dotąd danych opisujących decenterację w przypadku zastosowania systemu LensAR.

### Fragmentacja soczewki

Trwają badania mające na celu optymalizację schematów leczenia dla każdego systemu dostępnego na rynku [56,63]. W ocenie skuteczności fragmentacji soczewki wszystkie trzy firmy skupiły się na oszacowaniu ilości energii ultradźwiękowej uwalnianej w trakcie fakoemulsyfikacji laserowej lub przeprowadzanej bez użycia lasera. Stwierdzono wyraźne zmniejszenie ilości energii zużywanej podczas leczenia zaćmy we wszystkich stopniach klasyfikacji zmętnienia soczewki. Odsetek, o jaki zmniejszyła się ilość uwalnianej energii, był zmienny w zależności od typu lasera i stopnia nasilenia zaćmy, wynosił jednak co najmniej 33% [63,64].

### Zastosowanie w przyszłości

Zdjęcia prawidłowej akomodacji w młodych oczach wykonane za pomocą biomikroskopu ultradźwiękowego ukazują, że główne oddziaływanie mięśnia rzęskowego na zdrową soczewkę ludzką ma miejsce na poziomie torebki przedniej [62]. Dzięki udoskonaleniu precyzji i dokładności, laserowa chirurgia pozwala na zachowanie lepszych właściwości biomechanicznych torebki soczewki, umożliwiając dalszy rozwój akomodujących IOL. Badano również przydatność laserów femtosekundowych w przywracaniu akomodacji w starzejącej się sztywniejącej soczewce dzięki oddzieleniu włókienek kolagenowych lub zwiększeniu elastyczności soczewki przez zastosowanie nacięć działających jak płaszczyzny poślizgu [65••,66-68]. Dotychczasowe badania prowadzone w oczach świńskich oraz gałkach ocznych pobranych ze zwłok. Możliwość zastosowania tej metody w leczeniu chorych na zaćmę wymaga wyjaśnienia w dalszych badaniach.

Opracowywane są inne nowe zastosowania lasera femtosekundowego, zwiększa się zatem populacja chorych, u których można go wykorzystać do usunięcia zaćmy i wymiany soczewki. Lee i wsp. [69] opisali technikę, w której

wytwarza się płatek służący do usuwania zmętnień rogówki, co pozwala na lepsze uwidocznienie zaćmy i ułatwienie manewrowania w sytuacjach trudnych. Coraz bardziej precyzyjna kontrola kapsulotomii rozszerza wskazania do zastosowania soczewek wewnątrzgałkowych. Nishimoto i wsp. [70] opisali zastosowanie celowo zdecentrowanej IOL w leczeniu zeza pionowego. W przyszłości zabiegi laserowe pozwolą wiarygodnie przewidywać ostateczną pozycję IOL w torebce soczewki, umożliwią też leczenie wielu nieprawidłowości rogówki i soczewki.

Próbowano też wykorzystać laser femtosekundowy w leczeniu niektórych nagromadzonych uszkodzeń przyczyniających się do powstawania zaćmy i starczowzroczności. Niedawno Kessel i wsp. [71•] wykazali możliwość zmniejszenia zażółcenia soczewki dzięki fotolizie wykonywanej takim laserem. Przyszłością chirurgii zaćmy mogą być metody leczenia pozwalające na wyłuszczenie soczewki bez naruszenia torebki z zastąpieniem jej przez wstrzykiwany polimer. Być może dzięki modyfikacjom wykonywanym za pomocą lasera zostaną przywrócone naturalne właściwości kryształy budującej soczewkę. Wszystkie te zastosowania przyczyniają się do wprowadzania nowych systemów lasera femtosekundowego do chirurgicznego leczenia zaćmy w przyszłości oraz przybliżają do opracowania idealnej techniki chirurgicznej korygującej zaćmę, astygmatyzm i starczowzroczność.

### Oświadczenie

W.C. jest przewodniczącym medycznej rady doradczej pracującej dla OptiMedica Corp.

L.H. otrzymał wynagrodzenie za konsultację od OptiMedica Corp.

Tłumaczenie oryginalnej angielskiej wersji artykułu z Current Opinion in Ophthalmology 2011, 22 (1): 43-52, wydawanego przez Lippincott Williams & Wilkins. Lippincott Williams & Wilkins nie ponosi odpowiedzialności za błędy powstałe w wyniku tłumaczenia ani nie popiera i nie poleca jakichkolwiek produktów, usług lub urządzeń.

### Piśmiennictwo

#### • szczególnie interesujące •• wyjątkowo interesujące

- 1 Krasnov MM. Laser-phakopuncture in the treatment of soft cataracts. Br J Ophthalmol 1975;59:96-98.
- 2 Dodick JM, Pahlavi IA. Lasers in small-incision cataract surgery. In: Fankhauser F, Kwasniewska S, editors. Lasers in ophthalmology: basic diagnostic and surgical aspects. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications; 2003. pp. 395-402.

- 3 Fankhauser F, Roussel P, Steffen J, et al. Clinical studies on the efficiency of high power laser radiation upon some structures of the anterior segment of the eye. First experiences of the treatment of some pathological conditions of the anterior segment of the human eye by means of a Q-switched laser system. *Int Ophthalmol* 1981;3:129–139.
- 4 Aron-Rosa D, Aron JJ, Griesemann M, Thyzel R. Use of the neodymium-YAG laser to open the posterior capsule after lens implant surgery: a preliminary report. *J Am Intraocul Implant Soc* 1980;6:352–354.
- 5 Aron-Rosa DS, Aron JJ. Effect of preoperative YAG laser anterior capsulotomy on the incidence of posterior capsule opacification: ten year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:559–561.
- 6 Peyman GA, Katoh N. Effects of an erbium: YAG laser on ocular structures. *Int Ophthalmol* 1987;10:245–253.
- 7 Dodick JM. Laser phacolysis of the human cataractous lens. *Dev Ophthalmol* 1991;22:58–64.
- 8 Seibel BS. Phacodynamics: mastering the tools and techniques of phacoemulsification surgery. 4th ed. Thorofare, New Jersey: SLACK Incorporated; 2005.
- 9 Kanellopoulos AJ. Laser cataract surgery: a prospective clinical evaluation of 1000 consecutive laser cataract procedures using the Dodick photolysis Nd:YAG system. *Ophthalmology* 2001;108:649–654; discussion 654–655.
- 10 Sugar A. Ultrafast (femtosecond) laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2002;13:246–249.
- 11 Nordan LT, Slade SG, Baker RN, et al. Femtosecond laser flap creation for laser *in situ* keratomileusis: six-month follow-up of initial U.S. clinical series. *J Refract Surg* 2003;19:8–14.
- 12 Salomao MQ, Wilson SE. Femtosecond laser in laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1024–1032.
- 13 Farid M, Steinert RF. Femtosecond laser-assisted corneal surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2010;21:288–292.
- 14 Cullen KA, Hall MJ, Golosinskiy A. Ambulatory surgery in the United States, 2006. *Natl Health Stat Report* 2009;(11):1–25.
- 15 Congdon N, Vingerling JR, Klein BE, et al. Prevalence of cataract and pseudophakia/aphakia among adults in the United States. *Arch Ophthalmol* 2004;122:487–494.
- 16 Gale RP, Saldana M, Johnston RL, et al. Benchmark standards for refractive outcomes after NHS cataract surgery. *Eye (Lond)* 2009;23:149–152.
- 17 Murphy C, Tuft SJ, Minassian DC. Refractive error and visual outcome after cataract extraction. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:62–66.
- 18 Sanders DR, Higginbotham RW, Opatowsky IE, Confino J. Hyperopic shift in refraction associated with implantation of the single-piece Collamer intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:2110–2112.
- 19 Wallace RB 3rd. Capsulotomy diameter mark. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1866–1868.
- 20 Ravalico G, Tognetto D, Palomba M, et al. Capsulorhexis size and posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 1996;22:98–103.
- 21 Walkow T, Anders N, Pham DT, Wollensak J. Causes of severe decentration and subluxation of intraocular lenses. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1998;236:9–12.
- 22 McLeod SD, Vargas LG, Portney V, Ting A. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 1: Optical and biomechanical principles and design considerations. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:37–46.
- 23 Ossma IL, Galvis A, Vargas LG, et al. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 2: Pilot clinical evaluation. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:47–52.
- 24 Vargas LG, Auffarth GU, Becker KA, et al. Performance of the 1CU accommodating intraocular lens in relation to capsulorhexis size. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:363–368.
- 25 Sacu S, Findl O, Menapace R, Buehl W. Influence of optic edge design, optic material, and haptic design on capsular bend configuration. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1888–1894.
- 26 Park TK, Chung SK, Back NH. Changes in the area of the anterior capsule opening after intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1613–1617.
- 27 Gonvers M, Sickenberg M, van Melle G. Change in capsulorhexis size after implantation of three types of intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:231–238.
- 28 Cekic O, Batman C. The relationship between capsulorhexis size and anterior chamber depth relation. *Ophthalmic Surg Lasers* 1999;30:185–190.
- 29 Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:368–376.
- 30 Lakshminarayanan V, Enoch JM, Raasch T, et al. Refractive changes induced by intraocular lens tilt and longitudinal displacement. *Arch Ophthalmol* 1986;104:90–92.
- 31 Erickson P. Effects of intraocular lens position errors on postoperative refractive error. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:305–311.
- 32 Baumeister M, Bühren J, Kohnen T. Tilt and decentration of spherical and aspheric intraocular lenses: effect on higher-order aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1006–1012.
- 33 Buckhurst PJ, Wolffsohn JS, Naroo SA, Davies LN. Rotational and centration stability of an aspheric intraocular lens with a simulated toric design. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1523–1528.
- 34 Artzen D, Lundstrom M, Behndig A, et al. Capsule complication during cataract surgery: case-control study of preoperative and intraoperative risk factors – Swedish Capsule Rupture Study Group report 2. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1688–1693.
- 35 Gauba V, Tsangaris P, Tossounis C, et al. Human reliability analysis of cataract surgery. *Arch Ophthalmol* 2008;126:173–177.
- 36 Bellini LP, Brum GS, Grossi RS, Borowsky C. Cataract surgery complication rates. *Ophthalmology* 2008;115:1432; author reply 1432–1433.
- 37 Johansson B, Lundstrom M, Montan P, et al. Capsule complication during cataract surgery: long-term outcomes – Swedish Capsule Rupture Study Group report 3. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1694–1698.
- 38 Richard J, Hoffart L, Chavane F, et al. Corneal endothelial cell loss after cataract extraction by using ultrasound phacoemulsification *versus* a fluidbased system. *Cornea* 2008;27:17–21.
- 39 Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 1996;22:1079–1084.
- 40 Nichamin LD. Astigmatism control. *Ophthalmol Clin North Am* 2006;19:485–493.
- 41 Leaming DV. Practice styles and preferences of ASCRS members: 2002 survey. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1412–1420.
- 42 Fine IH. Clear corneal incisions. *Int Ophthalmol Clin* 1994;34:59–72.
- 43 Taban M, Behrens A, Newcomb RL, et al. Acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review of the literature. *Arch Ophthalmol* 2005;123:613–620.
- 44 Xia Y, Liu X, Luo L, et al. Early changes in clear cornea incision after phacoemulsification: an anterior segment optical coherence tomography study. *Acta Ophthalmol* 2009;87:764–768.
- 45 Masket S, Sarayba M, Ignacio T, Fram N. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1048–1049.
- Badanie przeprowadzone na oczach pobranych ze zwłok, ukazujące wykorzystanie lasera femtosekundowego do wytworzenia niezawodnych samouszczelniających się CCI podczas operacji zaćmy.
- 46 Stonecipher K, Ignacio TS, Stonecipher M. Advances in refractive surgery: microkeratome and femtosecond laser flap creation in relation to safety, efficacy, predictability, and biomechanical stability. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17:368–372.
- 47 Hernández-Verdejo JL, Teus MA, Román JM, Bolívar G. Porcine model to compare real-time intraocular pressure during LASIK with a mechanical microkeratome and femtosecond laser. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:68–72.
- 48 Chaurasia SS, Luengo Gimeno F, Tan K, et al. *In vivo* real-time intraocular pressure variations during LASIK flap creation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:4641–4645..

- 49 Slade SG, Culbertson WW, Krueger RR. Femtosecond lasers for refractive cataract surgery. *Cataract Refract Surg Today*; August 2010, pp. 67–73.
- 50 Doors M, Berendschot TT, de Brabander J, et al. Value of optical coherence tomography for anterior segment surgery. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:1213–1229.
- 51 Wylegala E, Teper S, Nowinska AK, et al. Anterior segment imaging: Fourierdomain optical coherence tomography *versus* time-domain optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1410–1414.
- 52 Kim HY, Budenz DL, Lee PS, et al. Comparison of central corneal thickness using anterior segment optical coherence tomography *vs* ultrasound pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2008;145:228–232.
- 53 Konstantopoulos A, Hossain P, Anderson DF. Recent advances in ophthalmic anterior segment imaging: a new era for ophthalmic diagnosis? *Br J Ophthalmol* 2007;91:551–557.
- 54 Swartz T, Marten L, Wang M. Measuring the cornea: the latest developments in corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 2007;18:325–333.
- 55 Nixon D. Preoperative cataract grading by Scheimpflug imaging and effect on operative fluidics and phacoemulsification energy. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:242–246.
- 56 Slade S. Refractive cataract surgery with a femtosecond laser: US clinical experience in a premium IOL practice [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of ESCRS; 4–8 September 2010; Paris.
- 57 Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009; 25:1053–1060.
- Wstępne badanie wykazujące możliwość wykonywania za pomocą laserów femtosekundowych powtarzalnych kapsulotomii, cechujących się dużą wytrzymałością na rozciąganie, z wykorzystaniem mniejszej ilości energii podczas fakoemulsyfikacji.
- 58 Nichamin LS, Teuma EV. The use of femtosecond lasers to create corneal incisions [abstract]. In: Program and Abstracts of American Society of Cataract and Refractive Surgeons Symposium on Cataract, IOL and Refractive Surgery; 9–14 April 2010; Boston, Massachusetts.
- 59 Batlle J. Prospective study of size and shape accuracy of OptiMedica Femtosecond Laser Capsulotomy *vs*. manual capsulorhexis [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of the ESCRS; 4–8 September 2010; Paris, France.
- 60 Nichamin LD, Naranjo Tackman R, VillarKuri J, Fishkind W. Laser capsulotomy with the LensAR laser system [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of the ESCRS; 4–8 September 2010; Paris, France.
- 61 Nagy Z. Comparative analysis of femtolaser-assisted and manual capsulorhexis during phacoemulsification [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of the ESCRS; 4–8 September 2010; Paris, France.
- 62 Vitklich J. The role of precise anterior capsulotomies in premium lens performance objectives [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of the ESCRS; 4–8 September 2010; Paris, France.
- 63 Fishkind W, Uy H, Tackman RN, Kuri JV. Alternative fragmentation patterns in femtosecond laser cataract surgery [abstract]. In: Program and Abstracts of American Society of Cataract and Refractive Surgeons Symposium on Cataract, IOL and Refractive Surgery; 9–14 April 2010; Boston, Massachusetts.
- 64 Koch DD, Batlle J, Feliz R, et al. The use of OCT-guided femtosecond laser to facilitate cataract nuclear disassembly and aspiration [abstract]. In: Program and Abstracts of XXVIII Congress of the ESCRS; 4–8 September 2010; Paris, France.
- 65 Krueger RR, Kuszak J, Lubatschowski H, et al. First safety study of femtosecond laser photodisruption in animal lenses: tissue morphology and cataractogenesis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2386–2394.
- Wstępne badanie ukazujące, że lasery femtosekundowe stosowane w oczach królika nie powodują powstawania zaćmy i nie naruszają tkanki leżącej w sąsiedztwie ogniska.
- 66 Stachs O, Schumacher S, Hovakimyan M, et al. Visualization of femtosecond laser pulse-induced microincisions inside crystalline lens tissue. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1979–1983.
- 67 Ripken T, Oberheide U, Fromm M, et al. Fs-laser induced elasticity changes to improve presbyopic lens accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246:897–906.
- 68 Krueger RR, Sun XK, Strohl J, Myers R. Experimental increase in accommodative potential after neodymium:yttrium-aluminum-garnet laser photodisruption of paired cadaver lenses. *Ophthalmology* 2001; 108:2122–2129.
- 69 Lee D, Kim JH, Oh SH, et al. Femtosecond laser lamellar keratoplasty to aid visualization for cataract surgery. *J Refract Surg* 2009;25:902–904.
- 70 Nishimoto H, Shimizu K, Ishikawa H, Uozato H. New approach for treating vertical strabismus: decentered intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:993–998.
- 71 Kessel L, Eskildsen L, van der Poel M, Larsen M. Noninvasive bleaching of the human lens by femtosecond laser photolysis. *PLoS One* 2010;5:e9711.
- Wstępne badanie oceniające przydatność laserów femtosekundowych w odmładzaniu soczewki.

## KOMENTARZ



Dr hab. n. med.  
**Marek Rekas**,  
prof. nadzw. WIM,  
Kierownik Kliniki Okulistyki WIM  
w Warszawie

TRUDNO NIE ZGODZIĆ SIĘ Z POGLĄDEM prezentowanym przez autorów omawianego artykułu, że w najbliższym czasie czekają nas rewolucyj-

ne zmiany w chirurgii zaćmy. Rewolucja technologiczna, na którą czekamy, niewątpliwie przyniesie chorym wymierne korzyści. Wprowadzenie lasera femtosekundowego do chirurgii zaćmy jest w istocie następnym krokiem na drodze do odtworzenia lub udoskonalenia potencjału zdrowego oka, który został zrujnowany przez rozwijającą się zaćmę. Z drugiej strony wydaje się, że pojawiło się narzędzie, które z czasem umożliwi odtworzenie pełnych zdolności akomodacyjnych oka utraczonych wcześniej w procesie starzenia. Taka myśl powstała już dawno w głowach wynalazców i wizjonerów, którzy upodobili sobie okulistykę.

Obecnie laser femtosekundowy pozwala wystandaryzować otwarcia, głównie w przeźroczystej rogówce, a także wielkość i kształt kapsułoreksji oraz skorygować astygmatyzm rogówkowy za pomocą cięć relaksacyjnych. W przypadkach miękkich zaćm możliwa jest również emulsyfikacja, a w twardszych zaćmach rozmiękczenie mas soczewkowych. Sama wymiana soczewki odbywa się na razie na sali operacyjnej, metodą tradycyjną.

Oczywiście fakoemulsyfikacja w obecnym kształcie nie jest metodą idealną z technicznego punktu widzenia. Trzeba podkreślić, że typowe powikłania, do których należą rozwój wtórnej zaćmy, torbielowaty obrzęk plamki, pęknięcie torebki tylnej soczewki w trakcie fakoemulsyfikacji oraz duża utrata komórek śródbłonna, mogą wystąpić nawet u 35% operowanych. Z drugiej strony około 2% chorych może utracić widzenie lub jakość ich

widzenia pogarsza się z powodu wtórnego odwarstwienia siatkówki, astygmatyzmu, długotrwałego obrzęku plamki, zmiany ustawienia soczewki sztucznej w oku po operacji oraz przeszczepienia rogówki związanego z nadmierną utratą komórek śródbłonna. Należy zauważyć, że wskaźnik powikłań podstawowej operacji okulistycznej, jaką jest fakoemulsyfikacja, jest 10-krotnie większy niż np. po operacji refrakcyjnej LASIK, wykonywanej u chorych z wadami wzroku w wielu ośrodkach w Polsce. W miarę wprowadzania lasera femtosekundowego do praktyki klinicznej niektóre z tych powikłań wydają się mieć znaczenie historyczne lub w rzeczywistości stają się nieistotne, niewątpliwie jednak mogą się pojawić nowe powikłania. Dokładne ich określenie wymaga jednak czasu i wnikliwej obserwacji, które w przyszłości wyznaczą miejsce tej technologii w chirurgii zaćmy.