



## Fakoemulsyfikacja zaćmy z wykorzystaniem cyfrowego systemu wspomaganego pracy chirurga VERION™

Bartłomiej Kałużny<sup>1,2</sup>, Marta Krzyżanowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika Okulistyki i Optometrii, Katedra Chorób Oczu, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

<sup>2</sup>Klinika Okulistyczna Oftalmika w Bydgoszczy

### STRESZCZENIE

System wspomaganego pracy chirurga VERION™ jest pomocny na różnych etapach fakoemulsyfikacji zaćmy. Moduł pomiarowo-obliczeniowy umożliwi wykonanie badania przedoperacyjnego i zaplanowanie zabiegu: kalkulację mocy soczewki wewnątrzgałkowej (*intraocular lens* – IOL) oraz optymalizację docelowej pooperacyjnej wartości astygmatyzmu. Plan ten jest następnie wysyłany z jednostki diagnostyczno-planującej przy użyciu sieci bezprzewodowej

lub nośnika USB do jednostki operacyjnej wbudowanej w mikroskop. Dzięki temu chirurg otrzymuje informacje o lokalizacji cięć, średnicy i centracji kapsuloreksji oraz optymalnym pozycjonowaniu soczewki z uwzględnieniem cyklorotacji oka. Pooperacyjnie istnieje możliwość analizy astygmatyzmu indukowanego przez chirurga (*surgically induced astigmatism* – SIA) oraz stałej A.

**SŁOWA KLUCZOWE:** system wspomaganego pracy chirurga, zaćma, astygmatyzm pooperacyjny, VERION™.

### WSTĘP

Wprowadzone w ostatnich latach do użytku systemy nawigacji obrazowej wspomagają chirurga w planowaniu i przeprowadzaniu zabiegu usunięcia zaćmy. Mają zastosowanie na każdym etapie operacji. Przed zabiegiem umożliwiają wykonanie potrzebnych badań i dokładne zaplanowanie jego przebiegu. Śródoperacyjnie prowadzą chirurga podczas wykonywania nacięć, kapsuloreksji, jak również umieszczania i ustawienia soczewki wewnątrzgałkowej (*intraocular lens* – IOL) [1]. Dodatkowo pooperacyjnie operator ma możliwość przeanalizowania danych i wdrożenia ewentualnych modyfikacji techniki.

Niewątpliwie największą korzyść z zabiegów przeprowadzanych z wykorzystaniem systemów nawigacji obrazowej uzyskują pacjenci z astygmatyzmem. Astygmatyzm (niezborność) jest wadą układu optycznego powszechnie spotykaną w praktyce klinicznej. Oznacza stan refrakcji oka, w którym układ optyczny nie jest zdolny do odwzorowania punktowego przedmiotu w postaci punktowego obrazu. Niezborność regularna polega na ogniskowaniu padających w prostopadłych płaszczyznach promieni w różnych punktach, skutkiem czego widzenie może być niewyraźne, obraz zakrzywiony, a czułość na kontrast obniżona [2]. U pacjentów ze zmętnieniami soczewki wewnątrzgałkowej i astygmatyzmem rogówkowym wynoszącym co najmniej 1 dioptrię (D) metodą z wyboru jest implantacja torycznych soczewek wewnątrzgałkowych (*toric intraocular lens* – TIOI) [3]. W ostatnim czasie rośnie ich popularność i są coraz bar-

dziej dostępne. Ich wszczep pozwala skorygować astygmatyzm wynoszący nawet 8 D [4]. W praktyce soczewki toryczne są najczęściej wykorzystywane do korekcji regularnego astygmatyzmu rogówkowego mieszczącego się w przedziale 0,75–4,75 D [5]. Niektórzy producenci oferują soczewki o znacznie większym zakresie, zamawiane są one indywidualnie dla danego pacjenta. Astygmatyzm rogówkowy na poziomie 0,50–0,75 D można korygować, wykonując nacięcia główne w stromym południku rogówki lub nacięcia przeciwstronne.

Toryczne soczewki wewnątrzgałkowe zastosowano po raz pierwszy w 1992 r. Shimizu i wsp. opisali użycie trzyczęściowej soczewki wprowadzonej przez nacięcie o długości 5,7 mm [6]. Postęp, jaki dokonał się od tego czasu – zarówno w zakresie materiału, z jakiego wykonywane są soczewki, jak i ich kształtu oraz poprawy precyzji implantacji – umożliwił osiąganie coraz to lepszych efektów korekcji astygmatyzmu. Obecnie długość cięcia rogówkowego niezbędnego do wszczepu TIOI wynosi najczęściej 2,2–2,8 mm [7]. Kessel i wsp. udowodnili, że dzięki implantacji TIOI pacjenci uzyskują lepsze wartości nieskorygowanej ostrości wzroku do dali (*uncorrected distance visual acuity* – UCDVA), większą niezależność od okularów i mniejsze wartości astygmatyzmu resztkowego niż pacjenci po implantacji soczek sferycznych, nawet gdy zastosuje się nacięcia relaksacyjne [8].

Jednym z kilku dostępnych systemów nawigacji obrazowej wspomagających operację zaćmy jest VERION™ (Alcon

### AUTOR DO KORESPONDENCJI

lek. Marta Krzyżanowska, Klinika Okulistyki i Optometrii, Szpital Uniwersytecki nr 2 im. dr. J. Bizuela, ul. Ujejskiego 75, 85-168 Bydgoszcz, tel. +48 52 365 58 49, e-mail: marta.krzyz@gmail.com



Rycina 1. Elementy cyfrowego systemu wspomagania pracy chirurga VERION™. A) Moduł pomiarowo-obliczeniowy, B) moduł znajdujący się w sali, C) wyświetlacz cyfrowy zintegrowany z mikroskopem operacyjnym



Rycina 2. Badanie przedoperacyjne – wynik pomiaru keratometrycznego powiązanego ze zdjęciem przedniego odcinka oka w wysokiej rozdzielczości

Laboratories, Inc.). Składa się on z dwóch głównych elementów: modułu pomiarowo-obliczeniowego, który umożliwia wykonanie badania przedoperacyjnego i zaplanowanie mocy wszczepu, oraz modułu znajdującego się w sali operacyjnej, zawierającego wyświetlacz cyfrowy zintegrowany z mikroskopem operacyjnym (rycina 1).

## ZASTOSOWANIE PRZEDOPERACYJNE

### Badanie przedoperacyjne

Kluczowe dla osiągnięcia satysfakcjonującego efektu refrakcyjnego jest odpowiednie zaplanowanie zabiegu. Obejmuje ono kalkulację mocy IOL, żeby uzyskać ekwiwalent sferyczny wady jak najbardziej zbliżony do założonego przed operacją, oraz ustalenie toryczności rogówki w celu korekcji astygmatyzmu za pomocą odpowiedniej lokalizacji nacięć lub wszczepu TIOL [3]. Jednostka pomiarowo-obliczeniowa umożliwia pomiar keratometrii – promień krzywizny/moc optyczna w południku stromym, płaskim oraz moc cylindra mierzona dla przedniej powierzchni centralnej rogówki o średnicy 2,8 mm, a także pomiar średnicy rogówki wyrażonej parametrem WTW (*white to white*) [1, 9]. Warto dodać, że pomiary keratometrii nie muszą być przeprowadzone za pomocą systemu VERION™. Można je wykonać innym urządzeniem, a dane wprowadzić manualnie. Długość osiowa gałki ocznej musi być zmierzona za pomocą innego urządzenia, a następnie wprowadzona ręcznie do systemu. Za pomocą systemu VERION™ wykonywane jest zdjęcie przedniego odcinka oka w wysokiej rozdzielczości. Dane dotyczące krzywizny rogówki są integrowane z obrazem przedoperacyjnym przedniego odcinka i automatycznie wysyłane do komputera planującego. Można je wykorzystać do planowania lokalizacji nacięć rogówki i rąbkowych nacięć relaksacyjnych, a także kombinacji nacięć i wszczepu IOL z uwzględnieniem cyklorotacji (rycina 2) [1]. Do fiksacji pacjenta wykorzystuje się światło LED (czerwone, długość fali 624 nm), a sam pomiar wykonywany jest z wykorzystaniem refleksu zwierciadlanego 12 białych diod LED (450 nm) wyśrodkowanych na wierzchołek rogówki, które pozwalają dokonać pomiaru o średnicy ok. 2,8 mm [9].

W licznych pracach porównywano wartości keratometrii uzyskiwane za pomocą systemu VERION™ z wynikami pomiarów przeprowadzonych z zastosowaniem innych urządzeń, m.in. IOL Master, Lenstar LS, Pentacam HR, Autokeratorefraktometr, OPD Scan III, Galilei G4, Aladdin. Udowodnio-



no, że pomiary keratometryczne uzyskane za pomocą systemu VERION™ charakteryzują się wysoką powtarzalnością i zgodnością z innymi nowoczesnymi urządzeniami, w tym wykorzystującymi kamerę Scheimpfluga. Wykazano jednak, że pomiary południków głównych rogówki [9–12] oraz WTW [1] są nieco wyższe niż w przypadku pomiarów manualnych.

### Planowanie zabiegu

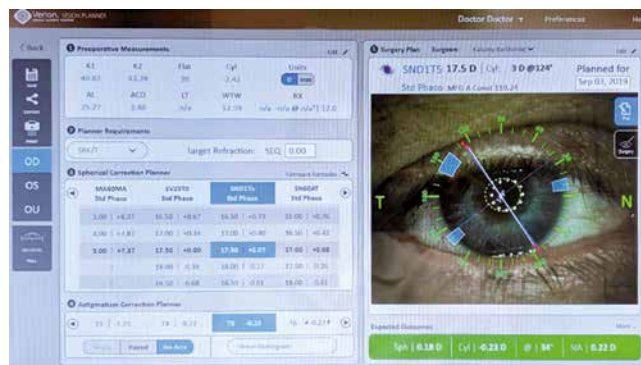
Stacja pomiarowo-obliczeniowa systemu VERION™ umożliwia dokładne zaplanowanie zabiegu z wykorzystaniem wprowadzonych danych o astygmatyzmie indukowanym podczas zabiegu przez chirurga (*surgically induced astigmatism* – SIA). Pomaga operatorowi w wyborze soczewki i wyznacza warunki uzyskania najbardziej korzystnych efektów pooperacyjnych. Dzięki temu z większą dokładnością można przewidzieć astygmatyzm resztkowy i dokładniej go skorygować, czy to za pomocą lokalizacji nacięć, czy wszczepu TIOL w odpowiednim południku. Na rycinie 3 przedstawiono ekran stacji pomiarowo-obliczeniowej w trakcie obliczeń i planowania zabiegu. Oznaczanie tylnej krzywizny rogówki jest przedmiotem badań i staje się standardem u pacjentów poddawanych operacji wszczepienia TIOL, jednak ta opcja w opisywanym systemie nie jest dostępna [3]. Abulafia i wsp. uważają, że kalkulator toryczny Barretta, który jest wbudowany w system VERION™, jest najlepszym z kalkulatorów biorących pod uwagę tylną powierzchnię rogówki, jednak tylko na podstawie danych populacyjnych. Wyliczenia dokonywane za jego pomocą charakteryzują się najmniejszym średnim błędem bezwzględnym w przewidywaniu astygmatyzmu resztkowego i pozwalają osiągnąć wyniki bardziej dokładne niż inne wzory bazujące na pomiarze astygmatyzmu tylnej krzywizny rogówki [13, 14].

### ZASTOSOWANIE ŚRÓDOPERACYJNE

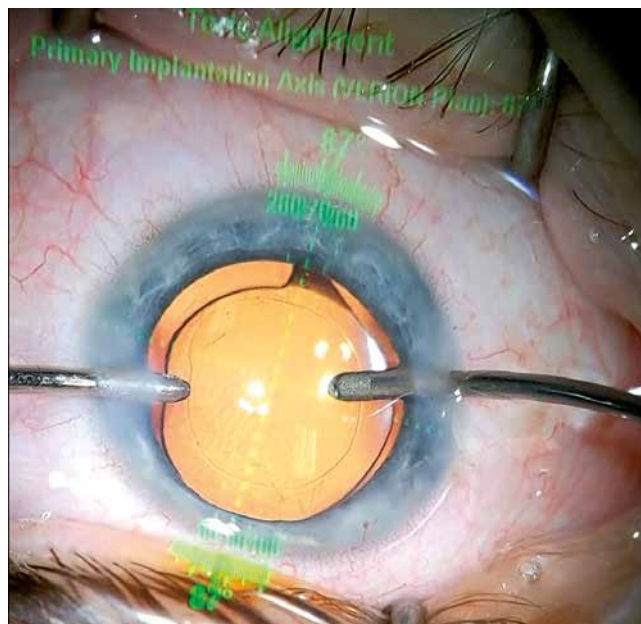
Po zaplanowaniu optymalnych lokalizacji nacięć i ewentualnego ustawienia TIOL dane zostają zapisane i przesłane do sali operacyjnej poprzez sieć lub USB. Plan ten jest następnie odtwarzany przez drugi główny element systemu VERION™ znajdujący się w sali operacyjnej, zawierający wbudowane w mikroskop urządzenie – swojego rodzaju nakładkę cyfrową pozwalającą na wyświetlanie informacji nałożonych na obraz oka pacjenta przed jednym z oczu operatora (zintegrowany wyświetlacz mikroskopowy, *microscope integrated display*). Rycina 4 przedstawia przykładowy obraz obserwowany przez operatora w czasie operacji. System umożliwia śledzenie oka pacjenta i porusza się razem z nim w czasie rzeczywistym. Do oceny cyklorotacji wykorzystywane jest porównanie obrazów śródoperacyjnych z przedoperacyjnym uzyskanym na siedząco. W szczególności analizowany jest rysunek tęczówki i rąbka rogówki oraz układ powierzchniowych naczyń twaródkowych. Ponadto system wskazuje średnicę i optymalne położenie kapsuloreksji oraz centrację IOL.

### OPTIMALIZACJA WYNIKÓW POOPERACYJNYCH

Kolejnym zastosowaniem systemu wspomaganie pracy chirurga jest możliwość przeanalizowania wyników i optyma-



Rycina 3. Planowanie zabiegu za pomocą stacji diagnostycznej VERION™ – zrzut ekranu. Po lewej stronie od góry znajdują się wartości pomiarów przedoperacyjnych, a poniżej kalkulacja mocy wszczepu. Po prawej stronie widoczne jest zdjęcie oka z nałożonym położeniem cięcia głównego i cięć bocznych (na niebiesko) oraz zalecany południk wszczepu TIOL (jasna linia zakończona strzałkami). Na dole na zielonym tle oczekiwane wartości sfery i cylindra po operacji



Rycina 4. Przykładowy obraz obserwowany przez operatora w czasie operacji przedstawiający zalecane ustawienie wszczepu torycznego

lizacji zmiennych chirurgicznych takich jak SIA. Astygmatyzm indukowany przez chirurga to wektor o określonej wielkości i kierunku kątowym. Obydwe te wartości muszą być wzięte pod uwagę przy jego wyliczaniu [15]. Po analizie danych pooperacyjnych operator ma możliwość zastosowania uaktualnionych danych podczas obliczeń lub dokonania ewentualnych zmian w swojej technice w celu minimalizacji SIA. Dla uzyskania najlepszej wartości refrakcji po zabiegu możliwa jest też optymalizacja stałej A podawanej przez producenta danej soczewki.

### WYNIKI REFRAKCYJNE UZYSKIWANE Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU VERION™

Prawidłowa implantacja IOL wymaga dokładnego określenia położenia stromej osi astygmatyzmu rogówkowego. Przesunięcie osi soczewki o 1° powoduje redukcję docelowej pooperacyjnej wartości astygmatyzmu o 3%. O całkowitej utracie

korekcji cylindrycznej można mówić, gdy przesunięcie będzie wynosić ponad 30° [16, 17]. U większości pacjentów podczas zmiany pozycji z siedzącej na leżącą dochodzi do cyklorotacji i przesunięcia osi o 2° lub więcej [18]. Manualne przedoperacyjne wyznaczenie południka poziomego jest wykonywane zazwyczaj przy użyciu systemu 2-stopniowego wykorzystującego narzędzie z poziomnicą lub bezpośrednie oznaczanie południka wszczepu przy lampie szczelinowej [19]. Ustępuje ono miejsca znakowaniu cyfrowemu. Za pomocą systemów nawigacji obrazowej i aberrometrii śródoperacyjnej możliwe jest bezkontaktowe określenie znaczników przed wszczepieniem TIOL [9]. Dzięki temu nie ma ryzyka wypłukania atramentu i utracenia wyznaczonej wcześniej osi [20]. Co więcej, cyfrowe wyznaczenie ułożenia soczewki daje wyniki o większej precyzji i powtarzalności niż podejście tradycyjne. Potwierdzili to Elhofi i wsp., którzy uzyskali w badaniu mniejsze pooperacyjne odchylenie od docelowej wartości astygmatyzmu (*targeted induced astigmatism* – TIA) i bardziej precyzyjne ułożenie soczewki [20, 21]. Średnia niewspółosiowość pooperacyjna TIOL wyniosła  $2,4 \pm 1,96^\circ$  w grupie pacjentów, u których znakowanie wykonano przy użyciu systemu VERION™, oraz  $4,33 \pm 2,72^\circ$  wśród pacjentów, u których znaczniki określano manualnie. TIA wyniósł odpowiednio  $0,10 \pm 0,08$  D i  $0,20 \pm 0,14$  D. Wyniki metaanalizy Zhou i wsp. z wykorzystaniem również innych systemów, Callisto Eye System (Zeiss) oraz Truevision 3D, potwierdzają obserwacje Elhofi i wsp. Wykazano, że dzięki cyfrowemu znakowaniu osiąga się mniejsze przesunięcie osi soczewki ( $2,68 \pm 0,76$  do  $4,06 \pm 1,08$ ), mniejszy wektor różnicowy ( $0,19 \pm 0,24$  do  $0,27 \pm 0,14$ ) i astygmatyzm pooperacyjny ( $0,46 \pm 0,19$  do  $0,62 \pm 0,29$ ) [21, 22].

## PODSUMOWANIE

Wraz z rozwojem technologii możliwe jest coraz dokładniejsze planowanie pooperacyjnej wady resztkowej zarówno w zakresie sfery, jak i cylindra. Systemy wspomaganie pracy chirurga takie jak VERION™ są pomocne na różnych etapach zabiegu. Badanie przedoperacyjne umożliwia kalkulację mocy IOL, zaplanowanie optymalnego położenia cięcia głównego, ustalenie toryczności soczewki oraz położenie południka, w którym powinna być ustawiona IOL [3].

Za pomocą systemu VERION™ nie można jeszcze dokonać pomiaru długości osiowej gałki ocznej, a to wiąże się z ryzykiem błędu przy wprowadzaniu danych uzyskanych z zastosowaniem urządzenia biometrycznego. Na podstawie przedoperacyjnych pomiarów i wykonanego obrazu oka możliwe jest stworzenie zindywidualizowanego planu zabiegu. Śródoperacyjnie cyfrowy znacznik wskazuje pozycję i rozmiar kapsuloreksji, umożliwia optymalną centrację i pozycjonowanie soczewki oraz kontrolę cyklorotacji. Pooperacyjnie istnieje możliwość uzyskania statystyki wyników pooperacyjnych, ich analizy i wprowadzenia ewentualnych modyfikacji SIA i stałej A. Cyfrowe systemy wspomaganie pracy chirurga pozwalają na bardziej bezpieczne i precyzyjne wszczepianie TIOL. Dają nowe możliwości w chirurgicznej korekcji astygmatyzmu, a ich skuteczność i przewaga nad innymi technikami zostały potwierdzone w badaniach klinicznych, chociaż są one na razie nieliczne.

## OŚWIADCZENIE

Marta Krzyżanowska deklaruje brak konfliktu interesów.

Bartłomiej Kałużny deklaruje współpracę z firmą Alcon – realizacja wykładów na zlecenie.

## Piśmiennictwo

- Mueller A, Thomas B, Auffarth G i wsp. Comparison of a new image-guided system versus partial coherence interferometry, Scheimpflug imaging, and optical low-coherence reflectometry devices: Keratometry and repeatability. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42: 672-678.
- Read S, Collins M, Carney L. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom* 2007; 90: 5-19.
- Kaur M, Shaikh F, Falera R i wsp. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol* 2017; 65: 1301-1313.
- Rubenstein J, Raciti M. Approaches to corneal astigmatism in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2013; 24: 30-34.
- Khan M, Ch'ng S, Muhtaseb M. The use of toric intraocular lens to correct astigmatism at the time of cataract surgery. *Oman J Ophthalmol* 2015; 8: 38-43.
- Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y. Toric intraocular lenses: Correcting astigmatism while controlling axis shift. *J Cataract Refract Surg* 1994; 20: 523-526.
- Yu J, Zhao Y, Shi J i wsp. Biaxial microincision cataract surgery versus conventional coaxial cataract surgery: Metaanalysis of randomized controlled trials. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 894-901.
- Kessel L, Andresen J, Tendal B i wsp. Toric intraocular lenses in the correction of astigmatism during cataract surgery. *Ophthalmology* 2016; 123: 275-286.
- Lin H, Chen H, Fam H i wsp. Comparison of corneal power obtained from VERION image-guided surgery system and four other devices. *Clin Ophthalmol* 2017; 11: 1291-1299.
- Thomas B, Mueller A, Auffarth G, Holzer M. Influence on intraocular lens power calculation of corneal radii measurement using an image-guided system. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42: 1588-1594.
- Asena L, Güngör S, Akman A. Comparison of keratometric measurements obtained by the VERION Image Guided System with optical biometry and auto-keratorefractometer. *Int Ophthalmol* 2017; 37: 391-399.
- Velasco-Barona C, Cervantes-Coste G, Mendoza-Schuster E i wsp. Comparison of biometric measurements obtained by the VERION Image-Guided System versus the auto-refractometer. *Int Ophthalmol* 2017; 38: 951-957.
- Abulafia A, Barrett G, Kleinmann G i wsp. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41: 936-944.
- Ferreira TB, Ribeiro P, Ribeiro FJ i wsp. Comparison of astigmatic prediction errors associated with new calculation methods for toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 340-347.
- Koch D, Wang L, Abulafia A i wsp. Surgically induced astigmatism. *J Refract Surg* 2015; 31: 565-565.

16. Hummel C, Diakonis V, Desai N i wsp. Cyclorotation during femtosecond laser-assisted cataract surgery measured using iris registration. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 952-955.
17. Ma J, Tseng S. Simple method for accurate alignment in toric phakic and aphakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34: 1631-1636.
18. Behshad S, Tucker J, Garg S. Toric intraocular lens alignment. *Int Ophthalmol Clin* 2016; 56: 71-84.
19. Popp N, Hirschall N, Maedel S, Findl O. Evaluation of 4 corneal astigmatic marking methods. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 2094-2099.
20. Lin H, Fang Y, Chuang Y i wsp. A comparison of three different corneal marking methods used to determine cyclotorsion in the horizontal meridian. *Clin Ophthalmol* 2017; 11: 311-315.
21. Elhofi A, Helaly H. Comparison between digital and manual marking for toric intraocular lenses. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94: e1618.
22. Zhou F, Jiang W, Lin Z i wsp. Comparative meta-analysis of toric intraocular lens alignment accuracy in cataract patients: Image-guided system versus manual marking. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 1340-1345.