

Obecne techniki biometrii oka

Current technologies of ocular biometry

**Magdalena Turczynowska^{1,2}, Katarzyna Koźlik-Nowakowska³,
Magdalena Gaca-Wysocka³, Andrzej Grzybowski^{3,4}**

¹Wojewódzki Szpital Okulistyczny w Krakowie
Dyrektor: lek. Ilona Pawlicka

²Oddział Okulistyczny, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie
Ordynator: dr n. med. Małgorzata Woś

³Oddział Okulistyczny, Wielospecjalistyczny Szpital Miejski w Poznaniu
Ordynator: prof. nadzw. dr hab. n. med. Andrzej Grzybowski

⁴Katedra Okulistyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Kierownik Katedry: prof. nadzw. dr hab. n. med. Andrzej Grzybowski



STRESZCZENIE

Operacja zaćmy jest obecnie najczęściej wykonywaną procedurą chirurgiczną w krajach rozwiniętych. Coraz częściej traktowana jest również jako zabieg refrakcyjny, a zastosowanie soczewek z grupy premium (asferycznych, torycznych, wieloogniskowych) pozwala pacjentowi na niezależenie się od korekcji okularowej i uzyskanie dobrej jakości widzenia do wszystkich odległości, nawet jeśli przed zabiegiem występowały starczowzroczność czy astygmatyzm. Wraz z poprawą standardów leczenia operacyjnego zwiększają się również oczekiwania pacjentów. Kluczowe jest uzyskanie jak najlepszej refrakcji pooperacyjnej. W tym celu przed operacją należy dokonać precyzyjnych pomiarów biometrycznych gałki ocznej i wybrać optymalną formułę obliczeniową do kalkulacji mocy wszczepianej soczewki. Celem pracy jest przedstawienie aktualnych metod przeprowadzania badań biometrycznych i najnowszych dostępnych w Polsce aparatów służących do biometrii oraz porównanie ich funkcji. Dokładne zrozumienie zalet i ograniczeń dostępnej na rynku aparatury oraz poznanie podstawowych zasad kalkulacji mocy wszczepianych soczewek pozwoli usprawnić procedury przeprowadzania badań i osiągać optymalne wartości refrakcji pooperacyjnej.

Słowa kluczowe: biometria oka, biometria optyczna, biometry optyczne, PCI, OLCR, SS-OCT

ABSTRACT

Cataract surgery is currently the most frequently performed surgical procedure in developed countries. In some cases it is also regarded as refractive procedure, and the use of premium intraocular lenses (aspheric, toric, multifocal) allows the patient to become spectacle independent. The improvement of surgical treatment results in rising expectations of patients. The key issue is to achieve the desired refractive outcome. Essential for this purpose are precise measurements of the eye, and selection of the optimal IOL calculation formula. The aim of this paper is to present current techniques of ocular biometry and new biometry devices available in Poland, along with a comparison of their functions. Good understanding the advantages and limitations of the current

NAJWAŻNIEJSZE

Nowoczesne techniki badań biometrycznych umożliwiają precyzyjne pomiary w wygodny i szybki sposób. Dostępne obecnie na rynku aparaty do biometrii mają szereg dodatkowych funkcji przydatnych w codziennej praktyce klinicznej.

HIGHLIGHTS

Latest biometry technologies provide repeatable and precise measurements, they are fast and easy to perform. New biometry devices available for clinicians feature a wide variety of additional functions, useful in daily practice.

technology allows to perform measurements efficiently and to achieve highly accurate refractive outcomes.

Key words: ocular biometry, optical biometry, optical biometry devices, PCI, OLCR, SS-OCT

WSTĘP

Od momentu wprowadzenia przez Kelmana procedury fakoemulsyfikacji zaćmy zarówno w metodzie operacyjnej, jak i w konstrukcji wszczepianych soczewek dokonał się ogromny postęp. Zastosowanie nowych technologii i opracowanie zwijalnych soczewek wewnątrzgałkowych umożliwiło wykonywanie operacji poprzez mikrocięcie, co znacznie skróciło czas rekonwalescencji po zabiegu, zmniejszyło częstość powikłań, a także pozwoliło wyeliminować problem astygmatyzmu jatrogennego związany w przeszłości ze stosowaniem szwów [1, 2]. Usunięcie zaćmy jest obecnie nie tylko procedurą leczniczą, ale również coraz częściej zabiegiem refrakcyjnym, a zastosowanie soczewek z grupy premium (asferycznych, torycznych, wieloogniskowych) pozwala pacjentowi na niezależenie się od korekcji okularowej i uzyskanie dobrej jakości widzenia do wszystkich odległości, nawet jeśli przed zabiegiem występowały starczowzroczność czy astygmatyzm. Wraz z poprawą standardów leczenia operacyjnego wzrosły również oczekiwania pacjentów, a kluczowe stało się uzyskanie jak najlepszej refrakcji pooperacyjnej. Dlatego też wyjątkowo istotnym etapem całej procedury jest dokładne obliczenie właściwej mocy wszczepianej soczewki wewnątrzgałkowej. W tym celu poza wyborem odpowiedniej formuły obliczeniowej należy dokonać precyzyjnych pomiarów biometrycznych. Biometria pozwala obliczyć wymiary anatomicznych struktur oka, w tym długości gałki ocznej (AL, *axial length*), głębokości komory przedniej (ACD, *anterior chamber depth*) oraz grubości soczewki (LT, *lens thickness*). Wartości te wraz z wynikiem pomiaru keratometrycznego są niezwykle istotne w obliczeniach mocy wszczepianej soczewki. Zmiana wartości długości gałki ocznej lub promienia krzywizny rogówki o 0,3 mm powoduje zmianę mocy wszczepu o 1 D [3].

CEL PRACY

Celem pracy jest przedstawienie najnowszych dostępnych w Polsce aparatów służących do wykonywania biometrii gałki ocznej oraz porównanie ich funkcji.

RODZAJE TECHNIK POMIARÓW BIOMETRYCZNYCH GAŁKI OCZNEJ

Do określenia długości gałki ocznej oraz wymiarów poszczególnych jej struktur służy biometria. Badanie bio-

metryczne można przeprowadzić metodą ultradźwiękową (kontaktową bądź immersyjną) lub optyczną.

Do niedawna największą popularnością cieszyła się biometria ultradźwiękowa w prezentacji A wykonywana metodą kontaktową. Technika ta pozwala zmierzyć odległość od szczytu rogówki do błony granicznej wewnętrznej siatkówki przy wykorzystaniu generowanych przez głowicę z kryształem piezoelektrycznym ultradźwięków wnikających w głąb oka i ulegających częściowemu odbiciu przy przejściu przez granice ośrodków. Biometria ultradźwiękowa niesie jednak za sobą pewne niedogodności. Przed badaniem konieczne jest odpowiednie przygotowanie miejscowe pacjenta. Bezpośredni kontakt głowicy z rogówką stwarza ryzyko jej zakażenia oraz uszkodzenia. Wykonanie pomiarów tą techniką wymaga wprawy, współpracy pacjenta i trwa dość długo (ok. 10 min). Wyniki w dużym stopniu zależą od ustawienia głowicy i jej siły nacisku na powierzchnię gałki ocznej – ze względu na spłaszczenie rogówki pod naciskiem sondy bardzo często są one zaniżone. Należy pamiętać, że biometria ultradźwiękowa nie zawsze mierzy długość gałki ocznej w osi widzenia, co może zafałszować otrzymywane wyniki, zwłaszcza u pacjentów z wysoką krótkowzrocznością czy garbiakami tylnymi twardówki.

Warunkiem niezbędnym do spełnienia w przypadku biometrii akustycznej jest odpowiednia fiksacja wzroku pacjenta, tak aby wiązka ultradźwięków była przedłużeniem jego osi widzenia. Badający wykonuje serie pomiarów (min. 5), z których wylicza się wartość średnią. Należy pamiętać, że odchylenie standardowe w serii pomiarów powinno być mniejsze niż 0,1.

Modyfikację tej metody stanowi technika immersyjna. Podczas badania na gałkę oczną leżącego pacjenta nakłada się wypełniony cieczą lejek, w którym zanurzana jest sonda. Pozwala to wyeliminować wpływ siły nacisku na rogówkę, dzięki czemu wynik pomiaru jest dokładniejszy. Badania potwierdziły większą dokładność pomiarów biometrycznych przeprowadzonych metodą immersyjną w porównaniu z metodą kontaktową [4–7]. Głównym ograniczeniem biometrii kontaktowej jest niska rozdzielczość obrazu wynikająca z zastosowania ultradźwięków o dużej długości fali i niskiej częstotliwości (ok. 10 MHz) do pomiaru niewielkich odległości. Ponadto zmienna grubość siatkówki otaczającej dołeczek środkowy może powodować nieścisłości w otrzymywanych wynikach [8].

Wykorzystanie w biometrii technik optycznych opartych na pomiarze sygnału emitowanych przez diody laserowe fal świetlnych umożliwia przeprowadzenie pomiarów w sposób bezkontaktowy, w znacznie krótszym czasie niż w przypadku biometrii ultradźwiękowej. Rozdzielczość i powtarzalność badania jest duża, a otrzymywane wyniki w mniejszym stopniu zależą od doświadczenia osoby badającej. Od momentu wprowadzenia biometrii optycznej do powszechnego użycia technika ta szybko zdobywała coraz większą popularność, stając się w krótkim czasie złotym standardem. Metoda ta ma jednak pewne ograniczenia – warunkiem koniecznym do przeprowadzenia pomiaru jest dostateczna penetracja fali świetlnej przez ośrodki optyczne, tak więc wymagana jest przynajmniej minimalna ich przezierność. Ogranicza to jej zastosowanie w przypadkach zaćmy dojrzałej, dużego zmętnienia tylnej torebki soczewki, a także po krwotokach do ciała szklanego. Dużą zaletą aparatów do biometrii optycznej jest ich wyposażenie w moduł do keratometrii, a więc możliwość pomiaru zarówno długości osiowej gałki ocznej, jak i krzywizny rogówki. W rezultacie podczas jednego pomiaru uzyskuje się podstawowe dane wymagane przy kalkulacji mocy socze-

większe ryzyko błędu pomiaru biometrycznego (w kierunku krótkowzroczności pooperacyjnej) niż u mężczyzn [10]. Jest to prawdopodobnie związane z mniejszą długością osiową gałki ocznej oraz bardziej stromą rogówką u kobiet.

BIOMETRY OPTYCZNE DOSTĘPNE W POLSCE

Biometry optyczne dostępne obecnie w Polsce wykorzystują do pomiarów różne technologie emisji fali świetlnej. Najwcześniej opracowaną techniką jest PCI (*partial coherence interferometry*), czyli częściowa koherentna interferometria. Generowane przez diodę laserową fale światła podczerwonego odbijają się na granicy ośrodków, a następnie analizowany jest powstały w interferometrze sygnał z nałożenia wiązki światła rozproszonego oraz wiązki odniesienia odbitej od poruszającego się zwierciadła referencyjnego. Obraz otrzymywany jest w czasie przesuwu zwierciadła, co trwa na tyle długo, że mimowolne ruchy pacjenta podczas badania oka wpływają negatywnie na jakość pomiarów. Metoda PCI umożliwia pomiar jedynie długości osiowej gałki ocznej od przedniej powierzchni rogówki (powierzchni filmu łzowego) do nabłonka barwnikowego siatkówki (RPE, *retinal pigment epithelium*). Obecnie na

TABELA 1

Porównanie biometrii ultradźwiękowej z biometrią optyczną.

Biometria ultradźwiękowa	Biometria optyczna
długi czas badania	krótki czas badania
technicznie wymaga wprawy	nie wymaga wprawy
konieczne znieczulenie miejscowe	bez konieczności znieczulenia
wymaga kontaktu sondy z rogówką (ryzyko zakażenia)	bezkontaktowa
mniejsza powtarzalność badania – wyniki w znacznej mierze zależą od doświadczenia osoby badającej	duża powtarzalność badania – minimalne różnice pomiędzy wynikami otrzymywanymi przez różnych badających
pomiary możliwe również w przypadku zaćmy dojrzałej i zmętnienia tylnej torebki	ograniczona przydatność w przypadku nieprzezierności ośrodków
niezalecana w przypadku kalkulacji mocy soczewek torycznych i mutifokalnych	możliwość zastosowania w przypadku kalkulacji mocy soczewek torycznych i mutifokalnych

wiek wewnątrzgałkowych. Biometria optyczna mierzy odległość od rogówki (film łzowy) do nabłonka barwnikowego siatkówki lub, według niektórych źródeł, do naczyń naczyniówki, co może się wiązać z zawyżeniem pomiaru o mniej więcej 0,15–0,5 mm [9]. Metoda ta sprawdza się o wiele lepiej niż inne przy badaniu oczu pseudofakijnych oraz z wypełnieniem silikonowym, a także oczu krótkowzrocznych i z garbiakiem tylnym.

Według badań Szwedzkiego Narodowego Rejestru Zaćm (*Swedish National Cataract Register*) u kobiet występuje

polskim rynku dostępne są dwa biometry optyczne wykorzystujące technikę PCI: IOLMaster 500 firmy Zeiss oraz AL-Scan firmy Nidek.

W modelu **IOLMaster 500** źródłem światła jest półprzewodnikowa dioda laserowa (MMLD) generująca światło podczerwone o długości fali 780 nm i krótkiej długości koherentnej (ok. 160 μm). Dioda MMLD tworzy spektrum światła z dyskretnym wzorem pojedynczych długości fali, a podczas pomiaru generowane są wtórne maksima dla każdej struktury, przez którą

przechodzi światło. W praktyce oznacza to, że każdy sygnał wytwarza powtarzalne boczne maksima przed i za rzeczywistym pikiem pomiarowym, a w konsekwencji spada stosunek sygnału do szumu (SNR, *signal-to-noise ratio*). Aparat łączy funkcje pomiaru długości osiowej gałki ocznej, keratometrii oraz pomiaru głębokości komory przedniej. Krzywizna rogówki obliczana jest na podstawie pomiaru 6 punktów świetlnych rzutowanych na rogówkę w jej strefie centralnej 2,5 mm, z kolei głębokość komory przedniej mierzona jest przy bocznym oświetleniu szczelinowym. Dodatkowo urządzenie IOL-Master 500 ma funkcję pomiaru odległości WTW (*white-to-white*), czyli poziomej średnicy rogówki oraz średnicy źrenicy (PS, *pupil size*). Oba parametry określone są na podstawie obrazu tęczęwki.

Aparat **AL-Scan** firmy Nidek wykorzystuje z kolei diodę superluminescencyjną (SLD, *superluminescent diode*) generującą fale świetlne o długości 830 nm. Keratometria mierzona jest poprzez wykrywanie fotodetekтором obrazu podwójnego pierścienia rzutowanego na rogówkę pacjenta w strefach 2,4 mm oraz 3,3 mm. Do pomiaru centralnej grubości rogówki i głębokości komory przedniej używana jest kamera Scheimpfluga. Aparat mierzy również szerokość źrenicy oraz odległość WTW. Istnieje możliwość opcjonalnego wyposażenia urządzenia w głowicę do biometrii ultradźwiękowej, co usprawnia przeprowadzanie pomiarów i kalkulację soczewek w przypadkach niedostatecznej przezierności ośrodków optycznych.

Inną techniką wykorzystywaną w biometrii optycznej jest OLCR (*optical low-coherence interferometry*), czyli reflektometria niskiej koherencji. Stosowana w tym przypadku dioda superluminescencyjna emituje światło charakteryzujące się wysoką mocą i jasnością oraz niską koherencją. Spektrum światła generowanego przez diodę SLD jest ciągłe, a podczas pomiaru nie występują wtórne maksima. Pozwala to uzyskać dokładne pomiary pików powstających podczas przechodzenia światła przez poszczególne ośrodki na całej długości gałki ocznej. Otrzymywane są wyniki nie tylko długości osiowej jak w przypadku PCI, ale również pachymetrii (centralnej grubości rogówki), głębokości komory przedniej oraz grubości soczewki. Biometry wykorzystujące technikę OLCR to: Lenstar LS 900 (Haag-Streit), Aladdin (Topcon), Galilei G6 (Ziemer) oraz OA-1000 i OA-2000 (Tomey).

Aparat **Lenstar LS 900**, wykorzystując technikę OLCR, dokonuje pomiaru długości osiowej, centralnej grubości rogówki, głębokości komory przedniej, grubości soczewki, a także dodatkowo centralnej grubości siatkówki (CRT, *central retinal thickness*), czyli odległości pomiędzy błoną graniczną wewnętrzną (ILM, *internal limiting membrane*) a nabłonkiem barwnikowym siatkówki. Keratometria mierzona jest przez analizę krzywizny przedniej w 32 punk-

tach referencyjnych zlokalizowanych na okręgach w dwóch strefach optycznych: 2,30 mm i 1,65 mm. Na podstawie obrazu tęczęwki mierzone są również odległość WTW oraz średnica źrenicy. Wszystkie pomiary wykonuje się jednocześnie wzdłuż osi widzenia pacjenta. Dodatkowo istnieje możliwość opcjonalnego wyposażenia urządzenia w moduł T-Cone pozwalający na otrzymanie dokładnej topografii 6 mm strefy centralnej rogówki. Wykorzystując 11 dysków Placido, moduł T-Cone dokonuje pomiarów przedniej powierzchni rogówki. Urządzenie Lenstar dostępne jest w dwóch modelach: LS 900, w którym naprowadzanie głowicy do pozycji pomiarowej odbywa się ręcznie, natomiast sam pomiar wykonywany jest automatycznie, oraz LS 900 APS, w którym zarówno naprowadzanie głowicy, jak i sam pomiar odbywają się automatycznie.

Kolejnym aparatem opierającym się na technice OLCR jest urządzenie **Aladdin** firmy Topcon łączące w standardzie funkcje biometru optycznego i topografu rogówkowego działającego na podstawie techniki dysków Placido. Źródłem światła jest w tym przypadku dioda superluminescencyjna emitująca fale długości 850 nm. Poza pomiarem długości osiowej gałki ocznej wykonywanym przy użyciu techniki OLCR aparat mierzy głębokość przedniej komory, wykorzystując zasadę odbicia światła pochodzącego z lampy szczelinowej. Keratometria wykonywana jest na podstawie technologii dysków Placido. Aladdin pozwala użytkownikom na pobranie pełnych danych topografii rogówki oka. Mapę rogówki otrzymuje się przy użyciu odbicia 24 kręgów tarcz Placido znajdujących się w odległości ok. 80 mm od oka pacjenta. Poza keratometrią Aladdin jest wyposażony w moduł do analizy Zernike'a aberracji wyższego rzędu. Na podstawie danych o topografii rogówki można określić również jej średnicę, czyli odległość WTW. Natomiast pupilometrię wykonuje się przy użyciu diod LED emitujących światło o różnych długościach fali. Aparat używa podczerwonych diod LED rozszerzających źrenicę i białych diod LED odtwarzających warunki fotopowe i zwężających źrenicę (pupilometria dynamiczna). Dostępne są obecnie dwie wersje biometru: model podstawowy oraz model Aladdin LT umożliwiający dodatkowo pomiar interferometryczny centralnej grubości rogówki oraz grubości soczewki.

Galilei G6 firmy Ziemer łączy w sobie funkcje biometru optycznego wykorzystującego OLCR, topografu rogówkowego bazującego na technologii dysków Placido oraz tomografu opartego na podwójnej kamerze Scheimpfluga. Zastosowanie technologii OLCR umożliwia jednoczesne wykonanie pomiarów biometrycznych na całej długości gałki ocznej, mianowicie: długości osiowej, grubości soczewki, głębokości komory przedniej oraz pachymetrii. Aparat umożliwia pełną, trójwymiarową ocenę przedniej komory oka. Poza pomiarem grubości rogówki w centrum, istnieje możliwość odczytu wyniku pomiaru w dowolnym

wybranych punkcie na przekroju rogówki. Dzięki obrazom z kamery Scheimpfluga możliwa jest dokładna analiza kątów przesaczenia. Aparat jest też wyposażony w funkcję dokładnego pomiaru krzywizny tylnej płaszczyzny rogówki, dzięki czemu dostarcza precyzyjnych informacji o jej mocy całkowitej oraz aberracjach wyższego rzędu. Wykonuje również pomiary odległości WTW oraz średnicy źrenicy. Zastosowanie aparatu Galilei G6 nie ogranicza się jedynie do biometrii – umożliwia on przeprowadzenie dokładnych badań do celów chirurgii refrakcyjnej.

Firma Tomey ma w ofercie dwa biometry optyczne opierające się na technologii OLCR: model **OA-1000** (obecnie wycofany z produkcji) oraz **OA-2000**. Aparat OA-1000 jest wyłącznie biometrem optycznym, bez możliwości wykonania keratometrii. Poza długością osiową gałki ocznej mierzy również głębokość przedniej komory oraz grubość rogówki. Kalkulacja mocy soczewek wewnątrzgałkowych możliwa jest dopiero po połączeniu z jednym z urządzeń kompatybilnych: biometrem ultradźwiękowym (AL-3000) lub topografem rogówkowym (TMS-4/TMS-5). Biometr OA-2000 za pomocą OLCR w pełni automatycznie wykonuje pomiary długości osiowej, grubości soczewki, głębokości komory przedniej oraz pachymetrię. Przy użyciu technologii dysków Placido uzyskuje się pełną topografię rogówki, a odległość WTW i średnica źrenicy mierzone są na podstawie analizy obrazu tęczówki. Urządzenie wyposażone jest w ekran dotykowy oraz system automatycznego, trójwymiarowego naprowadzania. Pomiar wszystkich

parametrów rozpoczyna się automatycznie po zaznaczeniu centrum źrenicy na ekranie dotykowym. W przypadkach niedostatecznej przejerności ośrodków optycznych można poprzez *bluetooth* połączyć aparat z biometrem ultradźwiękowym AL-4000.

Najnowszą technologią wykorzystywaną w biometrii optycznej jest SS-OCT (*swept source OCT*). Źródłem światła jest w tym przypadku laser strojony, generujący promieniowanie o długości fali zmieniającej się cyklicznie z bardzo dużą częstotliwością. Istotnymi zaletami tej metody są wyjątkowa szybkość obrazowania i czułość pomiarów. Przeprowadzone dotychczas badania wykazały również lepszą penetrację fali świetlnej emitowanej przez laser strojony w porównaniu z innymi technikami biometrii. Dzięki wykorzystaniu metody SS-OCT uzyskano dobrą jakość pomiarów dla większej liczby oczu z zaćmą zaawansowaną oraz z przymgleniami tylnej torebki soczewki, w przypadku których inne metody optycznych pomiarów biometrycznych okazały się niemożliwe do zastosowania [11].

Model **IOLMaster 700** (Zeiss) przy użyciu technologii SS-OCT mierzy długość osiową gałki ocznej, grubość soczewki, głębokość komory przedniej oraz centralną grubość rogówki. Określa również odległość WTW, średnicę źrenicy, a ponadto przy użyciu 18 punktów świetlnych dokonuje telecentrycznego pomiaru krzywizny rogówki w 3 strefach optycznych, niezależnie od odległości pomiędzy aparatem a okiem pacjenta. Poza pomiarami biometrycznymi uzyskiwany jest obraz OCT przekroju przedniej

TABELA 2

Zestawienie biometrów optycznych dostępnych w Polsce oraz mierzonych przez nie parametrów.

	IOLMaster 500 (Zeiss)	IOLMaster 700 (Zeiss)	Lenstar LS 900 (Haag-Streit)	AL-Scan (Nidek)	Aladdin (Topcon)	Aladdin LT (Topcon)	ARGOS (Movu)	OA-2000 (Tomey)	Galilei G6 (Ziemer)
technologia	PCI	SS-OCT	OLCR	PCI	OLCR	OLCR	SS-OCT	OLCR	OLCR
AL	+	+	+	+	+	+	+	+	+
KM	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ACD	+	+	+	+	+	+	+	+	+
WTW	+	+	+	+	+	+	+	+	+
LT	-	+	+	-	-	+	+	+	+
CCT	-	+	+	+	-	+	+	+	+
PS	-	-	+	+	+	+	+	+	-

PCI – *partial coherence interferometry*, interferometria z użyciem światła częściowo spójnego

OLCR – *optical low-coherence interferometry*, optyczna reflektometria niskiej koherencji

SS-OCT – *swept source optical coherence tomography*, optyczna koherentna tomografia wykorzystująca laser strojony

AL – *axial length*, długość osiowa gałki ocznej

KM – *keratometry*, keratometria

ACD – *anterior chamber depth*, głębokość komory przedniej

WTW – *white-to-white*, pozioma średnica rogówki

LT – *lens thickness*, grubość soczewki

CCT – *central corneal thickness*, centralna grubość rogówki, pachymetria

PS – *pupil size*, średnica źrenicy

TABELA 3

Zestawienie biometrów optycznych dostępnych w Polsce wraz z ich szacunkową ceną.

Biometr optyczny	IOLMaster 500	IOLMaster 700	Lenstar LS 900	AL-Scan	Aladdin	ARGOS	OA-2000	Galilei G6
Producent	Carl Zeiss Meditec AG (Jena, Niemcy)	Carl Zeiss Meditec AG (Jena, Niemcy)	Haag-Streit AG (Koeniz, Szwajcaria)	Nidek Co., Ltd. (Gamagori, Japonia)	Topcon Co., Ltd. (Tokio, Japonia)	Movus-Santec Co., Ltd. (Japonia)	Tomey Co., Ltd. (Nagoya, Japonia)	Ziemer Ophthalmic Systems AG (Szwajcaria)
Dystrybutor w Polsce	Carl Zeiss sp. z o.o.	Carl Zeiss sp. z o.o.	BELAMED sp. z o.o.	POLAND OPTICAL sp. z o.o.	Topcon Polska sp. z o.o.	OPTOTech Medical	MDT sp. z o.o.	BELAMED sp. z o.o.
Szacunkowa cena katalogowa brutto (PLN)	111 000	150 000	130 000	90 000	103 000	b.d.	135 000	280 000

komory (A-scan), co może ułatwić zdiagnozowanie podwichniętej soczewki, a także punktu, w którym wykonany został pomiar długości osiowej gałki ocznej. W przypadku prawidłowej fiksacji pacjenta łatwo można odróżnić dołeczek środkowy.

Biometr **ARGOS** firmy Movu należącej do grupy Santec, wykorzystując technikę SS-OCT, dokonuje pomiarów długości osiowej gałki ocznej, grubości soczewki, głębokości komory przedniej oraz wykonuje pachymetrię. Keratometria mierzona jest natomiast na podstawie rzutowanego na rogówkę obrazu generowanego przez 16 diod LED emitujących światło podczerwone. Dodatkowo aparat mierzy odległość WTW oraz średnicę źrenicy.

W pracy nie uwzględniono aparatu Pentacam AXL firmy Oculus, gdyż w momencie przygotowywania artykułu nie był on jeszcze dostępny na polskim rynku.

PODSUMOWANIE

Wyniki pomiarów biometrycznych otrzymywane przy użyciu biometrii optycznej charakteryzują się dużą dokładnością i wysoką powtarzalnością [11–17]. Są powszechnie wykorzystywane do kalkulacji mocy wszczepianych soczewek wewnątrzgałkowych, także torycznych i multifokalnych, z dobrymi efektami. Z uwagi na lepszą penetrację przez gęste ośrodki optyczne biometry wykorzystujące technikę SS-OCT są w stanie wykonać precyzyjne pomiary biometryczne nawet w przypadkach dojrzałej zaćmy [11].

ADRES DO KORESPONDENCJI

prof. nadzw. dr hab. n. med. Andrzej Grzybowski

Oddział Okulistyczny, Wielospecjalistyczny Szpital Miejski

61-285 Poznań, ul. Szwajcarska 3

e-mail: ae.grzybowski@gmail.com

Piśmiennictwo

- George R, Rupauliha P, Sriprya AV, et al. Comparison of endothelial cell loss and surgically induced astigmatism following conventional extracapsular cataract surgery, manual small-incision surgery and phacoemulsification. *Ophthalmic Epidemiol* 2005; 12(5): 293-297.
- Zheng L, Merriam JC, Zaider M. Astigmatism and visual recovery after 'large incision' extracapsular cataract surgery and 'small' incisions for phakoemulsification. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1997; 95: 387-410.
- Basic and Clinical Science Course, Section 3: Clinical Optics (2011–2012 ed). *American Academy of Ophthalmology*: 211-223.
- Ossoinig KC. Standardized echography: basic principles, clinical applications, and results. *Int Ophthalmol Clin* 1979; 19: 127-210.
- Schelenz J, Kammann J. Comparison of contact and immersion technique for axial length measurement and implant power calculation. *J Cataract Refract Surg* 1989; 15: 425-428.
- Shammas HJF. A comparison of immersion and contact techniques for axial length measurements. *J Am Intraocular Implant Soc* 1984; 10: 444-447.
- Olsen T, Nielsen PJ. Immersion versus contact technique in the measurement of axial length by ultrasound. *Acta Ophthalmol* 1989; 67: 101-102.

8. Lee AC, Qazi MA, Pepose JS. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 2008; 19(1): 13-17.
9. Grzybowski A, Gaca-Wysocka M. Współczesna wiedza na temat soczewki. *Prz Okul* 2014; 4: 1-4.
10. Behndig A, Montan P, Lundström M, et al. Gender differences in biometry prediction error and intra-ocular lens power calculation formula. *Acta Ophthalmol* 2014; 92(8): 759-763.
11. Srivannaboon S, Chirapapaisan C, Chonpimai P, Loket S. Clinical comparison of a new swept-source optical coherence tomography-based optical biometer and a time-domain optical coherence tomography-based optical biometer. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41(10): 2224-2232.
12. Ventura BV, Al-Mohtaseb Z, Wang L, et al. Repeatability and comparability of corneal power and corneal astigmatism obtained from a point-source color light-emitting diode topographer, a Placido-based corneal topographer, and a low-coherence reflectometer. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41(10): 2242-2250.
13. Huang J, Savini G, Wu F, et al. Repeatability and reproducibility of ocular biometry using a new noncontact optical low-coherence interferometer. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41(10): 2233-2241.
14. Chen YA, Hirschschall N, Findl O. Evaluation of 2 new optical biometry devices and comparison with the current gold standard biometer. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(3): 513-517.
15. Aktas S, Aktas H, Tetikoglu M, et al. Refractive Results Using a New Optical Biometry Device: Comparison With Ultrasound Biometry Data. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94(48): e2169.
16. Kaswin G, Rousseau A, Mgarrech M, et al. Biometry and intraocular lens power calculation results with a new optical biometry device: comparison with the gold standard. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40(4): 593-600.
17. Vogel A, Dick HB, Krummenauer F. Reproducibility of optical biometry using partial coherence interferometry: intraobserver and interobserver reliability. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27(12): 1961-1968.
18. Hennessy MP, Chan GD. Contact versus immersion biometry of axial length before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29: 2195-2198.
19. Dmitriew A, Załęcki K, Kocięcki J. Implementacja biometrii optycznej w okulistyce – fakty i mity. *Ultrasonografia* 2006; 26: 29-32.