

# Nowoczesne metody obrazowania soczewki oka ludzkiego



Foto: archiwum Autoroki



Foto: archiwum Autoroki

MAGDALENA GWOZDEK<sup>1,2,3</sup>, dr n. med. ANNA MARIA AMBROZIAK<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Studentka studiów magisterskich na kierunku optometria, absolwentka Europejskich Studiów Optyki Okularowej i Optometrii

<sup>2</sup>Centrum Okulistyczne Świat Oka

<sup>3</sup>Zakład Optyki Informacyjnej, Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

## Wstęp

Nowoczesne metody obrazowania soczewki oka ludzkiego i struktur z nią powiązanych dają możliwość kontroli wszelkich zmian w niej zachodzących i pozwalają na szybkie wykrycie nieprawidłowości. Coraz to nowsze i bardziej innowacyjne urządzenia o zaawansowanej technologii umożliwiają diagnostykę, kontrolę progresji oraz skuteczne leczenie chorób, które niekiedy uniemożliwiają prawidłowe widzenie i codzienne funkcjonowanie pacjentów. Znajomość i sprawne posługiwanie się różnorodnymi metodami przez specjalistów ochrony wzroku jest kluczowe w poprawianiu jakości świadczonej opieki.

## Budowa i funkcje soczewki

Prawidłowa praca narządu wzroku zależy od wielu struktur i skomplikowanych korelacji pomiędzy elementami gałki ocznej i mózgu. Jedną z najważniejszych części oka ludzkiego jest soczewka, której zadaniami są aktywny udział w akomodacji, załamywanie światła oraz utrzymywanie przejrzystości [1]. Soczewka oka odpowiada za około 1/3 całkowitej mocy łamiącej całego układu optycznego oka. Współczynnik załamania prawidłowej soczewki wynosi około 1,4 w jej centralnej części oraz 1,36 w części obwodowej. Na skutek zmian degeneracyjnych związanych z wiekiem w soczewce oka powstaje zaćma, której przyczynami mogą być m.in. urazy lub substancje chemiczne (często przyjmowane w postaci leków). Zmiany fizjologiczne zachodzące w soczewce w ciągu życia wiążą się nie tylko z jej przeziernością, ale również ze zdolnością do akomodacji. Wraz z wiekiem soczewka staje się twardsza, sztywniejsza i mniej podatna na zmiany pod wpływem skurczu mięśnia rzęskowego [1].

## Wybrane metody obrazowania soczewki oka ludzkiego wraz z przykładami zastosowania klinicznego

Dokładne obrazowanie soczewki oka ludzkiego jest niezbędne przy diagnostyce i leczeniu pacjentów ze schorzeniami w jej obrębie. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele nowoczesnych aparatów służących obrazo-

waniu tej struktury, a wybór odpowiedniej metody powinien zależeć od specjalisty, który dopasowuje ją odpowiednio do przypadku i potrzeb. Dzięki temu, że urządzenia te w większości umożliwiają szybkie i nieinwazyjne badanie, możliwy jest pomiar za pomocą kilku metod i porównanie wyników. Warto zauważyć, że z aparatów, mimo ich wysokiej dokładności, powinni korzystać wykwalifikowani specjaliści, którzy mają odpowiednie kompetencje, aby ocenić poprawność wykonanego badania i zweryfikować uzyskane wyniki.

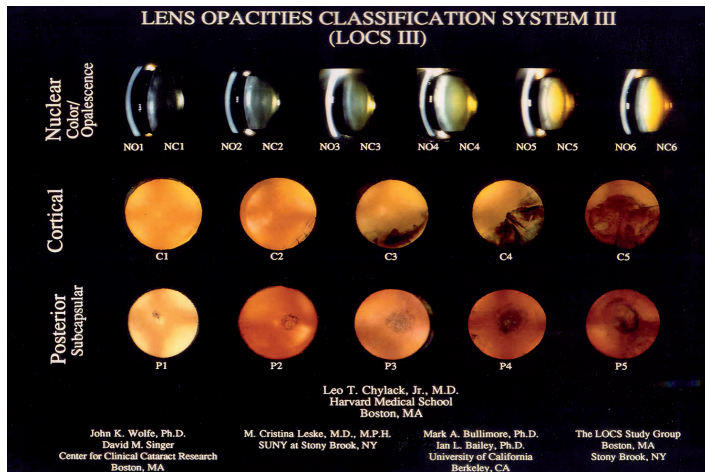
## Badanie w lampie szczelinowej

Lampa szczelinowa jest to mikroskop zaprojektowany do trójwymiarowego obrazowania struktur gałki ocznej oraz oka ludzkiego. Jest urządzeniem używanym do profilaktycznego badania m.in. przedniego odcinka wraz z soczewką oraz obrazowania zauważonych zmian patologicznych. Nowoczesne metody badania pozwalają na dokumentację obserwowanych struktur oraz ich niepokojących zmian patologicznych poprzez wykonanie zdjęć za pomocą aparatu podłączonego do biomikroskopu.

Prawidłowa soczewka jest przezroczysta, przybiera lekko srebrnoszary kolor, a w jej obrębie nie są widoczne naczynia krwionośne. W związku z charakterystycznym procesem wzrostu soczewki, podczas badania w lampie szczelinowej, powinny być widoczne szwy soczewki w kształcie litery „Y” oraz w kształcie odwróconej litery „Y”. U pacjentów dorosłych szwy mogą mieć wzór przypominający gwiazdę. Badanie w lampie szczelinowej można również przeprowadzać u pacjentów ze wszczepionym implantem soczewkowym. W takiej sytuacji ocenia się jego lokalizację względem innych struktur [3].

Techniką obserwacji w lampie szczelinowej najczęściej używaną do obserwacji soczewki jest obserwacja za pomocą wąskiej wiązki światła, którą badający ustawia pod dużym kątem. Dzięki takiemu ustawieniu i zogniskowaniu światła na poszczególnych elementach budowy soczewki możliwa jest obserwacja jej przekroju.

Badanie soczewki oka ludzkiego za pomocą biomikroskopu pozwala również na ocenę stopnia jej zmętnienia za pomocą porównania do skali stopniującej. Ułatwia to diagnostykę i późniejszą kontrolę, zwłaszcza jeśli pacjent znajduje się pod opieką różnych specjalistów, ze względu na łatwiejsze przekazywanie informacji między nimi.



Ryc. 1. Skala stopniująca zmętnienie soczewki oka ludzkiego LOCS III [4] (Jacobs)

### Optyczna koherencyjna tomografia przedniego odcinka gałki ocznej AS OCT

OCT, czyli optyczna koherencyjna tomografia, jest metodą obrazowania opartą na interferometrii o niskiej koherencji, która zapewnia bezkontaktowy, nieinwazyjny obraz przekroju poprzecznego odcinka oka o wysokiej rozdzielczości [7]. Zasada działania OCT może być porównywana do działania ultrasonografii (USG), ponieważ polega na analizie fali świetlnej odbijającej się od danych struktur oka.

Badanie AS OCT jest odmianą optycznej koherencyjnej tomografii, która skupia się wyłącznie na dokładnym obrazowaniu struktur przedniego odcinka oka. Nowoczesne urządzenia o mechanizmie działania bazującym na technologii optycznej koherencyjnej tomografii zazwyczaj dają dokładniejsze wyniki od innych urządzeń służących do obrazowania przedniego odcinka oka, na przykład aparatów do pomiaru UBM [7].

Jednym z najbardziej nowoczesnych i dokładnych urządzeń służących do obrazowania przedniego odcinka oka jest Casia 2 firmy Tomey. Badanie za pomocą tomografu Casia 2 umożliwia uzyskanie danych od rogówki aż do tylnej części soczewki w jednym obrazie oraz identyfikację torebki, kory i jądra soczewki. Wbudowane programy zapewniają indywidualną precyzyjną korekcję wad refrakcji, w tym korekcję astygmatyzmu. Casia 2 może korygować zniekształcenia optyczne wytwarzane przez rogówkę, ciecz wodnistą i soczewkę o jednorodnym współczynniku załamania światła, co jest uwzględnione we wbudowanym programie, który pozwala uzyskać dokładne kształty przednich i tylnych elementów soczewki [7]. Badanie na tym urządzeniu trwa krótko, jest komfortowe i nieinwazyjne dla pacjenta. Tomograf Casia 2 wykorzystywany jest m.in. do analizy kąta przesączania i głębokości komory przedniej, badania topografii rogówki, doboru soczewek wewnątrzgałkowych i ich kalkulacji, symulacji pseudofakijnej soczewki wewnątrzgałkowej oraz analizy kształtu i parametrów soczewki oka ludzkiego [8]. Ze względu na wiele dostępnych funkcji oraz wysoką powtarzalność wyników aparat ten może służyć również do przeprowadzania innowacyjnych badań naukowych.

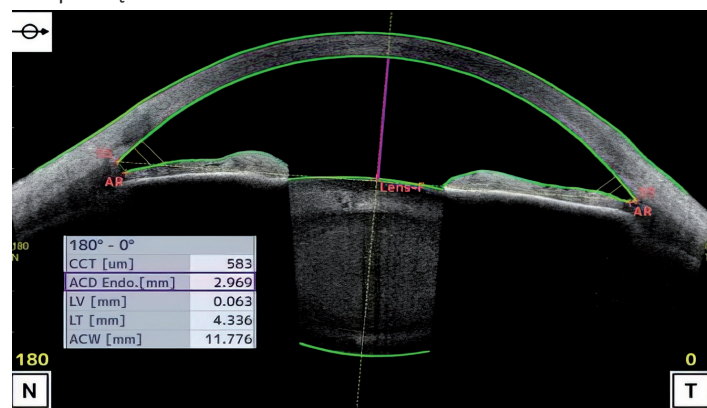
### Ocena komory przedniej i kąta przesączania

Wprowadzenie optycznej koherencyjnej tomografii przedniego odcinka oka AS OCT umożliwiło lepszą ocenę anatomii kąta przesączania oraz rozpoznanie kilku mechanizmów zamknięcia kąta, które często prowadzą do podwyższenia ciśnienia wewnątrzgałkowego (IOP, *intraocular pressure*).

Ciągły postęp w technologii i coraz to nowocześniejsze aparaty do pomiaru AS OCT oraz innowacyjne badania w tej dziedzinie zaowocowały szerokim zakresem możliwych parametrów, które mogą być wykorzystywane w diagnostyce i obserwacji pacjentów z tym spektrum chorób.

Aparat Casia 2 marki Tomey umożliwia dokładny pomiar wielu parametrów komory przedniej oraz soczewki. Wybrane z nich zostały opisane poniżej.

- TIA (*trabecular iris angle*) – kąt tęczęwkowo-rogówkowy, kąt przesączania.

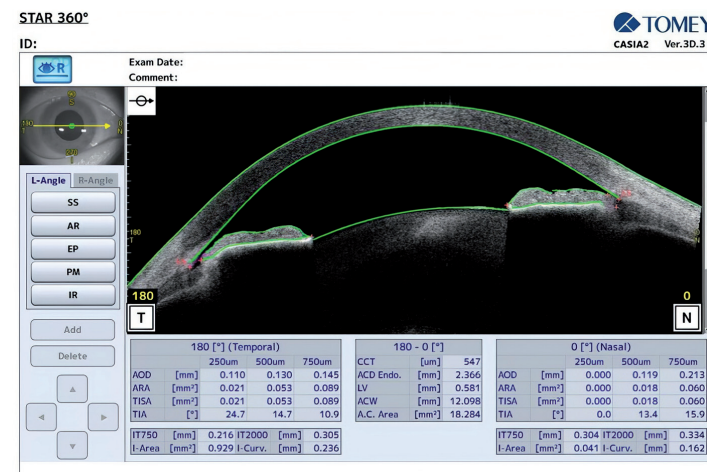


Ryc. 2. Skan Tomey Casia 2 AS-OCT w trybie 2D Analysis u pacjentki z czystą, średniogłęboką komorą przednią. Kolorowa linia od śródbłonna rogówki do przedniej powierzchni soczewki odpowiada głębokości komory przedniej (ACD), która u pacjentki wynosi 2,969 mm [6] (materiał własny)

- ACD (*anterior chamber depth*) – głębokość komory przedniej definiowana jako maksymalna odległość od śródbłonna rogówki do przedniej powierzchni soczewki. Średnio wynosi ona 2,15–4,4 mm [9]. Głębokość komory przedniej ACD jest odwrotnie skorelowana z wiekiem i nadwzrocznym błędem refrakcji, a mała wartość ACD często wiąże się z pierwotnym zamknięciem kąta przesączania [10].
- LT (*lens thickness*) – grubość soczewki.
- LV (*lens vault*) – sklepienie soczewki definiowane jako odległość od przedniego bieguna soczewki do linii poziomej łączącej dwie ostrogi twardówki.
- SS(s) (*scleral spurs*) – ostroga twardówkowa definiowana jako punkt, w którym krzywizna wewnętrznej powierzchni ściany kąta przesączania ulega wyraźnej zmianie (często wyglądem przypominająca wypukłość twardówki do wewnątrz).

Inne parametry istotne podczas dokładnej analizy kąta przesączania oraz komory przedniej to jest jej szerokość (ACW) oraz powierzchnia (ACA).

Analiza przedniego odcinka oka pacjentki przedstawiona na rycinie 3 w formie raportu z badania w trybie STAR 360° pozwoliła na zdiagnozowanie wąskiego, miejscowo zamkniętego kąta przesączania.



Ryc. 3. Skan AS OCT za pomocą Casia 2 Tomey w trybie STAR 360° u pacjentki z wąskim, miejscowo zamkniętym kątem przesączania [6] (materiał własny)

Badanie AS OCT jest pomocne w ocenie klinicznej i obserwacji pacjentów z zamknięciem kąta np. wywołanym pęczniącą, zmętniałą soczewką. Głębokość komory przedniej oraz szerokość kąta mają wpływ na wybór odpowiedniej metody usunięcia zaćmy. Dodatkowo, pomiar głębokości komory przedniej oraz grubości soczewki jest istotnym badaniem przy prawidłowym obliczaniu mocy wszczepianej soczewki podczas zabiegu usunięcia zaćmy lub refrakcyjnej wymiany soczewki, która jest jednym z możliwych rozwiązań dla pacjentów prebiopijnych [11]. Co więcej, szczegółowe parametry uzyskane podczas badania mogą być wykorzystywane do kontroli po zabiegu, np. wpływu zabiegu ekstrakcji soczewki na komorę przednią oka oraz ciśnienie wewnątrzgałkowe [10]. Badanie to znajduje zastosowanie również podczas diagnostyki innych schorzeń związanych z soczewką oka. Badanie krzywizn oraz grubości soczewki może być wykorzystywane przy pacjentach z jaskrą zamkniętego kąta, w tym z jaskrą soczewkowopochodną. Szczególne znaczenie wnosi w diagnostykę i monitorowanie oczu z anatomiczną predyspozycją do zamknięcia kąta przesączania.

### Analiza parametrów soczewki

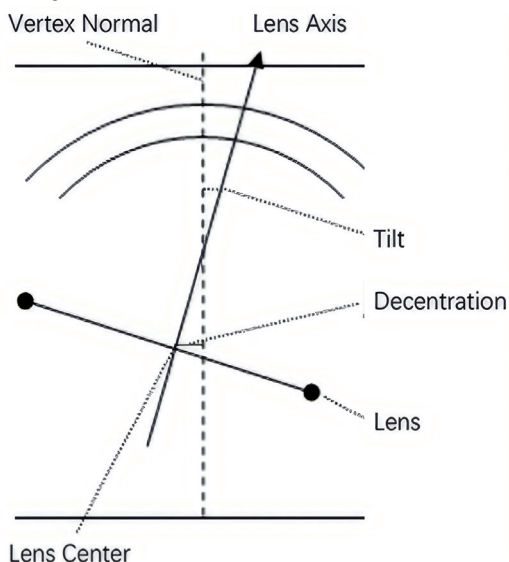
Aparat Casia 2 wykorzystuje laser o długości fali 1310 nm z częstotliwością 0,3 sekundy, tworząc 16 obrazów AS OCT z 16 różnych kątów. Każdy obraz dwuwymiarowy przedstawia przednią i tylną krzywiznę soczewki za pomocą linii, które są przedłużone tak, aby przecinały się w dwóch symetrycznych punktach, dzięki czemu uzyskuje się zarys soczewki. Dalsza analiza dwuwymiarowych obrazów prowadzi do uzyskania trójwymiarowej morfologii soczewki oraz jej parametrów.

Za pomocą tomografu Casia 2 podczas badania w trybie „Lens analysis” możliwe jest uzyskanie wyników pomiarów następujących elementów:

- **Rs** – promień stromej krzywizny soczewki.
- **Rf** – promień płaskiej krzywizny soczewki.
- **R** – średnia wartość z pomiaru Rs oraz Rf.

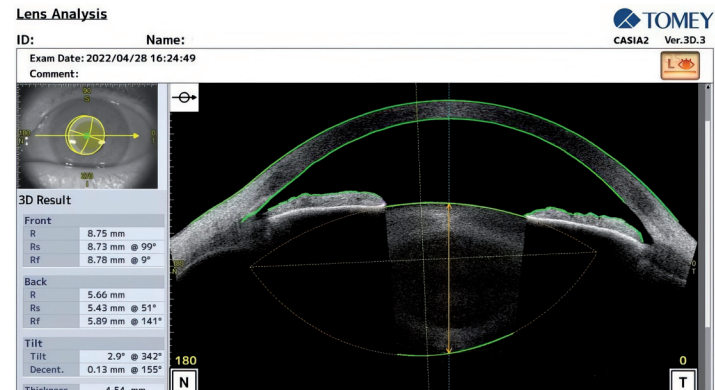
Powyższe wyniki uzyskuje się dla części przedniej (*front*) oraz tylnej (*back*) soczewki.

- **Diameter** – średnica mierzona wzdłuż równika soczewki.
- **Tilt** – kąt nachylenia osi soczewki względem normalnej wierzchołkowej [o].
- **Decentration** – przesunięcie środka soczewki względem normalnej wierzchołkowej.



Ryc. 4. Schemat przedstawiający decenterację (*decentration*) i pochylenie (*tilt*) soczewki (*lens*). Na rysunku oznaczono również normalną wierzchołkową (*Vertex Normal*) i środek soczewki (*Lens Center*) oraz jej oś (*Lens Axis*) [12]

Przedstawiony na rycinie 5 materiał własny wraz z analizą soczewki i jej parametrów został uzyskany jako wynik badania pacjentki podczas wizyty kwalifikującej do zabiegu usunięcia zaćmy.



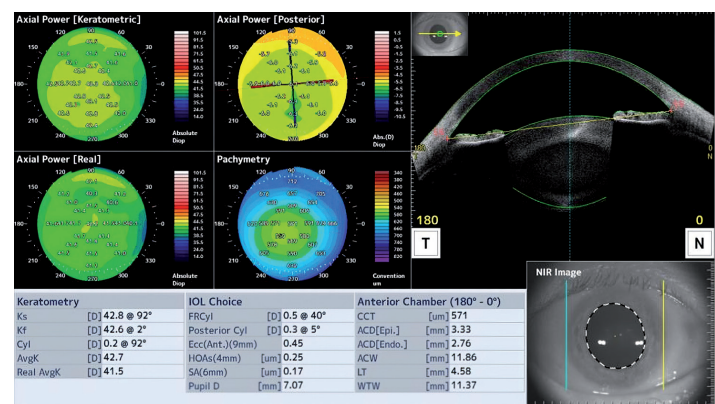
Ryc. 5. Analiza parametrów zmętniałej soczewki oka lewego. Zdjęcie zostało uzyskane za pomocą aparatu Casia 2 Tomey w trybie Lens Analysis [6] (materiał własny)

Widoczne na zdjęciu zmętnienie oka lewego zostało zdiagnozowane jako zaćma początkowa korowo-jądrowa. Na zdjęciu widoczna jest również decentracja i nachylenie soczewki. 63-letnia pacjentka została zakwalifikowana do zabiegu usunięcia zaćmy z wykorzystaniem techniki fakoemulsyfikacji.

### Diagnostyka przed i po zabiegu usunięcia zaćmy

Podstawą do przeprowadzenia zabiegu usunięcia zaćmy jest przeprowadzenie odpowiedniej kwalifikacji pacjenta oraz wykonanie niezbędnych badań. Podczas kwalifikacji do zabiegu, pośród innych badań, warto wykonać badanie przedniego odcinka oka i pomiar soczewki za pomocą optycznej koherencyjnej tomografii. Aparat Casia 2 pozwala na wykonanie pomiarów w trybie „Pre-op Cataract”, który jest przeznaczony specjalnie do obrazowania soczewki oka i zbadania jej parametrów przed wykonaniem zabiegu oraz może okazać się przydatny podczas planowania operacji zaćmy. W urządzeniu dostępny jest również moduł „Post-op Cataract”, który pozwoli na monitorowanie efektów zabiegu chirurgicznego [13].

Badanie za pomocą trybu „Pre-op Cataract” obejmuje pomiar przedoperacyjnej centralnej średnicy rogówki (parametr WTW, *white to white*) oraz jej grubości; głębokości i szerokości komory przedniej; grubości soczewki. Raport z badania za pomocą trybu „Pre-op Cataract” obejmuje również zestawienie wyników topografii przedniej i tylnej powierzchni rogówki oraz pomiarów keratometrycznych. Wynik keratometrii określa wartości refrakcyjne samej rogówki oka w obydwu przekrojach głównych wraz z jej niezbornością [14]. Niewątpliwą zaletą badania jest przedstawienie wyników wraz z mapami topografii rogówki oraz zdjęciem komory przedniej na jednym raporcie.



Ryc. 6. Raport z badania w trybie „Pre-op Cataract” wykonany za pomocą AS OCT Casia 2 Tomey. Raport poglądowy – badanie obarczone błędem w postaci nieprawidłowej centracji (oś pomiarowa nie znajduje się na osi widzenia) [6] (materiał własny)

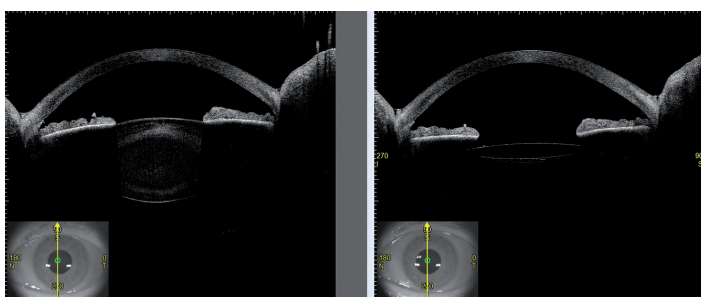
Po zakwalifikowaniu pacjenta do zabiegu usunięcia zaćmy niezwykle ważne jest odpowiednie dobranie metody i prawidłowa kalkulacja wszczepianej soczewki. Najczęstsze formuły, używane w celu wyliczenia odpowiedniej mocy soczewki wewnątrzgałkowej, opierają się na wartościach keratometrii oraz długości gałki ocznej. Niektóre bardziej skomplikowane wzory wykorzystują również wartość głębokości komory przedniej oraz grubość soczewki własnej [15]. Większość niezbędnych pomiarów możliwa jest do uzyskania za pomocą aparatu Casia 2, który dzięki swojej zaawansowanej technologii i dużej dokładności, umożliwia również automatyczne wyliczenie mocy soczewki.

Większość operacji usunięcia zaćmy przebiega bez powikłań, a po pacjent po operacji uzyskuje oczekiwaną poprawę funkcji widzenia i ostrości wzroku. Niekiedy zdarza się jednak, że po zabiegu pojawiają się niechciane efekty uboczne. Do najczęstszych, ale łagodnych powikłań należą: zaburzenia powierzchni oka, alergię na stosowane preparaty, wzrost ciśnienia wewnątrzgałkowego, zmętnienie torebki tylnej oraz nieszczelność rany operacyjnej [15]. Na pooperacyjnej wizycie kontrolnej, lekarz okulista ocenia, czy sztuczna soczewka wewnątrzgałkowa jest prawidłowo położona i scentrowana. Do oceny służy badanie AS OCT, a za pomocą urządzenia Casia 2 możliwe jest badanie w trybie specjalnie do tego przeznaczonym „Post-op Cataract”. Badanie to pozwala na wykonanie zarówno topografii rogówki, jak i szczegółowe określenie parametrów tomograficznych wszczepionej sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej (jej decentracji oraz kąta nachylenia), pomiar głębokości komory przedniej oraz wielu innych zależnie od wybranej opcji pomiarowej.

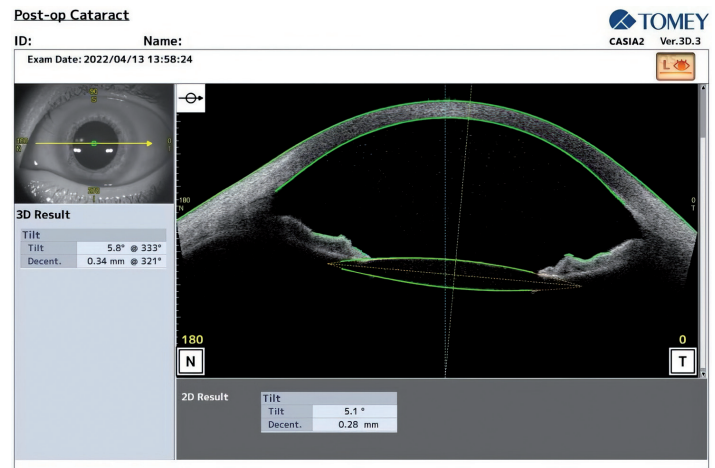


Ryc. 7. Fragment raportu z badania w trybie „Post-op Cataract” za pomocą AS OCT Casia 2 Tomey [6] (materiał własny)

Dużą zaletą badania za pomocą aparatu Casia 2 jest możliwość zestawienia pomiarów przed operacją i po niej, które pozwalają na wykonanie kontroli pozabiegowej. Za pomocą urządzenia Casia 2 możliwe jest również graficzne porównanie przedniego odcinka oka przed operacją i po niej oraz ukazanie zmian, które zachodzą podczas zabiegu, co może być przydatne nie tylko dla specjalisty, ale również dla pacjenta w celu lepszego zrozumienia dotyczącej go choroby.



Ryc. 8. Graficzne porównanie zmętniałej soczewki przed operacją usunięcia zaćmy i sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej za pomocą tomografu Casia 2 marki Tomey [6] (materiał własny)



Ryc. 9. Raport z badania w trybie „Post-op Cataract” wykonany za pomocą aparatu AS OCT Casia 2 marki Tomey. Zobrazowanie umiejscowienia soczewki pseudofakijnej wszczepionej podczas operacji usunięcia zaćmy (materiał własny) [6]

### Podsumowanie

Wszelkie zmiany fizjologiczne i patologiczne zachodzące w soczewce oka ludzkiego dotyczą niemalże każdego człowieka. Dolegliwości oraz choroby z nich wynikające przyczyniają się do znacznego pogorszenia wzroku, a co za tym idzie – spadku komfortu i jakości życia, a niekiedy nawet do całkowitej utraty zdolności widzenia.

Rozwój technologii oraz innowacyjność opisanych metod obrazowania soczewki oka ludzkiego przyczyniają się do lepszego rozumienia i monitorowania zachodzących w niej zmian. Opisane nowoczesne metody obrazowania soczewki oka ludzkiego znajdują swoje zastosowanie w codziennej pracy specjalistów ochrony wzroku, ułatwiają prowadzenie dokumentacji, diagnostykę i leczenie chorób, a zatem zapewniają bardziej wszechstronną opiekę nad pacjentem. Nowoczesne metody obrazowania soczewki oka ludzkiego niosą za sobą również szereg możliwości badawczych i umożliwiają rozwój wiedzy na temat zmian zachodzących w obrębie oka, które dotyczą większości społeczeństwa.

### Piśmiennictwo

1. S. Rosenfeld et al. BCSC11. *Soczewka i zaćma*. Edra Urban & Partner 2007
2. A. Lens, S. Nemeth, J. Ledford. *Anatomia i fizjologia narządu wzroku*. Pod red. M. Misiuk-Hojto. Górnicki Wydawnictwo Medyczne 2010
3. J.K. Ledford, V. Sanders. *Badanie w lampie szczelinowej*. Pod red. M. Misiuk-Hojto. Górnicki Wydawnictwo Medyczne 2011
4. R. Jacobs. OPTOM 472 Vision Science 3 Clinical Research and Evidence Based Practice
5. D.-M. Xiang, N. Jiang, L.-H. Chen, W.-S. Chen, Y. Yu, J.-X. Wang, P. He, W.-H. Xie. Establishing a novel lens opacities classification system based on ultrasound biomicroscopy (UBM) for pediatric cataracts: reliability and availability. 2021. PDF: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34737926/>
6. M. Gwozdek. Materiały uzyskane podczas praktyk autora w Centrum Okulistycznym Świat Oka w Warszawie, 2021/2022
7. Y. Xiang, T. Fu, Q. Xu, W. Chen, J. Guo, C. Deng, A. Manyande, P. Wang, H. Zhang, X. Tian, J. Wang. Quantitative analysis of internal components of the human crystalline lens during accommodation in adults. 2012. PDF: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33758264/>
8. Źródło internetowe: <https://swiatoka.pl/>
9. A. Grzybowski. *Okulistyka*. Edra Udra & Partner, Wrocław 2021
10. Triolo, P. Barboni, G. Savini, F. De Gaetano, G. Monaco, A. David, A. Scialdone. The Use of Anterior-Segment Optical Coherence Tomography for the Assessment of the Iridocorneal Angle and Its Alterations: Update and Current Evidence. 2021. PDF: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33440631/>
11. M. Turczynowska, K. Kozlik-Nowakowska, M. Gaca-Wysocka, A. Grzybowski. Obecne techniki biometrii oka. *Ophthalmotherapy. Terapie w Okulistyce* 2016; 2: 132–138
12. X. Wang, X. Chem, Y. Tang, J. Wang, Y. Chen, X. Sun. Morphologic Features of Crystalline Lens in Patients with Primary Angle Closure Disease Observed by CASIA 2 Optical Coherence Tomography. 2020. PDF: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32441758/>
13. J. Wasyluk. Tomografia optyczna przedniego odcinka oka – nowe perspektywy. *Ophthalmotherapy. Terapie w Okulistyce* 2019; 24(4): 287–293. doi: 10.24292/01.OI.311219.10
14. J.F. Hejtmancik, A. Shiels. Overview of the lens. 2015. PDF: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26310153/>
15. J.J. Kanski. *Okulistyka kliniczna*. Wrocław 2009