

(16)

# Optyczna koherentna tomografia w obrazowaniu kąta przesączania

## Optical Coherence Tomography in the imaging of the iridocorneal angle

Łukasz Drzyzga, Ewa Mrukwa-Kominek, Ewa Mielniczuk, Wanda Romaniuk

Z Katedry i Kliniki Okulistyki Uniwersytetu Medycznego w Katowicach  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Wanda Romaniuk

**Summary:** Anterior segment optical coherence tomography (AS OCT), enables visualization and measurements of the anterior segment of the eye. In particular, it is a valuable tool in the imaging of the iridocorneal angle. In this paper, we reviewed parameters used for analysis of the iridocorneal angle in AS OCT and compared changes of these parameters after cataract surgery, laser iridotomy and illumination. Special attention was paid to changes of such quantitative parameters as TISA (trabecular-iris space area), AOD (angle opening distance), and ARA (angle recess area).

**Słowa kluczowe:** optyczna koherentna tomografia, kąt tęczykowo-rogowkowy, irydotomia, zaćma, TISA, ARA, AOD.

**Key words:** optical coherence tomography, iridocorneal angle, iridotomy, cataract, TISA, ARA, AOD.

### Wprowadzenie

Optyczna koherentna tomografia przedniego odcinka oka (AS-OCT) została wprowadzona do użytku komercyjnego w 2006 roku. Urządzenia dostępne w handlu wykorzystują falę światła o długości 1310 nm i umożliwiają wizualizację oraz pomiary w zakresie rogówki, komory przedniej, kąta przesączania, przedniej powierzchni tęczyówki oraz przedniej części soczewki, a także twardówki, przedniej części naczyniówki i fragmentu ciała rzęskowego. Spośród różnych technik wykorzystywanych do obrazowania przedniego odcinka oka AS-OCT zapewnia najwyższą rozdzielczość, przewyższającą tę w biomikroskopii ultradźwiękowej (UBM). AS-OCT, w odróżnieniu od UBM, jest metodą bezkontaktową, co umożliwia bezpieczne obrazowanie struktur przedniego odcinka także w stanach naruszenia ciągłości tkanek oka oraz w każdym momencie przed zabiegiem i po nim. Eliminuje to także możliwość potencjalnego zafalszowania wyników, które może wynikać z niezamierzonego ucisku podczas przeprowadzania badania UBM. Wykonanie badania jest łatwe i wymaga mniej czasu niż wykonanie UBM. Wadą jest słaba wizualizacja struktur położonych poza tęczywką, która silnie rozprasza światło. Metoda świetnie nadaje się do obrazowania kąta przesączania, stanowiąc dobre uzupełnienie gonioskopii, a według niektórych autorów może być wykorzystana zamiast gonioskopii jako badanie przesiewowe lub w sytuacjach, gdy gonioskopia nie może być wykonana.

### Cel

Celem pracy jest przybliżenie czytelnikowi parametrów używanych do ilościowej analizy kąta przesączania w AS-OCT oraz przegląd, na podstawie piśmiennictwa, zmian tych parametrów po zastosowaniu procedur medycznych, takich jak: usunięcie zaćmy i wszczep sztucznej soczewki, obwodowa irydotomia laserowa oraz zmiana oświetlenia.

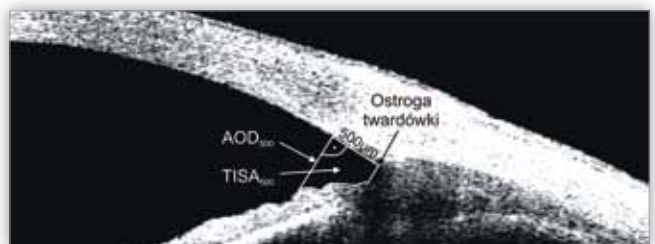
### Pomiary morfometryczne przedniej komory w OCT

#### Anterior chamber depth (ACD) – głębokość komory przedniej

ACD może być różnie definiowana. Najczęściej jest to tzw. soczewkowa ACD, która jest mierzona jako odległość między śródbłonkiem rogówki a przednim biegunem soczewki. Inne spotykane definicje to tzw. kątowna ACD, czyli odległość między śródbłonkiem rogówki a środkiem linii łączącej przeciwległe kąty rogówkowo-tęczywkowe na godzinach 3 i 9, oraz źreniczna ACD, tj. odległość między śródbłonkiem rogówki a środkiem linii łączącej nabłonek barwnikowy źrenicy. Dwie ostatnie są trudniejsze do zmierzenia i dlatego rzadziej stosowane (1).

#### Angle opening distance $\mu\text{m}$ ( $\text{AOD}_{500}$ ) – szerokość otwarcia kąta

Szerokość otwarcia kąta jest wyrażona w  $\mu\text{m}$  i definiowana jako odcinek prostopadły do linii poprowadzonej wzdłuż siateczki beleczkowania, którego początek jest wyznaczony przez punkt na śródbłonku rogówki odległy o  $500 \mu\text{m}$  do przodu od ostrogi twardówki, a koniec dochodzi do przeciwległej powierzchni tęczyówki (ryc. 1) (2-3).



**Ryc. 1.**  $\text{AOD}_{500}$  (Angle Opening Distance at  $500 \mu\text{m}$ ) – szerokość otwarcia kąta  $500 \mu\text{m}$  do przodu od ostrogi twardówki,  $\text{TISA}_{500}$  (Trabecular-Iris Space Area) – powierzchnia obszaru beleczkowo-tęczywkowego  $500 \mu\text{m}$  do przodu od ostrogi twardówki.

**Fig. 1.**  $\text{AOD}_{500}$  – Angle Opening Distance at  $500 \mu\text{m}$ ,  $\text{TISA}_{500}$  – Trabecular-Iris Space Area at  $500 \mu\text{m}$  in the front of scleral spur.

**Trabecular-iris space area (TISA<sub>500</sub>) – powierzchnia obszaru beleczkowo-tęczówkowego**

Powierzchnia obszaru beleczkowo-tęczówkowego jest wyrażona w mm<sup>2</sup> i definiowana jako powierzchnia trapezoidalnego obszaru, którego podstawy stanowią AOD<sub>500</sub> oraz linia poprowadzona od ostrogi twardówki do tęczówki, prostopadła do wewnętrznej ściany twardówki, natomiast boki są utworzone przez korespondującą powierzchnię tęczówki oraz śródbłonek rogówki (ryc. 1) (4).

**Angle recess area at 500 μm (ARA<sub>500</sub>) – powierzchnia zachyłka kąta**

Powierzchnia zachyłka kąta jest wyrażona w mm<sup>2</sup> i definiowana jako trójkątny obszar, który z jednej strony jest ograniczony przez AOD<sub>500</sub>, z drugiej strony – przez linię łączącą zachyłek kąta z punktem na śródbłonku rogówki oddalonym o 500 μm od ostrogi twardówki, z trzeciej strony – przez powierzchnię tęczówki zawartą między zachyłkiem kąta a AOD<sub>500</sub> (ryc. 2) (2-3).



Ryc. 2. AOD<sub>500</sub> (Angle Recess Area at 500 μm) – powierzchnia zachyłka kąta 500 μm do przodu od ostrogi twardówki.

Fig. 2. ARA<sub>500</sub> – Angle Recess Area at 500 μm in the front of scleral spur.

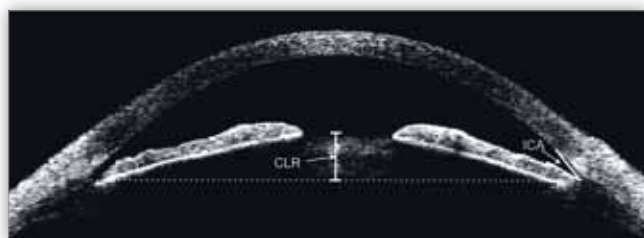
Wszystkie wyżej opisane pomiary mogą być dokonane w odległości 500 μm bądź 750 μm od ostrogi twardówki i przyjmują wówczas odpowiednio nazwy AOD<sub>500</sub>, ARA<sub>500</sub>, TISA<sub>500</sub> lub AOD<sub>750</sub>, ARA<sub>750</sub>, TISA<sub>750</sub>.

**Trabecular – iris contact length (TICL) – długość przylegania beleczkowo-tęczówkowego**

Długość przylegania beleczkowo-tęczówkowego jest wyrażona w μm i definiowana jako odcinek o początku w ostrodze twardówki, na którym tęczówka przylega do powierzchni twardówkowo-rogówkowej niezależnie od tego, czy przyczyną przylegania są zrosty, czy apozycja tęczówki (4). Parametr służy do opisu anatomicznie zamkniętego kąta.

**Iridocorneal angle width (ICA) – szerokość kąta przesączania**

Szerokość kąta przesączania jest definiowana w stopniach, szczyt kąta wyznacza ostroga twardówki, ramiona są styczne do śródbłonka rogówki i do tęczówki (ryc. 3).



Ryc. 3. CLR (Crystalline Lens Rise) – przyrost krystalicznej soczewki, ICA (IridoCorneal Angle width) – szerokość kąta przesączania.

Fig. 3. CLR – Crystalline Lens Rise, ICA – IridoCorneal Angle width.

**Crystalline lens rise (CLR) – przyrost krystalicznej soczewki**

Przyrost krystalicznej soczewki jest definiowany jako odcinek o długości od środka linii łączącej oba kąty rogówkowo-tęczówkowe do bieguna przedniego soczewki (ryc. 3).

**Zmiany morfologii przedniej komory po operacji zaćmy widoczne w OCT**

Doświadczenie kliniczne wskazuje, że operacja zaćmy powoduje pogłębienie przedniej komory i poszerzenie kąta przesączania. Potwierdzono to w badaniach z zastosowaniem UBM, w których stwierdzono, że im płytsza jest przednia komora przed operacją zaćmy, tym większa następuje zmiana po operacji (5). Taką samą obserwację zanotowano w stosunku do szerokości kąta przesączania (5). Zmierzony ultrasonograficznie średni wzrost głębokości komory przedniej po operacji zaćmy u pacjentów niechorujących na jaskrę i mających szeroki kąt przesączania wynosił 0,51 mm (17%) we wczesnym okresie i 0,63 mm (21%) miesiąc po zabiegu (6). W tej grupie pacjentów po operacji szerokość kąta przesączania w klasyfikacji Shaffera wzrosła średnio z 2,97 mm do 3,55 mm (19%) w pierwszym tygodniu oraz do 3,68 mm (24%) w 4 tygodniu (6).

OCT, podobnie jak UBM, może być wykorzystana do badania dynamiki komory przedniej po zabiegu usunięcia zaćmy. Technika ta pozwala nie tylko na dokonanie dokładnych pomiarów ilościowych w zakresie struktur kąta przesączania, ale także na śledzenie zachowania się struktur kąta względem siebie, np. zmiany kształtu tęczówki i jej przesunięcia w stosunku do siateczki beleczkowania. Oprogramowanie oferowane przez producenta OCT umożliwia pomiar szerokości kąta tęczówkowo-rogówkowego w stopniach oraz pomiar głębokości komory przedniej. Oprócz tego za pomocą OCT można dokonać dokładnej analizy ilościowej i obliczyć zmiany wielkości AOD, ARA czy TISA przed usunięciem zaćmy i po jej usunięciu. Badanie można wykonać w każdym momencie przed zabiegiem i po zabiegu, gdyż metoda jest całkowicie nieinwazyjna i łatwa do zastosowania.

Memarzadeh i wsp. (7) dokonali pomiaru głębokości komory przedniej za pomocą OCT przed zabiegiem usunięcia zaćmy oraz miesiąc po zabiegu. Wykazali oni, że średni przyrost ACD wynosił 1,4 mm (52%). Podobnych danych dostarczyła inna grupa badaczy (1), którzy wykazali wzrost ACD o 1,43 mm (56%) po tygodniu i o 1,37 mm (54%) po miesiącu od wykonania zabiegu fakoemulsyfikacji. Równocześnie ze wzrostem ACD nastąpił także przyrost szerokości kąta przesączania o 15° (58%). Po zabiegu usunięcia zaćmy oprócz przyrostu ACD wykazano także zmiany takich parametrów ilościowych jak AOD<sub>500</sub> i TISA<sub>500</sub>. Przyrost AOD<sub>500</sub> zmierzony miesiąc po zabiegu wynosił 245 μm (70%), podczas gdy TISA<sub>500</sub> wzrosło o 0,07 mm<sup>2</sup> (47%). Podobne wyniki uzyskali Nolan i wsp. Dawczynski i wsp. zmierzili za pomocą OCT przyrost ACD oraz ICA u pacjentów bez jaskry, z jaskrą pierwotną zamkniętego kąta i jaskrą otwartego kąta (8). W oczach z jaskrą pierwotną zamkniętego kąta ACD po operacji zaćmy zwiększyło się z 1,8 mm do 3,1 mm (przyrost o 1,3 mm – 72%), szerokość kąta przesączania natomiast podwoiła się (16° przed operacją vs 32° po operacji). W oczach bez jaskry i z jaskrą otwartego kąta także uzyskano wzrost obu parametrów, jednakże statystycznie mniejszy niż w oczach z jaskrą zamkniętego kąta.

### Zmiany morfologii przedniej komory po obwodowej irydotomii laserowej (IRT) w OCT

Głównym wskazaniem do IRT jest kąt przesączenia zamykający się w wyniku apozycji tęczy lub w wyniku bloku źrenicznego. Nowo utworzona droga przepływu między komorami tylną a przednią umożliwiła zrównanie gradientów ciśnień, wskutek czego wypukła tęczy ulega spłaszczeniu, a kąt przesączenia pogłębia się. Zakres zmian zachodzących w przedniej komorze po wykonanej IRT został zbadany w kilku pracach wykorzystujących OCT jako metodę obrazowania. Chalita i wsp. opublikowali opis przypadku pacjentki z wąskim kątem przesączenia, u której porównali kąt przesączenia uwidoczniony w badaniu OCT przed wykonaniem IRT i po jej wykonaniu, uzyskując wzrost szerokości kąta przesączenia mierzony parametrem TISA<sub>750</sub> (9). W kolejnych badaniach wykazano zwiększenie parametrów TISA<sub>500</sub>, TISA<sub>750</sub>, ARA<sub>500</sub>, ARA<sub>750</sub> oraz AOD<sub>500</sub> odpowiednio o 0,04 mm<sup>2</sup> (105%), 0,086 mm<sup>2</sup> (143%), 0,098 mm<sup>2</sup> (209%), 0,096 mm<sup>2</sup> (128%) oraz 137 μm po zabiegu IRT, co korespondowało ze zwiększeniem gonioskopowej klasyfikacji kąta przesączenia wg Shaffera z 0,56° na 2,6° (2). Za pomocą nowej metody obliczania objętości komory przedniej w badaniu OCT stwierdzono przyrost objętości komory przedniej po wykonanym zabiegu IRT o ok. 11 μl (15%) (10-11). Sporne pozostaje to, czy po zabiegu IRT zmienia się centralna głębokość komory przedniej. W jednym badaniu nie stwierdzono istotnej zmiany tej wielkości (2), podczas gdy w innym badaniu zmiana ta wynosiła 31 μm (1,6%) i choć była niewielka, to była znamienna statystycznie (10).

### Zmiany morfologii przedniej komory w różnych warunkach oświetlenia w badaniu OCT

Zmiana oświetlenia z ciemnego na jasne powoduje zwężenie źrenicy oraz poszerzenie kąta przesączenia. Ilościowo zmiany zostały ocenione za pomocą OCT. U pacjentów z jaskrą zamykającego się kąta wykazano, że AOD<sub>500</sub> oraz TISA<sub>750</sub> zwiększają swoje wartości odpowiednio o 81,4 μm (189%) oraz 0,051 mm<sup>2</sup> (213%) (2). Jest interesujące, że w tej grupie pacjentów AOD<sub>500</sub> oraz TISA<sub>750</sub> zmierzone w jasnym oświetleniu przed wykonaniem IRT miały podobną wartość jak w warunkach słabego oświetlenia po wykonanej IRT (2). Centralna głębokość komory przedniej nie uległa zmianie (2). W innym badaniu oceniano morfologię komory przedniej w odpowiedzi na zmianę oświetlenia u pacjentów z kątami przesączenia wąskim oraz szerokim (3,41 vs. 1,44 wg Shaffera) (3). Bez względu na zmianę wartości parametrów AOD<sub>500</sub> oraz TISA<sub>500</sub> była większa u pacjentów z szerokim kątem przesączenia, co przemawia za większą ruchomością tęczy w tych pacjentów. Odwrotnie jednak, względny wzrost obu wielkości był większy u pacjentów z wąskim kątem przesączenia po zastosowaniu maksymalnego oświetlenia. Wykazano także, że na każdy mm zmiany szerokości źrenicy przypada zmiana parametru AOD<sub>500</sub> średnio o 94 μm, a TISA<sub>500</sub> – o 0,035 mm<sup>2</sup> (3). Wielkości te mały liniowo wraz ze zwiększaniem się szerokości źrenicy.

### Możliwości wykrywania wąskiego kąta za pomocą OCT

Przewaga OCT nad innymi sposobami badania komory przedniej zachęca do zastosowania tej metody jako przesiewowej w celu wykrywania pacjentów z wąskim kątem przesączenia i ryzykiem jego zamknięcia. Stwierdzono, że takie parametry jak AOD, ARA oraz TISA mierzone 500 μm i 750 μm od ostrogi

twardówki wykazują podobną, bardzo dobrą zdolność dyskryminacji pacjentów z wąskim kątem przesączenia, mających ≤ 1° wg klasyfikacji Shaffera (4). Autorzy określili także wartości odcięcia podanych parametrów dla wąskiego kąta. Przykładowo wartości te dla parametrów AOD<sub>500</sub>, ARA<sub>500</sub> oraz TISA<sub>500</sub> zmierzone za pomocą OCT wynosiły odpowiednio 191 μm, 0,12 mm<sup>2</sup> oraz 0,11 mm<sup>2</sup> (4). W cytowanym badaniu zarówno OCT, jak i UBM wykazały bardzo wysoką czułość i swoistość w wykrywaniu wąskiego kąta.

### Podsumowanie

Pojawiające się nowe techniki obrazowania, takie jak AS-OCT, są doskonałym uzupełnieniem metod tradycyjnych oraz stwarzają nowe możliwości zarówno obrazowania, jak i pomiarów ilościowych struktur kąta tęczy-rogowkowego. Niezbędna jest standaryzacja warunków, w których przeprowadza się badania. Podobnie jak w przypadku gonioskopii na wynik badania OCT duży wpływ mają warunki oświetlenia. W jednym z badań porównawczych w badaniu OCT stwierdzono większy odsetek pacjentów z zamkniętym kątem przesączenia niż w badaniu gonioskopowym (12). Prawdopodobnie różnica ta wynika z faktu, że badanie OCT można przeprowadzić w warunkach zupełnej ciemności, podczas gdy wpływ światła pochodzącego z lampy szczelinowej w badaniu gonioskopowym jest niemożliwy do całkowitego wyeliminowania. Nie bez znaczenia są także użyty system klasyfikacji szerokości kąta przesączenia oraz sposób interpretacji wyniku przez badającego.

Metodą referencyjną badania kąta przesączenia pozostaje nadal gonioskopia. Ustalenie pozycji OCT w diagnostyce struktur kąta przesączenia i – co się z tym wiąże – w diagnostyce jaskry wymaga badań porównawczych na większej populacji pacjentów. Szybkość i łatwość, z jaką można wykonać badanie AS-OCT, oraz jego wysoka czułość w wykrywaniu u pacjentów kątów przesączenia – wąskiego bądź zamkniętego – mogą przemawiać za użyciem w przyszłości tej metody jako skringowej w diagnostyce jaskry zamkniętego kąta (13).

### Piśmiennictwo:

1. Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E, Kulacoglu DN, Dinc UA, Alimgil ML: *Anterior segment optical coherence tomography measurement of anterior chamber depth and angle changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation*. J Cataract Refract Surg 2008, 34, 1694-1698.
2. See JL, Chew PT, Smith SD et al.: *Changes in anterior segment morphology in response to illumination and after laser iridotomy in Asian eyes: an anterior segment OCT study*. Br J Ophthalmol 2007, 91, 1485-1489.
3. Leung CK, Cheung CY, Li H et al.: *Dynamic analysis of dark-light changes of the anterior chamber angle with anterior segment OCT*. Invest Ophthalmol Vis Sci 2007, 48, 4116-4122.
4. Radhakrishnan S, Goldsmith J, Huang D et al.: *Comparison of optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of narrow anterior chamber angles*. Arch Ophthalmol 2005, 123, 1053-1059.
5. Kurimoto Y, Park M, Sakaue H, Kondo T: *Changes in the anterior chamber configuration after small-incision cataract surgery with posterior chamber intraocular lens implantation*. Am J Ophthalmol 1997, 124, 775-780.

6. Altan C, Bayraktar S, Altan T, Eren H, Yilmaz OF: *Anterior chamber depth, iridocorneal angle width, and intraocular pressure changes after uneventful phacoemulsification in eyes without glaucoma and with open iridocorneal angles*. J Cataract Refract Surg 2004, 30, 832-838.
7. Memarzadeh F, Li Y, Chopra V, Varma R, Francis BA, Huang D: *Anterior segment optical coherence tomography for imaging the anterior chamber after laser peripheral iridotomy*. Am J Ophthalmol 2007, 143, 877-879.
8. Dawczynski J, Koenigsdoerffer E, Augsten R, Strobel J: *Anterior optical coherence tomography: a non-contact technique for anterior chamber evaluation*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2007, 245, 423-425.
9. Chalita MR, Li Y, Smith S et al.: *High-speed optical coherence tomography of laser iridotomy*. Am J Ophthalmol 2005, 140, 1133-1136.
10. Lei K, Wang N, Wang L, Wang B: *Morphological changes of the anterior segment after laser peripheral iridotomy in primary angle closure*. Eye (Lond) 2009, 23, 345-350.
11. Wang N, Wang B, Zhai G, Lei K, Wang L, Congdon N: *A method of measuring anterior chamber volume using the anterior segment optical coherence tomographer and specialized software*. Am J Ophthalmol 2007, 143, 879-881.
12. Sakata L, Lavanya R, Friedman D et al.: *Comparison of Gonioscopy and Anterior Segment Optical Coherence Tomography in Detection Angle Closure in Different Quadrants of the Anterior Chamber Angle*. Ophthalmology 2008, 115, 769-774.
13. Friedman D, He M: *Anterior Chamber Angle Assessment Techniques*. Surv Ophthalmol 2008, 53, 250-273.

Praca wpłynęła do Redakcji 28.04.2010 r. (1219)  
Zakwalifikowano do druku 22.12.2010 r.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):  
Dr hab. n. med. Ewa Mrukwa-Kominek  
40-952 Katowice  
ul. Ceglana 35  
emrowka@poczta.onet.pl

**Zarząd Sekcji Okulistyki Dziecięcej  
Polskiego Towarzystwa Okulistycznego  
informuje, że w dniach 11-12 listopada 2011 roku  
w Warszawie odbędzie się **X Forum Okulistyki Dziecięcej****

**Miejsce obrad:  
Centrum Konferencyjno-Szkoleniowe „BOSS”,  
ul. Żwanowiecka 20, Warszawie-Miedzeszyn.**

**Organizator:  
Klinika Okulistyczna  
Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej w Warszawie.**

**Główny temat obrad:  
Nowe możliwości leczenia  
schorzeń narządu wzroku u dzieci**

**Informacje o zjeździe oraz formularze zgłoszenia uczestnictwa  
i prac można znaleźć na stronie internetowej  
Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej [www.wiml.waw.pl](http://www.wiml.waw.pl)**