



Badania obrazowe w okulistyce „okiem elektrodziagnosty”

Dorota Wojtusik¹, Anna Kowalik²

¹ Specjalistyczne Centrum Okulistyczne OCUSERVICE, ul. Kościelna 26/1, 60-538 Poznań, tel. +48 509 462 606, e-mail: dorota.wojtusik@gmail.com

² Przychodnia i Szpital Okulistyczny Retina, ul. Gimnazjalna 1, 01-364 Warszawa

Wprowadzenie

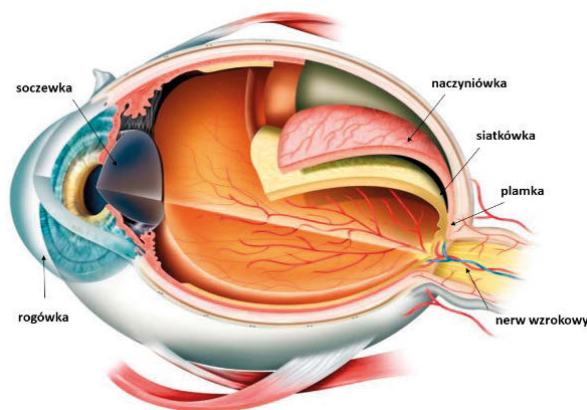
W ciągu ostatnich trzydziestu lat dokonał się znaczący postęp w diagnostyce obrazowej narządu wzroku. Dzięki innowacyjnym technologicznie aparatom oraz rozwojowi zaawansowanych programów informatycznych, obrazy zwizualizowanych tkanek mają dziś bardzo dobrą jakość. Możliwe jest wizualizowanie struktur wewnętrznych oka z bardzo dużą precyzją, co umożliwia precyzyjną diagnostykę we wczesnym stadium choroby, a także monitorowanie wielu procesów chorobowych [1]. Nowoczesne technologie umożliwiają osiągnięcie rozdzielczości na poziomie fotoreceptora, co pomaga w lepszym zrozumieniu podstaw choroby i pozwala na tworzenie nowych metod leczniczych.

Oko jest unikalnym narządem, który dzięki swej budowie pozwala na nieinwazyjne wykonanie badań nie tylko przedniej części oka, ale i tylnego jej bieguna, czyli siatkówki i nerwu wzrokowego [2].

Anatomia

Na potrzeby artykułu sklasyfikowano metody diagnostyczne, dzieląc je na dwa obszary w obrębie narządu wzroku: przedni i tylny odcinek oka.

Odcinek przedni zaczyna się rogówką, a kończy soczewką. Obejmuje następujące struktury: spojówkę, rogówkę, komorę przednią (w tym twardówkę), tęczęwkę, kąta przesączania i soczewkę. Tylny odcinek oka obejmuje wszystkie struktury do tyłu od soczewki. Najbardziej światłoczułą warstwą jest siatkówka ze szczególnym uwzględnieniem plamki żółtej, stanowiącej jej centralną część, która odpowiedzialna jest za widzenie szczegółów. Pozostałe obwodowe fragmenty siatkówki odpowiedzialne są za widzenie światła, ruchu, konturów, zarysów przedmiotów, orientację w przestrzeni. Do struktur w obrębie odcinka tylnego należą również: twardówka i nerw wzrokowy [3].



Rys. 1 Narząd wzroku – schemat

Źródło: <https://www.mojeoczy.pl/podstawy-wiedzy/budowa-oka/>

Obrazowanie przedniego odcinka

Lampa szczelinowa, inaczej biomikroskop, to podstawowe narzędzie pracy okulisty. Urządzenie to pozwala na dostosowanie oświetlenia i powiększenie oglądanego obrazu. Światło lampy ogniskuje się na powiekach, spojówce, twardówce, rogówce, przedniej komorze wypełnionej cieczą wodnistą, tęczęwkę, soczewkę i przedniej części ciała szklistego. Stosując dodatkowe soczewki, wykonuje się badanie kąta przesączania (rogówkowo-tęczęwkowego), czyli tzw. gonioskopię [6].

Kolejnym badaniem wykonywanym za pomocą lampy szczelinowej jest ocena powierzchni rogówki z użyciem barwników, takich jak: fluoresceina, róż bengalski i zieleń lizaminowa. Najczęściej stosowana fluoresceina wybarwia ubytki w powierzchniowej warstwie nabłonka rogówki. Badanie przeprowadza się z użyciem światła ko-baltowoniebieskiego, w którym fluoresceina świeci na zielono [4].

Lampa szczelinowa może być również używana do zapisu cyfrowego obrazu narządu wzroku. Istnieją trzy akcesoria służące



Rys. 2 Lampa szczelinowa (po lewej), zdjęcie oka wykonane za pomocą lampy szczelinowej (po prawej)
 Źródło: Specjalistyczne Centrum Okulistyczne OCUSERVICE, Poznań.

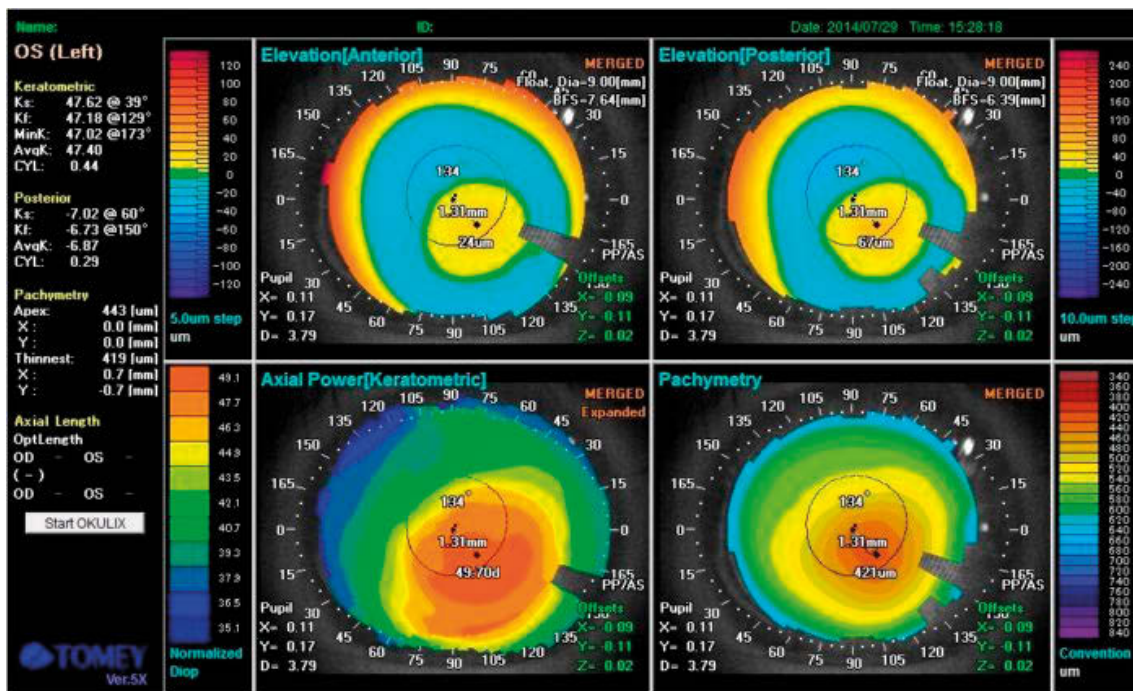
do obrazowania przedniego odcinka: przystawka okularowa, rozdzielacz optyczny oraz zintegrowana przystawka cyfrowa [6].

Biometria optyczna służy do oceny długości gałki ocznej oraz wymiarów poszczególnych jej struktur. Badanie biometryczne można przeprowadzić metodą ultradźwiękową (kontaktową bądź immersyjną) lub optyczną [7]. Metoda ta stosowana jest szczególnie do kalkulacji mocy wszczepianych soczewek wewnątrzgałkowych przed operacją zaćmy.

Topografia rogówki jest to badanie, które pozwala ocenić ukształtowanie powierzchni rogówki zarówno wewnętrznej, jak i zewnętrznej. Badanie wykonuje się za pomocą topografu rogówkowego wykorzystującego światło lasera. Przy pomocy tego badania tworzona jest barwna mapa krzywizn rogówki, która jest stosowana w diagnostyce i leczeniu stożka rogówki, astygmatyzmu oraz kwalifikacji do laserowej korekcji wzroku.



Rys. 3 Biometr optyczny AL-Scan
 Źródło: Przychodnia i Szpital Okulistyczny Retina, ul. Gimnazjalna 1, 01-364 Warszawa.



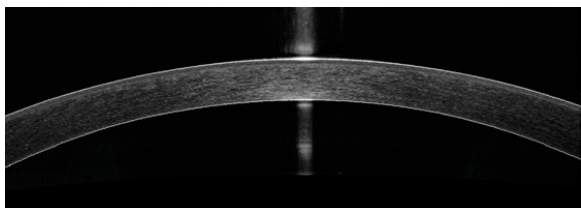
Rys. 4 Topografia rogówki na obrazie, przypadek stożka rogówki
 Źródło: Przychodnia i Szpital Okulistyczny Retina, ul. Gimnazjalna 1, 01-364 Warszawa.



OCT przedniego odcinka

Optyczna koherentna tomografia (OCT) to metoda umożliwiająca uzyskanie w sposób całkowicie nieinwazyjny wysokiej rozdzielczości przekrojów przedniego i tylnego odcinka oka. Zasada działania jest podobna do ultrasonografii, ale zamiast ultradźwięków wykorzystywana jest wiązka światła [8, 9].

W obrazowaniu przedniego odcinka OCT wykorzystywane jest do badania kształtu i grubości rogówki, rąbka rogówki, pomiaru grubości filmu łzowego, parametrów soczewki, głębokości komory przedniej oraz kąta przesączenia [6, 13].



Rys. 5 Skan rogówki Avanti Optovue

Źródło: Aparat Optovue Avanti, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.



Rys. 6 Aparat SOCT Avanti Optovue – ze soczewką do badania przedniego odcinka

Źródło: Aparat Optovue Avanti, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

UBM

Ultrabiomikroskopia (UBM) jest badaniem usg przedniego odcinka oka, która wykorzystuje ultradźwięki o bardzo dużej częstotliwości (35-50 MHz). Dzięki temu możliwe jest uzyskanie

obrazu o dużej rozdzielczości. Wadą tego badania jest głębokość przenikania, która wynosi około 4-5 mm. Badanie przeprowadza się zawsze metodą pośrednią (immersyjną). Na znieczulone oko nakłada się tzw. nasadkę nagałkową, w której po wypełnieniu płynem zanurza się końcówkę sondy bez dotykania oka. UBM służy do badania rogówki, komory przedniej, kąta przesączenia, tęczy, soczewki i ciała rzęskowego.

Obrazowanie tylnego odcinka

Fotografia dna oka, czyli cyfrowa dokumentacja fotograficzna, wykonywana jest za pomocą aparatu fundus kamery. Aby zapewnić odpowiednie warunki do badania, źrenica pacjenta powinna być maksymalnie rozszerzona za pomocą kropli. Następnie wykonuje się zdjęcia kolorowe celowane na zmianę. Dodatkowo można wykonać zdjęcie z filtrem zielonym, czerwonym i niebieskim.



Rys. 8 Dokumentacja fotograficzna – znamię barwnikowe naczyńiówki: od góry zdjęcie kolor i czerwone

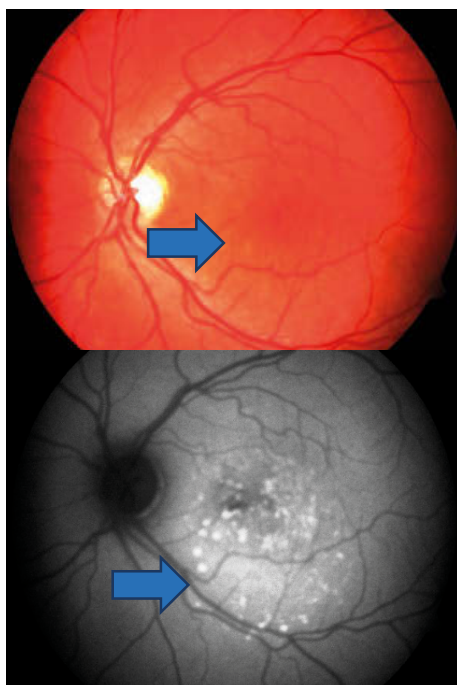
Źródło: Aparat FF450 Visupac Zeiss, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

W niektórych modelach funduskamer jest możliwość wykonania badania siatkówki w trybie **autofluorescencji FAF** (*Fundus Auto Fluorescence*). Pomiar jest nieinwazyjną procedurą, która wykorzystuje akumulację lipofuscyny jako parametr oceniający stan nabłonka barwnikowego (RPE). Jego największą zaletą jest wykrywanie wczesnych zmian morfologicznych, kiedy obraz dna oka jest prawidłowy. Stosowany m.in. w chorobie Stargarda, RP (*Retinitis Pigmentosa*) oraz centralnej surowiczej choroidopatii (CSR).



Rys. 7 Aparat USG Aviso (poniżej) nasadki oraz głowica UBM (po lewej)

Źródło: <https://www.quantel-medical.pl/products/3-aviso>



Rys. 9 Zdjęcie kolorowe (u góry) i zdjęcie FAF (na dole). Na zdjęciu kolorowym widoczny obraz prawidłowy dna oka, natomiast na zdjęciu FAF widoczny znaczny obszar zmiany świadczący o obecności centralnej surowiczej choroidopatii (CSR)
 Źródło: Aparat FF450 Visupac Zeiss, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

Angiografia fluoresceinowa i indocyjaninowa

Zastosowanie środków kontrastowych, które podawane dożylnie transportowane są wraz z pędem krwi do układu naczyniowego w oku pozwala na uzyskanie informacji o krążeniu siatkówkowo-naczyniowym. Obecnie w okulistyce stosowane są dwa środki kontrastowe: fluoresceina i zieleń indocyjaninowa.

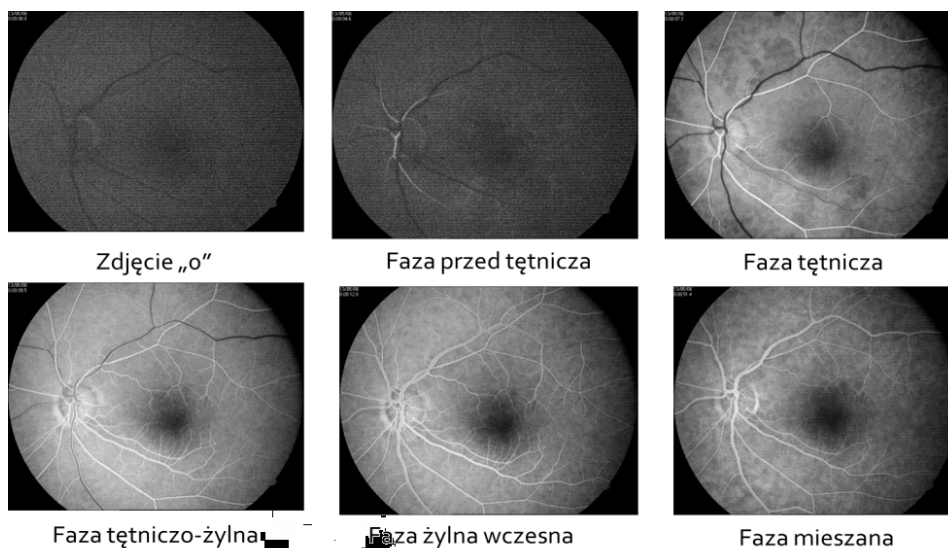
Działanie obu opiera się na zjawisku fluorescencji, czyli emisji światła o określonej długości fali pod wpływem światła wzbudzającego [10].

Angiografia indocyjaninowa (Indocyanine Green Angiography – ICG) jest zdecydowanie rzadziej stosowana. W angiografii indocyjaninowej korzysta się z podczerwieni, która w mniejszym stopniu ulega blokowaniu przez barwniki w oku. Dzięki temu w badaniu można uwidocznić krążenie w naczyniach błony naczyniowej.

Badanie polega na wykonaniu serii fotografii dna oka po dożylnym podaniu środka cieniującego (zieleni indocyjaniny).

Angiografia fluoresceinowa to nadal jedna z podstawowych metod diagnostycznych w chorobach siatkówki. W 1961 r. Novotny i Alvis po raz pierwszy opisali metodę dożylnego podania fluoresceiny z jednoczesnym wykonaniem fotografii siatkówki w celu sprawdzenia integralności naczyń siatkówki [2]. Technika badania jest bardzo podobna do badania ICG i polega na dożylnym podaniu kontrastu – soli sodowej fluoresceiny i następnie wykonaniu serii zdjęć po oświetleniu dna oka niebieskim światłem pobudzającym. Od momentu iniekcji dożylnej barwnik dociera do dna oka po ok. 10-12 s. Kluczowym elementem badania jest uchwycenie pierwszych kilkunastu sekund badania, w których wyróżniamy następujące fazy:

1. Faza przedtętnicza – trwa od momentu wptynięcia fluoresceiny do naczyniówki, powodując jej wybarwienie.
2. Faza tętnicza – rozpoczyna się od pojawienia się barwnika w tętnicy środkowej siatkówki do czasu wypełnienia tętniczego odcinka łoża naczyniówkowego siatkówki.
3. Faza tętniczo-żylna – barwnik całkowicie wypełnia tętnice i włosniczki, zaczyna pojawiać się w żyłach siatkówkowych, trwa około 2 s.
4. Faza żylna – pełne wypełnienie wszystkich żył siatkówki.
5. Faza późna – około 10-12 min od podania barwnika.



Rys. 10 Fazy badania angiografii fluoresceinowej
 Źródło: Aparat FF450 Visupac Zeiss, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.



Najważniejsze są wczesne fazy przepływu fluoresceiny, trwające zwykle około 1 minuty. Od chwili rozpoczęcia zdjęć są one robione aż do osiągnięcia pełnej fluorescencji z częstotliwością jedno na sekundę. Ze względu na ograniczenia czasowe fotografowanie w fazie początkowej ogranicza się do jednego oka, a zdjęcia drugie oko mogą być wykonane później [5, 10, 15].

Angiografia fluoresceinowa zalecana jest najczęściej w diagnozowaniu zmian naczyniowych, takich jak: cukrzyca czy zakrzep naczyń siatkówki, zmiany zwyrodnieniowe i zapalne oraz w różnicowaniu zmian nowotworowych.

OCT

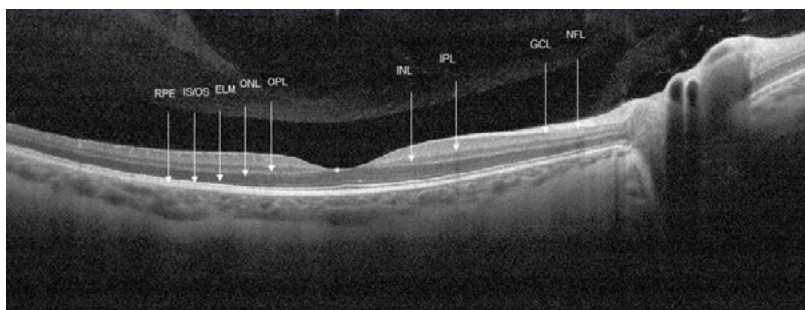
Optyczna Koherentna Tomografia dała możliwość obrazowania tylnego odcinka niemalże z dokładnością oceny wycinka histopatologicznego siatkówki.

OCT umożliwia uzyskanie w szybki sposób wysokiej rozdzielczości przekrojów (tomogramów) siatkówki. Wizualizacja jej struktury odbywa się na podstawie analizy wstecznej rozproszonego bądź też odbitego przez nią światła. Gdy odbija się ono od głębszych warstw, to aby powrócić do detektora, musi przebyć dłuższą drogę niż promienie odbite z warstw bardziej powierzchniowych. Dzięki temu uzyskujemy informację, z jakiej głębokości pochodzi dany sygnał. Tomogramy OCT przedstawiane są zazwyczaj w dwóch skalach kolorystycznych: odcieni szarości lub zbliżonej do kolorów tęczy. Pierwsza z nich, zdecydowanie częściej stosowana, daje możliwość intuicyjnej interpretacji obrazu. Kolor biały i czarny odpowiadają najślabszemu i najmocniejszemu sygnałowi, odcienie szarości – sygnałowi pośrednim [10].

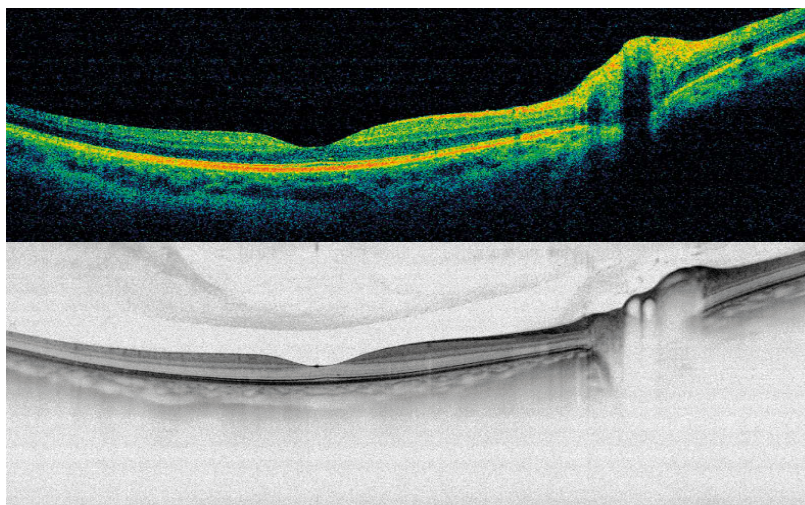
Główne wskazania do wykonania OCT tylnego odcinka stanowią: AMD, otwory plamki, makulopatia cukrzycowa, jaskra, błony przedsiatkówkowe, centralna retinopatia surowicza (CSR) oraz hypoplazja plamki.

Angiografia OCT

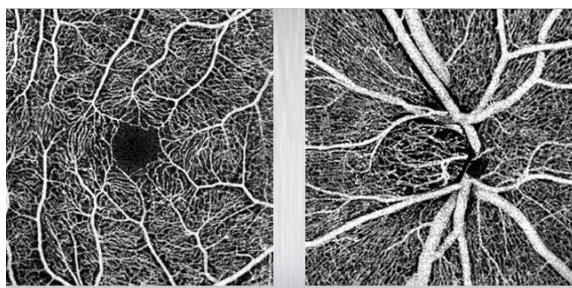
Angiografia OCT (angio-OCT) pozwala na zwizualizowanie naczyń siatkówki i naczyńówki w sposób bezinwazyjny. Środkiem kontrastowym w angiografii OCT są erytrocyty. Idea polega na bardzo szybkim kilkukrotnym skanowaniu siatkówki w tych samych miejscach. Ponieważ struktura siatkówki jest statyczna, dyskretne różnice pomiędzy uzyskanymi w ten sposób tomogramami wynikają z przepływu krwi w naczyniach. Jednym z najbardziej obiecujących zastosowań angio-OCT jest monitorowanie neowaskularyzacji w przebiegu AMD, czyli zwyrodnieniu plamki związanym



Rys. 11 Warstwy siatkówki widoczne w badaniu OCT – RPE – nabłonek barwnikowy siatkówki, IS/OS – linia łącząca wewnętrzne i zewnętrzne segmenty receptorów, ELM – błona graniczna zewnętrzna, ONL – zewnętrzna warstwa jądrowa, OPL – zewnętrzna warstwa splotowata, INL – wewnętrzna warstwa jądrowa, IPL – wewnętrzna warstwa splotowata, GCL – warstwa komórek zwojowych, NFL – warstwa włókien nerwowych
Źródło: Skan wykonany aparatem: Aparat Optovue Avanti, SO NZOZ Ocu Service, Poznań. Opracowanie własne.



Rys. 12 Skany OCT
Źródło: Aparat Optovue Avanti, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

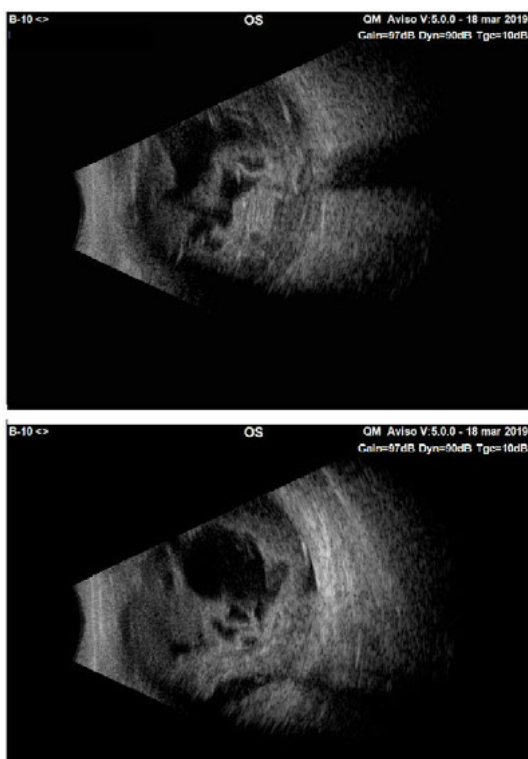


Rys. 13 Badanie OCT plamki i tarczy nerwu wzrokowego
Źródło: Aparat Optovue Avanti, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

z wiekiem. Badanie precyzyjnie wizualizuje zarówno zanikanie, jak i ponowny rozrost CNV (*choroidal neovascularization*).

Ultrasonografia tylnego odcinka

W czasie badania ocenia się zmiany morfologiczne, takie jak: lokalizację, wielkość, kształt oraz dodatkowe struktury w obrębie gałki ocznej i oczodołu. Badania wykonuje się w tzw. prezentacji A i B. W prezentacji A wykorzystuje się możliwość regulacji czułości aparatu wyrażonej w dB. Częściej stosowana prezentacja



Rys. 14 USG gałki ocznej przedstawiające masywny krwotok przedsiatkówkowy i podsiatkówkowy w biegunie tylnym

Źródło: Aparat USG Aviso, SO NZOZ Ocu Service, Poznań.

reklama

KOSS

Aparaty RTG
analogowe
cyfrowe

TELERADIOLOGIA
już od 7,00 zł za badanie

Radiografia cyfrowa
DR i CR

RENTGEN-SERWIS
Zygmunt Koss Rafał Koss
ul. Kasjopei 8 • 80-299 Gdańsk
tel. 58 511 09 03 • tel. kom. 603 270 482
e-mail: rentgenserwis@gmail.com
www.koss.net.pl

B obejmuje serię skanów podłużnych oraz poprzecznych, tak aby zobrazować struktury anatomiczne gałki ocznej i oczodołu (tj. tęczęwki, soczewki, ściany gałki ocznej, ciała szklistego, nerwu wzrokowego, mięśni okotoruchowych i oczodołów).

Podsumowanie

Zaprezentowanie powyżej badania pokazuje, jak ważną rolę w okulistyce zajmują badania diagnostyczne. Ciągły rozwój technologii pozwala na coraz lepsze i szybsze diagnozowanie, a co za tym idzie – leczenie chorób narządu wzroku. Należy jednak pamiętać, aby badania były wykonane w jak najlepszej jakości niezbędna jest obecność osób z dedykowanym do tego wykształceniem. Dlatego tak ważna jest ścisła współpraca lekarza okulisty z elektroradiologiem lub optometrystą. ⁸

Literatura

1. M. Rek, P. Jurowski: *Rola tradycyjnych metod obrazowania w współczesnej diagnostyce okulistycznej*, Klinika Okulistyki i Rehabilitacji Wzrokowej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Okulistyka po Dyplomie, 2017.
2. G. Theodossiadis: *Optyczna Koherentna Tomografia Choroby Siatkówki-Jaskra*, Elsevier Urban i Partner Wrocław, 2009.
3. M.H. Niżankowska: *Podstawy okulistyki*, Wrocław 1992.
4. A.M. Ambroziak, R. Różycki: *Okulistyka Kwartalnik Medyczny*, 4, 2008.
5. D. Wojtusik: *Rola elektroradiologa w diagnostyce chorób oczu*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 4(3), 2015, 159-162.
6. J.S. Wolffsohn: *Badania obrazowe w okulistyce*, wyd. polskie pod redakcją E. Wylęgała, Wrocław 2013.
7. M. Turczynowska, K. Koźlik-Nowakowska, M. Gaca-Wysocka, A. Grzybowski: *Obecne techniki biometrii oka*, Ophthalmotherapy, 3(2), 2016, 132-138.
8. E. Wylęgała, S. Teper, E. Wróblewska-Czjka, D. Dobrowolski: *Optyczna Koherentna Tomografia Atlas schorzeń gałki ocznej opracowany na podstawie badań urzędzeniami OCT Visante i OCT Stratus*, Warszawa 2007.
9. J.G. Fujimoto, C.P. Stephen, A. Boppart, M.E. Brezinski: *Optical Coherence Tomography: An Emerging Technology for Biomedical Imaging and Optical Biopsy*, Neoplasia, 2(1-2), 2000, 9-25.
10. J. Kucharczuk, B.Ł. Sikorski: *Atlas diagnostyki i terapii zwyrodnienia plamki związaneego z wiekiem*, Wrocław 2017.
11. P.J. Saine, M.E. Tyler: *Fundus Photography Overview*, Ophthalmic Photography: Retinal Photography, Angiography, and Electronic Imaging, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann Medical.
12. J.S. Duker, N.K. Waheed, D.R. Goldman: *Handbook of Retinal OCT*, Elsevier Saunders 2014.
13. P. Fryczkowski: *Ultrasonografia gałki ocznej*, Wrocław 2008.
14. C.W. DiBernardo, E.F. Greenberg: *Ophthalmic Ultrasound A Diagnostic Atlas*, 2007.
15. Applications of Anterior Segment Optical Coherence Tomography in Cornea and Ocular Surface Diseases J Ophthalmol. 2016; 2016: 4971572. Published online 2016 Sep 19. doi: 10.1155/2016/4971572.
16. G. Staurenghi et al.: *Proposed lexicon for anatomic landmarks in normal posterior segment spectral-domain optical coherence tomography: the IN-OCT consensus*, Ophthalmology, 2014.
17. G.T. Mervyn, K. Anil, M. Sarim, F.A. Proudlock, E.C. Engle, C. Andrews, W-M. Chan, T. Shery, I. Gottlob: *Structural Grading of Foveal Hypoplasia Using Spectral-Domain Optical Coherence Tomography: A Predictor of Visual Acuity?*, Ophthalmology, 118(10), 2011, 1910.
18. M. Wojtkowski, T. Bajraszewski, I. Gorczyńska, P. Targowski, W. Wasilewski, Cz. Radzewicz, A. Kowalczyk: *Ophthalmic imaging by Spectral Optical Coherence Tomography*, American Journal of Ophthalmology, 138(3), 2004, 412-419.
19. G. Theodossiadis: *Optyczna koherentna tomografia Choroby siatkówki-jaskra*, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2009.