

(26)

Spektralna Optyczna Koherentna Tomografia (SOCT) w diagnostyce chorób plamki – wyniki własne

Spectral optical coherence tomography (SOCT) in diagnosis of diseases of macula – own results

Jakub J. Kałużny¹, Anna Szwagierek², Maciej Wojtkowski², Bartłomiej J. Kałużny¹, Andrzej Kowalczyk²

¹ Z Kliniki Okulistycznej Collegium Medicum w Bydgoszczy Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Józef Kałużny

² Z Zakładu Biofizyki i Fizyki Medycznej Instytutu Fizyki Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu
Kierownik Zakładu: prof. dr hab. Aleksander Balter
Dyrektor Instytutu Fizyki: prof. dr hab. Stanisław Chwirot

Summary: In this paper general information about spectral optical coherent tomography (SOCT) is presented. SOCT was used in diagnosis of choroidal neovascularization (16 eyes), central serous chorioretinopathy (4 eyes), macular hole (8 eyes), epiretinal membrane (3 eyes) and familial dominant drusen (2 eyes). In all cases SOCT examination revealed new data useful in detailed diagnosis. SOCT is a valuable complementary examination to fluorescein and indocyanine green angiography in diagnosis of macula diseases.

Słowa kluczowe: spektralna optyczna koherentna tomografia (SOCT), siatkówka, choroby plamki, diagnostyka.

Key words: spectral optical coherence tomography (SOCT), retina, diseases of macula, diagnosis.

Tomografia optyczna OCT (Optical Coherence Tomography) jest nową techniką obrazowania przekrojów obiektów za pomocą światła. Jest ona uzupełnieniem używanych do tej pory technik wykorzystujących promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma (PET, SPECT), ultradźwięki oraz zjawisko rezonansu magnetycznego. Rozdzielczość metody OCT w standardowych aparatach wynosi kilkanaście mikrometrów.

Technika OCT, opisana po raz pierwszy w 1991 r. (1), najlepiej nadaje się do obrazowania obiektów słabo rozpraszających i słabo absorbujących światło. W takim wypadku promieniowanie może wnikać wystarczająco głęboko i powrócić, dostarczając tym samym informacji o położeniu elementów morfologicznych, które napotkało na swej drodze. Rozdzielczość tomografii optycznej jest nieco lepsza od rozdzielczości biomikroskopii ultradźwiękowej. Ta ostatnia nadaje się jednak tylko do obrazowania płytkich struktur, ponieważ fale ultradźwiękowe o dużej częstotliwości są silnie pochłaniane przez ośrodek, w którym się rozchodzą. Takiemu ograniczeniu nie podlega stosowane w OCT promieniowanie z zakresu 800 nm i dlatego metoda ta pozwala prezentować również obrazy przekrojów siatkówki. Metoda jest bezkontaktowa i nieinwazyjna, co spowodowało, że stosuje się ją na dużą skalę w diagnostyce okulistycznej.

Wśród kilku odmian techniki OCT jako pierwsza rozwinęła się tzw. czasowa tomografia optyczna. Do dziś jest ona najpowszechniej stosowana, również w aparacie komercyjnym (Stratus OCT – Zeiss-Meditec). Młodsza i mniej rozpowszechniona

odmianą OCT jest spektralna optyczna koherentna tomografia (SOCT) zaproponowana w 1996 r. (2). Jako jedni z pierwszych przekroje struktur ludzkiej gałki ocznej przedstawili Kałużny i wsp. (3). Bieganowski i wsp. (4) omówili tę technikę badania w piśmiennictwie polskim.

Spektralna OCT jest konkurencyjna wobec dotychczasowych technik optycznej tomografii koherentnej. Jest szybka. Czas potrzebny na rejestrację jednej linii przekroju jest czterokrotnie krótszy z porównaniem z tomografią czasową OCT. Spektralna tomografia OCT umożliwia rejestrację ośmiu przekrojów na sekundę, dzięki temu niektóre procesy, np. pulsacja naczyń krwionośnych na dnie oka, mogą być przedstawione w postaci zapisu filmowego. Technika spektralna sprawdza się szczególnie w badaniach klinicznych, w przypadku których ze względu na mimowolne ruchy gałki ocznej wymagana jest duża szybkość pomiaru. Szybkie obrazowanie skraca czas badania. Tą drogą zmniejsza się udział czynników wpływających na rozmycie obrazu. Szybki pomiar pozwala również na wykonanie obrazów trójwymiarowych.

Ze względu na obecność w układzie detektora CCD spektralna OCT jest techniką o większej czułości (96 dB). Daje to możliwość wykonywania tomogramów z użyciem niskich mocy światła, co gwarantuje wysokie bezpieczeństwo (5). Poza tym duża czułość pozwala obrazować tak trudne objekty jak siatkówka w oku z zaćmą.

Dzięki obecności na rynku aparatu do czasowej OCT (Stratus) od kilku lat pojawiają się publikacje dotyczące jego przydatności klinicznej. Prace te poświęcone są róż-

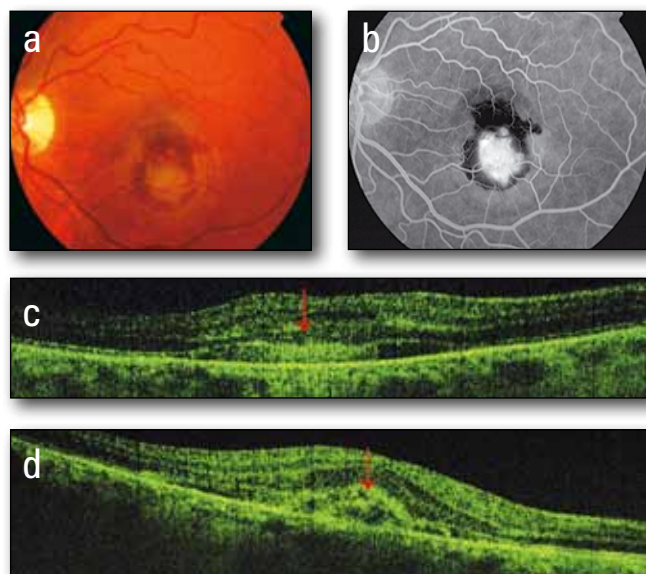
nym aspektem chorób centralnej części dna oka (6-16). Również w piśmiennictwie polskim pojawiają się podobne publikacje. Najpierw ukazał się tekst opracowany przez zespół z kliniki warszawskiej (17), później również prace badaczy z innych ośrodków. Pochodzących z Polski publikacji, w których opisuje się wykorzystanie spektralnej OCT, jest niewiele (20,21).

Prototyp spektralnego tomografu optycznego, który zbudowano w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu, poddano badaniom klinicznym w Klinice Okulistycznej AM w Bydgoszczy.

Celem obecnego doniesienia jest przedstawienie pierwszych wyników jego zastosowania.

Materiał i metodyka

Działanie spektralnego tomografu optycznego oparte jest na analizie obrazu interferencyjnego wiązek światła powracających z obiektu i zwierciadła odniesienia (3,4,20). Źródłem światła jest dioda superluminescencyjna emitująca promieniowanie o długości fali 810 nm i szerokości spektralnej 20 nm. Osiowa i poprzeczna rozdzielczość wynosi około 16 mikrometrów w tkance. Na rogówkę pada światło o mocy około 200 mikrowatów – wiele poniżej bezpiecznej wartości natężenia promieniowania przy patrzeniu na wprost (5).



Ryc. 1. Idiopatyczna neowaskularyzacja podsiatkówkowa u osoby młodej: a) zdjęcie kolorowe – widoczne żółtawe uniesienie siatkówki otoczone wylewem podsiatkówkowym; b) angiografia fluoresceinowa – ognisko hiperfluorescencji odpowiadające błonie neowaskularyzacyjnej, otoczone obszarem blokady fluorescencji spowodowanym przez krew; c) SOCT – krew między siatkówką zmysłową a wbs. (strzałka); d) SOCT – włóknisto-naczyniowa błona neowaskularyzacyjna rozrastająca się między wbs. a siatkówką zmysłową (strzałka).

Fig. 1. Idiopathic choroidal neovascularization in young patient: a) color photograph – yellowish elevation of the retina surrounded by subretinal haemorrhage; b) fluorescein angiography – dye leakage from neovascular membrane surrounded by blocked fluorescence by haemorrhage; c) SOCT – haemorrhage between neurosensory retina and RPE (arrow); d) SOCT – fibrovascular membrane between neurosensory retina and RPE (arrow).

Badanie wykonano u 32 osób (33 oczu), u których na podstawie badania klinicznego i angiografii fluoresceinowej stwierdzono obecność procesów chorobowych w obrębie plamki. Były to rozpoznania bądź podejrzenia: neowaskularyzacji podsiatkówkowej (16 oczu), centralnej surowiczej chorioretinopatii (4 oczu), otworu w plamce (8 oczu), błony przedsiatkówkowej (3 oczu) i druzów rodzinnych (1 osoba, 2 oczu).

Badanie przeprowadzono po uprzednim rozszerzeniu źrenicy 0,5% tropicamidem (0,5% Tropicamidum, Polfa).

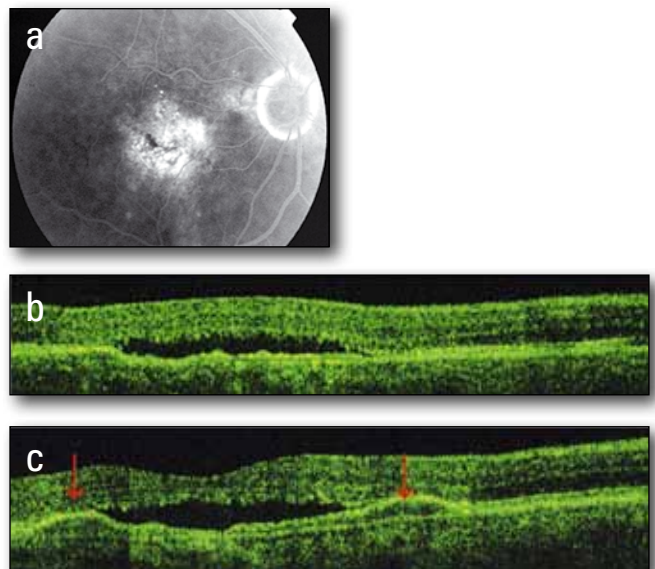
Na badania uzyskano zgodę odpowiedniej komisji bioetycznej.

Wyniki

Przedstawimy kolejno angiografię fluoresceinową i przekroje spektralnej optycznej tomografii koherentnej odpowiednich okolic plamki charakterystyczne dla poszczególnych grup chorych.

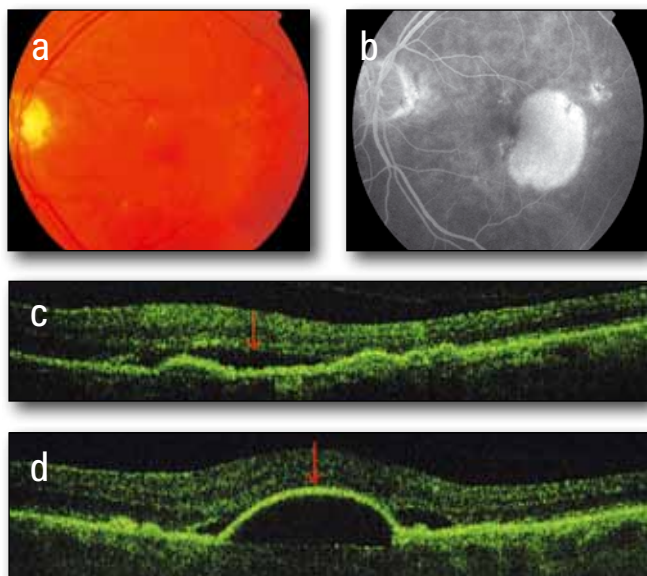
Ryciny 1-3 przedstawiają różne postaci neowaskularyzacji podsiatkówkowej. Rycina 1 prezentuje idiopatyczną błonę neowaskularyzacyjną (młoda osoba!) w angiografii fluoresceinowej. Obecność dodatkowej tkanki (błona neowaskularyzacyjna) pod siatkówką zmysłową wykazuje przekrój SOCT. Na ryc. 2 widzimy przestrzenie płynowe powyżej wbs., ale także uniesienie tej struktury w przekrojach SOCT. Rycina 3 wykazuje odłączenie wbs., bardzo dobrze widoczne zarówno w angiografii fluoresceinowej, jak i w SOCT. Przestrzenie płynowe obecne są także powyżej wbs.

Rycina 4 przedstawia centralną surowiczą chorioretinopatię z typowym obrazem angiograficznym i wyraźnym uniesieniem siatkówki zmysłowej w SOCT. Rycina 5 prezentuje nawrotową



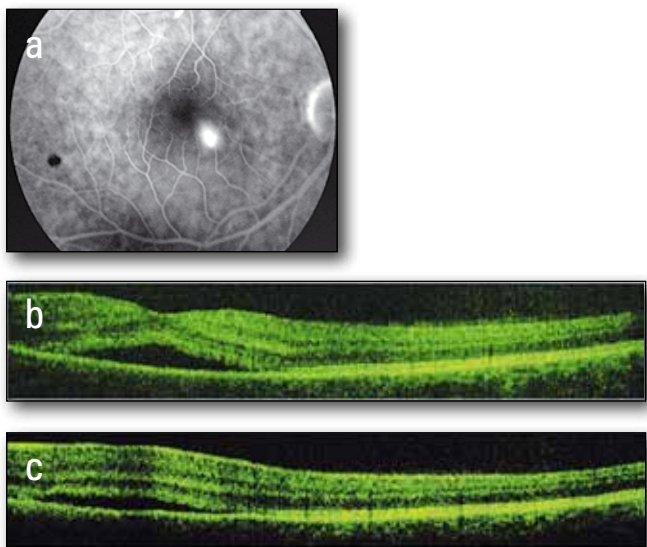
Ryc. 2. Neowaskularyzacja podsiatkówkowa w starczym zwyrodnieniu plamki: a) angiografia fluoresceinowa – nieregularne ognisko fluorescencji bez typowych cech przecieku w późnej fazie badania; b) i c) płyn pod siatkówką zmysłową, którego źródłem jest prawdopodobnie błona neowaskularyzacyjna, widoczna na tomogramach w postaci obszarów uniesienia wbs. (strzałki).

Fig. 2. Choroidal neovascularization in AMD: a) – fluorescein angiography – irregular area of hyperfluorescence with lack of significant late dye leakage; b) i c) – fluid under neurosensory retina, which probably comes from choroidal neovascularization, visible in the scans as areas of RPE elevation (arrows).



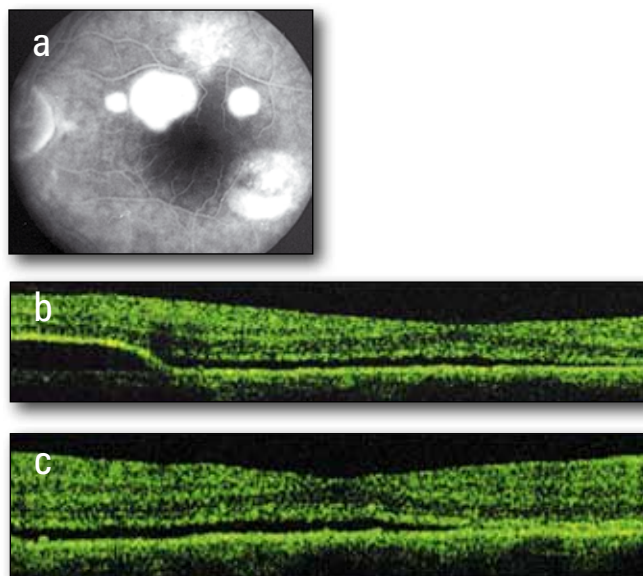
Ryc. 3. Odwarstwienie warstwy barwnikowej siatkówki w starczym zwyrodnieniu plamki: a) zdjęcie kolorowe – owalne uniesienie siatkówki w plamce; b) angiografia fluoresceinowa – nerkowaty obszar jednolitej hiperfluorescencji, odpowiadający uniesieniu wbs.; c) SOCT – niewidoczny w AF płyn pod siatkówką zmysłową (strzałka) oraz uniesienia wbs. w miejscach rozrastania się błony neowaskularyzacyjnej; d) SOCT – odwarstwienie wbs. (strzałka) oraz niewielkie ilości płynu pod siatkówką zmysłową, nieregularności w obrębie wbs. – druzy.

Fig. 3. Detachment of RPE in AMD: a) color photograph – oval elevation of the retina in macular area; b) fluoresceine angiography – area of homogenous hyperfluorescence as a sign of RPE elevation; c) SOCT – fluid under neurosensory retina (arrow), invisible in fluoresceine angiography, and elevations of RPE in areas of neovascular proliferation; d) SOCT – detachment of RPE (arrow) and fluid under neurosensory retina, irregularities in RPE – drusen.



Ryc. 4. Centralna surowicza chorioretinopatia: a) angiografia fluoresceinowa – owalny obszar surowiczego odwarstwienia siatkówki oraz ognisko hiperfluorescencji w miejscu przechodzenia płynu przez wbs.; b i c) SOCT – płyn między siatkówką zmysłową a wbs.

Fig. 4. Central serous chorioretinopathy: a) fluorescein angiography – oval area of serous retinal detachment and area of hyperfluorescence in place where fluid comes through RPE; b) and c) SOCT – fluid between neurosensory retina and RPE.



Ryc. 5. Centralna surowicza chorioretinopatia, postać przewlekła: a) angiografia fluoresceinowa – w plamce ogniska jednolitej hiperfluorescencji odpowiadające obszarom odwarstwienia wbs.; b i c) SOCT – odwarstwienie wbs. oraz niewielkie ilości płynu pod siatkówką zmysłową, niewidoczne w angiografii fluoresceinowej.

Fig. 5. Chronic central serous chorioretinopathy: a) fluorescein angiography – areas of homogenous hyperfluorescence in macula – RPE detachment; b) and c) SOCT – RPE detachment and little amount of fluid under neurosensory retina, invisible in fluoresceine angiography.

postać centralnej surowiczej chorioretinopatii z wieloma ogniskami. W przekrojach SOCT widzimy uniesienie siatkówki zmysłowej, ale także uniesienie całej siatkówki przez płyn znajdujący się pod wbs.

Na ryc. 6 prezentujemy przypadek otworu w plamce w przebiegu makulopatii pourazowej. W a.f. powyżej plamki widoczne pole ścięźczalej, zanikowej siatkówki. W przekrojach SOCT poza typowym obrazem otworu w plamce widać wyraźne pola ścięźczenia siatkówki (skany dolne).

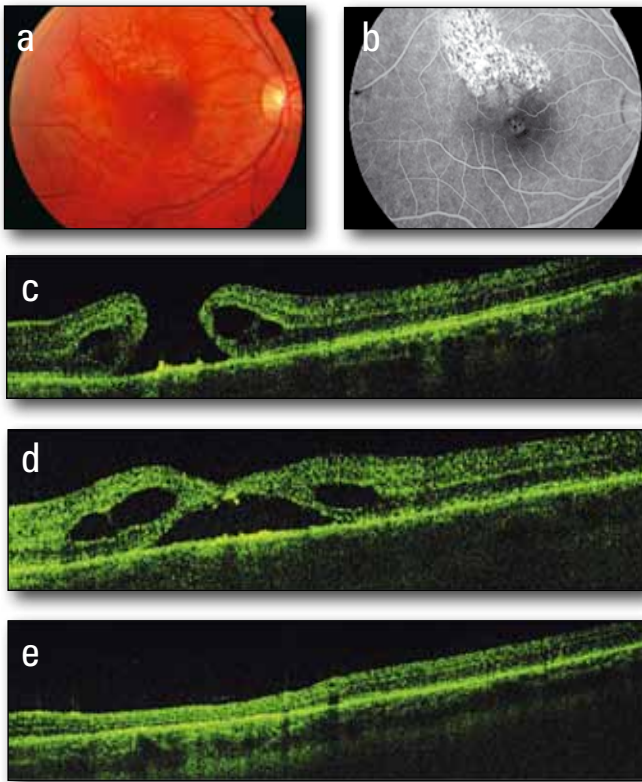
Rycina 7 przedstawia błonę przedsiatkówkową. W a.f. widać typowy dla tej choroby obraz, w przekrojach SOCT udało się uchwycić ciekłą błonę przedsiatkówkową (skan dolny).

Na ryc. 8 prezentujemy dno oka lewego pacjenta z druzami rodzinnymi. W a.f. widać liczne, drobne punkty hiperfluorescencji w plamce. Przekroje SOCT wskazują, że patologiczne złoże znajduje się pod w.b.s.

Omówienie

Spektralna optyczna koherentna tomografia jest niezwykle obiecującą metodą w diagnostyce chorób dna oka. Już znana do tej pory tzw. czasowa tomografia optyczna jest stosowana z powodzeniem dość powszechnie (6-16). Wykorzystywana jest w diagnostyce otworów plamki (6,7,15), odwarstwienia siatkówki (14,16), surowiczej chorioretinopatii centralnej (13) oraz w innych makulopatiach (8-10,12).

Zastosowanie metody SOCT poprawia rozdzielczość obrazu i skraca czas badania. Pozwala na śledzenie np. pulsacji naczyń na dnie oka w czasie rzeczywistym. Przekroje struktur dna oka w tym badaniu przypominają preparaty histologiczne. Mnogość uzyskanych informacji jeszcze w chwili obecnej st-



Ryc. 6. Pourazowy otwór w plamce: a) zdjęcie kolorowe – otwór w plamce otoczony obszarem odwarstwienia siatkówki, powyżej nieregularny obszar przegrupowania barwnika; b) angiografia fluoresceinowa – otwór w plamce, powyżej nieregularny obszar hiperfluorescencji; c i d) SOCT – pełnościenne otwory w plamce otoczone obszarem odwarstwienia siatkówki zmysłowej; e) SOCT – zanik warstwy fotoreceptorów w miejscu odpowiadającym obszarowi hiperfluorescencji w angiografii fluoresceinowej spowodowany niedokrwieniem w obrębie gałązki tętnicy rzęskowej tylnej krótkiej.

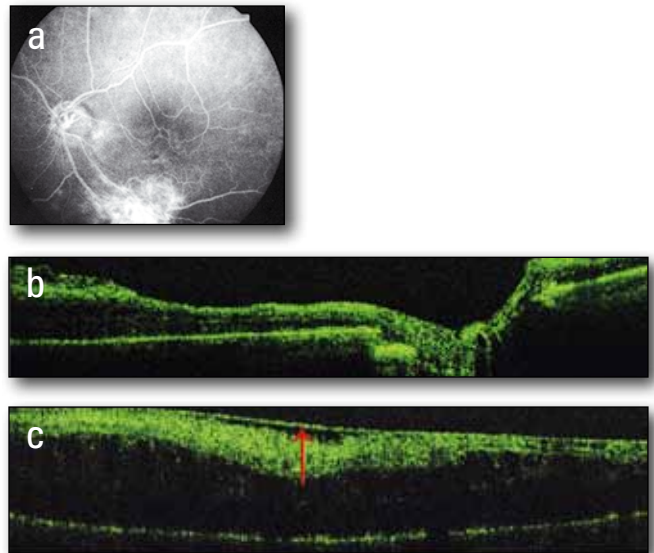
Fig. 6. Traumatic macular hole: a) color photograph – macular hole surrounded by area of retinal detachment, above irregular area of pigment dispersion; b) fluorescein angiography – macular hole, above irregular area of hyperfluorescence; c) i d) SOCT – full thickness macular hole with surrounding halo of neurosensory retina detachment; e) SOCT – photoreceptors atrophy in the area corresponding to hyperfluorescence in angiography related to choroidal ischemia in area of short ciliar artery.

warza niekiedy problemy interpretacyjne. Tymi wątpliwościami zajęli się Gloesmann i wsp., porównując preparat histologiczny siatkówki świni z przekrojem uzyskanym za pomocą OCT (11). Dokładna identyfikacja poszczególnych prążków otrzymanych w SOCT wymaga jednak dalszych badań.

Jednak już obecnie w każdym przypadku przeprowadzonego przez nas badania uzyskaliśmy dodatkowe informacje o rodzaju, rozległości, a zwłaszcza lokalizacji obserwowanych zmian chorobowych w stosunku do poszczególnych warstw siatkówki. SOCT w dużym stopniu uzupełnia angiografię fluoresceinową i indocyaninową.

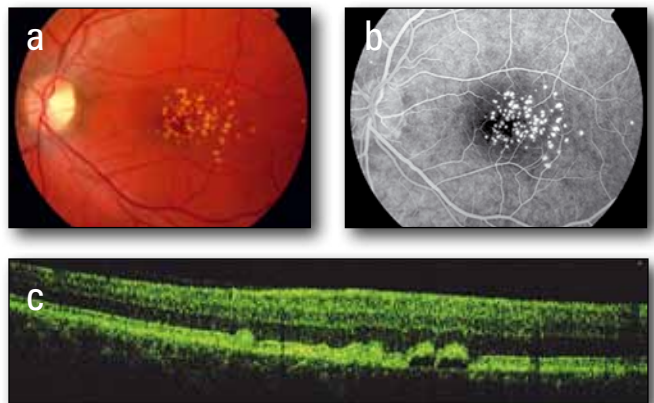
Podsumowanie

Spektralna optyczna tomografia koherentna jest obiecującą metodą diagnozowania zmian chorobowych w tylnym biegunie



Ryc. 7. Błona przedsiatkówkowa: a) angiografia fluoresceinowa – widoczne naczynia siatkówkowe, których przebieg jest zniekształcony przez pociągającą je błonę, w miejscu uszkodzenia ścian naczyń hiperfluorescencja; b i c) SOCT – nieregularna powierzchnia siatkówki oraz rozpięta na jej powierzchni błona (strzałka).

Fig. 7. Epiretinal membrane: a) fluorescein angiography – tortuosity of the retinal vessels caused by membrane, in area of impaired retinal vessels leakage of the dye; b) and c) SOCT – irregular surface of the retina and epiretinal membrane (arrow).



Ryc. 8. Druzy rodzinne: a) zdjęcie kolorowe – w plamce jasne, dobrze odgraniczone punkty; b) angiografia fluoresceinowa – punktowata hiperfluorescencja odpowiadająca druzom; c) SOCT – złogi unoszące wbs. oraz nieregularne zgrubienia w obrębie tej warstwy.

Fig. 8. Familial dominant drusen: a) color photograph – in macular area bright, sharp spots; b) fluorescein angiography – hyperfluorescence of spots – drusen; c) SOCT – deposits elevating RPE and irregular thickening of this layer.

gałki ocznej. Wymaga jednak dalszych badań, zwłaszcza pozwalających na pewniejszą interpretację otrzymywanych obrazów.

PIŚMIENNICTWO:

- Huang D., Swanson E.A., Lin C.P., Schuman J.S., Stinson W.G., Chang W., Hee M.R., Flotte T., Gregory K., Puliafito C.A., Fujimoto J.G.: *Optical Coherence Tomography*. Science, 1991, 254, 1178-1181.

2. Fercher A.F.: *Optical Coherence Tomography*. J. Biomed. Opt., 1994, 1, 157-173.
3. Kałużny J.J., Wojtkowski M., Kowalczyk A.: *Imaging of the anterior segment of the eye by Spectral Optical Coherence Tomography*. Optica Applicata, 2002, 32, 581-589.
4. Bieganowski L., Wojtkowski M., Kowalczyk A., Kałużny J.J.: *Zastosowanie spektralnej tomografii optycznej w okulistyce*. Klin. Oczna, 2004, 106, 699-705.
5. American National Standards Institute: *American National Standard for Safe Use of Lasers*. ANSI Z, Orlando, 2000, 136, 1.
6. Giovannini A., Amato G., Mariotti C., Scassellati-Sfoadini B.: *Optical coherence tomography in the assessment of the retinal pigment epithelial tear*. Retina, 2000, 20, 37-40.
7. Meyer C.H., Toth C.A.: *Retinal pigment epithelial tear with vitreomacular attachment: a novel pathogenic feature*. Graefes Arch. Ophthalmol., 2001, 239, 325-333.
8. Goebel W., Kretzchmar-Gross T.: *Retinal thickness in diabetic retinopathy. A study using optical coherence tomography (OCT)*. Retina, 2002, 22, 759-767.
9. Zolf R., Glacet-Bernard A., Benhamou N., Mimoum G., Coscas G., Soubrane G.: *Imaging analysis with optical coherence tomography. Relevance for submacular surgery in high myopic and multifocal choroiditis*. Retina, 2002, 22, 192-201.
10. Drexler W., Sattmann H., Hermann B., Ko T.H., Stur M., Unterhuber A., Scholda C., Findl O., Wirtitsch M., Fujimoto J.G., Fercher A.F.: *Enhanced Visualization of Macular Pathology With the Use of Ultrahigh – Resolution Optical Coherence Tomography*. Arch. Ophthalmol., 2003, 121, 695-706.
11. Goesmann M., Hermann B., Schubert C., Sattmann H., Ahnelt P.K., Drexler W.: *Histologic Correlation of Pig Retina Radial Stratification with Ultrahigh-Resolution. Optical Coherence Tomography*. IOVS, 2003, 44, 1696-1703.
12. Huang S.J., Gross N.E., Costa D.L.L., Yannuzzi L.A.: *Optical coherence tomography findings in photic maculopathy*. Retina, 2003, 23, 863-866.
13. Piccolino F.C., Eandi C.M., Ventre L., Rigault de la Longrais r. C., Grignolo F.M.: *Photodynamic therapy for chronic central serous chorioretinopathy*. Retina, 2003, 23, 752-763.
14. Theodossiadis G.P.: *Optical coherence tomography findings in the macula after treatment of rhegmatogenous retinal detachments with spared macula preoperatively*. Retina, 2003, 23, 69-75.
15. Tornambe P.E.: *Macular hole genesis: the hydration theory*. Retina, 2003, 23, 421-424.
16. Yetik H., Guzel H., Ozkan S.: *Structural features of attached retina in rhegmatogeneous retinal detachments*. Retina, 2004, 24, 63-68.
17. Kęćik T., Kasprzak J., Kęćik D., Samsek A.: *Obraz prawidłowej siatkówki w badaniu metodą optycznej koherentnej tomografii*. Nowa Okulistyka, 1998, 1, 3-5.
18. Mrugas M., Bakunowicz-Lazarczyk A.: *Optyczna koherentna tomografia w diagnostyce schorzeń siatkówki u dzieci i młodzieży*. Klin. Oczna, 2004, 106, 115-118.
19. Piąt J., Wylęgała E., Łogiewka-Toborek J., Galuba-Dębska I.: *Zastosowanie i możliwości diagnostyczne aparatu Stratus OCT*. Okulistyka, 2004, 7, 3-8.
20. Wojtkowski M., Leitheb r., Kowalczyk A., Bajraszewki T., Fercher A.F.: *In vivo human retinal imaging by Fourier domain optical coherence tomography*. J. Biomed. Opt., 2002, 7, 457-463.
21. Wojtkowski M., Bajraszewki T., Targowski P., Kowalczyk A.: *Real-time in vivo imaging by high-speed Spectral Optical Coherence Tomography*. Optics Letters, 2003, 28, 1745-1747.

Autorzy dziękują pani mgr Marcie Cyganek za pomoc w wykonaniu badań omawianych w pracy.

Praca wpłynęła do Redakcji 20.01.2005 r. (708).
Zakwalifikowano do druku 18.01.2006 r.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):
dr n. med. Jakub J. Kałużny
ul. Powstańców Śląskich 5
85-655 Bydgoszcz