

Zastosowanie ultrasonografii dopplerowskiej w okulistyce

Appliance of doppler ultrasonography in ophthalmology

Karol Stasiak¹, Grzegorz Nowicki²

¹ Klinika Okulistyczna, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej
Kierownik Kliniki: prof. dr hab. n. med. Marek Prost

² Zakład Radiologii, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej
Kierownik Zakładu: dr n. med. Barbara Olczyk-Kwiecień

NAJWAŻNIEJSZE

Artykuł opisuje możliwości i ograniczenia zastosowania ultrasonografii dopplerowskiej w najczęstszych chorobach okulistycznych.

HIGHLIGHTS

The article describes the advantages and limitations of the use of Doppler ultrasonography in the most common ophthalmic diseases.

STRESZCZENIE

Ultrasonografia dopplerowska jest techniką stosowaną od wielu lat w diagnostyce radiologicznej. W okulistyce również znalazła swoje miejsce, jednak ze względu na ograniczony dostęp do urządzeń jej zastosowanie nie jest tak popularne jak standardowej ultrasonografii. W pracy przedstawiono zastosowania, możliwości oraz ograniczenia tej metody w najczęstszych schorzeniach okulistycznych.

Słowa kluczowe: okulistyka, obrazowanie, ultrasonografia, Doppler, gałka oczna, patologia, guzy

ABSTRACT

Doppler ultrasonography is a diagnostic method applied widely in the field of radiology. Nowadays it is also being employed in ophthalmology, however due to limited access to the CDI equipment, this technique is not so widespread as routine ultrasonographic tests. In this paper we present possible applications, diagnostic potential and limitations of this method in most common ophthalmological disorders.

Key words: ophthalmology, imagining, ultrasonography, Doppler effect, eyeball, diseases, tumors

WSTĘP

Ultrasonografia dopplerowska to nieinwazyjna metoda oceny prędkości i charakterystyki przepływu krwi w naczyniach przy zastosowaniu fal ultradźwiękowych i zjawiska Dopplera. Łączy ona w sobie znaną doskonale i coraz powszechniejszą ultrasonografię z wykorzystaniem znakowania kierunku przepływu krwinek w naczyniach tętniczych i żylnych.

Ultrasonografia jest w okulistyce obecna od lat 50. XX wieku, kiedy to w 1956 r. Mundt i Hughes opublikowali prace na temat zastosowania prezentacji fal ultradźwiękowych typu A, a w 1958 r. Baum i Greenwood – dotyczące prezentacji typu B [1]. Od tego czasu badanie to stało się niezwykle popularne jako nieinwazyjne i nieszkodliwe dla badanego, a przy tym niedrogie, powtarzalne, niezbyt trudne i dostarczające informacji w czasie rzeczywistym. Obecnie każdy oddział okulistyczny dysponuje co najmniej jednym ultrasonografem okulistycznym (zarówno typu A, jak i B). W taki sprzęt coraz częściej wyposaża się również gabinety okulistyczne, nie tylko ze względu na jego wartości marketingowe, ale przede wszystkim – na jego przydatność. Nie zawsze wprawdzie urządzenia te zapewniają odpowiednią jakość obrazu, ale pozwalają ustalić rozpoznanie i strategię dalszego postępowania w wielu chorobach okulistycznych, nie tylko przy nieprzeziernych ośrodkach optycznych.

Zjawisko zmiany koloru światła emitowanego przez gwiazdy poruszające się z pewną prędkością względem Ziemi opisał austriacki matematyk Christian Andreas Doppler w 1843 r. (ryc. 1).

RYCINA 1

Christian Andreas Doppler (1803–1853).

Źródło: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/PictDisplay/Doppler.html>.



Efekt nazwany od nazwiska swego odkrywcy zjawiskiem Dopplera występuje wszędzie tam, gdzie źródło fal porusza się względem punktu odniesienia. W ultrasonografii zjawi-

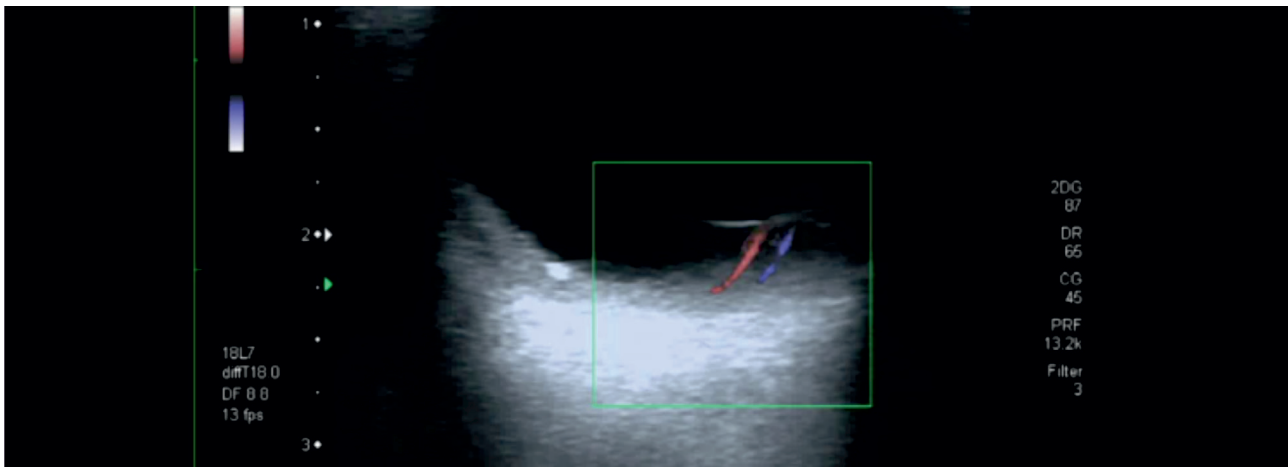
sko to znalazło zastosowanie na przełomie lat 70. i 80. XX wieku. Pierwsze doniesienia o wykorzystywaniu ultrasonografii dopplerowskiej w okulistyce pochodzą z 1989 r., kiedy opublikowano pracę grupy pod kierownictwem Ericksona i Hendrixa dotyczącą naczyń w chorobach oczodołu [2]. Od tego czasu w literaturze medycznej znajduje się dość dużo doniesień na temat badań dopplerowskich w okulistyce. W Polsce wiodącymi ośrodkami w dziedzinie dopplerowskiej ultrasonografii okulistycznej są szczeciński (M. Modrzejewska) i białostocki (A. Ustymowicz) uniwersytet medyczny. Większość badań dopplerowskich wykonuje się aparatami z sondą sektorową o częstotliwości 7,0–7,5 MHz [3, 4], aby uzyskać wyniki z odpowiedniej głębokości, choć dzisiejsza technika pozwala na obrazowanie z częstotliwościami większymi, np. 18 MHz z obrazowaniem harmonicznym. Ze względu na zastosowaną metodę obrazowania badania dopplerowskie dzielimy na spektralne i znakowane kolorem. Zaawansowane oprogramowanie umożliwia rozdzielne lub łączne zastosowanie tych metod. Często zaś występują opcje zwane dopplerem mocy – czasami z dodatkowo znakowanym kolorem kierunkiem ruchu – które pozwalają na uwidocznienie przepływu w bardzo drobnych naczyniach. W badaniu ultrasonograficznym oka krwinki poruszające się w stronę głowicy (zazwyczaj w tętnicach) są widoczne jako czerwone, a krwinki poruszające się w przeciwnym kierunku (zazwyczaj w żyłach) – jako niebieskie (ryc. 2).

Do największych zalet kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej należą: ocena prędkości i charakterystyka przepływu krwi w naczyniach, wizualizacja przebiegu naczyń, ich zwężeń i wynikających z tego turbulencji przepływu krwi. Z racji bardzo małych średnic naczyń w gałce ocznej i w oczodole większość tych zalet ma ograniczone zastosowanie w okulistyce. Nie jesteśmy w stanie uwidocznić w badaniu ultrasonograficznym morfologii naczyń przestrzeni pozagałkowych, gdyż ich średnica jest zbyt mała; możemy jedynie uwidocznić przepływ krwi w ich obrębie [5].

Znalezienie przepływu naczyniowego w obrębie struktur gałki ocznej i oczodołu nie jest zbyt trudne. Trudniej jest go wyodrębnić, zidentyfikować i utrzymać w prawidłowym obszarze pomiarowym. W odniesieniu do obszaru pomiarowego znaczenie mają wielkość bramki pomiarowej (powinna wynosić 1–2 mm) oraz prawidłowy kąt pomiarowy (optymalnie 60°) [5]. Ograniczenia te wynikają z: bardzo małych średnic naczyń i nakładania się ich na siebie, trudności w śledzeniu ich przebiegu, ruchów ręki badającego i ucisku na gałkę oczną pacjenta, ruchów gałki ocznej badanego, ruchów głowy pacjenta związanych z oddychaniem i częstości rytmu serca [4, 6]. Dość często ukazuje się również w badaniu znaczna liczba kolorowych punktów sugerujących przepływ krwi. Należy wówczas poczekać, aż ustaną wszelkie ruchy (ręki badającego i/lub oka badane-

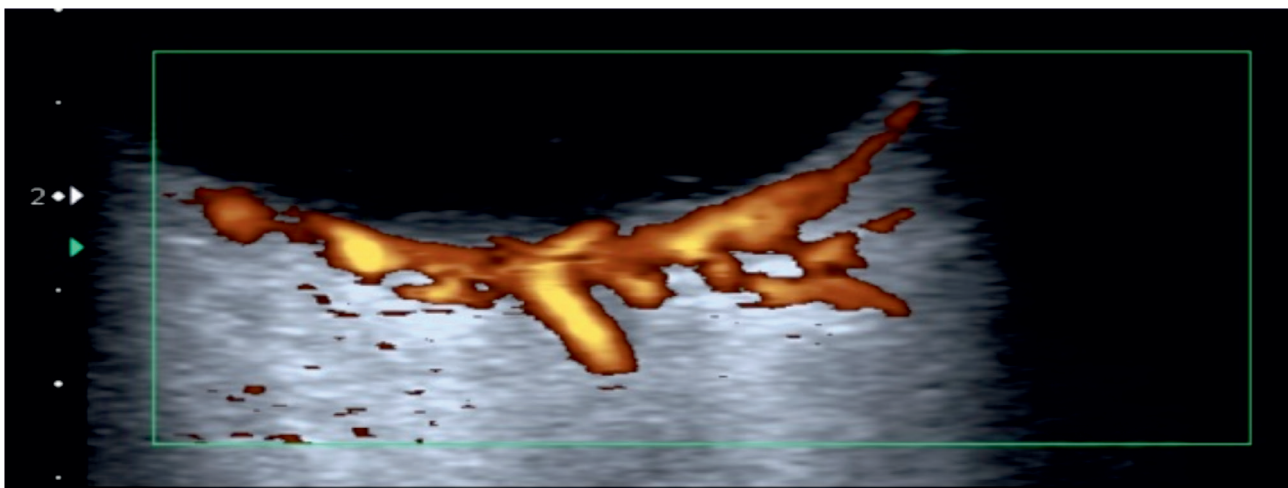
RYCINA 2

Kolor czerwony – przepływ krwi w naczyniu tętniczym, kolor niebieski – w naczyniu żylnym w naczyniaku włócniczkowym w zespole von Hippa.



RYCINA 3

Tętnice rzęskowe tylne krótkie.



go), aby uzyskać jednoznaczne echa przepływów. Prawidłową ocenę badanych struktur umożliwia jednak przede wszystkim znajomość różnego rodzaju artefaktów (m.in. druzów, ciał obcych) i charakterystyki przebiegu naczyń z ich fizjologicznymi przewężeniami. Dlatego bardzo ważne jest doświadczenie w wykonywaniu tych badań. Stwierdzono również, że wykonywanie pomiarów przez różnych badających może dawać istotnie różne wyniki u tych samych chorych.

Badanie pozwala na wizualizację zarówno prawidłowych przepływów naczyniowych w obrębie oczodołu i gałki ocznej (w obrębie tętnicy ocznej, tętnicy i żyły środkowej siatkówki, tętnic rzęskowych tylnych krótkich [ryc. 3] i długich, żyły ocznej górnej), jak i patologicznych – w obrębie guza nowotworowego czy malformacji naczyniowych.

Badanie przepływów w poszczególnych naczyniach z oceną ich parametrów (prędkości, oporności, wskaźnika pulsacji) znalazło zastosowanie w wielu chorobach okulistycznych związanych z zaburzeniem ukrwienia gałki ocznej: jaskrze, cukrzycy, zwyrodnieniu plamki związanym z wiekiem, neuropatii niedokrwiennej i pourazowej, zakrzepie żyły środkowej siatkówki, zatorze tętnicy środkowej siatkówki, przetoce szyjno-jamistej, nowotworach gałki ocznej i oczodołu, odłączeniu naczyniówki, druzach tarczy nerwu wzrokowego [4, 6]. Dość dobrze zostały one opisane również w wielu polskich publikacjach – stały się one m.in. tematem kilku rozpraw doktorskich i habilitacyjnych [7–9]. Nie we wszystkich tych chorobach ma ona jednak pewne i jednoznaczne kliniczne zastosowanie. Problemem są dość duże rozbieżności w wynikach w zależności od wieku, płci

i chorób współistniejących [6, 10]. Pamiętać również należy o wpływie wydolności mięśnia sercowego i wartości ciśnienia w prawym przedsionku na zmiany w objętości przepływu krwi, zwłaszcza żylnego, a także o gęstości i lepkości krwi, które również mogą wpływać na zmiany w charakterystyce przepływu krwi (płaskim, laminarnym bądź turbulentnym) [6].

Normy te różnią się również nieco w zależności od stosowanej aparatury, co utrudnia porównywanie danych między różnymi ośrodkami. Zwykle drogie aparaty USG z opcjami dopplerowskimi używane są w zakładach radiologii do diagnostyki naczyniowej pacjentów. Badania okulistyczne stanowią niewielki odsetek (promil) rutynowych badań stosowanych w innych specjalnościach. Po kilku latach urządzenia są już zazwyczaj zużyte, a postęp w ultrasonografii dopplerowskiej zachodzi cały czas i zakup nowego i zazwyczaj lepszego urządzenia powoduje konieczność opracowania nowych norm lub ich modyfikacji.

Kolejnym ważnym aspektem jest konieczność badania łożyska gałki ocznej łącznie z badaniem tętnic szyjnych [4, 5]. Zmiany w łożysku tych naczyń mogą bowiem powodować zmiany parametrów przepływu w tętnicy ocznej, łącznie z odwróceniem kierunku przepływu i rozwojem przewlekłego niedokrwienia. To z kolei skutkuje koniecznością wykonywania badania przez doświadczonego radiologa. Radiologom brakuje zaś często wiedzy okulistycznej do-

tyczącej badań struktur oka i oczodołu, dlatego obecność okulisty podczas badania pozwala na dokładniejsze ustalenie zakresu poszukiwań patologii w strukturach oka i oczodołu w obrazie ultrasonograficznym.

GUZY BŁONY NACZYNIOWEJ

Ultrasonografia dopplerowska jest najbardziej użyteczna w diagnostyce różnicowej guzów gałki ocznej [3–5, 12]. Niektórzy autorzy uważają, że jej zastosowanie pozwala na prawie stuprocentowe rozpoznanie i zróżnicowanie guza z najczęstszymi przyczynami podobnych zmian guzowatych, takimi jak AMD czy krwotoki podsiatkówkowe i podnaczyniówkowe. W badaniu obserwuje się charakterystyczne unaczynienie guza z niskooporowym przepływem krwi (ryc. 4).

Badanie to umożliwia również monitorowanie przebiegu leczenia, skuteczności brachyterapii z oceną nie tylko wielkości guza, ale i zaniku unaczynienia (ryc. 5 i 6).

Do całkowitego zaniku unaczynienia przy skutecznej brachyterapii dochodzi w ok. 40% dopiero po 6 miesiącach, choć parametry przepływu zmniejszają się w części guzów już po 3 miesiącach [12]. Badanie to pozwala również wykryć wznowę guza po regresji w pierwszym okresie (ryc. 7), co pozwala na podjęcie decyzji co do dalszego leczenia jak najwcześniej.

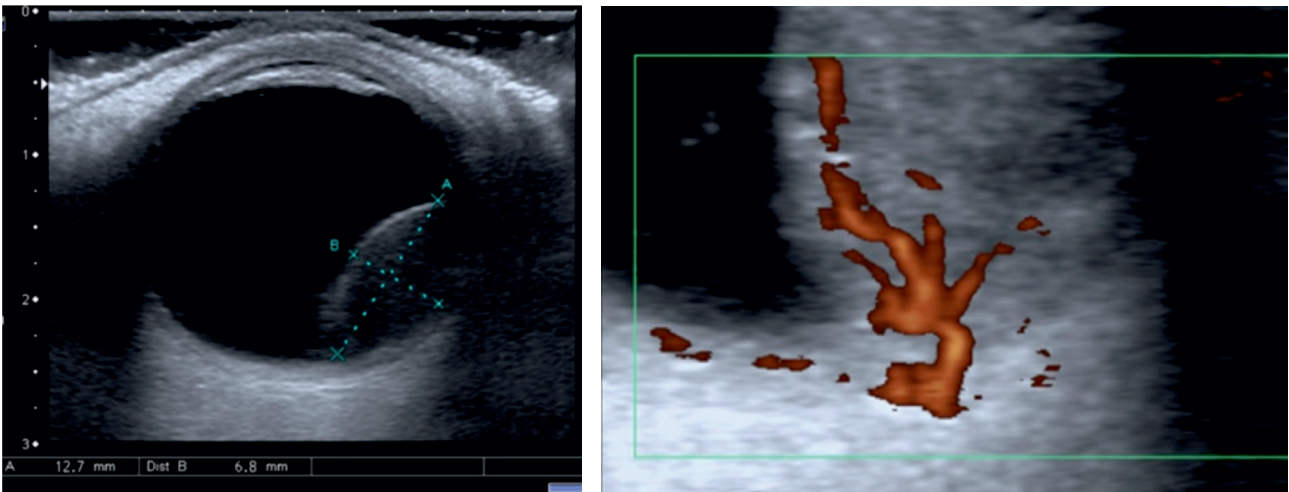
RYCINA 4

Charakterystyczny układ naczyń w obrębie guza wewnątrzgałkowego (po lewej) i niskooporowy przepływ krwi w guzie (po prawej).



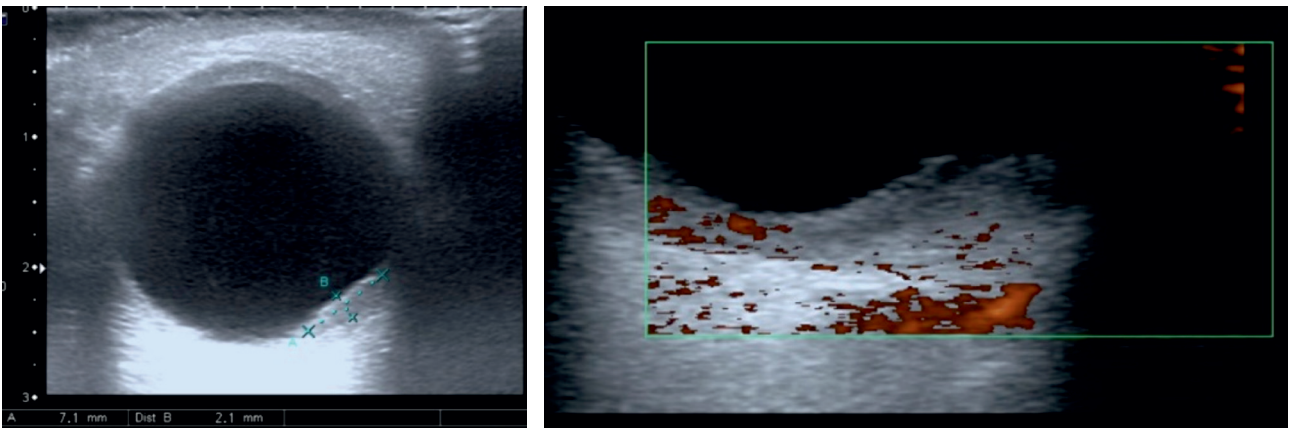
RYCINA 5

Pacjent J.G. 29.06.2012 r. V.o.s. = 0,3 s.c. Wielkość guza (po lewej) i charakterystyczny przepływ w jego obrębie.



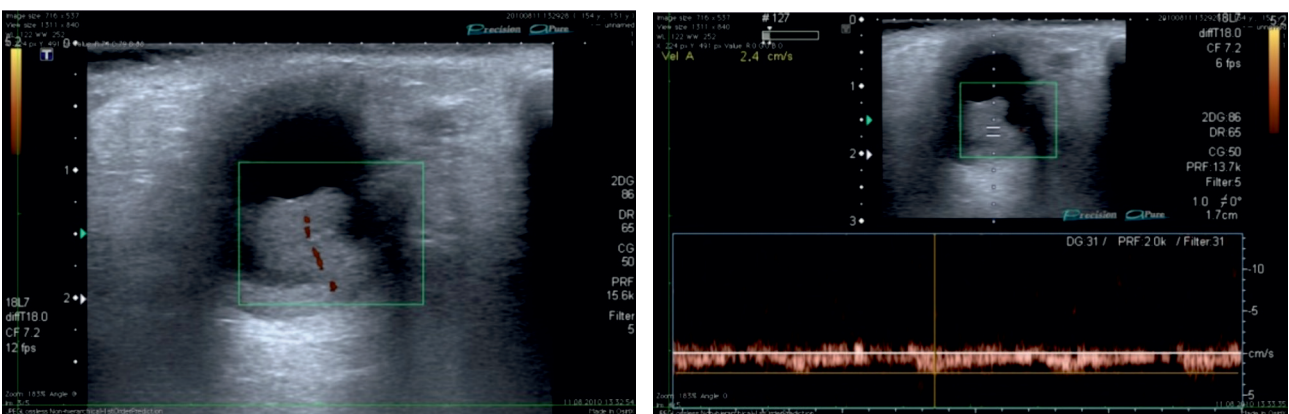
RYCINA 6

Pacjent J.G. 28.05.2013 r. V.o.s. = 0,8 c.c. + 1,0 Dsph. Wielkość guza (po lewej) i brak mierzalnego przepływu w jego obrębie.



RYCINA 7

Odrost guza po brachyterapii i niskooporowy przepływ krwi w obrębie wznowy.



CHOROBY NACZYNIOWE I ZAPALNE

Badanie przepływu metodą Dopplera jest również bardzo użyteczne w badaniu obniżenia ostrości wzroku o niejasnej etiologii. Dochodzi do niego najczęściej w przebiegu chorób pochodzenia naczyniowego i zapalnego, takich jak: przednia i tylna neuropatia niedokrwienna, zator tętnicy środkowej siatkówki, zakrzep żyły środkowej siatkówki, olbrzymiokomórkowe zapalenie tętnic [13] czy zapalenie pozagałkowe nerwu wzrokowego [14]. Można wówczas obserwować zmiany parametrów przepływu w naczyniach krwionośnych w jednej gałce ocznej i oczodole, a ta asymetria zapisu między oczami może sugerować tło naczyniowe bądź zapalne zaburzeń. Bardzo ważne jest wówczas wykonanie badania tętnic szyjnych. Może ono pacjenta uchronić przed chorobą w drugim oku, pozwala również na podjęcie odpowiedniego leczenia przez chirurga naczyniowego [15].

Nie zawsze jednak badanie ultrasonografii dopplerowskiej daje jednoznaczne odpowiedzi. Doniesienia dotyczące np. przedniej niedokrwiennnej neuropatii nerwu wzrokowego nie są oczywiste. Naczynia odpowiadające za ukrwienie przedniego odcinka nerwu wzrokowego (tętnice rzęskowe tylne dystalne i okołonerwowe) są trudne do odróżnienia, a zobrazowanie braku przepływu naczyniowego w tej okolicy z powodu nakładania się przepływu z naczyń okolicznych jest praktycznie niemożliwe [16].

Pamiętajmy również, że w chorobach pochodzenia naczyniowego często leczenie poprawiające ukrwienie gałki ocznej i/lub przeciwzapalne jest stosowane bardzo szybko po rozpoznaniu. Obraz kliniczny tych chorób jest w większości dość symptomatyczny, a szybkość wdrożenia leczenia ma istotne znaczenie dla rokowania co do poprawy widzenia. Ta konieczność szybkiego włączenia leków skutkuje często zmianami w parametrach krążeniowych w obrębie gałek ocznych, a to może ograniczać przydatność tej metody w diagnostyce. Przeprowadzono badania wpływu leków na przepływ naczyniowy w obrębie siatkówki. Stwierdzono np. przydatność tej metody w ocenie skuteczności podawania pentoksyfiliny we wlewach dożylnych u pacjentów ze zwyrodnieniem barwnikowym siatkówki, z utrzymywaniem się efektu terapeutycznego przez okres od 3 do 6 miesięcy [17]. Dlatego wyniki badań po włączeniu leczenia reologicznego nie są do końca wiarygodne i ogranicza to zastosowanie tej metody diagnostycznej u wszystkich pacjentów.

CUKRZYCA

Badania okulistycznej ultrasonografii dopplerowskiej zostały dość szeroko opisane w literaturze w odniesieniu do cukrzycy. Pozwalają one na oszacowanie korelacji między zaawansowaniem zmian cukrzycowych na dnie oka a upośledzeniem przepływu krwi w naczyniach zaopatrujących

siatkówkę [9, 10, 18]. Problemem jest jednak duża rozbieżność wyników badań analizujących parametry przepływu. Zbyt wiele jest bowiem zmiennych, które powodują rozbieżność wyników: wiek pacjenta, rodzaj i czas trwania cukrzycy, stopień zaawansowania retinopatii, współistnienie innych chorób ogólnoustrojowych i miejscowych. Dlatego w planowaniu diagnostyki i procesu terapeutycznego badania ultrasonografii dopplerowskiej wydają się mieć ograniczone zastosowanie.

ODWARSTWIENIE SIATKÓWKI

Badanie dopplerowskie może być pomocne w różnicowaniu odwarstwienia siatkówki ze zmianami proliferacyjnymi, zwłaszcza przy nieprzeziernych ośrodkach optycznych [3]. Można bowiem wówczas uwidocznić przepływ w obrębie tętnicy środkowej siatkówki w odwarstwionej siatkówce bądź – przy jego braku – podejrzewać zmiany proliferacyjne. Wprowadzie dalsze leczenie (zazwyczaj operacyjne) niezależnie od wyniku badania będzie takie samo, niemniej jednak badanie może pomóc w ustaleniu jego czasu i trybu.

CHOROBY OCZODOŁU

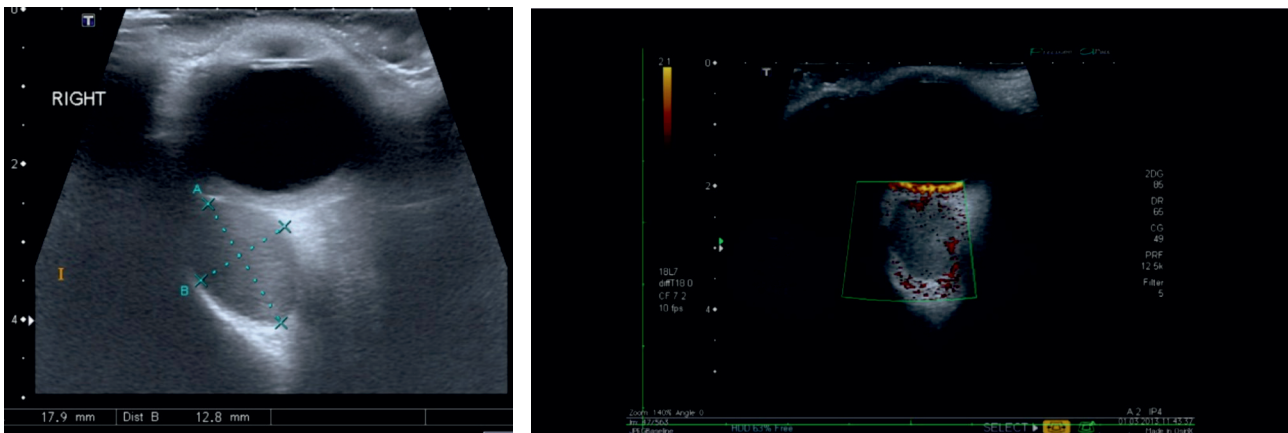
Bardzo użyteczne jest również zastosowanie badań dopplerowskich w chorobach przestrzeni oczodołowej, zwłaszcza w przypadkach diagnostycznie wątpliwych. Przydatność tej metody została potwierdzona tak w diagnostyce przetoki szyjno-jamistej, żyłakach oczodołu, jak i różnych malformacjach żylnych [3, 5, 19]. Badania struktur oczodołowych w tych jednostkach chorobowych wymagają jednak bardzo dużego doświadczenia, a ponieważ chorych z tymi problemami jest niewielu, ocena tych przypadków jest trudna. Badanie ultrasonograficzne w pewnym stopniu jest zawsze subiektywne, a choroby te są trudne do zdiagnozowania i leczenia, mają różny przebieg i rokowanie, dlatego badanie to zawsze łączy się z innymi badaniami obrazowymi (najczęściej z tomografią komputerową i/lub rezonansem magnetycznym z kontrastem) w celu dokładnego uwidocznienia wielkości i charakterystyki zmian (ryc. 8 i 9).

PRZYSZŁOŚĆ

Jak już wspomniano, ultrasonografia dopplerowska podlega – jak cała medycyna – ciągłemu postępowi. Jedną z jej najnowszych zdobyczy jest SMI (*superb micro-vascular imaging*). Pozwala ona na wyodrębnienie bardzo wolnych przepływów naczyniowych z wysoką rozdzielczością, zmniejszonym powstawaniem artefaktów wynikających z ruchów ręki i udoskonalonymi bramkami pomiarowymi. Jej zastosowanie w innych specjalnościach (reumatologii, onkologii) pozwala na zobrazowanie bardzo małych przepływów niedostępnych dla dotychczasowych technik. Dla-

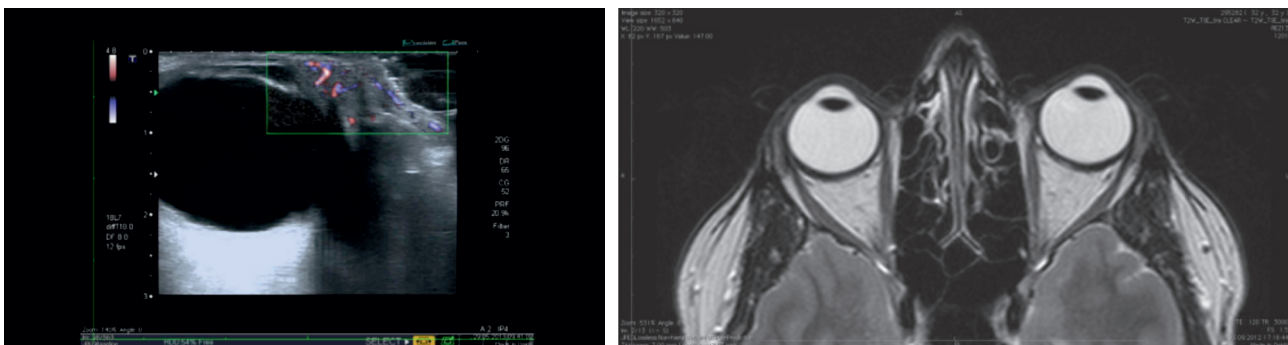
RYCINA 8

Duży niskoechoogeniczny guz oczodołu bez unaczynienia u pacjentki bez objawów klinicznych – obraz stabilny przez 2 lata obserwacji (VI 2012–VIII 2014 r.). Po prawej czerwone kropki – artefakty.



RYCINA 9

Malformacje naczyniowe kąta skroniowego górnego oczodołu lewego z wytrzeszczem (asymetria 1 mm) i poszerzeniem szpary powiekowej (asymetria 1 mm) – po prawej. Po lewej MRI tej samej pacjentki.



tego jej potencjalne zastosowanie w okulistyce w najbliższej przyszłości jest bardzo obiecujące.

dziennej praktyce okulistycznej. Pamiętać należy jednak o ograniczeniach badania oraz o konieczności jego wykonywania przy współpracy radiologa i okulisty.

PODSUMOWANIE

Badania ultrasonografii dopplerowskiej są niezwykle użyteczne w diagnostyce okulistycznej w wybranych chorobach. Stale rosnąca dostępność aparatów dopplerowskich może upowszechnić zastosowanie tego badania w co-

ADRES DO KORESPONDENCJI

Karol Stasiak

Klinika Okulistyczna, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej
01-755 Warszawa, ul. Krasińskiego 54/56

Piśmiennictwo

1. Modrzejewska M. Postępy w zastosowaniu obrazowania ultrasonograficznego w okulistyce – stan na rok 2009. *Ultrasonografia* 2009; 39(9): 73-78.
2. Erickson S, Hendrix L, Massaro B, et al. Color Doppler flow imaging of the Normal and Abnormal Orbit. *Radiology* 1989; 173: 511-516.
3. Modrzejewska M. Zastosowanie kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej w okulistyce. In: *Metody obrazowania w okulistyce*. Kęćik T, Lewandowski P, Kęćik D (ed.). Warszawa 2001: 81-100.
4. Ustymowicz A. Ultrasonografia Duplex-Doppler w diagnostyce okulistycznej. *Ultrasonografia* 2010; 42(10): 9-13.
5. Ustymowicz A. Ultrasonografia dopplerowska z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze (USG-kolor Doppler) w diagnostyce okulistycznej – doświadczenia własne i przegląd literatury. *Klinika Oczna* 2008; 110(1-3): 108-111.
6. Modrzejewska M. Zjawiska hemodynamiczne w naczyniach krwionośnych gałki ocznej. *Klinika Oczna* 4-6/2011: 180-182.
7. Modrzejewska M. Zastosowanie ultrasonografii dopplerowskiej w kolorze do oceny krążenia ocznego, zmiany w parametrach przepływu krwi w tętnicach pozagałkowych u chorych ze zwyrodnieniem plamki związanym z wiekiem i jaskrą. *Habilitation thesis*. Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, 2012.
8. Ustymowicz A. Ultrasonografia dopplerowska z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze: optymalizacja metody do zastosowań w diagnostyce okulistycznej. *Doctoral thesis*. Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, 2009.
9. Gaca-Wysocka M. Zmiany parametrów przepływu krwi w naczyniach pozagałkowych obrazowane przy pomocy ultrasonografii dopplerowskiej u pacjentów z cukrzycą typu 1. *Doctoral thesis*. Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Poznań 2012.
10. Pauk-Domańska M, Walasik-Szemplińska D. Obrazowanie naczyń pozagałkowych w retinopatii cukrzycowej metodą ultrasonografii dopplerowskiej w kolorze. *Journal of Ultrasonography* 2014; 14: 28-35.
11. Ustymowicz A, Mariak Z, Weigele J, et al. Normal reference intervals and ranges of side-to-side and day-to-day variability of ocular blood flow Doppler parameters. *J Ultrasound Med Biol*. 2005; 31(7): 895-903.
12. Proniewska-Skrettek E, Zalewska R, Ustymowicz A, et al. Zastosowanie kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej do oceny skuteczności brachyterapii u pacjentów z czerniakiem błony naczyniowej. *Klinika Oczna* 2007; 109(4-6): 187-190.
13. Modrzejewska M, Post M, Milchert M. Zaburzenie krążenia pozagałkowego i funkcji układu wzrokowego w przebiegu olbrzymiokomórkowego zapalenia tętnic współistniejącego z druzami tarczy nerwu wzrokowego – opis przypadku. *Journal of Ultrasonography* 2013; 13: 337-343.
14. Modrzejewska M, Karczewicz D, Wilk G. Assessment of blood flow velocity in eyeball arteries in multiple sclerosis patients with past retrobulbar optic neuritis in color Doppler ultrasonography. *Klinika Oczna* 2007; 109(4-6): 183-186.
15. Rozegnał-Madej A, Bielecka E, Świąch-Zubilewicz A, et al. Objawy oczne towarzyszące klinicznie znaczącemu zwężeniu tętnicy szyjnej. *Klinika Oczna* 2012; 1: 57-62.
16. Ustymowicz A, Mariak Z, Obuchowska I. Zastosowanie metody kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej w ocenie przepływu krwi w naczyniach gałki ocznej u pacjentów z przednią niedokrwioną neuropatią nerwu wzrokowego – doniesienie wstępne. *Klinika Oczna* 2006; 7-9: 290-293.
17. Gierek-Łapińska A, Formińska-Kapuścik M, Domańska O. Wpływ pentoksyfiliny na przepływ krwi w tętnicy środkowej siatkówki badany metodą ultrasonografii dopplerowskiej u chorych na zwyrodnienie barwnikowe siatkówki. *Magazyn Okulistyczny* 2004; 4: 5-8.
18. Kraśnicki P, Mariak Z, Ustymowicz A, et al. Ocena przepływu krwi metodą Color Doppler w naczyniach gałki ocznej u pacjentów z cukrzycą typu 2. *Klinika Oczna* 2006; 7-9: 294-298.
19. Modrzejewska M, Spoz E, Karczewicz D, et al. Zmiany okulistyczne, ultrasonograficzne i radiologiczne w przebiegu naczyniaka jamistego oczodołu – opis przypadku. *Ultrasonografia* 2007; 31: 99-104.