

(22)

# Ultrasonografia dopplerowska z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze (USG-kolor Doppler) w diagnostyce okulistycznej – doświadczenia własne i przegląd literatury

*Color Doppler ultrasound examinations of the eye and orbit – personal experience and literature review*

**Andrzej Ustymowicz**

Z Zakładu Radiologii Akademii Medycznej w Białymstoku  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jerzy Walecki

**Summary:** Color Doppler ultrasound examinations are effective and very useful to differentiate and diagnose ocular and orbital diseases. In the paper some aspects of these examinations are discussed: technique, examined vessels, blood flow parameters. Special attention is paid to patient's safety, drawbacks and limitations of presented technique.

**Słowa kluczowe:** ultrasonografia, kolor-Doppler, oczodół.

**Key words:** ultrasonography, color-Doppler, orbit.

## Wstęp

Do oceny unaczynienia gałki ocznej stosowano różnorodne metody diagnostyczne. Niektóre z nich pozostały technikami czysto eksperymentalnymi, inne zaś znalazły zastosowanie klinicznie (1). Dopiero jednak wprowadzenie ultrasonografii dopplerowskiej z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze (USG-kolor Doppler; USG-CD) umożliwiło analizę stanu hemodynamicznego naczyń oczodołu (1-3).

W technice tej wykorzystuje się zjawisko opisane przez austriackiego fizyka Christiana Dopplera. Zjawisko to dotyczy każdej fali, której źródło porusza się w stosunku do odbiornika i *vice versa*. Polega ono na zmianie częstotliwości fal ultradźwiękowych wysyłanych przez głowicę, odbitych od płynących w naczyniach krwinek. Odbite fale powracają do głowicy, a aparat ultrasonograficzny odczytuje zmianę częstotliwości. Zmiana ta, zwana częstotliwością dopplerowską lub przesunięciem dopplerowskim, jest proporcjonalna do prędkości przepływu krwi. Jej pomiar umożliwia zatem ustalenie prędkości krwi w naczyniu. W metodzie ultrasonografii dopplerowskiej z obrazowaniem w kolorze przesunięcia dopplerowskie analizowane są jednocześnie we wszystkich punktach wybranego obszaru obrazu w prezentacji B. Następnie wszystkim punktom obrazu, w których stwierdza się ruch, przyporządkowany zostaje kolor, w zależności od kierunku i prędkości odczytanej w danym punkcie. W praktyce do oznaczenia kierunku przepływu używa się zazwyczaj barwy czerwonej i niebieskiej (przepływ do głowicy lub od głowicy), odcieni tych barw używa się do przedstawienia różnych prędkości przepływu. Metoda ultrasonografii dopplerowskiej pozwala na określenie położenia naczyń, a ustawiona bramka dopplerowska umożliwia

ocenę spektrum przepływu krwi w tych naczyniach. Zastosowanie USG-CD umożliwia oznaczenie parametrów hemodynamicznych w naczyniach, nawet tak drobnych jak tętnica środkowa siatkówki (o średnicy około 200  $\mu\text{m}$ ).

## Cel

Celem niniejszej publikacji jest ocena metody USG-kolor Doppler i wykazanie jej przydatności w diagnostyce okulistycznej. W okresie ponad 15-letniej [Od ponad 15 lat] jej aplikacji w obrazowaniu schorzeń gałki ocznej i oczodołu ukazało się wiele doniesień na ten temat, zarówno w literaturze krajowej, jak i zagranicznej (2-10). W pracy pragnę zwrócić uwagę na te aspekty badań USG-CD, których znajomość może warunkować prawidłowe wykonanie badania oraz właściwą interpretację uzyskanych wyników, które przedstawiane są zwykle zdawkowo lub w ogóle pomijane. Mam tu na uwadze: technikę badań, bezpieczeństwo pacjenta, wady i ograniczenia metody. Ponad 10-letnie doświadczenie w wykonywaniu „okulistycznych” badań USG-kolor Doppler skłoniło mnie do przedstawienia własnych spostrzeżeń i uwag kolegom i koleżankom, którzy wykonują te badania lub chcieliby je wykonywać w przyszłości.

## Technika badania

Badanie dopplerowskie gałki ocznej i oczodołu powinna poprzedzać wcześniejsza ocena tętnic szyjnych. Zmiany morfologiczne w nich występujące mogą bowiem mieć wpływ zarówno na kierunek przepływu krwi, jak i parametry przepływu w naczyniach krwionośnych oka (5,8,9,11). Dużego stopnia zwężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej, a także jej niedrożność mogą skut-

kować odwróceniem kierunku przepływu krwi w tętnicy ocznej (tzw. zespół podkradania) i/ lub obniżeniem prędkości przepływu krwi w jej odgałęzieniach: tętnicy środkowej siatkówki, tętnicach rzęskowych. Wynikiem powyżej opisanych zmian jest przewlekłe niedokrwienie gałki ocznej, a w konsekwencji rozwój nowotworstwa naczyń tęczówki i jaskry neowaskularnej. Z drugiej strony odwrócenie kierunku przepływu krwi w tętnicy ocznej ma nie tylko istotne implikacje okulistyczne. Wspomniany powyżej zespół podkradania jest ważnym markerem perfuzji mózgowej. Objawy kliniczne będące wynikiem dużego stopnia zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej (>70%) lub całkowitego jej zamknięcia wiążą się bowiem z mniejszego lub większego stopnia możliwościami kompensacyjnymi krążenia obocznego (9). W przypadku niewydolności tętnicy szyjnej wewnętrznej istnieje zwykle dwójaka możliwość kolateralnego przepływu krwi. Pierwsza, częściej spotykana – przez naczynia koła mózgowego Willisa (przeciwległą tętnicę szyjną wewnętrzną i tętnicę łączącą przednią oraz tętnice kręgowie i tętnicę łączącą tylną). Ta droga krążenia obocznego nie wiąże się ze zmianą kierunku przepływu krwi w tętnicy ocznej. Jednak w przypadku zmian morfologicznych w obrębie tych naczyń (aplazji, hipoplazji, arteriosklerozy) i ich niewydolności pozostaje druga możliwość – przez tętnicę oczną. Już w 1893 roku Elsching opisał możliwość krążenia obocznego przez to naczynie w przypadku zamknięcia tętnicy szyjnej wewnętrznej (12). Tętnica oczna stanowi wówczas jedno z ogniw połączenia pomiędzy krążeniem zewnątrz- i wewnątrzczaszkowym. Biorąc powyższe pod uwagę, przepływ krwi w tętnicy ocznej powinien być oceniany nie tylko u pacjentów „okulistycznych”, ale także „neurologicznych” z podejrzeniem dużego stopnia zwężenia/ niedrożności tętnicy szyjnej wewnętrznej.

Badanie dopplerowskie gałki ocznej i oczodołu wykonuje się w pozycji leżącej pacjenta. Doradzam wcześniejsze dokładne wyjaśnienie pacjentowi celu badania i jego metodyki. Pozwoli to na zaspokojenie jego ciekawości, a w związku z tym także uniknięcie artefaktów ruchowych związanych z ciągłym otwieraniem powiek, ruchem gałek ocznych czy podrażnieniem spojówki przez żel. Głowa pacjenta w trakcie badania powinna być lekko odchylona ku tyłowi. Pozycja ta będzie zapobiegała spływaniu półpłynnego żelu ultrasonograficznego na twarz w kierunku jamy ustnej.

Ponieważ parametry dopplerowskie przepływu krwi w naczyniach zagałkowych mogą się różnić w zależności od intensywności oświetlenia zewnętrznego, należy dochować staranności w zachowaniu jednolitych warunków badań, zwłaszcza w okresie monitorowania leczenia. Opisywano bowiem wzrost prędkości przepływu krwi w tętnicy środkowej siatkówki w ciemności. Powyższy fakt wiązano ze zwiększonym zapotrzebowaniem i wzmożeniem metabolizmu fotoreceptorów (13).

Do obrazowania łożyska naczyniowego gałki ocznej stosuje się zwykle sondy liniowe o częstotliwości powyżej 7 MHz. Sondę należy ustawić delikatnie na zamkniętej powiece, po wcześniejszym naniesieniu żelu ultrasonograficznego, a ewentualnych zmian jej położenia dokonywać z zachowaniem jak największej ostrożności. Zwiększony ucisk na gałkę oczną może bowiem skutkować wzrostem ciśnienia wewnątrzgałkowego i, co się z tym wiąże, zaburzeniem perfuzji miejscowego łożyska naczyniowego (3). Może to spowodować zafałszowanie wyników badania – zwłaszcza obniżenie prędkości końcowo-rozkurczowej i wzrost

współczynnika oporu. Odpowiednie dobranie szerokości bramki dopplerowskiej (jak najmniejsza: 1-2 mm szerokości) pozwoli natomiast na uniknięcie ewentualnego nakładania się na siebie spektrum przepływu krwi z sąsiednich naczyń. Ma to szczególne znaczenie w przypadku obrazowania przepływu krwi w tętnicy środkowej siatkówki i tętnicach rzęskowych tylnych krótkich.

### Badane naczynia i parametry przepływu

Naczynia, których spektrum przepływu krwi oceniamy w badaniu USG-kolor Doppler, to głównie naczynia pozagałkowe (tętnica oczna, żyła oczna górna) lub ich fragmenty leżące w tej części oczodołu (wewnątrznerwowy fragment tętnicy środkowej siatkówki, tętnice rzęskowe). W badaniu widoczne są również kolorowe punkty odpowiadające naczyniom siatkówki czy naczyńcówki, jednak nie ma praktycznej możliwości analizy przepływu krwi w tych naczyniach (brak możliwości dobrania kąta dopplerowskiego, gęsta sieć naczyń). Wyjątek może tu stanowić jedynie odwarstwienie siatkówki z wtórnym przemieszczeniem tętnicy środkowej siatkówki.

Odminną sytuacją jest natomiast zobrazowanie naczyń patologicznych w obrębie zmian guzowatych gałki ocznej czy oczodołu (m.in. czerniaka złośliwego, przerzutów). W badaniach tych należy zwrócić uwagę zwłaszcza na stopień unaczynienia zmiany, określony poprzez gęstość łożyska naczyniowego i odpowiadające mu kolorowe punkty, ich intensywność, w mniejszym stopniu zaś – parametry dopplerowskie (7). Tak jak w przypadku gałęzi tętnicy środkowej siatkówki oraz naczyń naczyńcówki pomiar prędkości przepływu krwi w większości przypadków może być zafałszowany brakiem możliwości dokonania korekty kąta dopplerowskiego. W trakcie badania zmian guzowatych wskazane jest jednak ustawienie bramki próbującej ponad kolorowymi punktami. Manewr ten pozwoli na odróżnienie naczyń patologicznych od licznych nieraz artefaktów.

Ponieważ identyfikacja poszczególnych naczyń oczodołu może się okazać niemałym problemem, dlatego też przydatne jest wstępne uzyskanie obrazu struktur oczodołu w prezentacji B (czarno-białej). Przedstawiony na nim nerw wzrokowy, w postaci hipoechoowego pasma ciągnącego się za gałką oczną, stanowi punkt odniesienia do obrazowania wybranych tętnic i żył (2,3).

Tętnica oczna ukazuje się w badaniu USG-kolor Doppler jako największe naczynie tętnicze oczodołu, zwykle w postaci pasma koloru czerwonego (odpowiada przepływowi krwi w kierunku do sondy), leżącego po stronie skroniowej lub nosowej nerwu wzrokowego w zależności od odległości do tarczy nerwu wzrokowego.

Tętnicę środkową siatkówki można uwidocznnić w części centralnej nerwu wzrokowego, na długości około 1 cm za gałką oczną. Towarzyszy jej żyła środkowa siatkówki. Spektrum przepływu w tym drugim naczyniu ma charakterystyczny falowy kształt, co związane jest z bliskim położeniem tętnicy środkowej siatkówki i przeniesieniem fali tętna na żyłę środkową siatkówki. Obrazowanie obu tych naczyń jednocześnie i jednoczesowy zapis spektrum przepływu krwi z tętnicy środkowej siatkówki (powyżej linii podstawnej) i żyły środkowej siatkówki (poniżej linii podstawnej) pozwalają na zróżnicowanie tętnicy środkowej siatkówki z tętnicami rzęskowymi.

Tętnice rzęskowe tylne krótkie można odnaleźć po stronie skroniowej lub nosowej w postaci czerwonych punktów (przepływ do głowicy) leżących w pobliżu nerwu wzrokowego. Należy jednak

zwrócić uwagę, aby odległość od gałki ocznej nie była zbyt mała, można bowiem zarejestrować niemiernodajne spektrum przepływu krwi z naczyń błony naczyniowej oka (choroidal blush) (2).

Żyła oczna górna (przedstawiana zwykle w kolorze niebieskim) jest naczyniem o większej średnicy niż inne naczynia żyłne gałki ocznej i oczodołu. Biegnie powyżej i skośnie w stosunku do nerwu wzrokowego. Rzadko udaje się natomiast uwidocznienie przepływu krwi w żyłę ocznej dolnej.

W praktyce klinicznej najczęściej ocenie podlegają kierunek przepływu krwi w tętnicy ocznej i żyłę ocznej górnej oraz parametry przepływu krwi w tętnicy środkowej siatkówki i tętnicach rzęskowych tylnych krótkich.

Na temat kierunku przepływu krwi wspominałem już powyżej. Jest to bardzo istotna informacja, która powinna znaleźć swoje odzwierciedlenie w opisie badania łożyska naczyniowego oka. Zmiana kierunku przepływu krwi w tętnicy ocznej może bowiem wskazywać na dużego stopnia zwężenie/niedrożność tętnicy szyjnej wewnętrznej po tej stronie i występowanie krążenia obocznego. Z odwróceniem kierunku przepływu krwi w tętnicy ocznej można się spotkać również u chorych z przetoką tętniczo-jamistą (4,10,11,14). W przypadku tej ostatniej patologii zmianę kierunku i spektrum przepływu (arterializacja przepływu) obserwuje się ponadto w żyłę ocznej górnej. Odwrócenie kierunku przepływu krwi w tym naczyniu nie jest jednak jednoznaczne z występowaniem przetoki tętniczo-jamistej. Może ono być również objawem obecności guza w szczycie oczodołu, ucisku w przebiegu choroby Gravesa czy zakrzepicy zatoki jamistej (11).

Pomiary parametrów przepływu krwi (w sposób ręczny – w starszych aparatach ultrasonograficznych bądź automatyczny – w nowszych aparatach ultrasonograficznych) dokonuje się po określeniu co najmniej trzech identycznych fal (pików) w spektrum przepływu. Z trudnościami w wyborze trzech identycznych pików możemy się spotkać w przypadku niemiernodajnej pracy serca.

Większość autorów określa w spektrum tętnicznym przepływu krwi wartości: prędkości maksymalnej w skurczu (PSV – Peak-Systolic Velocity), prędkości końcowo-rozkurczowej (EDV – End-Diastolic Velocity), prędkości średniej, wskaźnika oporu – RI (wskaźnik Pourcelota) i wskaźnika pulsacji – PI (wskaźnik Goslinga-Kinga). W spektrum żylnym przepływu krwi ograniczamy się zwykle do pomiaru prędkości maksymalnej ( $V_{max}$ ) i minimalnej ( $V_{min}$ ) oraz, co ma miejsce rzadziej, żylnego wskaźnika pulsacji (Venous Pulsatility Index =  $(V_{max} - V_{min}) / V_{max}$ ) (3). Powyżej wymienione parametry, zmienne w różnorodnych chorobach gałki ocznej i oczodołu, umożliwiają aktualną ocenę stanu hemodynamicznego łożyska naczyniowego przestrzeni pozagałkowej i określenie rodzaju schorzenia.

W niniejszej pracy nie będę analizował norm poszczególnych parametrów dopplerowskich, a także ich wartości w różnorodnych jednostkach chorobowych. Wspomnieć jednak należy, że parametry te w poszczególnych naczyniach mogą się różnić w zależności od wieku i płci badanego (15). Istotne znaczenie ma również miejsce dokonywania pomiarów, tj. odległość bramki próbkującej do tarczy nerwu wzrokowego. Analizując parametry przepływu krwi w tętnicy środkowej siatkówki w zmiennych odległościach od tarczy nerwu wzrokowego, wykazano wzrost prędkości przepływu krwi oraz współczynnika RI bliżej gałki ocznej (16). Odmienne parametry dopplerowskie w zależności od miejsca pomiaru obserwowano także w badaniach tętnicy ocz-

nej. Znaczącą rolę w tym procesie odgrywa położenie tętnicy ocznej w stosunku do nerwu wzrokowego – jej kręty przebieg, a co się z tym także wiąże – różne wartości kąta dopplerowskiego. Jego wpływ na pomiar uzyskiwanych parametrów dopplerowskich w naczyniach oczodołu przedstawili Williamson i Harris (3).

### Ograniczenia i wady

Pomimo niewątpliwych zalet techniki USG-kolor Doppler i jej udowodnionej przydatności w diagnostyce wielu schorzeń gałki ocznej i oczodołu istnieją też i ograniczenia.

Jednym z nich jest fakt, iż w badaniu tym (pomimo stosowania sond o coraz to wyższej częstotliwości, a w związku z tym wyższej rozdzielczości) nie jesteśmy w stanie uwidocznić tak drobnych naczyń, jak naczynia przestrzeni pozagałkowej, a jedynie możemy wykazać ruch odpowiadający przepływowi krwi w ich świetle. Nie jest więc możliwe uwidocznienie braku przepływu krwi w naczyniu (prędkość przepływu – 0 cm/s). Jest on bowiem jednoznaczny z brakiem sygnału dopplerowskiego, a co się z tym wiąże – nieuwidocznieniem „naczynia”. Brak przepływu krwi można jedynie zasugerować w badaniu tętnicy czy żyły środkowej siatkówki. Anatomiczne położenie tych naczyń w obrębie nerwu wzrokowego umożliwia bowiem dokładne, domyślne ich rozpoznanie, ustawienie bramki próbkującej i ocenę przepływu krwi (ewentualnie jego brak).

Innym ograniczeniem badań USG-kolor Doppler naczyń oczodołu jest ponadto brak możliwości pomiaru objętości przepływającej krwi. Zgodnie ze wzorem

$$Q = V \times \pi r^2$$

(gdzie:

Q – objętość,

V – prędkość przepływu,

r – promień naczynia)

do oceny tego parametru niezbędna jest znajomość promienia naczynia. Jak już wcześniej podałem, nie ma możliwości oceny morfologicznej naczyń pozagałkowych, nie można zatem ocenić ich promienia.

Wadą techniki USG-kolor Doppler są także artefakty pojawiające się w trakcie wykonywania badania. Wspominałem już powyżej o artefaktach ruchowych związanych z poruszaniem przez badanego powieką lub ruchami gałki ocznej. W opublikowanych wcześniej pracach opisywaliśmy ponadto występowanie artefaktu mrugania (twinkling artifact), który może się pojawić za silnie odbijającymi i rozpraszającymi wiązkę ultradźwięków zmianami o nierównej powierzchni (17). Ukazujący się wówczas obraz kolorowych punktów mylnie może sugerować przepływ krwi (18). Stosunkowo często spotykam się z tą sytuacją, zwłaszcza w trakcie badania pacjentów z obecnością silnie uwapnionych druz tarczy nerwu wzrokowego.

Niedoskonałością metody jest również brak możliwości zróżnicowania tętnic rzęskowych. Gęsto utkana sieć tych naczyń może sprawić niemałe trudności, a zwłaszcza określenie położenia tętnic rzęskowych tylnych krótkich okołonerwowych i obwodowych. Ma to istotne znaczenie, jako że te pierwsze zaopatrują nerw wzrokowy, podczas gdy drugie doprowadzają krew do na-

czyniówki. W praktyce klinicznej badanie powyżej wymienionych naczyń należy oprzeć na dokładnej znajomości anatomii i ich stosunku do wcześniej wspomnianego hipoechowego pasma – nerwu wzrokowego.

### Bezpieczeństwo

Zastosowanie ultrasonografii dopplerowskiej z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze wiąże się z użyciem wiązki ultradźwiękowej o znacznie wyższej mocy w stosunku do badań USG w prezentacji czarno-białej. Ponieważ działanie ultradźwięków jest potencjalnie szkodliwe (z powodu nagrzewania się tkanek i kawitacji), opracowano standard wyświetlania mocy nadawczej (tzw. Output Display Standard-ODS) (19). W nowoczesnych aparatach USG jest on przedstawiany na ekranie w trakcie badania w postaci dwóch wskaźników: indeksu mechanicznego (MI) i indeksu termicznego (TI). Wskaźnik MI jest wyświetlany podczas badania ultrasonograficznego w prezentacji B, wskaźnik TI zaś – w badaniu dopplerowskim. Dla badań okulistycznych wskaźnik MI nie powinien przekroczyć wartości 0,23 (20). Przekroczenie tego poziomu nie jest jednak jednoznaczne z wystąpieniem skutków biologicznych. Wskaźniki MI i TI są jedynie przybliżonymi wyznacznikami zagrożeń związanych z badaniem. Ich wyższe wartości wskazują na wyższe prawdopodobieństwo wystąpienia efektów biologicznych. W ocenie zagrożenia działania wiązki ultradźwiękowej i standardach ODS nie uwzględniono jednak czasu ekspozycji. Ma on istotne znaczenie, zwłaszcza w przypadku działań termicznych. Na użytkownika spoczywa więc obowiązek jego jak najbardziej optymalnego skrócenia i zachowania się zgodnie z radiologiczną zasadą ALARA (As Low As Reasonable Achievable – tak małe, jak to sensownie możliwe), tj. zastosowanie jak najniższych parametrów aparatury w celu uzyskania informacji diagnostycznej.

### Podsumowanie

Badania USG-kolor Doppler znajdują coraz szersze zastosowanie w diagnostyce okulistycznej. Znajomość przedstawionych w pracy ich aspektów jest niezbędna do prawidłowego wykonania badania oraz właściwej analizy uzyskanych wyników.

### Piśmiennictwo:

- Harris A, Kagemann L, Cioffi GA: *Assessment of human ocular hemodynamics*. *Surv Ophthalmol* 1998, 42, 509-533.
- Erickson SJ, Hendrix LE, Massaro BM, Harris GJ, Lewandowski MF, Foley WD, Lawson TL: *Color Doppler flow imaging of the normal and abnormal orbit*. *Radiology* 1989, 173, 511-516.
- Williamson TH, Harris A: *Color Doppler ultrasound imaging of the eye and orbit*. *Surv Ophthalmol* 1996, 40, 4, 255-266.
- Stefańczyk L, Kaurzel Z, Kazanek M, Jędrzejczyk S: *Przetoka tętniczo-jamista – możliwości diagnostyczne kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej*. *Klin Oczna* 1996, 98, 1, 51-53.
- Stefańczyk L, Mysior M, Wojciechowski A, Jędrzejczyk S: *Przeływ w tętnicach ocznych i środkowych siatkówki w przypadkach krytycznego ograniczenia drożności tętnic szyjnych – ocena z zastosowaniem kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej*. *Pol Przegl Radiol* 1995, 60, 4, 205-208.
- Ustymowicz A, Krejza J, Tarasów E, Mariak Z, Zalewska R, Proniewska-Skrętek E, Stankiewicz A: *Parametry dopplerowskie przepływu krwi w naczyniach krwionośnych oka u chorych na jaskrę*. *Klin Oczna* 1999, 101, 445-449.
- Proniewska-Skrętek E, Zalewska R, Ustymowicz A, Kraśnicki P, Mariak Z: *Zastosowanie kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej do oceny skuteczności brachyterapii u pacjentów z czerniakiem błony naczyniowej*. *Klin Oczna* 2007, 109, 187-190.
- Reynolds PS, Greenberg JP, Lien LM, Meads DC, Myers LG, Tegelger CH: *Ophthalmic artery flow direction on color flow duplex imaging is highly specific for severe carotid stenosis*. *J Neuroimaging* 2002, 12, 5-8.
- Costa VP, Kuzniec S, Molnar LJ, Cerri GG, Puech-Leao P, Carvalho CA: *Collateral blood supply through the ophthalmic artery. A steal phenomenon analyzed by color Doppler imaging*. *Ophthalmology* 1998, 105, 689-693.
- Kawaguchi S, Sakaki T, Uranishi R: *Color Doppler flow imaging of the superior ophthalmic vein in dural arteriovenous fistulas*. *Stroke* 2002, 33, 2009-2013.
- Tranquart F, Berges O, Koskas P, Arsene S, Rossazza C, Pisella P, Pourcelot L: *Color Doppler imaging of orbital vessels: personal experience and literature review*. *J Clin Ultrasound* 2003, 31, 258-273.
- Elschnig A: *Über den Einfluss des Verschlusses des Arteria ophthalmica und der Carotis auf das Sehorgan*. *Albrecht von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 1893, 39, 151-177.
- Havelius U, Hansen F, Hindfelt B, Krakau T: *Human ocular vasodynamic changes in light and darkness*. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999, 40, 1850-1855.
- Yanik B, Conkbayir I, Ozturk H, Acaroglu G, Hekimoglu B: *Partial steal phenomenon in the ophthalmic artery due to direct carotid-cavernous sinus fistula*. *J Ultrasound Med* 2003, 22, 1107-1110.
- Ustymowicz A, Mariak Z, Weigele J, Lyson T, Kochanowicz J, Krejza J: *Normal reference intervals and ranges of side-to-side and day-to-day variability of ocular blood flow Doppler parameters*. *Ultrasound Med Biol* 2005, 31, 895-903.
- Ustymowicz A, Krejza J, Tarasów E, Mariak Z, Proniewska-Skrętek E: *Zmienność parametrów dopplerowskich przepływu krwi w środkowej tętnicy siatkówki w zależności od miejsca pomiaru*. *Klin Oczna* 1999, 101, 441-444.
- Ustymowicz A, Krejza J, Mariak Z: *Twinkling artifact in color Doppler imaging of the orbit*. *J Ultrasound Med* 2002, 21, 559-563.
- Ustymowicz A, Obuchowska I, Krejza J, Mariak Z: *Limitations of color Doppler sonography in the imaging of ocular vessels*. *Eur J Ophthalmol* 2004, 14, 584-587.
- Barnett SB, Ter Haar GR, Ziskin MC, Rott HD, Duck FA, Maeda K: *International recommendations and guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine*. *Ultrasound Med Biol* 2000, 26, 355-366.
- Nowicki A, Lewin PA, Łypacewicz G: *Dopuszczalne dawki mocy akustycznych w ultradźwiękowych urządzeniach diagnostycznych*. *Ultrasonografia* 2000, 4, 17-25.

Praca wpłynęła do Redakcji 20.11.2007 r. (1000)  
Zakwalifikowano do druku 20.12.2007 r.

Adres do korespondencji (reprint requests to):  
dr n. med. Andrzej Ustymowicz  
Zakład Radiologii Akademii Medycznej  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 24A  
15-256 Białystok