

## 11

# Badania ultrasonograficzne w udarze mózgu

Joanna Wojczal, Anna Szczepańska-Szerej

Badanie ultradźwiękowe, wprowadzone do klinicznych badań układu nerwowego ponad 30 lat temu, jest obecnie szeroko stosowane jako metoda diagnostyczna chorób naczyniowych mózgu. Postępy techniczne i brak narażenia na promieniowanie rentgenowskie ułatwiły ewolucję tej metody i umożliwiły zastosowanie badań ultradźwiękowych nie tylko w warunkach pracowni ambulatoryjnej, lecz także jako badania przyłóżkowego.

Ultrasonografia diagnostyczna daje możliwość oceny hemodynamiki krążenia mózgowego, struktury i anatomii naczyń domózgowych i wewnątrzmożgowych. W tym celu korzysta się właściwie z dwóch metod obrazowania. Pierwsza z nich to tzw. obrazowanie *B-mode*, czyli obrazowanie struktury (np. tętnic szyjnych, struktur mózgowia itp.), a druga to obrazowanie przepływu w naczyniach przy wykorzystaniu zjawiska Dopplera. Obrazowanie przepływu można z kolei przedstawić dwójako: jako widmo prędkości w naczyniu podczas cyklu pracy serca – mówimy wówczas o widmie dopplerowskim przepływu – oraz można zakodować poszczególne prędkości na kolorowo i nałożyć je na obraz światła naczynia – otrzymujemy wówczas tzw. obraz dupleksowy. Odmianą obrazowania z przepływem zakodowanym na kolorowo jest obrazowanie typu *power Doppler* (PDI, *Power Doppler Imaging*), w którym przepływ kodowany jest nie według średniej prędkości dopplerowskiej przepływającej krwi, lecz według amplitudy mocy spektrum dopplerowskiego.

Do obrazowania struktury i przebiegu naczyń domózgowych zewnątrzczaszkowych (tętnic szyjnych i kręgowych) stosujemy obecnie standardowo badanie dupleksowe z przepływem zakodowanym na kolorowo. W badaniach przesiewowych lub w warunkach badania przyłóżkowego w ostrym okresie udaru mózgu można stosować badanie dopplerowskie „na ślepo” do wykrycia hemodynamicznie istotnych zmian, np. zwężeń, ale w razie jakichkolwiek nieprawidłowości bądź niejasności należy badanie to uzupełnić badaniem dupleksowym. Do badań przezczaszkowych natomiast na równi stosujemy metodę przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej (TCD, *Transcranial Doppler*) „na ślepo”, jak i badanie za

pomocą przezczaszkowej ultrasonografii dupleksowej z przepływem zakodowanym na kolorowo (TCCD, *Transcranial Color-Coded Duplex*) lub z opcją *power*. Dzieje się tak dlatego, że aż u 20–30% osób kości czaszki uniemożliwiają obrazowanie za pomocą TCCD, natomiast TCD wykazuje większą czułość dopplerowską, gdyż zbyt grube okno kostne stanowi przeszkodę w ocenie tylko u 5–15% pacjentów.

## Badanie dupleksowe tętnic szyjnych i kręgowych

Badanie przeprowadza się za pomocą sondy liniowej o częstotliwości od 5 do 12 MHz. Sondy o częstotliwości 5 MHz umożliwiają obrazowanie głębszych struktur, ale dają mniej precyzyjne obrazy, sondy o częstotliwościach wyższych, np. ok. 10–12 MHz, umożliwiają dokładną ocenę i pomiar grubości tzw. kompleksu błona wewnętrzna–błona środkowa (IMT, *Intima-Media Thickness*) tętnic szyjnych, natomiast gorzej widoczne są położone głębiej tętnice kręgowe.

Badanie standardowo obejmuje tętnicę szyjną wspólną, rozwidlenie tętnicy szyjnej wspólnej, tętnicę szyjną wewnętrzną i tętnicę szyjną zewnętrzną, w tym obraz przedni, boczny, tylny i poprzeczny lub okrężny skan na każdym z poziomów, tak aby objąć wszystkie te przekroje. Do najważniejszych elementów badania należy: ocena przebiegu naczyń, ściany naczyń (pomiar IMT, stwierdzenie obecności blaszek miażdżycowych), a następnie ocena prędkości przepływu w obrębie naczyń. Ocena kompleksu błona wewnętrzna–błona środkowa ma znaczenie przy określaniu ryzyka zagrożenia wystąpieniem zmian miażdżycowych w czasie, jest ważna w badaniach profilaktycznych lub dla oceny wpływu leków, natomiast nie ma praktycznego znaczenia w ostrym okresie udaru mózgu. Bardzo istotne dla diagnostyki i profilaktyki udaru mózgu jest wykrycie i określenie cech blaszek miażdżycowych, takich jak: struktura (homogenna, heterogenna; krwotok

śródblaszkowy), echodensyjność, obecność jakichkolwiek zwapnień, powodujących powstanie cienia akustycznego, właściwości powierzchni (gładka, nieregularna, z owrzodzeniami) i ewentualnie rozmieszczenie blaszki (koncentryczna, ekscentryczna; długość). Blaszki hipoechogenne oraz te, które są heterogenne ze znacznymi obszarami hipoechogennymi (blaszka złożona), wskazują na zwiększone ryzyko udaru (Polak i wsp., 1998).

W ostrym okresie udaru najważniejsze jest określenie drożności tętnicy szyjnej wewnętrznej lub wspólnej.

Przy ostrej niedrożności naczynia stwierdza się kilka typów przepływu w zależności od czasu, który upłynął od zatkania naczynia. Początkowo w odcinku proksymalnym niedrożnego naczynia obserwuje się przepływ niski dwukierunkowy (widmo o krótkotrwałej, niskiej prędkości skurczowej i rozkurczowej spowodowane odbijaniem się strumienia krwi od przeszkody), w miarę upływu czasu występują tzw. piki skurczowe (krótkie, niskie prędkości skurczowe), a następnie zupełny brak przepływu, czyli asonia (najczęściej jeśli materiał wypełniający światło jest zorganizowany). Proksymalnie do niedrożności występuje zawsze obniżenie prędkości skurczowej i podwyższenie oporu naczyniowego. W przypadku tętnicy szyjnej wewnętrznej lub wspólnej badanie dupleksowe pozwala również na określenie charakteru zmiany powodującej niedrożność. Brak obecności zmian miażdżycowych łącznie z hipoechogenicznością zmiany wypełniającej światło naczynia wskazuje na zatorowe pochodzenie niedrożności. Obecność licznych blaszek miażdżycowych, zwłaszcza niejednorodnych, wskazuje na niestabilność blaszki jako przyczynę niedrożności.

Badanie ultrasonograficzne jest znakomitą metodą pomiaru stopnia zwężenia naczynia. Przy zwężeniach umiarkowanych stwierdza się odcinkowe przyspieszenie prędkości maksymalnej przepływu, przy zwężeniach dużych – odcinkowy wzrost prędkości maksymalnej i turbulencje, a przy zwężeniach bardzo dużych oprócz wymienionych zmian zaczyna wzrastać prędkość końcowo-rozkurczowa. Przy zwężeniach subtotalnych wartości maksymalnej prędkości skurczowej oraz prędkości końcowo-rozkurczowej mogą wzrastać jeszcze bardziej lub spadać. Istnieje kilka kryteriów określania stopnia zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej i należy je stosować jako ważną wskazówkę przy interpretacji danych co do prędkości, natomiast nie można ich uważać za niezmienną i sztywną zasadę.

Osoby interpretujące powinny wziąć pod uwagę całość obrazu ultrasonograficznego u każdego pacjenta (najlepiej wraz z wynikami badania przezczaszkowego) oraz wykazywać rozsądek przy wyciąganiu wniosków. Każda pracownia neurosonologii obowiązkowo powinna dokonywać standaryzacji swoich wyników na podstawie badań angiograficznych.

Tętnicę kręgową niemal zawsze można ocenić w odcinku przed wejściem do otworów wyrostków poprzecznych oraz w odcinkach pomiędzy wyrostkami poprzecznymi kręgów szyjnych C4-C5-C6. Początkowy odcinek tętnicy kręgowej oraz tętnica podobojczykowa są trudniej dostępne badaniu i nie u wszystkich osób można te tętnice uwidocznnić. Ze względu na głębsze położenie tętnicy kręgowej bardzo rzadko można zobrazować blaszki miażdżycowe w jej obrębie. Nie ma też, jak dotychczas, szeroko zaakceptowanych kryteriów rozpoznania zwężenia zewnątrzczaszkowego odcinka tętnicy kręgowej. W ocenie tętnicy kręgowej ważne jest: określenie przebiegu naczynia (w celu uwidocznienia elongacji, zagięć, a także ewentualnego rozwarstwienia w odcinku początkowym lub na przebiegu pomiędzy wyrostkami poprzecznymi kręgów szyjnych), orientacyjne zmierzenie jej średnicy (aby ocenić ewentualną hipoplazję), uwidocznienie kierunku przepływu (dla zobrazowania ewentualnych zespołów podkradania tętnicy podobojczykowej), pomiar prędkości przepływu i oporu naczyniowego.

## Przeznaczona ultrasonografia dopplerowska (TCD)

W badaniach TCD „na ślepo” stosuje się sondę 2 MHz z falą pulsacyjną. Insonację tętnic na podstawie mózgu rutynowo przeprowadza się przez trzy naturalne okienka ultrasonograficzne kości czaszki: skroniowe (nad uchem, w miejscu, gdzie łuska kości skroniowej jest cieńsza), podpotyliczne (przez otwór wielki) oraz oczodołowe, śledząc przebieg naczynia najczęściej co 2–3 mm. Rozróżnienie naczyń możliwe jest dzięki odpowiedniemu położeniu sondy, znajomości głębokości, z której otrzymujemy obraz widma przepływu (głębokości insonacji) oraz kierunku przepływu. Dodatkowym elementem ułatwiającym rozpoznanie naczyń są charakterystyczne prędkości dla danego naczynia i zależny od rozkładu prędkości kształt widma i dźwięk.

Przez okno skroniowe możemy prześledzić prędkości przepływu w głównym pniu tętnicy środkowej mózgu (M1), w odcinku A1 tętnicy przedniej mózgu, a kierując sondę nieco do tyłu, w odcinku P1 i P2 tętnicy tylnej mózgu. Czasem można również uwidocznnić końcową część tętnicy szyjnej wewnętrznej (odcinek nadklinowy) oraz szczyt tętnicy podstawnej, ale wymaga to większego doświadczenia osoby wykonującej badanie. Przez okno podpotyliczne badamy przepływ w tętnicach kręgowych obustronnie oraz tętnicy podstawnej. Okienko oczodołowe pozwala na ocenę tętnicy ocznej i syfonu tętnicy szyjnej wewnętrznej. Ze względu na bezpieczeństwo gałki

ocznej okienko to wykorzystujemy tylko wówczas, gdy mamy trudności w ocenie przez okno skroniowe, obniżając maksymalnie moc wiązki ultradźwiękowej.

Prędkości przepływu zmieniają się wraz z wiekiem i zależą także od płci, lepkości krwi, prężności dwutlenku węgla i tlenu we krwi, temperatury, stanu hormonalnego i kilku innych czynników. Wielokrotne pomiary prędkości przepływu są wysoce powtarzalne. Opierając się na ogólnej wiedzy na temat umiejscowienia tętnic wewnątrzczaszkowych oraz kierunku przepływu, można wytworzyć pełną mapę tętnic podstawy. Taka mapa jest klinicznie przydatna, gdyż typowe zmiany patologiczne, obejmujące tętnice wewnątrzczaszkowe, takie jak miażdżycy oraz skurcz naczyniowy, związany z krwotokiem podpajęczynówkowym z pękniętego tętniaka, często dotyczą odcinków tętnic, które można badać ultradźwiękowo. Poza zasięgiem TCD znajdują się gałęzie korowe tętnic mózgowych.

## Przeznaczona ultrasonografia dupleksowa z zakodowanym na kolorowo przepływem (TCCD)

Badania wykonuje się sondą sektorową 2–2,5 MHz przez te same okienka, które wykorzystujemy w TCD. TCCD umożliwia otrzymanie w ograniczonym zakresie obrazu struktur wewnątrzczaszkowych oraz uwidacznia przebieg głównych naczyń na podstawie mózgu. Naturalnymi punktami orientacyjnymi, wobec których określamy położenie naczyń, są pień mózgu i komora trzecia. Dzięki temu pewniejsza jest interpretacja układu naczyń na podstawie mózgu i dokładniejszy pomiar prędkości (możemy skorygować kąt insonacji). Ma to szczególne znaczenie przy krętym przebiegu naczyń, przesunięciach struktur mózgowych i naczyń, zwężeniach wielopoziomowych, badaniu tętnic kręgowych w odcinku wewnątrzczaszkowym i tętnicy podstawnej (w badaniu TCD często można pomylić tętnice kręgowe, ze względu na ich bliski w stosunku do siebie przebieg w odcinku wewnątrzczaszkowym) oraz wielu innych sytuacjach. Podobnie jak w TCD najczęściej korzystamy w okna skroniowego i podpotylicznego. Przez okno skroniowe przepływ w końcowym odcinku tętnicy szyjnej w tętnicy środkowej oraz w odcinku P1 tętnicy tylnej mózgu będzie zakodowany na czerwono (przepływ do sondy), natomiast przepływ w tętnicy przedniej mózgu oraz w odcinku P2 tętnicy tylnej mózgu będzie miał kolor niebieski (od sondy). W obrazowaniu przez okno podpotyliczne tętnice kręgowe i tętnica podstawna będą widoczne jako struktury niebieskie w kształcie litery Y (przepływ od

sondy). Czasem widoczne są również tętnice mózdzkowe tylne dolne i tylne górne, jako naczynia o przepływie w kolorze czerwonym (do sondy). Za pomocą badania TCCD można uwidocznic ponadto malformacje naczyniowe (tętniaki powyżej 5 mm oraz naczyniaki położone proksymalnie), kierunek przepływu w tętnicach łączących, czasem widoczne są zmiany krwotoczne w płatach skroniowych. Ze względu na ograniczenia fizyczne fal, stosowanych w badaniu TCCD, nie jest możliwe obrazowanie ściany naczyń wewnątrzmożgowych (widoczny jest jedynie przepływ w naczyniach, zakodowany według średniej prędkości lub w opcji *power-amplitudy*). Wadą TCCD jest niemożność wykonania badania u stosunkowo dużej grupy osób (do 30%) ze zbyt grubym oknem kostnym. W tej sytuacji pewnym rozwiązaniem jest dożylnie zastosowanie ultrasonograficznych środków kontrastowych, stabilnych przy przejściu przez krążenie płucne. Środki te składają się z mikroskopijnych pęcherzyków gazu, opłaszczonych substancją stabilizującą, dzięki czemu następuje wzmocnienie otrzymanego obrazu przepływu w naczyniach.

## Badanie ultrasonograficzne w ostrym okresie udaru mózgu

W ostrym okresie udaru mózgu niezwykle ważne jest szybkie określenie rodzaju zaburzeń krążenia mózgowego. Dlatego badanie za pomocą TCD wraz uzupełnieniem badania tętnic zewnątrzczaszkowych metodą dopplerowską stanowi znakomitą, szybką i przyłózkową metodę diagnostyczną, która umożliwi wykrycie miejsca ewentualnych niedrożności lub zwężeń naczyń. W niektórych ośrodkach stosuje się je rutynowo w ostrej fazie udaru mózgu, a następnie uzupełnia badaniami tętnic domózgowych zewnątrzczaszkowych z użyciem metody dopplerowskiej, dupleksa z kolorowo kodowanym przepływem i opcją *power* oraz TCCD. Wobec braku odpowiednio doświadczonych ultrasonografistów dostępnych przez 24 godz. próbuje się wykonywać badanie przez lekarza dyżurnego z zastosowaniem oceny eksperta przy wykorzystaniu telemedycyny.

Doświadczony ultrasonografista jest w stanie wykonać badanie dopplerowskie tętnic zewnątrzczaszkowych oraz TCD przyłózkowo w ciągu 15 min, nie powodując opóźnień w rozpoczęciu leczenia lub ewentualnej dalszej diagnostyce. Z porównania wyników badań angiograficznych i TCD wynika, że czułość badania TCD w wykrywaniu ogólnie niedrożności lub zwężeń naczyń zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych wynosi 94%, przy swoistości 83%.

W ostatnich latach TCD stało się ważnym, uzupełniającym badaniem diagnostycznym przy kwalifikacji do leczenia trombolitycznego. Nie jest to jednak badanie obowiązkowe, lecz zalecane. Jest przydatne do oceny rokowania skuteczności leczenia trombolitycznego. Demchuk i wsp. (2001) dokonali podziału nieprawidłowych przepływów, ocenianych TCD w naczyniach wewnątrzczaszkowych u chorych poddanych trombolizie na grupy TIBI (*Thrombolysis In Brain Ischemia*): grupa 0 – brak przepływu w danej tętnicy, przy obecności przepływu w pozostałych tętnicach; grupa 1 – obecność minimalnego przepływu; grupa 2 – przepływ słaby; grupa 3 – przepływ obniżony; grupa 4 – stenotyczny; grupa 5 – przepływ normalny. Skala ta weszła obecnie do powszechnego użytku, gdyż – jak wykazano – klasyfikacja TIBI koreluje nie tylko z ciężkością stanu klinicznego i stopniem poprawy klinicznej, lecz także ze śmiertelnością z powodu udaru. Pacjenci z zachowanym, rezydualnym przepływem (wyjściowa grupa TIBI 2 lub 3) zdecydowanie lepiej reagują na leczenie tkankowym aktywatorem plazminogenu niż pacjenci z całkowitą niedrożnością naczynia. Skala ta służy do oceny skuteczności leczenia w badaniach nad nowymi lekami trombolitycznymi (desmoteplazą i in.). Za pomocą TCD można określić czas wystąpienia rekanalizacji w trakcie leczenia trombolitycznego. W przypadkach, w których badaniem TCD stwierdzano pełną, wczesną rekanalizację, stan neurologiczny pacjentów po miesiącu był prawidłowy lub deficyt neurologiczny był niewielki (skala Rankina 0 lub 1). Stwierdzono odwrotną korelację między czasem rekanalizacji a poprawą kliniczną. Im czas rekanalizacji był krótszy, tym lepszy był późniejszy stan neurologiczny chorych. Wykazano, że jeżeli wznowienie przepływu nie nastąpi do 300 min, nie ma szansy na całkowite wyzdrowienie.

Ciekawym odkryciem ostatnich lat jest spostrzeżenie, że ultradźwięki o niższej częstotliwości (rzędu kHz lub 1–2 MHz) wspomagają rozpuszczanie skrzepu przez tkankowy aktywator plazminogenu. Alexandrov i wsp. (2000a) w badaniu pilotażowym wykazali, że u pacjentów poddanych trombolizie, u których jednocześnie przeprowadzano ciągłe monitorowanie niedrożnego naczynia za pomocą TCD z sondą 2 MHz (rutynowo stosowaną w badaniach), rekanalizacja występowała szybciej, a natychmiastową poprawę kliniczną stwierdzono u 20% pacjentów. Obecnie trwa wielośrodkowe badanie nad skutecznością leczenia trombolitycznego w połączeniu z ciągłą insonacją ultradźwiękami o częstotliwości 2 MHz (CLOTBUST). Pierwsze wyniki tego badania (Alexandrov, Molina, 2004) wskazują na przyspieszenie rekanalizacji pod wpływem dodatkowego stosowania ultradźwięków, ale jak na razie wykazano jedynie nieistotny statystycznie trend w kierunku poprawy stanu klinicznego w grupie leczonej obiema metodami w stosunku do grupy placebo (w której stosowano samo leczenie trombolityczne).

Badanie TCD przydatne jest nie tylko podczas leczenia trombolitycznego. W wielu przypadkach może stanowić cenne uzupełnienie innych wyników badań obrazujących w udarze mózgu. W przypadku angiografii cyfrowej są to dane dotyczące zmian prędkości przepływu w miejscu angiograficznego „zamknięcia” naczynia (różne rodzaje przepływu rezydualnego) czy też obecności mikrozatorów, a w przypadku angiografii MR lub angio-CT są to dane pomocne w ustaleniu, czy przerwa w obrazowaniu naczynia jest spowodowana artefaktem, subtotałnym zwężeniem, całkowitym zamknięciem lub odwróceniem kierunku przepływu.

W ostrym okresie udaru niedokrwiennego dochodzi czasem do gwałtownego pogorszenia stanu klinicznego po początkowej poprawie. Dzięki badaniu TCD można ustalić, czy to pogorszenie nie wynika z ponownego zamknięcia naczynia. Okazuje się, że w większości przypadków pogorszenie stanu po obserwowanej początkowo poprawie jest spowodowane głównie zaburzeniami hemodynamicznymi, a nie ponownym zamknięciem naczynia.

Badanie TCD wykonane we wczesnym okresie udaru mózgu ma wartość prognostyczną. Prawidłowy przepływ stwierdzony badaniem TCD wskazuje w sposób istotny statystycznie na wystąpienie wczesnej i trwałej poprawy klinicznej. Zaburzenia przepływu zwiększają natomiast ponadpięciokrotnie ryzyko wczesnego pogorszenia stanu klinicznego, związanego z utrwalonym w przyszłości deficytem neurologicznym. Badanie TCD w połączeniu z oceną stanu klinicznego przy przyjęciu wykazuje większą korelację z wczesną śmiertelnością lub ciężką niesprawnością po udarze w porównaniu z wczesnym badaniem CT. Za pomocą TCD można śledzić również wystąpienie spontanicznych rekanalizacji.

Podobne zastosowanie ma metoda TCCD, choć jej przydatność przy ocenie zaburzeń krążenia w przedniej części koła tętniczego Willisa ogranicza gorsza w stosunku do TCD przenikalność przez okno kostne skroniowe. Badanie TCCD z praktycznego punktu widzenia jest natomiast lepszą metodą do oceny przepływu w zakresie tylnej części unaczynienia mózgu, gdyż ultradźwięki na ogół lepiej przechodzą przez okno podpotyliczne. Wraz z dupleksem tętnic kręgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym można orientacyjnie wykryć miejsce zwężenia lub niedrożności tętnicy kręgowej lub podstawnej. Jeżeli obraz naczyń i parametry hemodynamiczne przepływu w tętnicach kręgowych i podstawnej wypadają prawidłowo, to można zrezygnować z wykonywania angiografii w celu stwierdzenia drożności naczynia, gdyż angiografia w tej sytuacji nie wniesie więcej informacji co do przepływu.

Badanie dupleksowe tętnic zewnątrzczaszkowych, zarówno szyjnych, jak i kręgowych jest integralnym składnikiem oceny pacjenta z udarem mózgu. Dzięki tej metodzie można wykryć rzadsze przyczyny udaru, takie jak: rozwarstwienie tętnic szyjnych (widoczne bezpośrednio

jako podwójne światło, krwiak przyścienny lub tętniak tętnicy szyjnej wspólnej lub wewnętrznej, łącznie z zaburzeniami w zakresie prędkości i oporności naczyń) lub kręgowych (widoczne bezpośrednio w odcinku V1 i V2, łącznie z zaburzeniem prędkości i oporności), anomalie wrodzone, zmiany popromienne, zakrzep utworzony miejscowo lub pochodzący z proksymalnego źródła.

## Zmiany miażdżycowe tętnicy szyjnej i bezpieczeństwo zabiegów udrożnienia

Badanie dupleksowe, jako najmniej inwazyjna, dokładna i najtańsza metoda, stosowane jest jako podstawowe badanie przesiewowe u pacjentów ze świeżym, przejściowym napadem niedokrwienia mózgu lub udarem mózgu. Ważne jest wykrycie tych pacjentów, u których występuje istotne zwężenie tętnicy szyjnej, ze względu na możliwości leczenia profilaktycznego poprzez zabieg udrożnienia (endarterektomia lub angioplastyka z założeniem stentu). Wynik badania powinien uwzględniać miejsce i stopień zwężenia na podstawie pomiaru prędkości dopplerowskiej oraz informacji co do obecności i struktury blaszki miażdżycowej, powodującej zwężenie.

Cennym uzupełnieniem przy kwalifikacji do zabiegu udrożnienia jest badanie TCD lub TCCD. Badania przezczaszkowe pozwalają na określenie dróg krążenia obocznego (odwrócony przepływ w tętnicy ocznej oraz przepływ tętnicy łączącej przedniej lub tylnej dystalnie w kierunku półkuli po stronie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej) i ewentualnych anomalii w zakresie integralności koła tętniczego Willisa. Możliwe jest też wykrycie dodatkowych zwężeń tętnic środkowych lub przednich, odpowiedzialnych za objawy.

Badanie w kierunku obecności mikrozatorów (najczęściej w postaci ok. 20–30-minutowego monitorowania tętnicy środkowej lub przedniej mózgu toższonej do zwężenia tętnicy szyjnej), możliwych do stwierdzenia badaniem przezczaszkowym, pozwala natomiast na ocenę stabilności blaszki w tętnicy szyjnej wewnętrznej i pilności zabiegu. Ze względu na czasochłonność monitorowanie w kierunku obecności mikrozatorów, jak dotychczas, ma ograniczone zastosowanie w postępowaniu klinicznym. Dokładne określenie liczby czynnych dróg krążenia obocznego, stopnia „stępienia” przepływu w tętnicy środkowej ma ogromne znaczenie dla bezpieczeństwa zabiegu udrożnienia tętnicy szyjnej i powinno stanowić wskazówkę dla chirurga naczyniowego co do dalszego postępowania (np. w przypadku dużych anomalii koła tętniczego zastosowanie *shuntu* lub nawet

rezygnacja z endarterektomii i wykonanie angioplastyki z założeniem stentu).

Inną metodą zapewnienia bezpieczeństwa zabiegu udrożnienia za pomocą endarterektomii jest monitorowanie TCD. Podczas endarterektomii wykazuje ono stały wzorzec zmian prędkości przepływu. Najbardziej istotne zmiany występują w czasie zaciśnięcia tętnicy szyjnej, podczas którego pojawiają się utrzymujące się i duże spadki prędkości na tętnicy środkowej mózgu do poniżej 15% wartości sprzed zaciśnięcia u nawet aż do 10% pacjentów. Uważa się, że u pacjentów z prędkościami spadającymi do tego poziomu należy rozważyć zastosowanie *shuntu*, chociaż nie zostały – jak dotąd – ustalone ostateczne kryteria. Monitorowanie tętnicy środkowej mózgu podczas zabiegu udrożnienia pozwala na wykrywanie ewentualnych mikrozatorów i zagrożenia wystąpieniem zawału mózgu. Do etapów zabiegu o dużym ryzyku wystąpienia mikrozatorów i następnie zawału należą: preparowanie, założenie zacisku, jego uwolnienie oraz bezpośredni okres pooperacyjny. Obserwowane są zarówno zatary gazowe, jak i złożone z cząstek stałych, i są one związane z małymi zawałami mózgu, wykrywanymi w rezonansie magnetycznym oraz z występowaniem pozabiegowego pogorszenia funkcji poznawczych. Monitorowanie mikrozatorowości, jak wspomniano wcześniej, ze względu na czasochłonność nie jest metodą stosowaną powszechnie podczas zabiegów, a określenie wartości tej metody pozostaje nadal do ustalenia.

Badania ultrasonograficzne, łącznie z CT, stanowią również podstawową metodę diagnostyki w przypadku powikłań po zabiegach udrożnienia tętnicy szyjnej w postaci pogorszenia stanu neurologicznego. Dupleks tętnic szyjnych pozwala na określenie drożności naczynia (czy nie doszło do zakrzepicy w miejscu operacji lub w obrębie stentu), a TCD lub TCCD pozwala na stwierdzenie ewentualnego zespołu hiperperfuzji lub drożności tętnicy środkowej lub przedniej mózgu. Badanie CT w tej sytuacji służy do wykrywania obecności ewentualnych powikłań krwotocznych po zabiegu lub wczesnych zmian zawałowych.

## Zmiany miażdżycowe tętnic wewnątrzczaszkowych

Badanie TCD lub TCCD umożliwia wykrywanie zwężeń tętnic wewnątrzczaszkowych. Zwężenie dużej tętnicy wewnątrzczaszkowej można rozpoznać na podstawie stwierdzenia odcinkowego wzrostu prędkości przepływu o ponad 30% w stosunku do sąsiednich segmentów naczynia lub w stosunku do odpowiadającego mu segmentu tętnicy po przeciwnej stronie. Drugim kryterium

rozpoznania jest odcinkowy wzrost prędkości w stosunku do pozostałych segmentów naczynia, wyrażony w cm/s, różny dla poszczególnych naczyń: dla tętnicy środkowej mózgu i tętnicy przedniej mózgu wzrost ten wynosi  $\geq 80$  cm/s, dla tętnicy szyjnej wewnętrznej w odcinku wewnątrzczaszkowym  $\geq 70$  cm/s, dla tętnicy podstawnej  $\geq 60$  cm/s oraz dla tętnicy tylnej mózgu i tętnicy kręgowej  $\geq 50$  cm/s. Oprócz wzrostu prędkości ważnym elementem uwzględnianym przy rozpoznawaniu zwężenia jest obecność turbulencji i postenotycznego obniżenia prędkości przepływu, z obniżeniem oporności. Opracowano także kilka kryteriów swoistych do określania stopnia zwężenia tętnicy środkowej mózgu, opartych na bezpośrednim pomiarze prędkości (najczęściej są to kryteria określające zwężenie powyżej lub równe 50%). W porównaniu z wynikami angiografii naczyń mózgowych niższe wartości prędkości w TCD poprawiają czułość, podczas gdy wyższe wartości dają lepszą swoistość. Dokładność TCD jest o wiele większa przy wykrywaniu zmian powodujących zwężenie ponad 50%. Metoda bezpośredniego określania prędkości jest mniej wiarygodna przy wykrywaniu zmian w odcinkach proksymalnych tętnicy przedniej mózgu oraz tętnicy tylnej mózgu, a odcinek M2 tętnicy środkowej mózgu jest poza jej zasięgiem. Dokładność konwencjonalnej angiografii naczyń mózgowych w wykrywaniu niektórych zmian wewnątrzczaszkowych oraz przy ocenie stopnia zwężenia jest też jednak kwestionowana.

Należy zawsze pamiętać, że za pomocą badania TCCD można stwierdzić obecność istotnego hemodynamicznego zwężenia, natomiast nie możemy określić jego przyczyny, ze względu na brak możliwości uwidocznienia ściany naczynia. W ostrym okresie udaru mózgu zwężenie naczynia wewnątrzczaszkowego może wynikać z procesu rekanalizacji zatoru (grupa 4 TIBI), dlatego badanie TCD lub TCCD należy w tej sytuacji powtarzać w okresie późniejszym.

## Zmiany miażdżycowe w zakresie tętnic krążenia tylnego

Zwężenie miażdżycowe tętnicy kręgowej w odcinku wewnątrzczaszkowym najczęściej występuje w odcinku V0 (przy odejściu od tętnicy podstawnej) lub w odcinku V1 (do wejścia do otworów wyrostków poprzecznych kręgowych). Zwężenie takie przebiega na ogół bezobjawowo. Błazki miażdżycowe w tych odcinkach są trudne do uwidocznienia. Nie ma wiarygodnych, powszechnie uznanych kryteriów oceny stopnia zwężenia tętnicy kręgowej w tym odcinku.

Zespół podkradania tętnicy podobojczykowej charakteryzuje się triadą objawów: przepływem wstecznym

w jednej tętnicy kręgowej, przepływem o prawidłowym kierunku w drugiej oraz prawidłowym, dwufazowym lub wstecznym przepływem w tętnicy podstawnej. Wzrost zainteresowania tą chorobą wynika z możliwości zastosowania angioplastyki tętnicy podobojczykowej do leczenia wybranych pacjentów z ciężkimi objawami.

Za pomocą TCD można wykryć zwężenia odcinka V4 tętnicy kręgowej oraz proksymalnej części tętnicy podstawnej. Za istotny uważa się odcinkowy wzrost rzeczywistej prędkości skurczowej wraz z obecnością turbulencji. Przy zmianach powodujących zwężenie ponad 50% prędkości skurczowe często przekraczają 200 cm/s. W porównaniu z angiografią czułość TCD przy wykrywaniu zmian zwężających w układzie kręgowo-podstawnym wynosi ok. 75%, a swoistość przekracza 85%. Główną przyczyną tych niskich wartości jest częsta zmienność wielkości i przebiegu tętnic krążenia kręgowo-podstawnego oraz ich udział w zapewnieniu przepływu obocznego do krążenia przedniego mózgu (ryc. XXIII kolor).

## Kontrola ultrasonograficzna pacjentów ze zwężeniem tętnic domózgowych i mózgowych

Badanie ultradźwiękowe stanowi bezpieczną nieinwazyjną metodę seryjnej oceny kontrolnej pacjentów z chorobami tętnic szyjnych i kręgowych. Okresowe badanie może pomóc w ocenie narastania lub regresji istniejących blaszek lub w ocenie powstania nowych zmian objawowych lub bezobjawowych. Odpowiedni czas badań kontrolnych tętnic szyjnych musi być ustalany indywidualnie w zależności od ciężkości i rodzaju zmian oraz wystąpienia objawów nowych lub nawracających. Zwężenia bezobjawowe poniżej 50% na początku mogą być badane kontrolnie po 12–24 miesiącach, zmiany ze zwężeniem 50–75% i niepowikłane blaszki należy kontrolować co 6–12 miesięcy. Przy zwężeniach 50–75% z cechami blaszki złożonej lub przy zwężeniach powyżej 75%, jeżeli nie przeprowadzi się endarterektomii, ponowne badanie powinno się wykonywać po 3–6 miesiącach. Brak narastania zmian przez kilka lat umożliwia wydłużenie okresów pomiędzy kolejnymi badaniami kontrolnymi. Kiedy stwierdzi się oznaki narastania zmiany bezobjawowej, zaleca się skrócenie czasu pomiędzy badaniami kontrolnymi. Przy wystąpieniu nowych objawów powinno się wykonać ocenę kontrolną w trybie pilnym. Po endarterektomii lub angioplastyce z założeniem stentu badanie ultradźwiękowe wykonuje się do tygodnia po zabiegu, po ok. 3–6 miesiącach po zabiegu oraz następnie co rok w celu oceny, czy nie wystąpił nawrót zwężenia.

Podobnie jak zwężenia zewnątrzmożgowe, po stwierdzeniu zwężeń tętnic wewnątrzmożgowych należy zmieniać takie kontrolować, aby ocenić dynamikę ich rozwoju i skuteczność leczenia (ryc. XXV kolor).

## Inne możliwości badań neurosonologicznych w diagnostyce udaru mózgu

Do innych metod neurosonologicznych, które mają zastosowanie w diagnostyce udaru mózgu, należą: badanie w kierunku obecności przetrwałego otworu owalnego za pomocą TCD z zastosowaniem kontrastu lub wytrząsanej soli fizjologicznej, badanie reaktywności naczyń mózgowych, pomiar objętości krwi dopływającej do mózgu, a ostatnio trwają badania nad ultrasonograficznym badaniem perfuzji mózgowej.

## Przeznaczona ultrasonograficzna diagnostyka skurczu naczyniowego po krwawieniu podpajęczynówkowym

Przeznaczona ultrasonografia dopplerowska (TCD) i dupleksowa z zakodowanym na kolorowo przepływem (TCCD) jako badania nieinwazyjne pozwalają na wielokrotne pomiary prędkości przepływu krwi i obecnie uważane są za bardzo dobrą metodę do wykrywania i monitorowania skurczu naczyniowego po krwawieniu podpajęczynówkowym (SAH, *Subarachnoid Haemorrhage*). Umożliwiają ocenę skuteczności leczenia skurczu, pozwalają na wybór optymalnego czasu zarówno badania angiograficznego, jak i operacji tętniaka (w przypadku stwierdzenia skurczu zabiegi powinny być odroczone).

Skurcz powoduje wzrost prędkości przepływu krwi w naczyniu nim objętym. Istnieje jednak wiele innych czynników, które mają wpływ na pomiar bezwzględnych wartości prędkości przepływu krwi w tętnicach na podstawie czaszki za pomocą TCD. Należy je uwzględnić przy rozpoznawaniu skurczu naczyniowego po krwawieniu podpajęczynówkowym, gdyż mają one duży wpływ na czułość i swoistość badania. Czynniki te można podzielić na: techniczne, anatomiczne, fizjologiczne, metaboliczne i reologiczne. Do czynników technicznych należą: umiejętność i doświadczenie badającego, obecność odpowiedniego okna kostnego skroniowego (do 15% pa-

cjentów w TCD i do 30% w TCCD nie ma odpowiedniego okna kostnego – częściowo problem ten można pokonać za pomocą sondy 1 MHz lub przy zastosowaniu środków kontrastowych) i odpowiednia współpraca pacjenta. Spośród czynników anatomicznych mających wpływ na czułość badania należy wymienić: anatomiczne warianty budowy koła Willisa, współistnienie hemodynamicznie istotnych zaburzeń, np. zwężenia lub całkowitego zamknięcia tętnic domożgowych zewnątrzczaszkowych, oraz współistnienie zwężenia wewnątrzczaszkowego odcinka tętnicy szyjnej wewnętrznej oraz zakres, umiejscowienie i ciężkość skurczu naczyniowego. U pacjentów ze zwężeniem lub niedrożnością tętnicy szyjnej wewnętrznej prędkości przepływu w tożsronnej tętnicy środkowej mózgu objętej skurczem naczyniowym będą niższe niż w przypadkach, gdy istnieje skurcz tętnicy środkowej mózgu, a przepływ w tętnicy szyjnej odbywa się bez zakłóceń. Izolowany skurcz dystalnych odgałęzień tętnicy środkowej mózgu (a występuje on w 7,5% przypadków pęknięcia tętniaków przedniej części koła Willisa) jest poza zasięgiem badania TCD lub TCCD.

Spośród czynników fizjologicznych przy ocenie skurczu naczyniowego za pomocą TCD należy brać pod uwagę przede wszystkim obecność wzmożonego ciśnienia śródczaszkowego, spowodowanego obrzękiem mózgu lub wodogłowiem, oraz czynniki układowe, takie jak: ciśnienie tętnicze, rzut serca, stan nawodnienia, obecność zaburzeń rytmu serca oraz wiek i płeć pacjenta. Na prędkość przepływu krwi mają również wpływ czynniki metaboliczne, tj. przężność dwutlenku węgla, temperatura oraz reologiczne, np. lepkość krwi.

Prędkość przepływu krwi w badanym naczyniu wzrasta nie tylko w skurczu naczyniowym. Wysokie średnie wartości prędkości notuje się również w zwężeniu naczynia, malformacjach tętniczo-żylnych oraz w przekrwieniu i patologii te należy wziąć pod uwagę w rozpoznaniu różnicowym.

Najlepiej dostępną badaniu jest tętnica mózgu środkowa (MCA, *Middle Cerebral Artery*), dla niej też ustalono najprecyzyjniejsze kryteria rozpoznania skurczu naczyniowego. Poszczególni autorzy przyjmują różne wartości średniej prędkości dla rozpoznania skurczu MCA. Na podstawie badań porównawczych z angiografią przyjmuje się, że: średnia prędkość > 130 cm/s wskazuje na wyraźny skurcz MCA (swoistość 96%). Podane kryterium rozpoznania skurczu odnosi się do głównego pnia tej tętnicy. Skurcz jej dystalnych odgałęzień, stwierdzany w badaniu angiograficznym, w 7,5% przypadków jest poza zasięgiem badania TCD, pośrednio świadczy o nim wysoki współczynnik pulsacyjności i obniżona prędkość przepływu w tętnicy środkowej mózgu.

Innym kryterium rozpoznania skurczu MCA jest wzrost prędkości przepływu w kolejnych dobach po wystąpieniu

SAH powyżej 50% w stosunku do zmierzonej prędkości wyjściowej w 1.–2. dobie choroby. Oznacza to, że badanie TCD powinno być przeprowadzane jak najwcześniej po wystąpieniu SAH, a następnie codziennie powtarzane.

Śledzenie tempa wzrostu prędkości przepływu pozwala jednocześnie na wykrycie pacjentów z dużym ryzykiem wystąpienia objawowego skurczu i odpowiednio wczesne wdrożenie leczenia. U pacjentów po krwawieniu podpajęczynówkowym ze wzrostem średniej prędkości tętnicy środkowej mózgu  $> 50$  cm/s/24 godz. częściej występują kliniczne objawy niedokrwienia mózgu. W grupie pacjentów z ubytkami neurologicznymi w następstwie skurczu naczyniowego notowano również wyższe średnie prędkości w MCA – powyżej 170 cm/s. Skurcz tętnicy środkowej mózgu, szczególnie jej proksymalnego odcinka, występuje prawie zawsze po masywnych krwawieniach podpajęczynówkowych. Ponieważ jest to tętnica końcowa, z bardzo ubogim krążeniem obocznym przez anastomozy z tętnicami oponowymi, zagrożenie wtórnym niedokrwieniem mózgu jest duże. Bardzo ważne jest więc również monitorowanie rezultatów leczenia skurczu. O skutecznym leczeniu świadczy normalizacja prędkości przepływu.

Stwierdzenie skurczu proksymalnej części tętnicy przedniej mózgu jest bardziej problematyczne, gdyż tętnica ta jest trudniej dostępna badaniem przezczaszkowym. Problem stanowią ponadto przypadki hipoplazji tętnicy przedniej mózgu oraz funkcjonowania jej jako drogi krążenia obocznego. W obu sytuacjach notuje się podwyższoną prędkość przepływu. Stąd podwyższone prędkości przepływu należy interpretować ostrożnie. Najczęściej przyjmuje się jako kryterium rozpoznania skurczu tętnicy przedniej mózgu średnią prędkość przepływu  $\geq 140$  cm/s (swoistość badania wynosi wówczas 100%, ale czułość tylko 13%). Dystalne odcinki tętnicy przedniej mózgu – tętnice okołospoidłowe – nie mogą być zbadane bezpośrednio, ale w przypadku skurczu obu tętnic okołospoidłowych obserwuje się często w badaniu proksymalnej części tętnicy przedniej wysoki współczynnik pulsacyjności PI, jako wyraz wzrostu oporu przepływu dystalnie od miejsca badania naczynia.

Rozpoznanie skurczu w obrębie tylnej części koła tętniczego mózgu sprawia podobne trudności jak stwierdzenie go w tętnicy przedniej mózgu. Obecnie uważa się, że wartości średniej prędkości powyżej 90 cm/s świadczą o skurczu tego naczynia (czułość 48%, a swoistość 69–78%). Dla tętnic kręgowych (VA) oraz tętnicy podstawnej (BA) średnia prędkość powyżej 60 cm/s ma świadczyć o skurczu (dla VA – czułość wynosi 44%, swoistość 88%, a dla BA czułość 77%, swoistość 79%).

Na podstawie TCD lub TCCD można dokładnie określić czas pojawienia się skurczu oraz stopień jego największego nasilenia. Skurczu nie stwierdza się w ciągu pierwszych 12 godz. od wystąpienia objawów SAH, a podwyższone

prędkości przepływu mózgowego pojawiają się dopiero po 3. dobie od wystąpienia objawów SAH. Swój szczyt osiągają u pacjentów nieoperowanych między 7. a 12. dniem, a u pacjentów operowanych w ciągu 48 godz. od wystąpienia objawów SAH między 11. a 20. dniem, ulegając normalizacji po ok. 4 tygodniach. W grupie pacjentów operowanych do 48 godz. od wystąpienia SAH notowano istotnie statystycznie niższe prędkości przepływu w okresie późniejszym (tj. po 48 godz., a do 96 godz. po wystąpieniu objawów SAH).

Wdrożenie monitorowania TCD jako rutynowego badania po wystąpieniu krwotoku podpajęczynówkowego poprawiło możliwości wykrycia skurczu naczyniowego u 72% pacjentów, a u 42% spowodowało wdrożenie korzystnego dla pacjenta postępowania zapobiegającego zmianom niedokrwinnym (ryc. XXIV kolor).

Badanie TCCD pozwala na dokładniejszą ocenę prędkości przepływu i stąd precyzyjniejszą ocenę wystąpienia skurczu naczyniowego. Ponadto dzięki wizualizacji przepływu możliwe jest jednocześnie uwidocznienie ewentualnej obecności tętniaka (powyżej 5 mm) lub naczyńniaka. Nie jest to jednak badanie, za pomocą którego można z całą pewnością wykluczyć lub potwierdzić wady naczyń. Ponadto ze względu na zbyt grube okno kostne prawie u jednej trzeciej pacjentów nie można przeprowadzić tego badania.

## Podsumowanie

Badania ultrasonograficzne tętnic domózgowych i tętnic na podstawie mózgu są znakomitą, szybką, nieinwazyjną i tanią metodą wykrywania i monitorowania patologii w zakresie naczyń mózgowych. Większość badań („dupleks” i „doppler” zewnątrzczaszkowy oraz TCD) można wykonywać przyłóżkowo za pomocą aparatów przenośnych. Aby uzyskać wiarygodne wyniki, pracownice ultrasonograficzne powinny być wyposażone w aparat do badania dupleksowego naczyń zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych oraz w aparat do badania TCD „na ślepo”. Każda z metod ultrasonograficznych ma swoje zalety i ograniczenia, natomiast możliwość ich łącznego zastosowania w sytuacjach szczególnych zwiększa wartość diagnostyczną badania. Największym ograniczeniem badań neurosonologicznych w sytuacji diagnostyki udaru mózgu jest duża zależność od doświadczenia osoby wykonującej badanie oraz od sprzętu, brak odpowiednio wyszkolonego personelu, dostępnego przez 24 godz./dobę, a w przypadku badań przezczaszkowych brak odpowiedniego okna kostnego (do 15% pacjentów przy TCD i do 30% pacjentów przy TCCD).



## Piśmiennictwo

- Alexandrov A.V., Molina C.A. i wsp. for the CLOTBUST Investigators (2004), *Ultrasound-Enhanced systemic thrombolysis for acute ischemic stroke*. N. Engl. J. Med., 351, 2170–2178.
- Alexandrov A.V., Demchuk A.M. i wsp. (2000a), *High rate of complete recanalisation and dramatic clinical recovery during tPA infusion when continuously monitored with 2-MHz transcranial doppler monitoring*. Stroke, 31, 610–614.
- Alexandrov A.V., Felberg R.A. i wsp. (2000b), *Deterioration following spontaneous improvement. Sonographic findings in patients with acutely resolving symptoms of cerebral ischemia*. Stroke, 31, 915.
- Babikian V.L., Tegeler H.C. (2000), *Neuroimaging: ultrasound imaging of the cerebral vasculature* [w:] Bradley W.G., Daroff R.B., Fenichel G.M., Marsden C.D. (red.), *Neurology in clinical practice. Principles of diagnosis and management*, vol. I, 3<sup>rd</sup> ed. Butterworth-Heinemann, Woburn, MA.
- Baraccini C., Manara R., Ermani M., Meneghetti G. (2000), *The quest for early predictors of stroke evolution. Can TCD be a guiding light*. Stroke, 31, 2942–2947.
- Bartels E. (1999), *Farbduplexsonographie der hirnvorsorgenden Gefäße. Atlas und Handbuch*. Schattauer Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- Bogdahn U., Becker G., Schlachetzky F. (1998), *Echoenhancers and Transcranial Color Duplex Sonography*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin-Vienna.
- Burch C.M. i wsp. (1996), *Detection of intracranial internal carotid artery and middle cerebral artery vasospasm following subarachnoid hemorrhage*. J. Neuroimaging, 6, 1, 8.
- Burch C.M. i wsp. (1993), *Re-evaluation of Transcranial Doppler criteria for the diagnosis of middle cerebral artery vasospasm*. Stroke, 24, 517.
- Chernyshev O.Y., Garami Z. i wsp. (2005), *Yield and accuracy of urgent combined carotid/transcranial ultrasound testing in acute cerebral ischemia*. Stroke, 36, 32–37.
- Christou I., Alexandrov A.V. i wsp. (2000), *Timing of recanalisation after tissue plasminogen activator therapy determined by transcranial Doppler correlates with clinical recovery from ischemic stroke*. Stroke, 31, 1812–1816.
- Demchuk A.M., Burgin W.S. i wsp. (2001), *Thrombolysis in brain ischemia (TIBI) transcranial doppler flow grades predict clinical severity, early recovery, and mortality in patients treated with intravenous tissue plasminogen activator*. Stroke, 32, 89–93.
- Grosset D.G., Straiton J., du Trevo M., Bullock R. (1992), *Prediction of symptomatic vasospasm after subarachnoid hemorrhage by rapidly increasing transcranial Doppler velocity and cerebral blood flow changes*. Stroke, 23, 674.
- Harders A.G., Gilsbach J.M. (1987), *Time course of blood velocity changes related to vasospasm in the circle of Willis measured by transcranial Doppler ultrasound*. J. Neurosurg., 66, 718.
- Kingelhofer J. i wsp. (1991), *Cerebral vasospasm evaluated by transcranial Doppler ultrasonography at different intracranial pressures*. J. Neurosurg., 75, 752.
- Klotzsch C., Popescu O., Berlit P. (1997), *Experiences with a new 1-MHz-probe for transcranial Doppler sonography*. Eur. J. Ultrasound., 5, suppl. 1, S7.
- Krejza J., Mariak Z., Lewko J. (2003), *Standardization of flow velocities with respect to age and sex improves the accuracy of transcranial color Doppler sonography of middle cerebral artery spasm*. Am. J. Roentgenol., 181, 245.
- Minhas P.S. i wsp. (1999), *Transcranial Doppler diagnosis of delayed Ischemic Neurological Deficit following subarachnoid haemorrhage-how valid a technique?* Cerebrovasc. Dis., 9, suppl. 1, 61.
- Polak J.F., Shemanski L. i wsp. for The Cardiovascular Health Study (1998), *Hypoechoic plaque at US of the carotid artery. An independent risk factor for incident stroke in adults aged 65 years and older*. Radiology, 208, 649–654.
- Romner B., Liunggren B., Brandt L., Saveland H. (1990), *Correlation of transcranial Doppler sonography findings with timing of aneurysm surgery*. J. Neurosurg., 73, 72.
- Sloan M.A. i wsp. (1994), *Transcranial Doppler detection of vertebralbasilar vasospasm following subarachnoid hemorrhage*. Stroke, 25, 2187.
- Tegeler Ch.T., Babikian V.L., Gomez R.C. (red.) (1996), *Neurosonology*. Mosby – Year Book, St. Louis.
- Toni D., Fiorelli M. i wsp. (1998), *Early spontaneous improvement and deterioration of ischemic stroke patients. A serial study with transcranial doppler ultrasonography*. Stroke, 29, 1144–1148.
- Warlow J.M., Offen R., Teasdale G., Teasdale E. (1995), *The impact of routine TCD on the management of subarachnoid haemorrhage*. J. Neuroimaging, 5, suppl. 2, S79.
- Widder B. (1999), *Doppler- und Duplexsonographie der hirnvorsorgenden Arterien*. Wyd. 5, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.