

Elementarz echokardiograficzny: ultrasonografia tętnic szyjnych i kręgowych

Katarzyna Mizia-Stec, Maciej Haberka, Zbigniew Gąsior

Adres do korespondencji:

dr hab. n. med. Katarzyna Mizia-Stec
Katedra i Klinika Kardiologii, WOZ,
SUM w Katowicach
ul. Ziołowa 45-47
40-635 Katowice
e-mail: kmizia@op.pl

Wprowadzenie

Ultrasonografia tętnic szyjnych i kręgowych stanowi stały element oceny osoby z chorobami układu krążenia, zwłaszcza z chorobą wieńcową. Znajomość sposobu wykonywania tego badania jest niezwykle użyteczna dla kardiologa. Poniżej przedstawiono podstawowe zasady oceny ultrasonograficznej tętnic szyjnych i kręgowych oraz dane na temat praktycznego wykorzystania wyników tych badań.

Ogólne zasady ultrasonograficznej oceny tętnic szyjnych i kręgowych

Dla oceny ultrasonograficznej tętnic szyjnych i kręgowych używa się głowicy naczyniowej o częstotliwości 7-10 MHz. Ocena tętnic szyjnych najczęściej przeprowadzana jest w pozycji leżącej na wznak z głową lekko odchyloną do tyłu i bocznie do strony badanej. Dopuszczalne są różne ustawienia badającego – za głową chorego lub obok niego.

Istotne jest, aby za pomocą płynnego ruchu głowicą ultradźwiękową uzyskać optymalny obraz naczyń. Badanie obejmuje ocenę naczyń w prezentacji B – w płaszczyźnie poprzecznej i podłużnej, badanie znakowane kolorem i badanie z użyciem doplera spektralnego. Wymagana jest ocena porównawcza strony prawej i lewej.

Zaleca się wykonanie wstępnej orientacyjnej oceny zmian, a następnie dokładnej oceny tętnic głównych i ich odgałęzień w kolejności anatomicznej wzdłuż szyi. Ważne jest wykonanie badania w wielu projekcjach tak, aby uzyskać trójwymiarową rekonstrukcję naczynia. Wnioski należy stawiać na podstawie łącznej oceny całego badania – zarówno zmian morfologicznych, jak i zmian przepływu.

Etapy badania tętnic szyjnych

BADANIE TĘTNIC SZYJNYCH W PREZENTACJI B

Pierwszy etap badania tętnic szyjnych – ocena naczyń w prezentacji B – obejmuje:

- Uwidocznienie tętnic szyjnych w przekroju poprzecznym – badanie należy rozpocząć od podstawy szyi. Po stronie prawej najczęściej można zobrazować dalszy odcinek pnia ramiennie-głowego i odejście tętnicy szyjnej wspólnej (common carotid artery, CCA) oraz tętnicy podobojczykowej (subclavian artery, SA) prawej. Po stronie lewej widoczna jest jedynie CCA. Naczynia w przekroju poprzecznym należy zobrazować na całym przebiegu, aż do ich podziału, a następnie tętnicę szyjną wewnętrzną (internal carotid artery, ICA) i tętnicę szyjną zewnętrzną (external carotid artery, ECA), tak wysoko jak to możliwe. Najczęściej ICA ma większą średnicę, jest położona bocznie i do tyłu w stosunku do ECA. Taka wstępna ocena pozwala określić przebieg naczyń, wysokość podziału CCA i obecność zmian miażdżycowych.

- Uwidocznienie tętnic szyjnych w przekroju podłużnym – badanie należy rozpocząć od podstawy szyi. Najlepiej uzyskać taki obraz, kontynuując badanie w projekcji porzecznej, obracając głowicę o ok. 90° i optymalizując podłużny przekrój odpowiednio do indywidualnych warunków anatomicznych. Należy zobrazować naczynia w wielu podłużnych przekrojach, aby uwidocznić opuszkę oraz podział CCA na ICA i ECA. U części badanych (40%) możliwe jest zobrazowanie w jednej płaszczyźnie wszystkich trzech naczyń (ryc. 1), ale zazwyczaj niezbędne jest uzyskanie oddzielnych obrazów dla ICA i ECA. Częstym problemem jest odróżnienie ICA od ECA, zwłaszcza u osób w podeszłym wieku, u których ICA jest wydłużona i ma kręty przebieg.

BADANIE DOPLEROWSKIE ZNAKOWANE KOLOREM

Badanie znakowane kolorem dostarcza informacji na temat przepływu, zwłaszcza zmiany prędkości przepływu w przypadku zwężenia, braku przepływu w wyniku niedrożności czy ograniczenia spektrum przepływu przez blaszki miażdżycowe. Prawidłowy przepływ ma charakter laminarny i pulsacyjny, kierunek przepływu jest taki sam w trakcie całego cyklu pracy serca.

BADANIE Z UŻYCIEM DOPLERA SPEKTRALNEGO

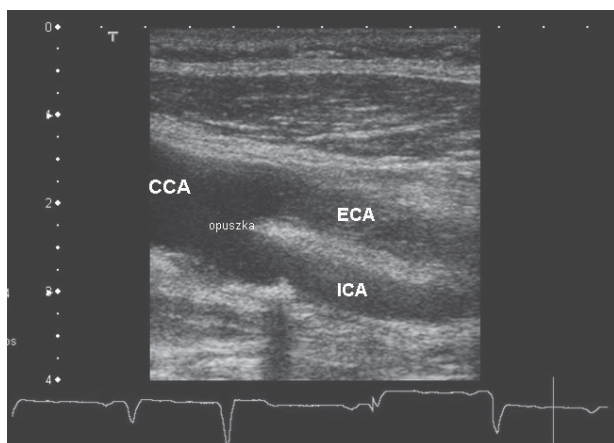
Podczas badania znacznik doplera spektralnego umieszcza się w świetle naczynia i po optymalizacji kąta (patrz niżej) ocenia prędkości i kształt widma oraz szczytowe prędkości skurczowe (peak-systolic velocity, PSV) i rozkurczowe (end-diastolic velocity, EDV) przepływu w CCA, ICA i ECA. Prawidłowe widmo przepływu w ECA ma charakter wysokooporowy, w ICA – niskooporowy, a w CCA – pośredni (ryc. 2).

Odróżnienie ICA i ECA w badaniu ultrasonograficznym

W odróżnieniu ICA od ECA pomagają:

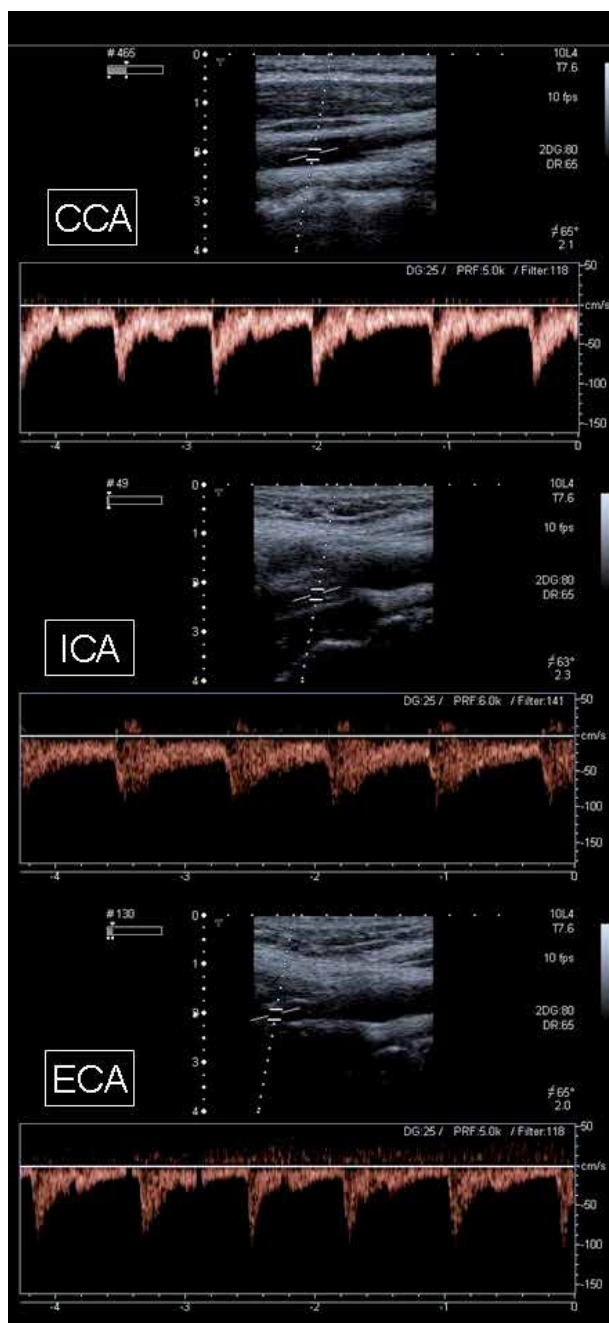
- położenie tętnic względem siebie w projekcji poprzecznej – ICA najczęściej położona jest do tyłu i bocznie w stosunku do ECA,
- wymiar naczynia – najczęściej średnica ICA większa,
- odgałęzienia – ICA nie posiada odgałęzień poniżej szczęki,
- badanie za pomocą doplera spektralnego – widmo przepływu w ICA charakteryzuje się większymi wartościami przepływu w fazie rozkurczu, a widmo przepływu w ECA niską rozkurczową prędkością przepływu (widmo wysokooporowe). Pomocny w różnicowaniu może być manewr opukiwania okolicy tętnicy skroniowej – odgałęzienia ECA, który wywołuje zaburzenia w widmie rozkurczowego przepływu w ECA (ryc. 3).

Właściwe odróżnienie ICA od ECA niejednokrotnie wymaga łącznej analizy wszystkich wskaźników, ale jest



RYCINA 1

Tętnice szyjne zobrazowane w jednej płaszczyźnie. CCA – tętnica szyjna wspólna, ECA – tętnica szyjna zewnętrzna, ICA – tętnica szyjna wewnętrzna.



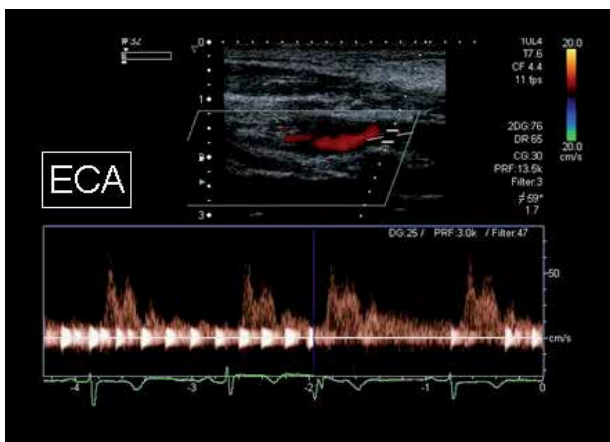
RYCINA 2

Prawidłowe widmo przepływu w doplerze spektralnym stwierdzone w tętnicach szyjnych. CCA – tętnica szyjna wspólna, ECA – tętnica szyjna zewnętrzna, ICA – tętnica szyjna wewnętrzna.

niezwykle istotne, ponieważ o ile patologia w zakresie ICA i mniejszym stopniu CCA może wymagać leczenia, o tyle zmiany w ECA najczęściej nie mają znaczenia klinicznego. Podsumowanie danych dotyczących odróżnienia ICA od ECA umieszczono w tabeli 1.

Grubość kompleksu IMT

Stały element badania tętnic szyjnych stanowi oszacowanie grubości kompleksu błona wewnętrzna – błona środ-

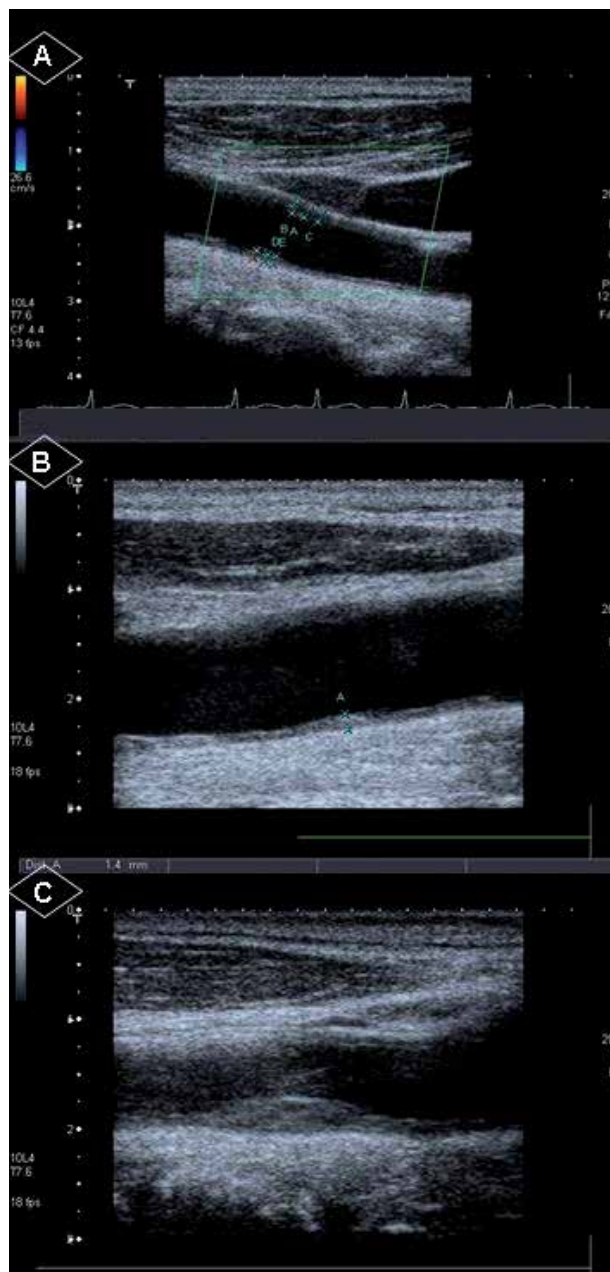


RYCINA 3

Widmo przepływu w doplerze spektralnym w tętnicy szyjnej zewnętrznej (ECA) – widoczne turbulencje przepływu w wyniku manewru opukiwania.

kowa (intima media thickness, IMT). Grubość kompleksu IMT definiuje się jako odległość między granicą: błona wewnętrzna – światło naczynia i granicą: błona środkowa – przydanka, co odpowiada widocznym wewnętrznym i zewnętrznym liniom echogennym w projekcji B-mode podczas obrazowania ultrasonograficznego. Najczęściej IMT mierzy się na ścianie tylnej CCA, ok. 2 cm przed opuszką. Pełna ocena wykorzystywana najczęściej w badaniach naukowych obejmuje CCA, opuszkę i proksymalny odcinek ICA. Na rycinie 4 przedstawiono przykładowe obrazy prawidłowego IMT (ryc. 4A), pogrubienia kompleksu IMT (ryc. 4B) i blaszki miażdżycowej (ryc. 4C).

Pomiar IMT przeprowadza się kilkakrotnie, a wynik przedstawia w postaci średniej wartości ze wszystkich pomiarów. Obliczenia mogą uwzględniać również średnią maksymalnych grubości wszystkich projekcji lub rzadziej wynik podaje się jako największą wartość ze wszystkich projekcji. Największe znaczenie predykcyjne ma wartość IMT oceniana jako średnia wszystkich miejsc pomiaru na ścianie przedniej i tylnej, łącznie po stronie lewej i prawej. Taka ocena jest jednak pracochłonna i pomimo znaczenia udowodnionego w badaniach epidemiologicznych i klinicznych, nie zawsze się z niej korzysta. Znacznie prostsza jest automatyczna ocena IMT. Dodatkowe oprogramowanie komputerowe pozwala ocenić średnią IMT

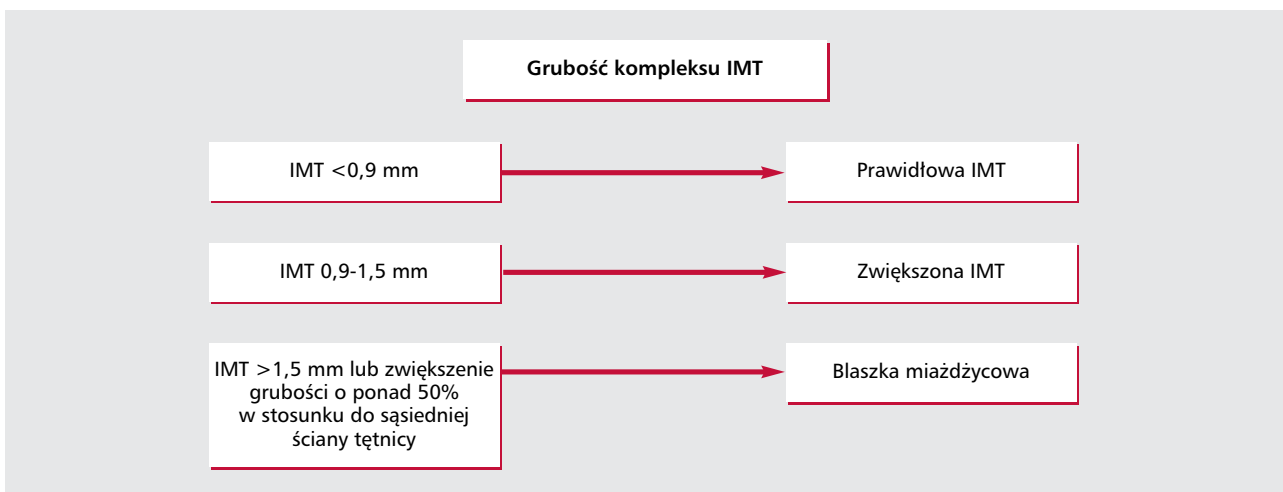


RYCINA 4

Przykładowe obrazy prawidłowego kompleksu IMT (A), pogrubienia kompleksu IMT (B), blaszki miażdżycowej (C).

TABELA 1 Różnicowanie między tętnicą szyjną wewnętrzną (ICA) i tętnicą szyjną zewnętrzną (ECA)

	Tętnica szyjna wewnętrzna	Tętnica szyjna zewnętrzna
Średnica	Większa	Mniejsza
Odgązienia	Brak	Obecne
Położenie	Do tyłu i bocznie	Do przodu i przyśrodkowo
Widmo	Niskooprowe	Wysokooprowe (oscylacje przy opukiwaniu tętnicy skroniowej)



RYCINA 5

Interpretacja pomiarów kompleksu IMT.

na ustalonym odcinku naczynia – zestawy te przeznaczone są do oceny końcowego odcinka ściany dalszej CCA.

Według niektórych autorów obok pomiaru IMT powinno podawać się średnicę ocenianego naczynia – takie pomiary uwzględnia się w ultrasonografii wewnątrznaczyniowej. Przemawiają za tym przesłanki patofizjologiczne – zwiększona średnica dużych naczyń może być wyrównawczą reakcją we wczesnych fazach miażdżycy, a znaczny wzrost grubości ściany naczynia poprzedza proces stopniowego jego zwężania.

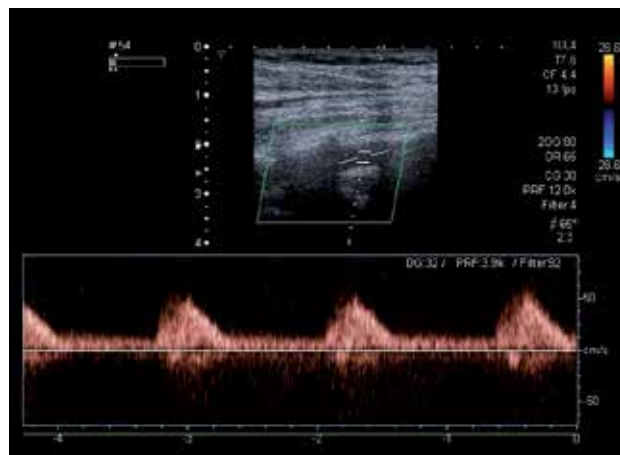
Grubość kompleksu IMT rośnie liniowo z wiekiem (0,005-0,017 mm/rok) i orientacyjnie nie powinna przekroczyć 0,5 mm u pacjenta 40-letniego i 0,7 mm u 60-letniego.

Ocena kompleksu IMT stanowi istotne badanie pozwalające szacować ryzyko sercowo-naczyniowe. Liczne prace wykazały korelacje IMT z takimi czynnikami ryzyka, jak: wiek, płeć męska, nikotynizm, otyłość, nadciśnienie tętnicze, hiperlipidemia, cukrzyca oraz zwiększone stężenie białka C-reaktywnego, fibrynogenu czy homocysteiny. Nieprawidłowa wielkość kompleksu IMT jest silnym czynnikiem ryzyka udaru niedokrwiennego mózgu i zawału serca, niezależnie od miejsca pomiaru. Pomiar szerokości kompleksu IMT umożliwia ponadto monitorowanie szybkości progresji przebudowy naczyniowej, a także odzwierciedla skuteczność postępowania interwencyjnego.

Warto podkreślić, że ocena IMT jest elementem stratyfikacji ryzyka u chorych z nadciśnieniem tętniczym, stąd powinna być oceniana rutynowo w tej grupie. Pogrubienie kompleksu IMT $\geq 0,9$ mm lub obecność blaszek miażdżycowych w tętnicach szyjnych stanowią powikłania narządowe nadciśnienia tętniczego (ryc. 5).

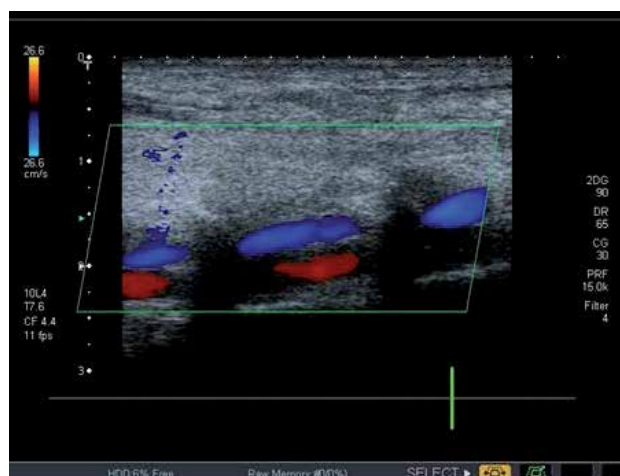
Ultrasonograficzna ocena tętnic kręgowych

W przebiegu tętnic kręgowych (vertebral arteries, VA) można wyróżnić trzy segmenty: odejście od SA (segment



RYCINA 6

Prawidłowe widmo przepływu w tętnicy kręgowej.



RYCINA 7

Tętnica i żyła kręgową w badaniu doplerowskim znakowanym kolorem

V₁), odcinek w wyrostkach kręgów szyjnych C₂-C₆ (segment V₂) oraz segment wewnątrzczaszkowy (V₃). W badaniu ultrasonograficznym najłatwiej uwidocznić VA w segmencie V₂, wstępnie uzyskując przekrój podłużny CCA, a następnie zmieniając kąt sondy w kierunku płaszczyzny przednio-tylnej. W ten sposób uzyskuje się obraz wyrostków poprzecznych kręgów szyjnych i ich otwory poprzeczne, w których biega tętnica i żyła kręgowa. Wymiary naczyń są niewielkie, dlatego do ich obrazowania użyteczne może być badanie znakowane kolorem. Badanie z użyciem doplera spektralnego służy do oceny kierunku i prędkości przepływu. Prawidłowy przepływ w tętnicy kręgowej jest jednokierunkowy (dogłowy), niskooporowy o łagodnym obrysie szczytowym. Parametry przepływu (PSV 31-60 cm/s, EDV 11-26 cm/s) mają mniejszą prędkość w porównaniu z parametrami w tętnicach szyjnych (ryc. 6, 7). Dopuszczalna jest niewielka asymetria prędkości przepływu – często po stronie lewej tętnica kręgowa ma nieco większy wymiar, a uzyskiwane prędkości przepływu są nieco większe.

Praktyczne uwagi

Artykuł nie podejmuje analizy parametrów fizycznych oceny doplerowskiej – poniżej zamieszczono jedynie praktyczne uwagi odnoszące się do tych problemów.

1. Korekcja kąta padania wiązki ultradźwiękowej

Ocena prędkości przepływu wymaga korekcji kąta padania wiązki ultradźwiękowej między wiązką doplerowską a osią tętnicy. Cursor korekcji kąta ustawia się w stosunku do osi naczynia i podaje kąt padania wiązki ultradźwiękowej. W idealnym przypadku kąt padania wiązki ultradźwiękowej powinien wynosić zero. W rzeczywistości nie jest to możliwe, ponieważ naczynia przebiegają najczęściej równoległe do powierzchni skóry. Do obiektywizacji i wiarygodnego porównywania prędkości przepływu można wykorzystać jedną z następujących metod. Ustawiamy zbliżony kąt padania wiązki, oceniając prędkość proksymalnie do zwężenia i w jego obrębie – wtedy obie prędkości będą obarczone podobnym błędem. Możemy też na stałe ustawić kąt padania wiązki ultradźwiękowej na poziomie 60° – niewłaściwe ustawienie kursora korekcji kąta będzie prowadziło jedynie do umiarkowanego błędu w obliczanej prędkości, a pomyłki te będą podobne w kolejnych pomiarach. Zdaniem autorów optymalne jest zawsze dobieranie tak małego kąta padania wiązki, jak to możliwe – wtedy błąd pomiaru prędkości będzie też najmniejszy.

2. Inne trudności przy pomiarze maksymalnej prędkości przepływu

W celu usunięcia sygnałów, które zakłócają prawidłowe obliczenie przepływów krwi, można wykorzystać filtry wysokich częstotliwości – ułatwi to ocenę PSV. Jeżeli filtr jest ustawiony na zbyt wysokim poziomie przepływ diastoliczny zanika, co błędnie sugeruje, że ESV wynosi zero.

Aliasing to rodzaj artefaktu, który ustala górną granicę maksymalnej częstotliwości możliwej do wykrycia. Aliasing może nie doszacować średniej i maksymalnej prędko-

ści przepływu, ponieważ często prowadzi do nieprawidłowego pomiaru wysokich częstotliwości. Tego zjawiska można uniknąć przez zwiększenie zakresu próbkowania. Maksymalna prędkość możliwa do wykrycia bez zjawiska aliasingu zależy od głębokości, na jakiej leży naczynie.

Miażdżycza tętnic szyjnych – ocena ultrasonograficzna

BADANIE W PREZENTACJI B W PRZEKROJU POPRZECZNYM I PODŁUŻNYM

Ocena ultrasonograficzna morfologii blaszki miażdżycowej jest oceną pośrednią, wymaga pewnego doświadczenia oraz właściwego ustawienia parametrów aparatu, ma jednak istotne znaczenie praktyczne i stanowi integralną część opisu zmian w naczyniach szyjnych.

Ocena morfologii blaszki miażdżycowej powinna uwzględniać następujące dane:

- wielkość – wymiar podłużny i poprzeczny blaszki,
- powierzchnia – od gładkiej do nierównej (nierówności rzędu 0,4-2 mm), w tej ostatniej mogą być widoczne owrzodzenia blaszki (najczęściej o wymiarach > 2 mm głębokości i 2 mm szerokości, z widocznym turbulentnym przepływem),
- echogeniczność – od postaci hipoechogenicznej do hiperechogenicznej (echogeniczność odnosi się do echogeniczności mięśni – izoechogeniczna, kości – hiperechogeniczna, krwi – bezechowa),
- jednorodność – od homogennej do heterogennej,
- lokalizacja – CCA, ICA lub ECA (ściana bliższa lub dalsza).

Dodatkowe informacje to na przykład odwarstwienie, narastanie zmian w czasie, pośrednie wskaźniki aktywności prozakrzepowej (np. high-intensity transient signals, HITS).

Dobrze udokumentowany jest fakt, że echogeniczność zmiany jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości tkanek miękkich (lipidy, krew), a wprost proporcjonalna do stopnia uwapnienia. Uwzględniając ten parametr, próbowano wprowadzić klasyfikację blaszek miażdżycowych – od klasy 1 (postać bezechowa) do 4 (postać silnie hiperechogeniczna). Z uwagi jednak na konieczność pełnej oceny morfologicznej zmian i trudność w jednoznacznym różnicowaniu klas nie jest ona szeroko stosowana.

BADANIE DOPLEROWSKIE ZNAKOWANE KOLEM

Badanie znakowane kolorem dostarcza informacji na temat przepływu, w szczególności zmiany prędkości przepływu w przypadku zwężenia, braku przepływu w wyniku niedrożności, czy ograniczenia spektrum przepływu przez blaszki miażdżycowe. Przyścienny ubytek koloru może wskazywać na blaszkę miażdżycową, ale może być np. wynikiem nieadekwatnych ustawień aparatu. Zwiększona prędkość przepływu w obrębie zwężenia jest przyczyną zjawiska aliasingu i zmiany barwy w doplerze znakowanym kolorem. Należy dokładnie analizować lokalizację i kierunek przepływu strumienia krwi o największej prędkości, który często nie jest równoległy do ściany naczynia.

TABELA 2 Kompleksowa ocena zwężenia tętnic szyjnych

Stopień zwężenia	Turbulencje	PSV (m/s)	EDV (m/s)	ICA powyżej (>3 cm)
<30%	–	Prawidłowa	Prawidłowa	Prawidłowa
30-40%	+ przy powierzchni blaszki	<1,15	<0,4	Prawidłowa
40-50%	+	1,7-1,8	0,4	Prawidłowa
50-70%	++	1,8-2,5	>0,5	Prawidłowa
>70%	++	>2,5	>1,0	Spadek prędkości (V)
80-90/95%	+++	>4,0	>2,0	Spadek V, wydłużenie czasu akceleracji
>90/95%	+++	Spadek PSV, przy mniejszej redukcji EDV		Spadek V – przepływ strunowy
Niedrożność	Kikut ICA – dwukierunkowy, wysokooporowy przepływ szczytowo-skurczowy			
	CCA – mniejsza prędkość przepływu, wzrost oporu przepływu (vs strona przeciwna)			

Te dane pozwalają na dokładną regulację kąta badania z użyciem doplera spektralnego. Brak wypełnienia koloru w trakcie rozkurczu wskazuje na wysokooporowy charakter przepływu wtórny do niedrożności lub ciasnego dystalnego zwężenia naczynia. Całkowity brak wypełnienia kolorem sugeruje niedrożność naczynia. Właściwe przeprowadzenie badania znakowanego kolorem wymaga optymalizacji parametrów technicznych aparatu – powinno być przeprowadzone przy odpowiednim kącie padania wiązki ultradźwięków, ustawieniach PRF i filtru wysokich częstotliwości, tak, aby kolor wypełniał światło naczynia. Wyniki tej oceny muszą być analizowane w powiązaniu z oceną za pomocą doplera spektralnego.

BADANIE Z UŻYCIEM DOPLERA SPEKTRALNEGO

Za pomocą doplera spektralnego oceniany jest kształt widma i prędkości PSV i EDV w CCA, ICA i ECA. Taką ocenę przeprowadza się także w odcinkach, w których podejrzewamy występowanie patologii. Zmiany prędkości przepływu są wtórne do istniejących patologii i stanowią podstawę klasyfikowania stopnia zwężenia. Istotne hemodynamiczne zwężenie (>50%) jest przyczyną zwiększenia prędkości przepływu oraz poszerzenia widma prędkości.

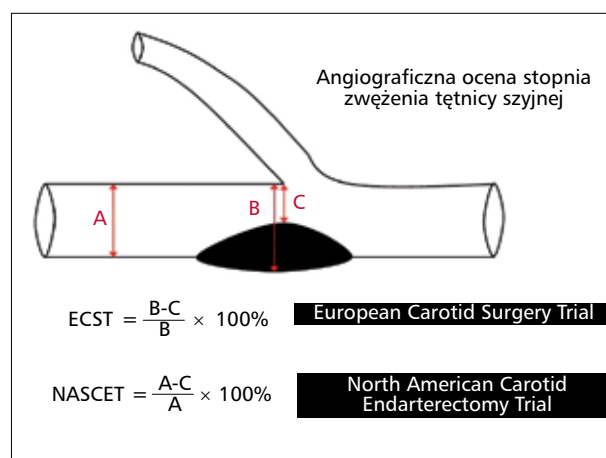
Badanie z użyciem doplera spektralnego może wskazywać na obecność istotnej zmiany proksymalnie lub dystalnie do miejsca badania. Małe prędkości przepływu sugerują obecność zwężenia proksymalnego, tj. w odcinku bliższym naczynia. Z kolei przepływ wysokooporowy z nieobecnym przepływem rozkurczowym w CCA wskazuje na krytyczne zwężenie lub niedrożność ICA. Trzeba pamiętać, że niedomykalność zastawki aortalnej upośledza rozkurczową fazę przepływu. Może dochodzić nawet do odwrócenia fazy rozkurczowej. Pomocne w różnicowaniu jest badanie strony przeciwnej – zmiany te w niedomykalności aortalnej obserwuje się obustronnie w odróżnieniu od ogniskowych zmian miażdżycowych.

W istotnych zwężeniach tętnic szyjnych stałym elementem oceny powinna być analiza przepływu dystalnie do zwężenia. Za zwężeniem istotnym hemodynamicznie będzie przemawiał turbulentny przepływ z wydłużonym okresem wzrostu fazy skurczowej. Całkowity brak prze-

przepływu wskazuje na niedrożność naczynia. Czasem pomimo niedrożności rejestruje się sygnały o małej prędkości wynikające z tętnienia naczyń lub przepływu w drobnych naczyniach żylnych. Podsumowanie kompleksowej oceny stopnia zwężenia tętnic szyjnych zamieszczono w tabeli 2.

Ocena stopnia zwężenia tętnic szyjnych

Złotym standardem w ocenie stopnia zwężenia tętnic szyjnych pozostaje arteriografia tętnic szyjnych. Należy jednak pamiętać, iż ocena zwężenia przez porównanie szerokości zakontrastowanego przepływu w miejscu zwężenia z szerokością referencyjnego odcinka naczynia zależy od wzajemnej relacji pomiędzy promieniami RTG a osią elipsoidalnego strumienia w miejscu zwężenia. Ocena rzeczywistego stopnia zwężenia może być utrudniona przy nietypowych kształtach zmian miażdżycowych i tym samym strumienia krwi czy rozbieżnych wynikach oceny w dwóch płaszczyznach.



RYCINA 8

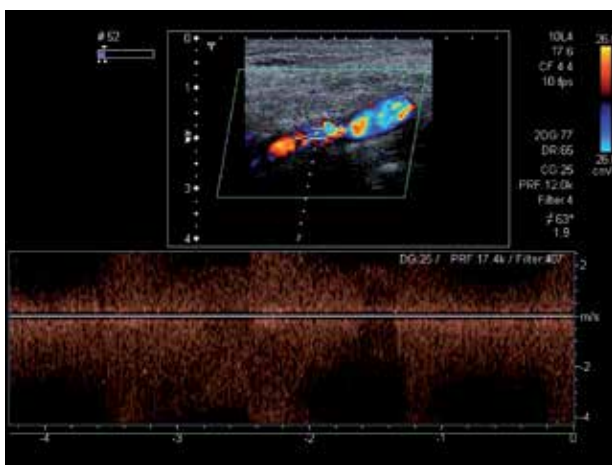
Zasady pomiaru zwężenia tętnic szyjnych w badaniu angiograficznym wg NASCET i ECST.

Obowiązująca ocena stopnia zaawansowania zwężenia w badaniu angiograficznym jest rezultatem badań NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators) i ESCT (European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group). Badania te porównywały skuteczność leczenia chirurgicznego i zachowawczego miażdżycy tętnic szyjnych. Stopień zwężenia był oceniany angiograficznie i w badaniu ESCT określany jako bezwzględne zwężenie (odsetek zwężenia w stosunku do szacowanego prawidłowego zarysu ściany naczyń), z kolei w badaniu NASCET jako zwężenie względne (odsetek zwężenia w stosunku do średnicy naczyń w odcinku dystalnym za zwężeniem) (ryc. 8). Obie metody mają swoje ograniczenia, szacowanie stopnia zwężenia za ich pomocą daje zbieżne, ale nie takie same wyniki – według metody NASCET stopień zwężenia jest mniejszy; największe rozbieżności sięgające 30-40% dotyczą niewielkich zwężeń, im większy jest stopień rzeczywistego zwężenia, tym wyniki oceny są bardziej zbliżone. Dla porównania wyników tych badań można skorzystać z następującego wzoru:

$$ECST = 0,54 \times NASCET + 46$$

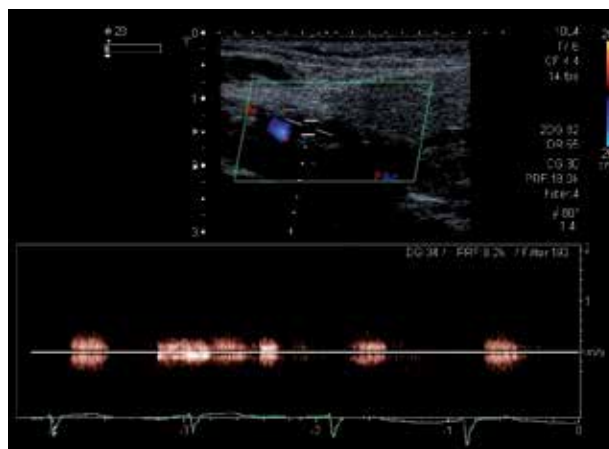
Wyniki oceny stopnia zwężenia metodą ultrasonograficzną korelują z oceną angiograficzną.

W metodzie ultrasonograficznej dla oceny stopnia zwężenia wykorzystuje się obrazowanie w prezentacji B oraz badanie z użyciem doplera znakowanego kolorem i doplera spektralnego. Stopień zwężenia mniejszy niż 50% średnicy światła naczyń (co odpowiada 75% zmniejszeniu pola powierzchni światła naczyń przy założeniu, że zwężenie ma charakter koncentryczny) powinien być oceniany w prezentacji B. W tym celu najlepiej w przekroju poprzecznym wstępnie ocenić lokalizację blaszki zwężającej światło, a następnie próbować uzyskać przekrój podłużny naczyń optymalny dla uwidocznienia maksymalnego zwężenia (nie zawsze jest to w pełni możliwe ze względu na ograniczony zakres dostępnych podłużnych płaszczyzn obrazu naczyń). Przy takim po-



RYCINA 9

Istotne hemodynamiczne, krytyczne zwężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej z rejestracją turbulentnego przepływu w badaniu dopplerowskim.



RYCINA 10

Niedrożność tętnicy szyjnej wewnętrznej z rejestracją wysokooprowego, dwukierunkowego przepływu szczytowo-skurczowego w kikutie naczyń.

stępowaniu unika się pomyłek związanych z przeszacowaniem stopnia zwężenia, gdy zmiana szerzy się odśrodkowo, lub niedoszacowaniem stopnia zwężenia, gdy zmiana zlokalizowana jest na ściany bocznej naczyń, podczas oceny ściany przedniej i tylnej.

Pomocne w identyfikacji miejsca maksymalnego zwężenia jest badanie znakowane kolorem, również w przekroju poprzecznym i podłużnym, przy czym właściwa interpretacja tego badania wymaga optymalnego ustawienia parametrów urządzenia. Przeszacowanie stopnia zwężenia, czy nawet brak przepływu, może być wynikiem niewłaściwie dobranego kąta padania wiązki ultradźwiękowej lub wartości filtra. Z kolei niedoszacowanie zmiany może być rezultatem zbyt dużych wartości wzmocnienia koloru (kolor poza światłem naczyń).

Ocena zwężeń przekraczających 50% średnicy światła naczyń w prezentacji B nie zawsze jest jednoznaczna, szczególnie w przypadku zmian bezechowych. Dlatego do oszacowania stopnia zwężenia niezbędna jest ocena z użyciem doplera spektralnego.

Opracowano wiele kryteriów klasyfikacji stopnia zwężenia tętnic szyjnych. Według Carotid Artery Stenosis Consensus łączne wykorzystanie badania w prezentacji B, badania znakowanego kolorem oraz oceny PSV stanowi podstawę obiektywnej ultrasonograficznej oceny ilościowej zwężeń tętnic szyjnych.

Najistotniejszym problemem jest wyznaczenie punktu odcięcia dla zwężeń istotnych klinicznie, wymagających leczenia chirurgicznego lub przezskórnego. Według kryteriów badania NASCET jest to zwężenie $\geq 70\%$, co odpowiada zwężeniom $\geq 80\%$ określanym według ESCT. W badaniu ultrasonograficznym na zwężenie 70-99% wskazuje PSV ≥ 220 cm/s, a na zwężenie 50-69% PSV ≥ 180 cm/s (ryc. 9). Wzrost PSV obserwuje się proporcjonalnie do stopnia zwężenia, przy czym w przypadku zwężeń krytycznych, graniczących z okluzją naczyń dochodzi do zmniejszenia PSV przy nieznacznej redukcji EDV oraz szczytkowego (strunowego) przepływu powyżej.

Poza oceną prędkości przepływu w miejscu zwężenia niezwykle istotne jest określenie przepływu w pewnej od-

ległości (optymalnie 3 cm) – dystalnie do zwężenia. Przy zwężeniach $\geq 70\%$ obserwuje się wówczas zmniejszenie PSV oraz wydłużenie czasu akceleracji.

Brak przepływu w miejscu i powyżej zwężenia wskazuje na niedrożność. Równocześnie w kikucie zamkniętego naczynia obserwuje się wysokooporowy, dwukierunkowy przepływ szczytowo-skurczowy (ryc. 10), a w CCA przepływ o mniejszej prędkości i profilu zbliżonym do wysokooporowego. Praktyczne podsumowanie tych danych przedstawiono w tabeli 3 i 4. W przypadku zwężenia ICA można określić dodatkowy parametr, jakim jest stosunek PSV w ICA do PSV w CCA. Często korzysta się łącznie z tego parametru oraz bezwzględnych wartości prędkości

przepływu, przy czym bezwzględne wartości prędkości przepływu będą wyższe w nadciśnieniu tętniczym, u osób ze zmniejszoną podatnością naczyń, a niższe u osób ze zmniejszoną objętością wyrzutową.

W przypadku patologii dotyczącej ICA należy ocenić lokalizację w stosunku do poziomu szczęki. Gdy nie udaje się uwidocznić naczynia powyżej zwężenia, należy wykonać angiografię w celu określenia zasięgu zmian.

Uwaga! W celu ograniczenia wyników fałszywie dodatnich, szczególnie u chorych, u których wskazania do dalszego leczenia ustalane są na podstawie badania ultrasonograficznego, należy korzystać równocześnie z kilku sposobów oceny (ryc. 11, 12). W przypadku trudności

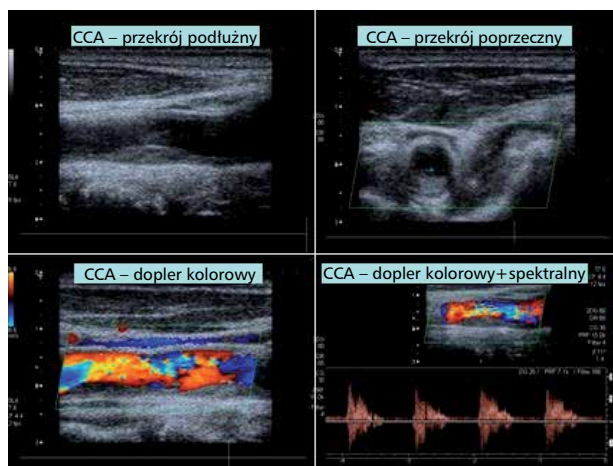
TABELA 3 Zmiany prędkości przepływu w tętnicy szyjnej wspólnej (CCA) i tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA) a typ patologii będącej przyczyną zmian

	Tętnica szyjna wspólna	Tętnica szyjna wewnętrzna
Wzrost prędkości przepływu	Zwężenie CCA Rzadko: kompensacyjny wzrost prędkości przepływu (głównie przy obecności malformacji naczyniowych, przetok tętniczo-żylnych)	Niewielkiego stopnia (40-60%) zwężenie – lokalny wzrost PSV, przy prawidłowych prędkościach przed i za zwężeniem Zmniejszenie amplitudy przepływu skurczowo-rozkurczowego w zwężeniach średniego do ciężkiego stopnia (60-90%) – narastanie EDV, przy niewielkim wzroście, a następnie zmniejszeniu PSV, aż do „systolic peak reversal”, za zwężeniem redukcja prędkości przepływu z wydłużeniem czasu akceleracji Kompensacyjny wzrost prędkości przepływu – ciągły wzrost prędkości przepływu, głównie EDV Uwaga! Przy ograniczeniu możliwości oceny tylko do krótkiego odcinka szyi nie można rozróżnić niewielkiego stopnia zwężenia od kompensacyjnego wzrostu prędkości przepływu (brak oceny odcinka postenotycznego) Dysproporcja wymiarów CCA i ICA, np. tętniakowate poszerzenie CCA, dysplazja ICA Wewnątrzczaszkowa malformacja tętniczo-żylna z istotnym hemodynamicznie przeciekiem zwiększającym napływ Nasilone tętnienie ściany naczyniowej, tzw. czynnościowa stenozą u chorych z wewnątrzczaszkowymi przetokami tętniczo-żylnymi
Zmniejszenie prędkości przepływu	Dystalne istotne (>80%) zwężenie, np. >80% ICA, niedrożność ICA, istotne hemodynamicznie wewnątrzczaszkowe zwężenie po tej samej stronie Dylatacja CCA, np. tętniakowate poszerzenie głównie u osób w starszym wieku Rzadko: ciężkie zwężenie proksymalnego odcinka CCA, ciężkie zwężenie proksymalnego odcinka tętnicy środkowej mózgu przy obecności słabego krążenia obocznego	Ciężkie lub subtotalne zwężenie (>80%) – zmniejszenie PSV i EDV zarówno proksymalnie, jak i dystalnie do zwężenia, za zwężeniem amplituda przepływu może być nieobecna, rejestruje się jedynie skurczową fazę deceleracji, w ciężkim zwężeniu wzrost prędkości może być widoczny tylko w największym fragmencie naczynia, w subtotalnych zwężeniach tych zmian najczęściej nie ma, u niektórych sygnał w miejscu zwężenia może być trudny do zarejestrowania Proksymalne lub dystalne ciężkie zwężenie – zmniejszenie prędkości przepływu skurczowo-rozkurczowego Zjawisko „slosh” – związane z dyssekcją tętnicy prowadzącą do ostrego ograniczenia przepływu, np. dyssekcja ICA rozpoczynająca się na wysokości czaszki i schodząca w dół do bifurkacji – widoczny równoczesowy, dwukierunkowy od- i doczaszkowy skurczowy przepływ przy braku przepływu rozkurczowego wskazujący na nagły wzrost oporu obwodowego, podobny obraz w ostrym proksymalnym zamknięciu tętnicy środkowej mózgu
Brak sygnału	Niedrożność CCA Uwaga! Sygnał w ICA i ECA może być rejestrowany dystalnie do bifurkacji; napływ do ECA i ICA przez tętnicę skroniową i kręgową: odwrócony przepływ w tętnicy skroniowej z VA	Niedrożność ICA – wskazane potwierdzenie rozpoznania za pomocą innych opcji badania ultrasonograficznego

TABELA 4 Zwężenie i niedrożność tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA), kryteria bezpośrednie i pośrednie pozwalające postawić rozpoznanie oraz ich przydatność

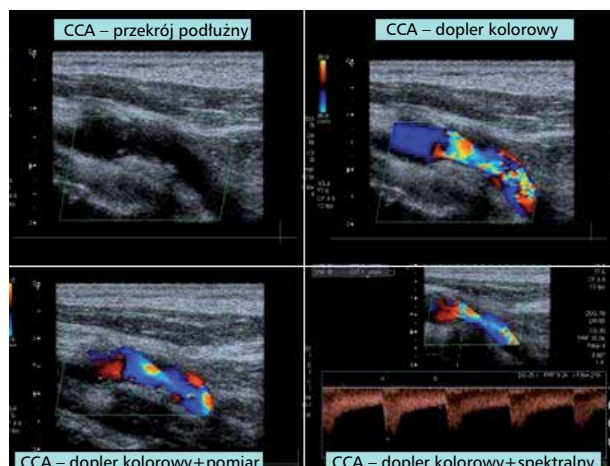
Patologia	Metoda	Przydatność
Zwężenie ICA	Kryteria bezpośrednie:	
	Obrazowanie w prezentacji B: ocena morfologii zmiany, stopnia zwężenia w osi podłużnej	***
	Badanie znakowane kolorem: wzrost prędkości przepływu związany ze zmianą koloru, postenotyczny nieregularny przepływ ze zmianą kierunku przepływu, zjawisko aliasingu w ciężkim zwężeniu	**
	Analiza spektrum przepływu: wzrost prędkości przepływu zależny od stopnia stenozy w zakresie 40-90%, nieprawidłowe spektrum przepływu w obrębie zwężenia, w zwężeniach istotnych hemodynamicznie (>70%) nieprawidłowy przepływ postenotyczny ze wzrostem niskich częstotliwości i występującym u części chorych przepływem wstecznym	***
	Kryteria pośrednie:	
Niedrożność ICA	Spadek prędkości przepływu proksymalnie (np. proksymalny odcinek CCA) i dystalnie w zwężeniach istotnych hemodynamicznie	***
	Zwiększona pulsacyjność (amplituda skurczowo-rozkurczowa przepływu) w proksymalnych odcinkach CCA	
	Zmniejszona pulsacyjność w dystalnym odcinku ICA (wazodylatacja naczyń wewnątrzczaszkowych)	
	Kryteria bezpośrednie:	
Niedrożność ICA	Badanie w prezentacji B: ocena ściany i światła naczynia – często trudna (np. hipoechogeniczna zmiana wskazująca na świeżą skrzepilinę, masywnie uwapnione zmiany miażdżycowe)	**
	Badanie znakowane kolorem: brak przepływu, przepływ wahadłowy lub dwukierunkowy w kikucie ICA	**
	Analiza spektrum przepływu: brak przepływu, przepływ wahadłowy lub dwukierunkowy w kikucie ICA	**
	Kryteria pośrednie:	
	Spadek prędkości przepływu w proksymalnym odcinku CCA, szczególnie EDV – zwiększona pulsacyjność	***
Opukiwanie tętnicy skroniowej – oscylacje w przepływie rozkurczowym w CCA		
W przypadku wewnątrzczaszkowego krążenia obocznego spektrum przepływu w ECA zbliżone do spektrum w ICA		

Według Hennerici MG, Neuerburg-Heusler D: Vascular diagnosis with ultrasound. Thieme, Stuttgart 2006.



RYCINA 11

Kompleksowa ocena miażdżycy w tętnicy szyjnej wspólnej (CCA).



RYCINA 12

Kompleksowa ocena zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA).

z uzyskaniem sygnału doplerowskiego sugerujących niedrożność naczynia powinno się przeprowadzić ponowną ocenę po zmianie ustawień aparatu, które umożliwią detekcję przepływu o małych prędkościach.

Trudności techniczne w ocenie ultrasonograficznej tętnic szyjnych

Ocenę ultrasonograficzną tętnic szyjnych utrudniać mogą:

a) Intensywnie uwapniona blaszka miażdżycowa – ten typ zmiany daje intensywne cienie w badaniu ultrasonograficznym, co utrudnia określenie stopnia zwężenia (ryc. 13). Masywne zwapnienia w obrębie blaszki utrudniają lub nawet uniemożliwiają zobrazowanie przepływu w tym odcinku naczynia – należy ocenić naczynie w części dystalnej w prezentacji B, w badaniu znakowanym kolorem i doplerze spektralnym. W tym wypadku możemy spotkać się z następującymi problemami:

- Widoczny przepływ w odcinku dystalnym wymaga określenia stopnia zwężenia i długości na jakiej ono występuje:

- zwapniała blaszka miażdżycowa na krótkim odcinku naczynia nie zmieniająca widma przepływu za zwężeniem – nieistotne zwężenie,

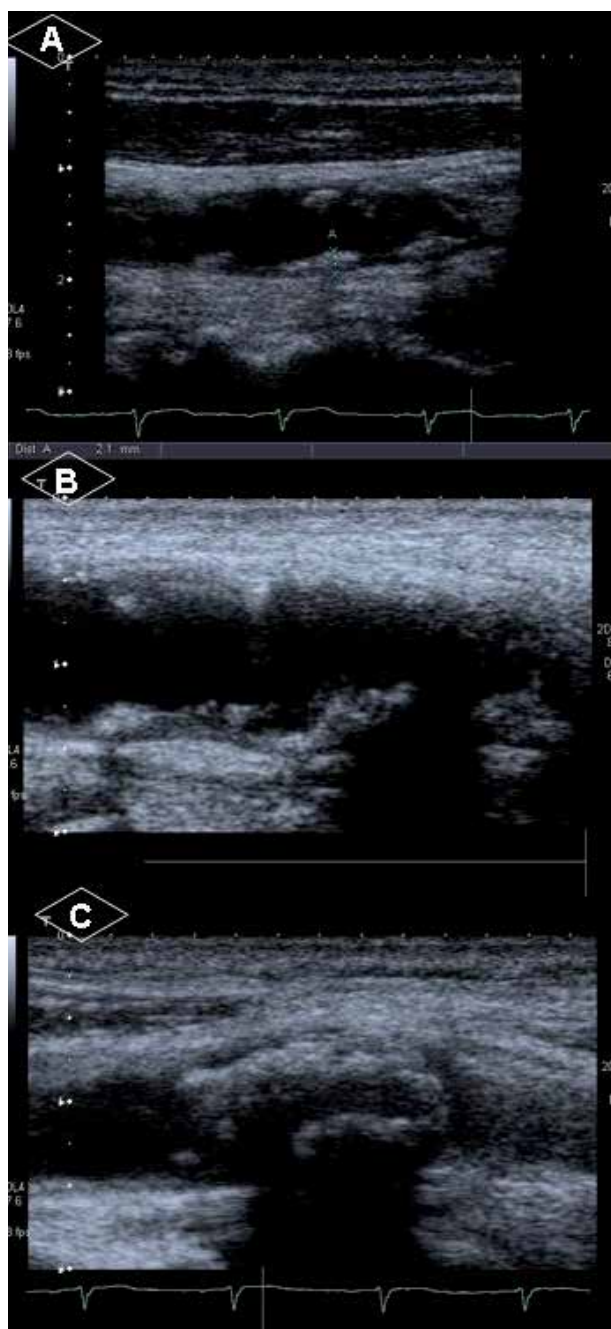
- zwapniała blaszka miażdżycowa na odcinku ≥ 1 cm: 1) prawidłowe widmo przepływu za zwężeniem – niemiarodajna ocena, wymaga weryfikacji za pomocą innych metod obrazowych, 2) nieprawidłowe widmo przepływu za zwężeniem (wzrost PSV, ESV, turbulentny przepływ) – istotne zwężenie.

- Brak możliwości uwidocznienia przepływu w dalszej części naczynia (korekcja ustawień aparatu na detekcję fal o małych prędkościach) wskazuje na jego zamknięcie. Należy pamiętać o konieczności uzyskania dobrej wizualizacji badanej części naczynia (korekcja ustawień aparatu na detekcję fal o małych prędkościach). Rozróżnienie pomiędzy subtotalnym zwężeniem a całkowitą niedrożnością jest dużym wyzwaniem dla każdego ultrasonografisty. Ciasne zwężenie jest wskazaniem do leczenia inwazyjnego, a stwierdzenie okluzji tętnicy szyjnej uniemożliwia leczenie chirurgiczne, jak również przezskórne. Dlatego wątpliwości diagnostyczne powinny być weryfikowane w arteriografii lub tomografii komputerowej.

b) Blaszka niecieńiująca – trudności dotyczą określenia kształtu i wymiarów zmiany w prezentacji B. Pomocne w ocenie jest badanie znakowane kolorem, które uwidacznia modelowanie się przepływu na zmianie, w przypadku zmian istotnych – także cechy przepływu turbulentnego.

c) Morfologia blaszki wpływająca na przeszacowanie (krótka zmiana istotnie wpuklająca się do światła naczynia) lub niedoszacowanie (zwężenie długie > 1 cm lub wielopoziomowe) stopnia zwężenia (tab. 5).

d) Współistniejące zmiany zwężające po stronie przeciwnej – obserwowane wartości PSV są większe nie tylko wtórnie do zwężenia, ale częściowo wiążą się ze zwiększonym przepływem, co powoduje przeszacowanie zwężenia o ok. 10-15% (tab. 5).



RYCINA 13

Przykłady różnego stopnia zaawansowania/uwapnienia blaszek miażdżycowych w tętnicach szyjnych.

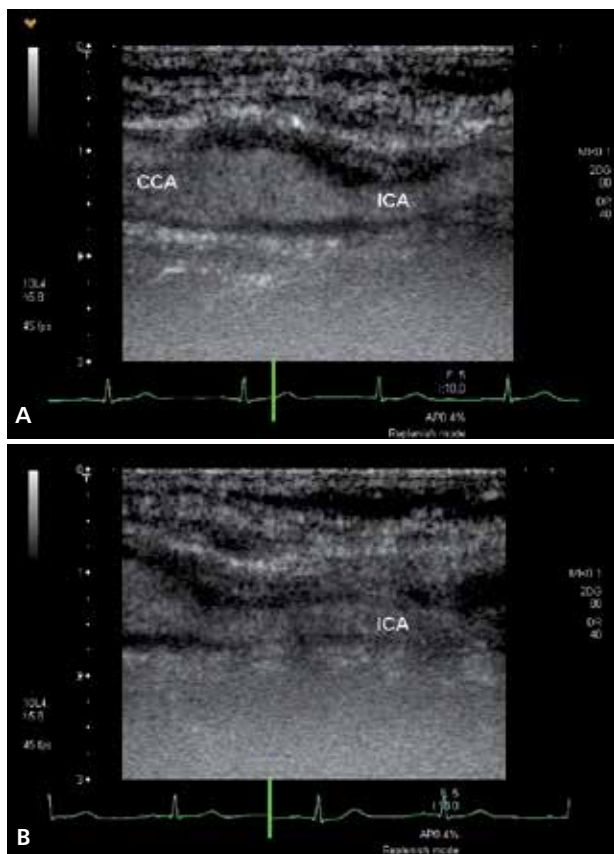
e) Kręty przebieg naczyń – trudności w uwidocznieniu naczynia w jednej płaszczyźnie oraz właściwego ustawienia wiązki ultradźwiękowej. Pomocne w obrazowaniu jest badanie znakowane kolorem, przy czym przy płynnej zmianie kąta, pod którym ustawiona jest głowica, znakowanie kolorem też będzie się zmieniało. Określenie przebiegu naczynia jest niezbędne do właściwej korekcji kąta badania – niezastosowanie korekcji zawyża uzyskiwane wartości PSV i jest przyczyną niewłaściwej interpretacji uzyskanych wyników. Uwaga! Ocena zwężeń tętnic szyjnych przy krętym ich przebiegu wymaga szczególnej ostrożności.

f) Inne przyczyny trudności w ocenie tętnic szyjnych: zaburzenia rytmu serca, tętniakowate poszerzenie naczyń

TABELA 5 Szacunkowa modyfikacja oceny zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej w różnych sytuacjach klinicznych

Istotne zwężenie lub okluzja po stronie przeciwnej	- 10-15%
Krótką zmianą wpuklającą się do światła	- 10-20%
Zwężenie > 10 mm	+ 10-15%
Wielopoziomowe zwężenia	+ 10-20%
Wzrost V przepływu w tętnicy kręgowej	+ 10%
Wzrost czasu akceleracji	Sugeruje zwężenie > 75-80%

„-”, przeszacowanie, „+” niedoszacowanie stopnia zwężenia. Wg Małek G: Ultrasonografia dopplerowska. Zastosowanie kliniczne, tom 1. Medipage, Warszawa 2003.



RYCINA 14

Przykładowy obraz tętnicy szyjnej wspólnej (CCA) (A) i szyjnej wewnętrznej (ICA) (B) w przekroju podłużnym po podaniu kontrastu.

obserwowane u osób starszych, powodujące zmniejszenie prędkości przepływu w tym odcinku z równoczesnym turbulentnym charakterem.

Dodatkowym ograniczeniem jest istotna zależność oceny stopnia zwężenia od doświadczenia badacza, klasy i parametrów technicznych aparatu USG.

Uwaga! Pełna ocena badania ultrasonograficznego wymaga analizy wszystkich ocenianych parametrów i nie tylko ich wartości bezwzględnych, ale także mechanizmów kompensacyjnych, które powodują dynamiczne zmiany. W przypadku trudności w uwidocznieniu naczynia i określeniu zasięgu zmian należy zaznaczyć to w protokole badania i wyjaśnić wątpliwości za pomocą innych metod – złotego standardu, jakim jest angiografia, angio TK lub MR.

Pomocne w uzyskaniu lepszej wizualizacji naczynia może być badanie ultrasonograficzne z użyciem kontrastu. Wewnętrzne światło naczynia jest wówczas na długim odcinku bardzo dobrze widoczne, co ma znaczenie w krytycznych, długich i trudno dostępnych w obrazowaniu zmianach miażdżycowych. Często w ten sposób można zobiektywizować przeszacowane w badaniu standardowym zmiany (ryc. 14A, B).

Ocena wielopoziomowych zwężeń tętnic szyjnych

ZWĘŻENIE W OBRĘBIE BIFURKACJI OBEJMUJĄCE ICA I ECA

W przypadku zwężenia w obrębie bifurkacji obejmującego ICA i ECA obraz jest podobny do obserwowanego w zwężeniu ICA, przy czym należy większą uwagę poświęcić prezentacji B i morfologii zmiany, określić jej zasięg, właściwie odróżnić ICA i ECA. Do kryteriów pośrednich należy postenotyczny spadek prędkości przepływu w ICA i ECA. Prestenotyczny spadek prędkości przepływu w CCA widoczny jest jedynie przy istotnym zwężeniu ICA, natomiast nie występuje przy krytycznej zmianie w ECA.

NIEDROŻNOŚĆ ICA I KRYTYCZNE ZWĘŻENIE ECA

Powyższa sytuacja często prowadzi do pomyłek, ponieważ trudno ustalić brak sygnału z ICA przy wzmożonym przepływie przez zwężoną ECA. Pomocne jest badanie w projekcji poprzecznej i sekwencyjna analiza kolejnych przekrojów tętnic szyjnych – zanik sygnału z ICA.

NIEDROŻNOŚĆ ECA I KRYTYCZNE ZWĘŻENIE ICA

Ta sytuacja nie stwarza zwykle większych trudności diagnostycznych.

WIELOPOZIOMOWE ZWĘŻENIA TĘTNIC SZYJNYCH

Sytuacje sprawiające trudności w ocenie i niejednokrotnie będące źródłem pomyłek to:

- jednostronne zwężenia wielopoziomowe – jeżeli istotniejsze zwężenie położone jest proksymalnie, to łatwo pominąć zwężenie dystalne, mniej istotne,
- zwężenia wewnątrz- i zewnątrzczaszkowe,
- proksymalne i dystalne zwężenia do miejsca dostępnego ocenie ultrasonograficznej,

- zwężenia obustronne (należy brać pod uwagę krążenie oboczne przez VA, kolaterale ECA) – przeszacowanie stopnia zwężenia z powodu zwiększonego przepływu wywołanego istotnym hemodynamicznie zwężeniem (>80% lub niedrożność) po stronie przeciwnej.

Najczęstsze patologie w ultrasonograficznym badaniu tętnic kręgowych

Wśród pacjentów objawowych częstość występowania zwężeń VA szacuje się na 20-40%. Dokładny odsetek w populacji ogólnej pozostaje nieokreślony.

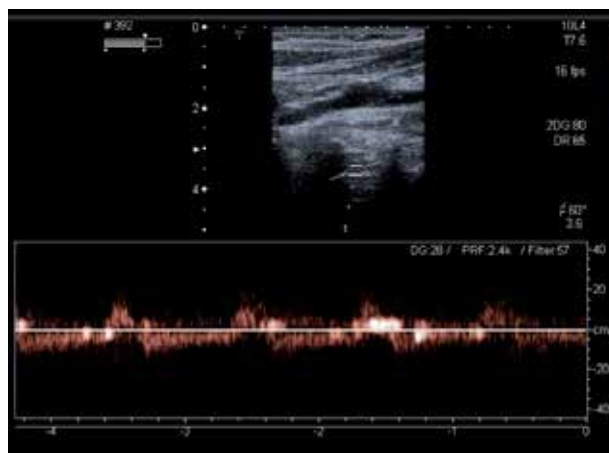
Najczęstszym segmentem, w którym rozpoznaje się zwężające zmiany miażdżycowe jest początkowy odcinek VA odchodzącej od tętnicy podobojczykowej oraz tuż przed połączeniem tętnic w tętnicę podstawną.

Następujące wskaźniki wskazują na istotne hemodynamiczne zwężenie VA: wzrost prędkości przepływu w miejscu zwężenia ($PSV \geq 120$ cm/s i $EDV \geq 40$ cm/s), wyraźne zmniejszenie prędkości za zwężeniem i asymetria między prawą i lewą VA (>15%) zgodna z obrazem doplerowskim.

Przepływ wsteczny (odgłowy) wskazuje na zespół podkradania tętnicy podobojczykowej. Mechanizm zjawiska jest następujący: zwężenie tętnicy podobojczykowej wywołujące spadek ciśnienia za zwężeniem powoduje podkradanie krwi z innego układu naczyniowego, tym samym zmieniając kierunek przepływu krwi w VA. Odwrócenie kierunku przepływu może występować przez cały cykl pracy serca lub być ograniczone tylko do fazy skurczowej, przy zachowanym dogłowym przepływie rozkurczowym. Dodatkowe manewry wywołujące przekrwienie kończyny górnej po stronie, po której rejestrowano przepływ nieprawidłowy (zginanie przedramienia, deflacja mankieta sfigmomanometru po 2-3 minutach ucisku), ułatwiają różnicowanie – wywołują wzrost prędkości i odwrócenie przepływu także w fazie rozkurczowej. Stopień podkradania i nieprawidłowości przepływu w VA mogą więc zmieniać się podczas tych testów czynnościowych i korelują ze stopniem zwężenia tętnicy podobojczykowej lub pnia ramiennie-głowego. Z drugiej strony, istotne zwężenie tętnicy podobojczykowej lub pnia ramiennie-głowego nie zawsze wiąże się z odwróceniem przepływu w VA (30-55%) (ryc. 15, 16).

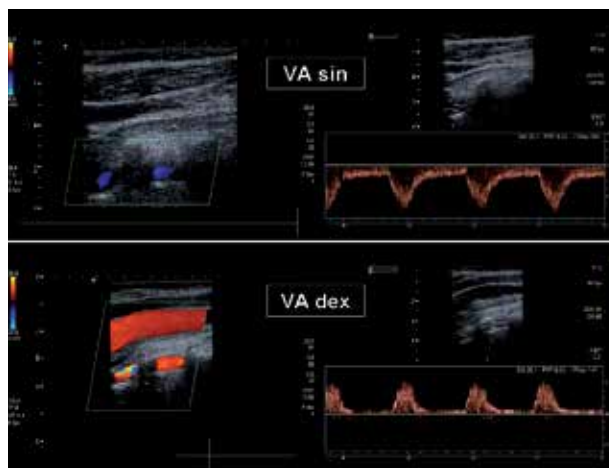
Podsumowanie wskazań do wykonania badania ultrasonograficznego tętnic szyjnych i kręgowych

Wśród wskazań do badania ultrasonograficznego tętnic szyjnych i kręgowych najczęściej wymienia się wskazania neurologiczne, takie jak: przebyty udar niedokrwienny mózgu, epizod przemijającego niedokrwienia mózgu (transient ischaemic attack, TIA) lub kilkuminutowej nagłej utraty wzroku, przebyty zabieg naczyniowy na tętnicach szyjnych.



RYCINA 15

Przepływ w tętnicy kręgowej (VA) z częściowym zespołem podkradania/odwróceniem kierunku.



RYCINA 16

Badanie z użyciem doplera kolorowego i spektralnego: zespół podkradania z całkowitym odwróceniem kierunku przepływu w tętnicy kręgowej prawej (VA dex) i prawidłowym przepływem dogłowym w tętnicy kręgowej lewej (VA sin).

Równocześnie zaleca się kontrolę ultrasonograficzną tętnic szyjnych u chorych kwalifikowanych do dużych zabiegów chirurgicznych, w tym operacji kardiochirurgicznych, i w szczególności pacjentów starszych (>65 r.ż.) ze zwężeniem pnia lewej tętnicy wieńcowej, chorobą tętnic obwodowych, licznymi czynnikami ryzyka miażdżycy, z udarem mózgu lub epizodem TIA w wywiadzie lub szmerem nad tętnicą szyjną. USG tętnic szyjnych stanowi także element oceny ryzyka sercowo-naczyniowego, w szczególności u chorych z nadciśnieniem tętniczym.

Zalecane piśmiennictwo

1. ACCF/SCAI/SVMB/SIR/ASITN 2007 Clinical Expert Consensus Document on Carotid Stenting. J Am Coll Cardiol 2007, 49: 126-170.
2. Gašior Z, Mizia-Stec K, Mizia M: Grubość kompleksu infima-media. W: Podolec P. (red.): Podręcznik Polskiego Forum Profilaktyki tom 1. Medycyna Praktyczna, Kraków 2007.

3. Society of Radiologists in Ultrasound: Carotid artery stenosis: grayscale and Doppler ultrasound diagnosis-Society of Radiologists in Ultrasound consensus conference. *Ultrasound Q* 2003, 19 (4): 190-198.
4. Heijenbrok-Kal MH, Buskens E, Nederkoorn PJ, et al.: Optimal peak systolic velocity threshold at duplex us for determining the need for carotid endarterectomy: a decision analytic approach. *Radiology* 2006, 238 (2): 480-488.
5. Hennerici M, Baezner H, Daffertshofer M: Ultrasound and arterial wall disease. *Cerebrovasc Dis* 2004, 17 (1): 19-33.
6. Hennerici MG, Neuerburg-Heusler D, Daffertshofer M, et al.: *Vascular Diagnosis with Ultrasound. Clinical Reference with Case Studies. Volume 1: Cerebral and Peripheral Vessels. 2nd revised edition.* Thieme, Stuttgart – New York 2006.
7. Kabłak-Ziembicka A, Przewłocki T, et al.: Znaczenie badania ultrasonograficznego w wykrywaniu miażdżycowych zwężeń tętnic dogłowych. *Postępy w Kardiologii Interwencyjnej* 2007, 1 (7): 43-52.
8. Małek G: *Ultrasonografia dopplerowska. Zastosowanie kliniczne, tom 1.* Medipage, Warszawa 2003.
9. Thrust A, Hartshome T: *Ultrasonografia naczyń obwodowych.* Red. wyd. polskiego: Wiesław Jakubowski. Urban & Partner, Wrocław 2007.
10. Wardlaw JM, Lewis S: Carotid stenosis measurement on colour Doppler ultrasound: agreement of ECST, NASCET and CCA methods applied to ultrasound with intra-arterial angiographic stenosis measurement. *Eur J Radiol* 2005, 56 (2): 205-211.