

Anna Rozenfeld

Rola ultrasonografii w diagnostyce naczyniowej

II Klinika Neurologiczna Instytutu Psychiatrii i Neurologii w Warszawie

Streszczenie

Ultrasonografia to bezinwazyjna, powtarzalna, całkowicie bezpieczna technika, umożliwiająca ocenę przebiegu i drożności tętnic zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych oraz obserwację dróg krążenia obocznego, przy znacznych patologiach tych naczyń. Stosowanie ultrasonografii naczyniowej pozwala na monitorowanie zmian przepływu na różnych etapach choroby, podczas terapii lekowej, podczas i po zabiegach udrażniających.

Summary

Ultrasonography is a noninvasive, repeatable and safe technique enabling assessment of location and patency of extra- and intracerebral arteries as well as evaluation of collateral circulation in severe abnormalities of these vessels. Using ultrasonography allows monitoring changes in blood flow at different stages of the disease, during therapy, during and after endarterectomy.

Słowa kluczowe: Diagnostyka ultrasonograficzna – zjawisko Dopplera – podwójne obrazowanie
Key words: Ultrasound Diagnosis – Doppler effect – Duplex Scanning

Ultrasonografia naczyniowa znajduje coraz powszechniejsze uznanie i zastosowanie w medycynie. Staje się tak dzięki ciągłemu, szybkiemu rozwojowi tej bezpiecznej, nieinwazyjnej techniki, która pozwala na bezbolesne dotarcie do coraz drobniejszych, położonych na różnych głębokościach naczyń tętniczych i żylnych oraz na coraz większą precyzję obrazowania ich ścian i płynącej w nich krwi (21).

Ultradźwięki to mechaniczne zjawiska falowe o częstotliwości wyższej niż górna granica słyszalności ucha ludzkiego, tj. 16 KHz. W badaniach naczyniowych stosuje się częstotliwości 1–10 MHz.

U podstaw ultradźwiękowej diagnostyki naczyniowej leżą zjawiska: Dopplera i echa. Zjawisko Dopplera, opisane w 1842 roku przez austriackiego fizyka i astronoma Cristiana Dopplera, jest efektem akustycznym związanym z ruchem.

W aparaturze ultrasonograficznej fale emitowane przez sondę ultradźwiękową, po odbiciu się od płynących w naczyniu krwinek, powracają do niej. Na

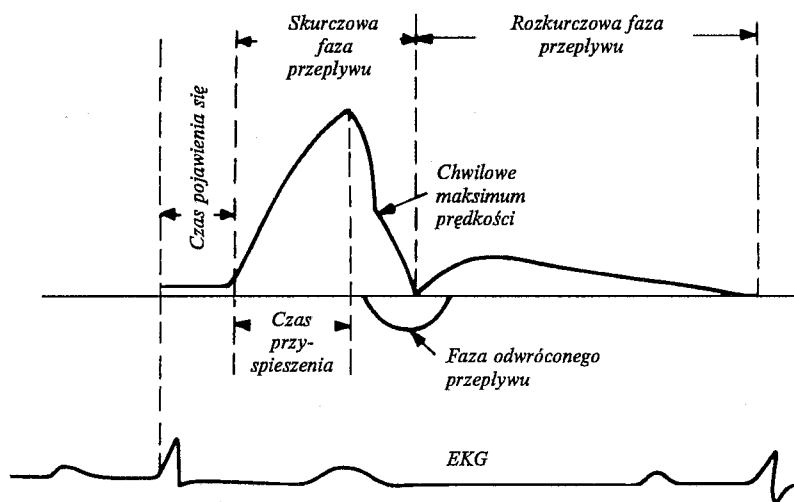
skutek ruchu krwinek częstotliwość fali odbitej (f_o) jest inna niż fali nadawanej (f_n), różna o częstotliwość dopplerowską (f_d):

$$f_o = f_n + /- f_d$$

mniejsza (-), gdy krwinka oddala się od sondy, większa (+), gdy krwinka zbliża się do niej. Częstotliwość dopplerowska jest proporcjonalna do prędkości przepływu krwi, a jej pomiar umożliwia ustalenie prędkości przepływu krwi w naczyniu wg równania Dopplera, co w aparatach ultrasonograficznych odbywa się automatycznie.

W aparaturze dopplerowskiej częstotliwość dopplerowska zostaje przetworzona na sygnał akustyczny, który dzięki swej różnorodności jest pierwszym elementem różnicującym tętnice od żył, tętnice między sobą oraz kształtującym wyobrażenie o ich drożności.

Wstępną ocenę akustyczną obiektywizuje możliwy do wykonania zapis krzywej prędkości. Zapisy znad poszczególnych tętnic charakteryzują się pewną odrębnością kształtów, można jednak ustalić ich wspólne składowe, dające się odnieść do obrazu EKG (23) (ryc. 1).



Ryc. 1. Wzorcowa krzywa przepływu krwi w tętnicach wg Nimura

Ułożenie krzywej względem linii izoelektrycznej informuje o oporach panujących w naczyniach oraz o kierunku płynącej w nich krwi.

Prędkość przepływu krwi określa się dwiema metodami: metodą fali ciągłej (continuous wave – CW) oraz metodą impulsową (pulse wave – PW).

W metodzie fali ciągłej przetwornik drga bez przerwy. Umożliwia ona uzyskanie informacji o wielkości i zmianach średniej prędkości przepływu krwi, o jej wartości chwilowej, maksymalnej, także dużej.

W metodzie impulsowej przetwornik drga z przerwami, z określoną częstotliwością powtarzania fal. Metoda ta umożliwia ilościową ocenę płynącej krwi,

orientuje w głębokości ułożenia i średnicy naczynia. Przy użyciu metody impulsowej nie udaje się zmierzyć dużych prędkości ($> 2,5$ m/sek). Przekroczenie limitu powoduje pojawienie się zafałszowań (16).

Metoda dopplerowska pozwala na bezpośrednią ocenę przepływu w tętnicach obwodowych, domózgowych, ocznych i ich zewnątrzoczdolowych gałęziach oraz w tętnicach wewnątrzczaszkowych.

Pośród tętnic zewnątrzczaszkowych zmiany miażdżycowe najczęściej obejmują tętnicę szyjną wewnętrzną (32). Najbardziej znamienne są duże zwężenia ($> 75\%$) i niedrożności, które zakłócają przepływ zarówno w tętnicy szyjnej wewnętrznej, jak i biegnących po tej samej stronie tętnicach: szyjnej wspólnej i ocznej. Zwężenia te powodują często powstanie patologii „ocznej” drogi krążenia obocznego, tj. biegnącego przez tętnicę szyjną zewnętrzną i jej gałęzie ku tętnicy ocznej i syfonowi miażdżycowo zmienionej tętnicy szyjnej wewnętrznej, poprzez zewnątrzoczdolowe gałęzie tętnicy ocznej. W badaniu dopplerowskim dostrzegane jest wówczas odwrócenie kierunku przepływu w tych ostatnich, a uciśnięcie gałęzi tętnicy szyjnej zewnętrznej powoduje najczęściej zatrzymanie przepływu w gałęziach tętnicy ocznej (tzw. dodatni test ucisku) (23, 31, 33).

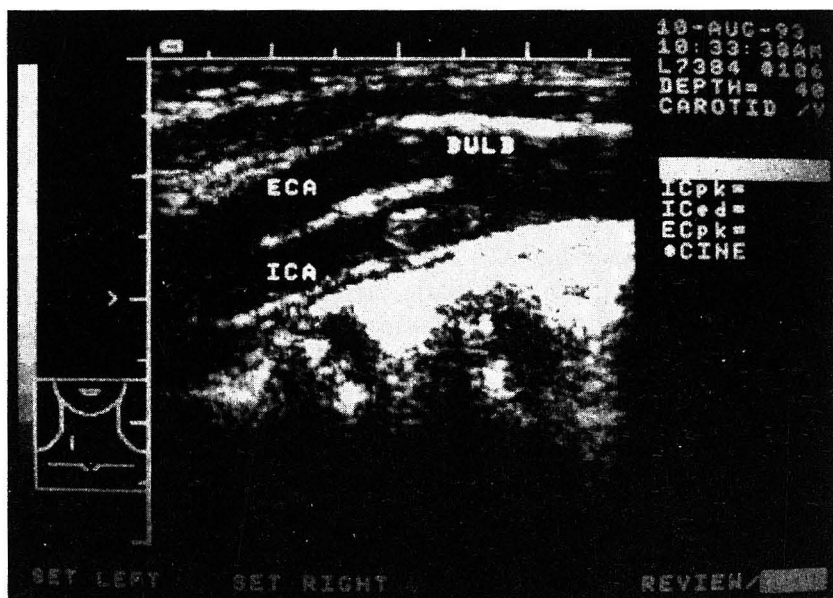
Technika dopplerowska jest najskuteczniejszą metodą nieinwazyjną w diagnostyce zespołu podkradania, przy dużym zwężeniu lub niedrożności początkowego odcinka tętnicy podobojczykowej. Stwierdza się wtedy odwrócenie kierunku przepływu w tętnicy kręgowej do nieprawidłowej tętnicy podobojczykowej (3, 12).

Echo jest efektem odbicia impulsu fal ultradźwiękowych od granicy dwóch ośrodków o różnej „impedancji” akustycznej. W oparciu o amplitudę fali odbitej od powierzchni tkanki tworzony jest obraz, który można przedstawić na ekranie oscyloskopu, m.in. w najczęściej stosowanej prezentacji B-mode (brightness – jasność). Uwidacznia ona echa struktur biologicznych w postaci jasnych punktów na ruchomej podstawie czasu. Punkty te rysują dwuwymiarowy przekrój struktur anatomicznych, np. naczyń krwionośnych. Uzyskany obraz pozwala dostrzec nierówności ścian spowodowane obecnością blaszek miażdżycowych (ryc. 2).

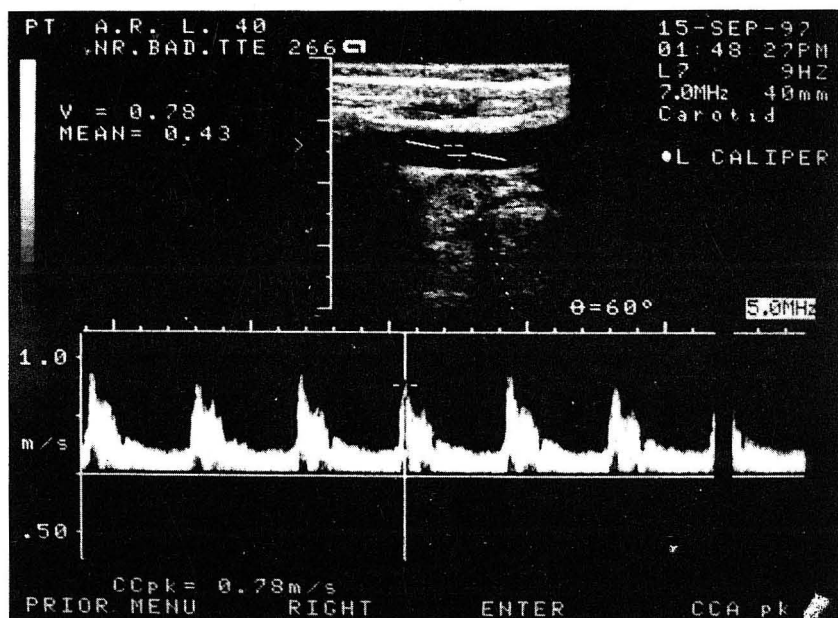
Połączenie metody obrazowania w prezentacji B z prezentacją dopplerowską, pozwoliło na wprowadzenie do diagnostyki naczyniowej znacznie obiektywniejszej niż sama technika dopplerowska, metody podwójnego obrazowania (duplex scanning). W badaniu duplex jednocześnie otrzymuje się obraz naczynia i zapisuje widmo prędkości przepływu. Bramkę dopplerowską umieszcza się w wybranym odcinku naczynia krwionośnego, pod kontrolą obrazu B-mode i mierzy prędkość przepływu krwi w tym miejscu (14) (ryc. 3).

Rozszerzenie podwójnego obrazowania stanowi kolorowe dopplerowskie obrazowanie przepływu (color Doppler flow imaging) – kolorowy doppler.

Na obraz w prezentacji B, w miejscach płynącej krwi, nałożone są barwne punkty odpowiadające częstotliwościom dopplerowskim. W zależności od kierunku i prędkości przepływu krwi ukazują się naczynia wypełnione kolorami, najczęściej odcieniami czerwonego i niebieskiego (ryc. 4).



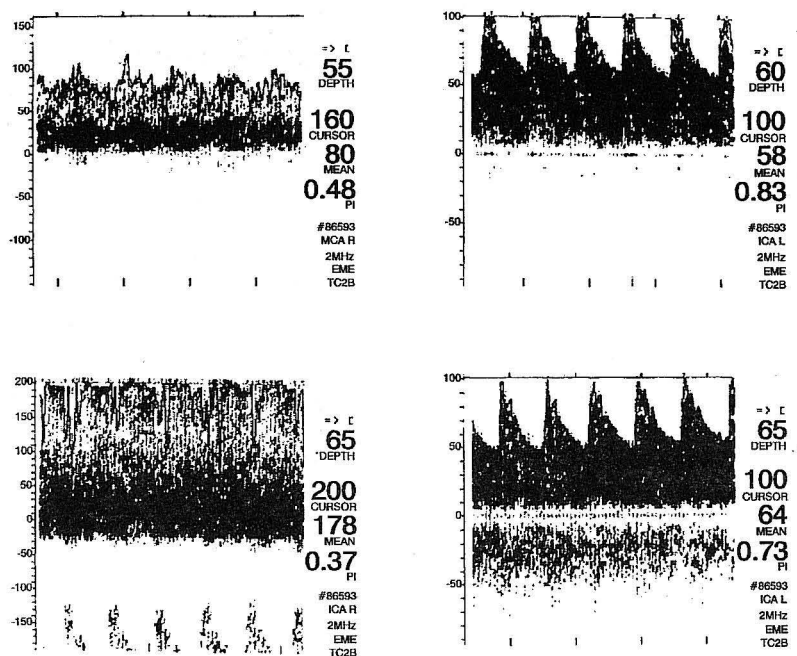
Ryc. 2. Niejednorodna blaszka miażdżycowa w początkowym odcinku tętnicy szyjnej wewnętrznej



Ryc. 3. Badanie duplex tętnicy szyjnej wspólnej. U góry – obraz ultrasonograficzny typu B-mode, u dołu – zapis dopplerowski



Ryc. 4. Niejednorodna blaszka miażdżycowa w początkowym odcinku tętnicy szyjnej wewnętrznej. Tętnice szyjne wypełnione kolorem

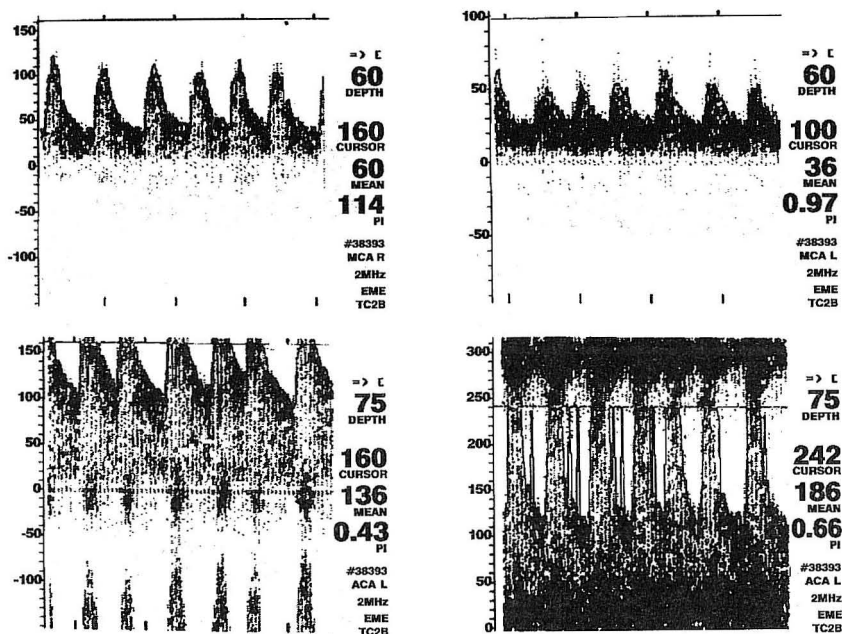


Ryc. 5. Po lewej – tętniak na t. środkowej mózgu prawej, zaburzenia i duża prędkość przepływu. Po prawej – prawidłowy przepływ w t. środkowej mózgu lewej

Aparaty najnowszej generacji wyposażone są w tzw. prezentację mocy (power mode, power Doppler, color Doppler energy), gdzie rejestrowana jest moc odbitych ultradźwięków, a nie ich częstotliwość. Wzrasta czułość wykrywania przepływów o małych prędkościach, bez możliwości określenia ich kierunku, wzrasta także „ostrość” obrazu (9, 16, 28, 37).

Technika duplex ułatwia lokalizację naczyń, stwierdzanie ich zwężeń lub niedrożności. Uzyskany obraz pozwala dostrzec nierówności ścian spowodowane obecnością blaszek miażdżycowych. Pozwala także analizować morfologię tych blaszek na podstawie echogeniczności (niska echogeniczność – złogi cholesterolu, skrzeplina, znaczna echogeniczność – zwłóknienie, uwapnienie) oraz ich strukturę (jednorodna lub niejednorodna – połączenie blaszek uwapnionych i lipidowych) (9, 40). Blaszką nieechogenna jest blaszka wczesna, miękka, wrzodziejąca, z odkładającą się na niej skrzepliną. Blaszką echogenna jest blaszka starą, twardą, raczej stabilną (15).

Przyjmuje się, że zmiana echogeniczna jest bezpieczniejsza. Zmiany z owrzodzeniami są bardzo niebezpieczne, gdyż łatwiej prowadzą do zatorów tętnic mózgowych i udarów.



Ryc. 6. Niedrożność t. szyjnej wewnętrznej lewej w odcinku dogłowym. Po prawej – spowolnienie przepływu w t. środkowej mózgu po stronie niedrożności oraz przyspieszenie, zakłócenie i odwrócenie kierunku przepływu w t. przedniej po tej stronie – do sondy. Po lewej – dobry przepływ w t. środkowej mózgu prawej i przyspieszony, lecz o prawidłowym kierunku przepływ w tętnicy przedniej mózgu prawej – od sondy (krążenie oboczne przez t. łączącą przednią)

Udar niedokrwienny mózgu w około 40% przypadków spowodowany jest zmianami w tętnicach pozaczaszkowych, w tym najczęściej zwężeniem początkowego odcinka tętnicy szyjnej wewnętrznej.

Uznaną metodą leczenia objawowych zwężeń tętnicy szyjnej wewnętrznej jest endarteriektomia. Dotyczy chorych, u których stopień zwężenia przekracza 70%, oraz w pewnych przypadkach nasilonych objawów, również chorych ze zwężeniem powyżej 50% (17).

W procesie ustalania wskazań do operacyjnego leczenia zasadnicze znaczenie ma wczesne rozpoznanie owrzodzenia miażdżycowego i ocena stopnia zwężenia.

Badanie duplex jest techniką, która te informacje dostarcza szybko i nieinwazyjnie. Leczenie zachowawcze stosowane jest u chorych ze zmianami miażdżycowymi nie kwalifikującymi się do zabiegu operacyjnego lub z restenozami. Podawane są wówczas leki antyagregacyjne, hamujące odkładanie się płytek krwi i uwalnianie płytkowych czynników krzepnięcia.

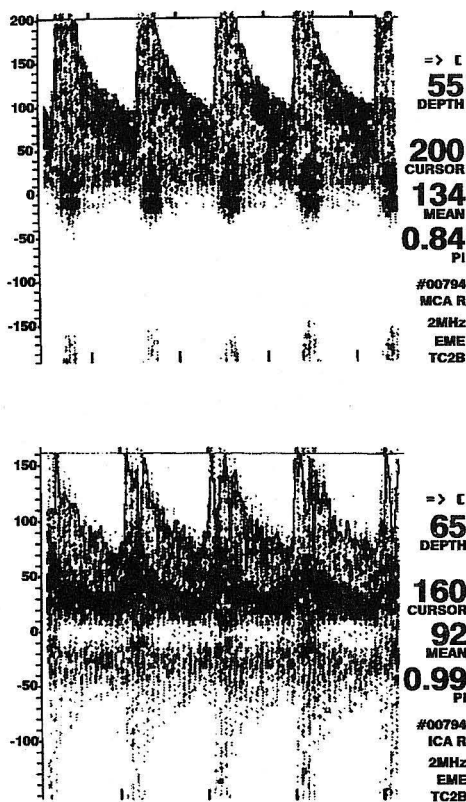
Skuteczność stosowanego leczenia oceniać można kolejnymi badaniami ultrasonograficznymi naczyń.

Zaburzenia przepływów zewnątrzczaszkowych powodują zakłócenia przepływów wewnątrzczaszkowych. Powodują je także patologie w obrębie naczyń mózgowych, w strukturach mózgu i w obrębie jamy czaszki.

Ocenę przepływów wewnątrzmożgowych umożliwiło wprowadzenie do diagnostyki dopplerowskiej, przez Aaslida i wsp. w roku 1982, impulsowej fali ultradźwiękowej o częstotliwości 2 Mhz (1).

Badania te wykonuje się przez tzw. okienka ultradźwiękowe:

- łuskę kości skroniowej, skąd uzyskuje się sygnał przepływu znad początkowych odcinków tętnic: środkowej, przedniej i tylnej mózgu, a także końcowego odcinka tętnicy szyjnej wewnętrznej,
- oczodół, skąd ocenia się przepływ przez tętnicę oczną, syfon tętnicy szyjnej wewnętrznej,
- otwór podpotyliczny, skąd ocenia się przepływ znad końcowych odcinków tętnic kręgowych i tętnicy podstawnej. Identyfikację każdego



Ryc. 7. Duże zwężenie początkowego odcinka t. środkowej mózgu prawej (turbulencja w sygnale akustycznym, duże prędkości i zaburzenia przepływu)

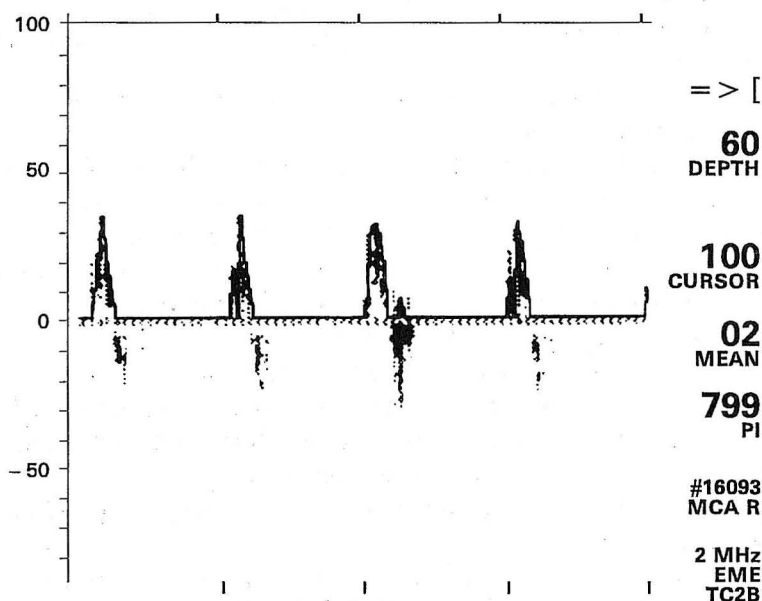
naczynia umożliwia znajomość głębokości penetracji wiązki ultradźwiękowej z jakiej uzyskuje się sygnał przepływu, kąt nachylenia sondy względem okienka oraz kierunek płynącej krwi – od lub do sondy (35).

Badanie przepływów wewnątrzczaszkowych pozwala na:

1. stwierdzanie skurczu naczyniowego i jego monitorowanie (2, 5, 7, 16, 26, 28)
2. rozpoznawanie anomalii naczyniowych wewnątrzczaszkowych (16, 22, 26, 39) (ryc. 5)
3. ujawnianie dróg krążenia obocznego (35, 36, 38) (ryc. 6)
4. stwierdzanie niedrożności i zwężeń wewnątrzczaszkowych (35) (ryc. 7)
5. monitorowanie pojemności rozkurczowej łożyska naczyniowego i ocenę rezerwy autoregulacji (4, 20, 27, 29)
6. obserwację chorych śród- i pooperacyjnie (8, 17)
7. monitorowanie pourazowego uszkodzenia mózgu (6)
8. diagnozowanie przetrwałego otworu owalnego (11, 25)
9. stwierdzanie zaburzeń przepływu kręgowo-podstawnego i „zespołu podkradania” przy patologii tętnicy podobojczykowej (13, 35)
10. potwierdzenie klinicznych objawów śmierci mózgu (26, 30, 35) (ryc. 8).

Istnieje możliwość kolorowego obrazowania przepływów wewnątrzczaszkowych (16). Ultrasonograficzne badanie naczyniowe, o ile to możliwe, powinno obejmować ocenę tętnic zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych (34).

Nieinwazyjność i powtarzalność ultrasonografii naczyniowej pozwala na wielokrotność jej zastosowania, co czyni tę metodę niezmiernie wartościową przy monitorowaniu procesu miażdżycowego naczyń, efektów jego leczenia, obserwacji chorych podczas i po zabiegach udrażniających.



Ryc. 8. Śmierć kliniczna mózgu

Piśmiennictwo

1. Aaslid R. i wsp.: Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J. Neurosurg.* 1982, 57, 769.
2. Aaslid R. i wsp.: Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound. *J. Neurosurg.* 1984, 60, 37.
3. Ackerman H. i wsp.: Ultrasonographia Follow – up of Subclavian Stenosis and Occlusion. Natural History and Surgical Treatment. *Stroke* 1988, 19, 431.
4. Chimowitz M.I. i wsp.: Transcranial Doppler assessment of cerebral perfusion reserve in patients with carotidocclusive disease and no evidence of cerebral infarction. *Neurology* 1993, 43, 353.
5. Czernicki Z.: Zastosowanie przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej w ocenie ciśnienia wewnątrzczaszkowego. *Neur. Neurochir. Pol.* 1992, 26, 375.
6. Czernicki Z.: Zmiany przepływu i mikrokrażenia mózgowego wywołane urazem czaszkowo-mózgowym. *Neur. Neurochir. Pol.* 1991, 25, 665.
7. Grosset. D. i wsp.: Use of transcranial Doppler sonography to predict development of a delayed ischemic deficit after subarachnoid hemorrhage. *J. Neurosurg.* 1993, 78, 183.
8. Halsey J. i wsp.: Blood velocity in the middle cerebral artery and regional cerebral blood flow during carotid endarterectomy. *Stroke* 1989, 20, 53.
9. Hilgertner L.: Postępy nieinwazyjnej diagnostyki zwężeń tętnic szyjnych. *Terapia* 1996, 11, 17.
10. Kaps M i wsp.: Transcranial Doppler ultrasound findings in middle cerebral artery occlusion. *Stroke* 1990, 21, 532.
11. Karnik R. i wsp.: Detection of patent foramen ovale by transcranial contrast Doppler ultrasound. *Am. J. Card.* 1992, 69, 560.
12. Keller H.M. i wsp.: Noninvasive angiography for the diagnosis of vertebral artery disease using Doppler – ultrasound (vertebral artery Doppler). *Stroke* 1976, 7.
13. Klingelhofer J. i wsp.: Transcranial Doppler ultrasonography of carotid-basilar collateral circulation in subclavian steal. *Stroke* 1988, 19, 1036.
14. Kohler T. i wsp.: Duplex scanning and spectral analysis. *Surgery for Cerebrovascular Disease* 1986, 24, 357.
15. Kruś S.: Podłoże morfologiczne zwężenia tętnicy szyjnej. *Terapia*, 1996, 11, 14.
16. Krzanowski M., Łuszczyska A.: Atlas ultrasonografii naczyń. *Medycyna Praktyczna*, Kraków 1996.
17. Leszczyński J. i wsp.: Odległe wyniki chirurgicznego leczenia zwężeń tętnicy szyjnej wewnętrznej. *Terapia* 1996, 11, 45.
18. Lindegaard K. i wsp.: Evaluation of cerebral AVMs using transcranial Doppler ultrasound. *J. Neurosurg.* 1986, 65, 335.
19. Lindegaard K.: Doppler diagnosis of artery occlusive disorders. *J. Neurol. Neurosurg Psychiatr* 1986, 49, 510.
20. Maeda H.: Reactivity of cerebral blood flow to carbon dioxide in various types of ischemic cerebrovascular disease: evaluation by the transcranial Doppler method. *Stroke* 1993, 24, 670.
21. Małek G.: Nowoczesne kierunki w ultrasonografii naczyń obwodowych. *Terapia* 1995, 3, 14.
22. Mast H. i wsp.: Transcranial Doppler Ultrasonography in Cerebral Arteriovenous Malformations. *Stroke* 1995, 26, 1024.
23. Muller H.R.: Doppler sonography. *Handbook of Clin. Neurology* 1989, 10, 1.
24. Nimura Y.: Studies on arterial flow patterns – instantaneous velocity spectrums and their phasic changes with directional ultrasonic in Doppler technique. *Brit. Heart J.* 1974, 38, 899.
25. Pasiński T. i wsp.: Znaczenie echokardiograficznego badania przepływowego w ustaleniu źródła zatoru mózgowego. *Kardiolog. Pol.* 1995, 43, 277.
26. Petty G. W. i wsp.: The role of transcranial Doppler in confirming brain death. *Neurology* 1990, 40, 300.
27. Provinciali L. i wsp.: A transcranial Doppler study of vasomotor reactivity in symptomatic carotid occlusion. *Cerebrovascular Dis.* 1993, 3, 27.

28. von Reutern G. M., von Budingen H.J.: *Ultrasound Diagnosis of Cerebrovascular Disease. Doppler Sonography of the Extra – and Intracranial Arteries, Duplex Scanning.* Georg Thieme Verlag Stuttgart. New York, 1993.
29. Ringelstein E. B. i wsp.: Noninvasive assessment of CO₂ – induced cerebral vasomotor response in normal individuals and patients with internal carotid artery occlusions. *Stroke*, 1988, 19, 963.
30. Ropper A. i wsp.: Transcranial Doppler in brain death. *Neurology* 1987, 37, 1733.
31. Rozenfeld A. i wsp.: Przydatność ultrasonograficznej oceny gałęzi tętnicy ocznej met. Dopplera w diagnostyce dużych zwężeń i niedrożności tętnicy szyjnej wewnętrznej. *Neur. Neurochir. Pol.* 1988, 22, 377.
32. Rozenfeld A. i wsp.: Znaczenie badania USG met. Dopplera w diagnostyce małych i średnich zmian w tętnicach szyjnych wewnętrznych. *Neur. Neurochir. Pol.* 23, 180.
33. Rozenfeld A. : Gałęzie tętnicy ocznej w badaniu USG met. Dopplera. *Neur. Neurochir. Pol.* 1991, 25, 239.
34. Rozenfeld A.: Ultrasonografia (USG) w diagnostyce naczyniowej – rola łącznej oceny przepływów zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych metodą dopplerowską (USG-D). *Neur. Neurochir. Pol.* 1994, supl., 51.
35. Rozenfeld A.: Znaczenie ultrasonografii w diagnostyce naczyniowej. *Postępy Psychiatrii i Neurologii* 1995, 4, 7.
36. Ryglewicz D. i wsp.: Drogi krążenia obocznego u chorych z niedrożnością tętnicy szyjnej wewnętrznej w zależności od lokalizacji ogniska niedokrwiennego w mózgu. Badanie ultrasonograficzne. *Neur. Neurochir. Pol.* 1993, 27, 633.
37. Rubin J.M.: Power Doppler US: a potentially useful alternative to mean frequency based color Doppler US. *Radiology* 1994, 190, 853.
38. Schneider P. i wsp.: Effect of internal carotid artery occlusion on intracranial hemodynamics. *Stroke* 1988, 19, 589.
39. Schwartz A. i wsp.: Noninvasive transcranial Doppler ultrasound in intracranial aneurysms. *Neurology* 1986, 36, 626.
40. Widder B. i wsp.: Morphological characterization of carotid artery stenoses by ultrasound duplex scanning. *Ultrasound Md. Biol.* 1990, 16, 349.