

Julitta Okrój-Lubecka<sup>1</sup>,  
Edyta Szurowska<sup>2</sup>,  
Grzegorz Kozera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Oddział Neurologiczny i Udarowy,  
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny w Słupsku

<sup>2</sup>II Zakład Radiologii, Gdański Uniwersytet  
Medyczny

<sup>3</sup>Katedra Neurologii, Klinika Neurologii Dorosłych,  
Gdański Uniwersytet Medyczny

# Metody neuroobrazowania ostrej fazy udaru niedokrwiennego mózgu w praktyce klinicznej

## Neuroimaging of acute ischaemic stroke in clinical practice

### STRESZCZENIE

Metody neuroobrazowania stanowią wiodący element diagnostyki nadostrej fazy udaru niedokrwiennego mózgu i odgrywają kluczową rolę w kwalifikacji chorych do terapii trombolitycznej — najskuteczniejszej metody leczenia udaru niedokrwiennego mózgu. Do standardowych metod diagnostycznych stosowanych w pierwszych godzinach od wystąpienia udaru mózgu należą: tomografia komputerowa (CT), rezonans magnetyczny (MRI), angiografia CT i MRI (angio-CT/MRI), badania dopplerowskie oraz opcjonalnie angiografia subtrakcyjna. Zastosowanie tych metod pozwala w sposób czuły i specyficzny diagnozować ostre incydenty mózgowo-naczyniowe. Szczególną przydatnością w diagnostyce wczesnych zmian niedokrwienych cechuje się badanie MRI z oceną perfuzji i dyfuzji, pozwalające wykryć ognisko niedokrwienia już w pierwszych minutach choroby. Spośród metod czynnościowej oceny przepływu mózgowego szczególnie pomocna jest przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska (TCD), która pozwala na nieinwazyjną ocenę przepływu krwi w naczyniach mózgowych w czasie rzeczywistym. W niniejszym artykule autorzy przedstawiają szczegółowy przegląd metod neuroobrazowania aktualnie stosowanych w diagnostyce i terapii ostrej fazy udaru niedokrwiennego mózgu.

Forum Medycyny Rodzinnej 2015, tom 9, nr 6, 460–470

słowa kluczowe: udar mózgu, perfuzja-CT, angio-CT, perfuzja-MRI, angio-MRI, dyfuzja MRI (DWI), cyfrowa angiografia subtrakcyjna (DSA), przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska (TCD)

### ABSTRACT

Neuroimaging techniques are the leading element in the diagnosis of acute ischaemic stroke and play the key role in qualifying patients for thrombolytic therapy, which is the most effective method for the treatment of ischaemic stroke. Diagnostic standards for the acute phase of ischaemic stroke recommend the use of CT (computer tomography), MRI (magnetic resonance imaging), angio-CT/MRI (CT/MRI angiography), Doppler ultrasound

#### Adres do korespondencji:

lek. Julita Okrój-Lubecka  
Oddział Neurologiczny i Udarowy,  
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny  
im. Janusza Korczaka w Słupsku  
tel.: 661-564-500  
e-mail: j.oklub@wp.pl

and, optionally, DSA (digital subtraction angiography). The use of these techniques allows for a detailed and specific diagnosis of acute cerebrovascular episodes. Diffusion- and perfusion-weighted MRI, enabling the detection of ischaemia at the very early stages of the disease is particularly useful in the diagnosis of the acute phase of ischaemic stroke. One of the useful methods for the functional assessment of cerebral flow is transcranial Doppler (TCD), which enables real-time non-invasive monitoring of blood flow in the brain vessels. In this paper the authors present a detailed overview of neuroimaging techniques currently used for the diagnosis and treatment of the acute phase of ischaemic stroke.

Forum Medycyny Rodzinnej 2015, vol 9, no 6, 460–470

**key words:** stroke, perfusion CT, angio CT, perfusion MRI, angio MRI, diffusion-weighted imaging (DWI), digital subtraction angiography (DSA), transcranial Doppler (TCD)

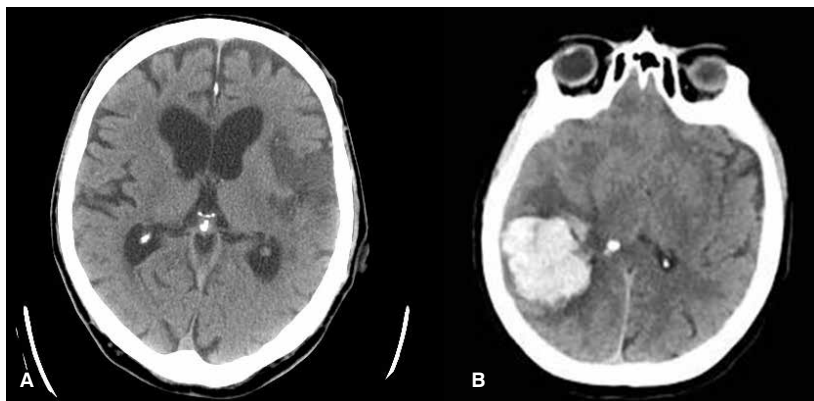
## WSTĘP

Udar mózgu jest to zespół objawów o charakterze ogniskowym i globalnym, o nagłym początku, wywołany zaburzeniami krążenia mózgowego [1, 2]. W związku z dynamicznym rozwojem metod diagnostycznych oraz wprowadzeniem skutecznego i specyficznego leczenia ostrej fazy udaru termin ten obecnie zastępowany jest pojęciem ostrego incydentu mózgowo- naczyniowego, którego ewolucja w zależności od końcowego efektu leczenia wprowadza dopiero rozpoznanie udaru dokonanego. Zmieniła się także definicja przemijającego napadu niedokrwiennego (TIA, *transient ischaemic attack*), definiowanego obecnie jako ostry incydent przemijającego ogniskowego uszkodzenia układu nerwowego o etiologii niedokrwiennej, którego objawy ustępują w ciągu godziny, a nie jak uprzednio stanowiono w ciągu 24 godzin [3, 4].

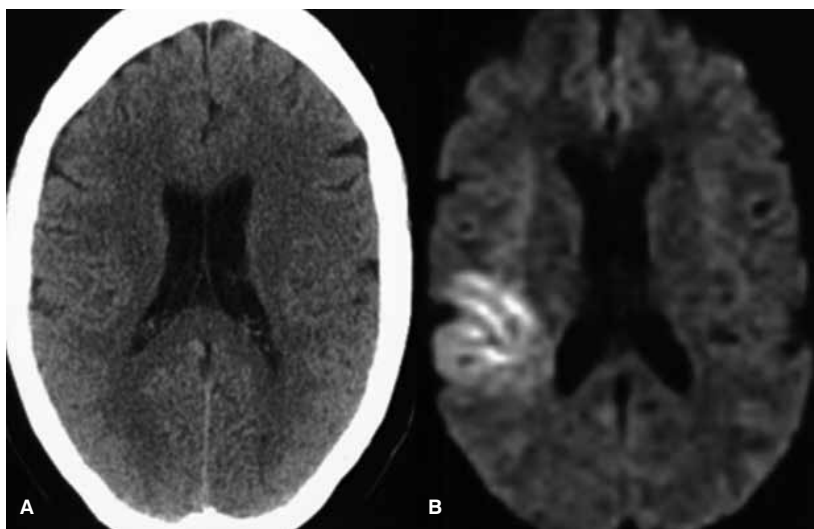
Udar mózgu jest istotnym wyzwaniem społecznym i medycznym. Choroba ta obarczona jest śmiertelnością wahającą się od 10% do 30%, ponadto 2/3 chorych, którzy przeżyją dotkniętych jest utrwalonymi deficytami ruchowymi i poznawczymi [5, 6]. Skuteczne leczenie udaru niedokrwiennego mózgu możliwe jest jedynie w pierwszych godzinach od zachorowania, co odzwierciedla hasło „czas to mózg”, ponieważ okno czasowe trombolizy

systemowej, będącej najskuteczniejszą metodą terapii udaru niedokrwiennego mózgu, wynosi w chwili obecnej 4,5 godziny od wystąpienia objawów.

W kwalifikacji pacjentów do leczenia trombolitycznego udaru niedokrwiennego mózgu kluczową rolę odgrywają metody neuroobrazowania. Rutynowo stosowanym badaniem jest tomografia komputerowa (CT, *computed tomography*) głowy bez kontrastu, która pozwala na wykluczenie udaru krwotocznego, stanowiącego przeciwwskazanie do leczenia trombolitycznego i w ograniczonym zakresie, uwidocznienie wczesnych objawów niedokrwienia mózgu (ryc. 1). Metodą o większej czułości i specyficzności w diagnostyce ostrych zaburzeń przepływu mózgowego jest badanie rezonansu magnetycznego (MRI, *magnetic resonance imaging*) z opcją perfuzji i dyfuzji, umożliwiającą określenie rzeczywistego obszaru zaburzeń krążenia mózgowego oraz ich tkankowych konsekwencji, to jest obszaru dokonanej martwicy (ryc. 2). W kwalifikacji pacjentów do leczenia trombolitycznego pomocna jest również przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska (TCD), która pozwala na stwierdzenie zaburzeń przepływu mózgowego w naczyniach mózgowia w czasie rzeczywistym, w szczególności wykrycie niedrożności dużych naczyń koła tętniczego — Willisa choroby.



**Rycina 1.** Ognisko niedokrwienne lewej półkuli mózgu w badaniu CT głowy (A) oraz ognisko krwotoczne półkuli mózgu prawej (B)



**Rycina 2.** Udar niedokrwienny — faza nad ostra: CT v. MRI DWI (badanie wykonane < 8 godz. po wystąpieniu objawów): badanie CT głowy nie wykazało obszaru niedokrwiennego (A); w wykonanym badaniu MRI w sekwencji DWI stwierdzono obszar hiperintensywny (B)



**Rycina 3.** Udar krwotoczny wzgórza w badaniu CT mózgowia

### TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA (CT)

Badanie CT głowy bez kontrastu (tzw. przeglądowa CT) jest metodą stosowaną rutynowo w rozpoznawaniu wczesnej fazy udaru mózgu i jest jedynym badaniem radiologicznym wymagającym w standardach opisujących zasady kwalifikacji pacjenta do leczenia trombolitycznego. Badanie to pozwala w krótkim czasie uwidocznienie świeżego krwawienia śródczaszkowego (ryc. 3), będącego jednym głównych przeciwwskazań do terapii trombolitycznej. Zaletą tej metody jest nieinwazyjność, krótki czas badania (co bardzo ułatwia diagnostykę chorych pobudzonych, z utrudnionym kontaktem oraz skracza czas wykonywania badań diagnostycznych) oraz niska cena i duża dostępność.

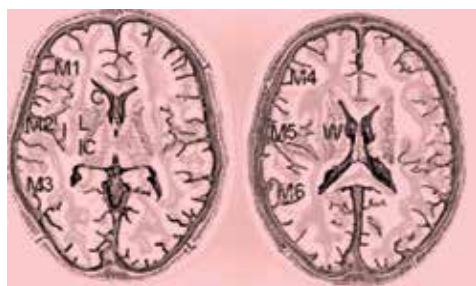
W przypadku masywnych udarów z zakresu unaczynienia tętnicy mózgu środkowej (MCA) zmiany niedokrwienne można uwidocznnić w przeglądowej CT nawet u 75% pacjentów, a obraz hiperdensyjnej tętnicy mózgu środkowej, świadczący o niedrożności naczynia w segmentach M1/M2, jest obecny u 30–75% chorych (ryc. 4). Diagnostyka tomograficzna ogniska zawałowego może być uzupełniona o ocenę półilościową przy użyciu skali ASPECTS (*Alberta Stroke Program Early CT Score*) — 10-punktowej skali, umożliwiającej oszacowanie rozległości i zaawansowania strefy niedokrwiennego [8, 9] (ryc. 5). Ograniczeniem badania CT jest fakt, że wczesne zmiany niedokrwiennego mózgowia w przeglądowej CT są niekiedy dyskretne, tak więc ich wykrywalność może być uwarunkowana doświadczeniem opisującego badanie radiologa, ponadto ogniska zawałowe w móżdżku i pniu mózgu są gorzej widoczne, ze względu na artefakty od struktur kostnych, co istotnie zmniejsza przydatność badania CT w diagnostyce udarów pnia mózgu [10].

### ANGIOGRAFIA TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ (ANGIO-CT)

Metoda ta stanowi cenne uzupełnienie diagnostyki przeglądowej, umożliwia szybką i pre-



**Rycina 4.** Objaw hiperdensyjnej tętnicy środkowej mózgu lewej w obrazie CT mózgowia



**Rycina 5.** Schemat protokołu ASPECTS (*Alberta Stroke Program Early CT Score*) — system oceny punktowej zaawansowania wczesnych zmian niedokrwiennej w wybranych obszarach w dorzeczu unaczynienia tętnicy środkowej mózgu (M1-M6)

czyjną lokalizację niedrożności lub zwężenia naczynia krwionośnego oraz wykrycie dróg krążenia obocznego (ryc. 6). Dlatego dodatkowe wykonanie angio-CT wraz z badaniem przeglądowym może istotnie ułatwić decyzję odnośnie leczenia trombolitycznego, w szczególności wybór między trombolizą systemową (dożylną) a bardziej skuteczną w przypadku niedrożności dużych naczyń trombolizą dotętniczną lub mechaniczną trombektomią (podanie leku lub usunięcie skrzepliny za pomocą cewnika wprowadzonego bezpośrednio do niedrożnego naczynia). Wadą angio-CT jest konieczność podania dożylnego środka kontrastującego mogącego wywoływać reakcje



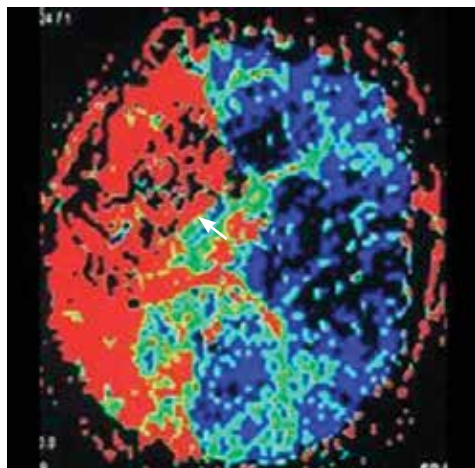
**Rycina 6.** Niedrożność lewej tętnicy środkowej mózgu w obrazie angio-CT

uczuleniowe oraz, według części autorów, mogącego wpływać na parametry przepływu mózgowego. Dodatkowo badanie angio-CT wydłuża czas wykonywania procedur diagnostycznych o kilka minut.

#### **PERFUZJA TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ (PERFUZJA-CT)**

Badanie polega na wykonaniu standardowego CT mózgowia uzupełnionego śledzeniem przepływu środka kontrastującego w wybranych obszarach OUN w czasie. Metoda ta opiera się na ocenie tak zwanej zmiany współczynnika osłabienia liniowego tkanki mózgowej po podaniu kontrastu. Technika ta pozwala na obrazowanie przepływu w poszczególnych obszarach mózgowia i dokładną ocenę obszaru niedokrwienia poprzez uwidocznienie obszaru o zaburzonej perfuzji (ryc. 7). Ponadto angio-CT umożliwia ocenę tak zwanej penumbry, czyli obszaru unaczynienia o obniżonej perfuzji, zagrożonego wystąpieniem trwałego niedokrwienia. Dzięki temu możliwe jest wdrożenie odpowiednio wcześniej leczenia pozwalającego na uratowanie zagrożonej tkanki mózgowia.

Ocena współczynnika osłabienia promieniowania umożliwia pomiar w wybranych obszarach zainteresowania (ROI, *region*



**Rycina 7.** Mapa MTT średniego czasu przejścia ukazująca zwolnioną perfuzję w obrębie prawej półkuli mózgu

of interest) takich parametrów, jak: ilościowy przepływ mózgowy (CBF, *cerebral blood flow*), średni czas przejścia (MTT, *mean transit time*), czas dojścia środka kontrastującego do obszaru pomiaru (TTP, *time to peak*) czy też objętość krwi w obszarze pomiaru (CBV, *cerebral blood volume*) oraz przedstawienie tych parametrów za pomocą tak zwanych kolorowych map perfuzji [11–13].

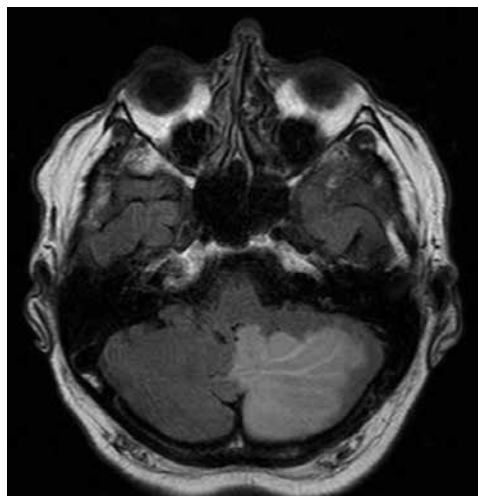
Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że perfuzja CT jest stosunkowo rzadko stosowana w diagnostyce udaru niedokrwienego mózgu, najczęściej ze względu na brak wyposażenia aparatów CT w odpowiednie oprogramowanie i własnych doświadczeń ośrodków, a także na dużą dawkę promieniowania, jaką otrzymywał chorych w starszych modelach systemów CT oraz opisywaną neurotoksyczność środków kontrastujących. Jednak powyższe stwierdzenie potwierdzono tylko w przypadku jonowych jodowych środków kontrastowych, natomiast niejonowe środki kontrastowe nie wpływają na śmiertelność okołoudarową ani na wielkość ogniska zawałowego [14, 15]. Obecnie wiele ośrodków udarowych w Europie Zachodniej perfuzyjne badania CT przy użyciu niejonowych środków kontrastowych stosuje jako metodę z wyboru w neuroobrazowaniu ostrej fazy udaru niedokrwienego mózgu.



**Rycina 8.** Ognisko niedokrwienia w rdzeniu przedłużonym po stronie lewej w obrazie MRI u pacjenta z zespołem Wallenberga (w badaniu CT nie wykazano zmian)

### REZONANS MAGNETYCZNY (MRI)

Badanie MRI mózgowia lepiej obrazuje różnice między tkanką prawidłową a niedokrwioną w porównaniu z CT ze względu na jego lepszą rozdzielczość przestrzenną oraz możliwość zastosowania nowoczesnych sekwencji czynnościowych. Badanie MRI jest metodą z wyboru w ocenie tylnej jamy czaszki i podstawy czaszki. Główną zaletą MRI w obrazowaniu mózdzku i pnia mózgu jest nie tylko zdecydowanie wyższa rozdzielczość kontrastowa, ale również brak artefaktów na granicy tkanki kostnej i mózgowej, które utrudniają wizualizację tych struktur w badaniu CT (ryc. 8). W obrazowaniu udaru niedokrwienego z tylnej jamy czaszki bardzo przydatna jest ocena w kilku płaszczyznach (przekroje poprzeczne, czołowe i strzałkowe), co jest dodatkową zaletą MRI. Dlatego MRI ze względu na dużo dokładniejszą ocenę tylnej jamy czaszki w porównaniu z CT jest rutynowo zalecane w przypadku podejrzenia udaru niedokrwienego pnia mózgu [16]. Duża rozdzielczość MRI umożliwia także uwidocznienie zawałów lukanarnych, które na niewielki efekt masy i mały rozmiar są trudniej rozpoznawane w CT.



**Rycina 9.** Zawał mózdzku w obszarze unaczynienia tętnicy tylnej dolnej mózdzku oraz robaka w obrazie MRI

W ocenie mózgowia rutynowo stosowane są sekwencje inwersji i powrotu (FLAIR, *fluid inversion recovery*), szybkiego echa spinowego (FSE, *fast spin echo*; TSE, *turbo spin echo*) oraz echa spinowego (SE, *spin echo*), które cechują się wysoką czułością w obrazowaniu zmian naczyniopochodnych [17]. W ciągu około 4–8 godzin od wystąpienia pierwszych objawów udaru mózgu pierwsze zmiany niedokrwienne pojawiają się w sekwencji FLAIR, charakteryzujące się wysokim sygnałem (ognisko hiperintensywne) (ryc. 9). Następnie, w kolejnych godzinach, objawy niedokrwienia widoczne są w obrazach T2- i T1-zależnych. Cechą, która ułatwia rozpoznanie udaru w MRI są towarzyszący mu obrzęk oraz efekt masy widoczny w sekwencji FLAIR, który w zależności od rozmiaru i lokalizacji ogniska zawałowego może występować z różną częstością i często wyprzedza obecność zmian niedokrwiennych.

Rozpoznanie ostrej fazy udaru mózgu w MRI dodatkowo ułatwia obecność nieprawidłowego, podwyższonego sygnału naczynia tętniczego w obrazach Pd- i T2-zależnych (co odpowiada hiperdensyjnej tętnicy w obrazie CT). Badanie MRI umożliwia zobrazowanie nieprawidłowego naczynia już

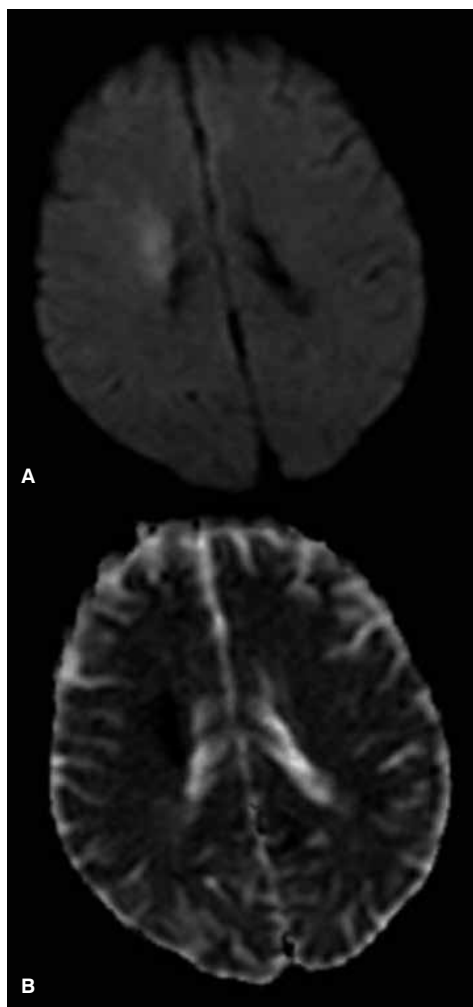
w kilka minut od wystąpienia niedrożności. W różnicowaniu ognisk niedokrwiennych ze zmianami rozrostowymi pomocne jest badanie ze wzmocnieniem kontrastowym.

### **DYFUZJA MRI (DWI)**

Badanie DWI (*diffusion-weighted imaging*) jest bardzo czułą metodą, która pozwala na rozpoznanie udaru już w kilka minut od wystąpienia jego klinicznych objawów. Oparte jest na obrazowaniu dyfuzji, czyli chaotycznych, samoistnych ruchów cząsteczek wody (tzw. ruchów Browna). Udar niedokrwienny mózgu wiąże się z zaburzeniami czynności kanałów sodowo-potasowych. To zachwianie równowagi prowadzi do przeładowania komórek przez kationy sodowe, które pociągają za sobą cząsteczki wody, co w konsekwencji wywołuje obrzęk cytotoksyczny. W związku z powyższym dyfuzja wody w komórkach objętych obrzękiem jest dużo gorsza niż w zdrowej tkance, co obrazuje DWI. Spadek dyfuzji może również powodować obniżenie temperatury w obszarze niedokrwienia, wykrywany także za pomocą MRI.

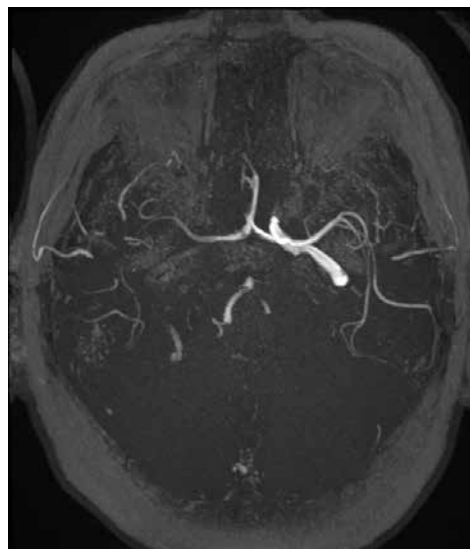
Obszary ograniczonej dyfuzji uwidocznione na obrazach DWI już w pierwszych godzinach a nawet minutach od wystąpienia klinicznych objawów udaru cechują się zwiększoną intensywnością sygnału. Interpretując obrazy DWI, należy jednak uwzględnić zjawisko „przeświecania” (*T2 shine-through*) powodowany przez zmiany hiperintensywne na obrazach T2-zależnych (np. stare ogniska udarowe), które także wykazują zwiększony sygnał również na obrazach DWI. Dlatego w celu prawidłowej interpretacji zaburzeń dyfuzji należy posłużyć się współczynnikiem efektywności dyfuzji (ADC, *apparent diffusion coefficient*) oraz tak zwaną mapą ADC, na której ogniska hipointensywne są obszarami rzeczywistego spadku dyfuzji w obszarze niedokrwienia (niska wartość ADC) (ryc. 10) [18].

Wyniki dotychczasowych badań potwierdzają 90-procentową skuteczność obrazowa-



**Rycina 10.** Ostre niedokrwienie mózgu w badaniu MRI — w sekwencji DWI sygnał hiperintensywny (A), odpowiada temu niski (hipointensywny) sygnał na mapie ADC (B)

nia DWI/ADC w obrazowaniu zmian niedokrwiennych w fazie nadostrej. Z uwagi na fakt, iż ognisko niedokrwienne wraz z upływem czasu od jego wystąpienia zmienia swoje charakterystyczne cechy z obrzęku cytotoksycznego przez obrzęk naczyniopochodny do końcowej lizy neuronów i powstania gliozy, proces ten niesie za sobą zmianę sygnału ogniska niedokrwienego w obrazach DWI. W końcu fazy ostrej udaru przyjmuje sygnał izointensywny, a w fazie przewlekłej, gdy ruchliwość cząsteczek wody zwiększa się — hipointensywny. Sygnał na mapie ADC również zmienia swój charakter na hiperintensywny.



**Rycina 11.** Niedrożność szczytu tętnicy podstawnej mózgu w badaniu angio-MR (brak przepływu w tętnicach mózgu tylnych)

#### ANGIOGRAFIA REZONANSU MAGNETYCZNEGO (ANGIO-MRI)

Angio-MRI to nieinwazyjne badanie, w którym do obrazowania naczyń krwionośnych wykorzystuje się angiografię czasu przejścia (TOF, *time of flight*) i fazy kontrastu (PC, *phase contrast*). Badanie TOF umożliwia ocenę tętnic i żył dzięki wzmocnieniu sygnału od przepływającej krwi, dlatego technika ta nie wymaga podania kontrastu (ryc. 11). Wadą tej metody jest fakt, że przy wolnym przepływie krwi przez naczynie nie można odróżnić niedrożności od znacznego zwężenia. W technice PC, wykonywanej z użyciem kontrastu paramagnetycznego (gazolinowego), otrzymuje się silny sygnał płynącej krwi, dlatego nie ma tak silnej zależności między prędkością przepływu a otrzymanym sygnałem. Niewątpliwym minusem badania angio-MRI jest długi czas badania oraz duża wrażliwość na artefakty ruchowe i dlatego angio-MRI jest tylko w 86% jej zgodna z wynikami klasycznej angiografii kontrastowej [19].

#### PERFUZJA REZONANSU MAGNETYCZNEGO (PERFUZJA-MRI)

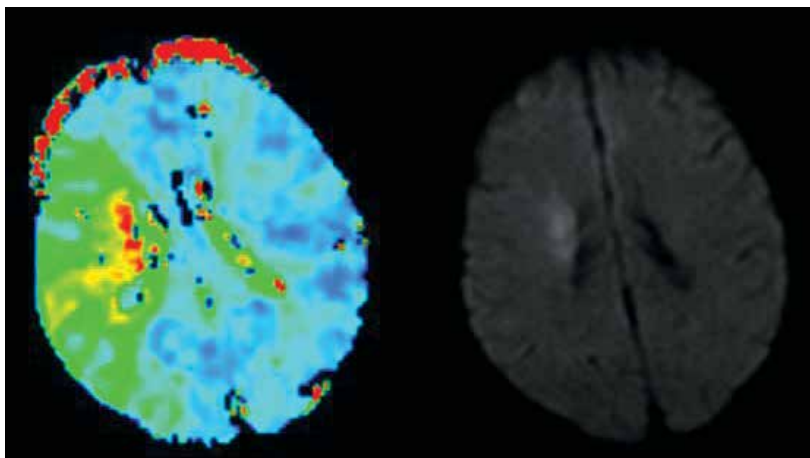
Technika perfuzji MRI umożliwia ocenę przepływu tkankowego krwi w mózgu. W tej me-

todzie stosuje się techniki wzmocnienia kontrastującego — technikę pierwszego przejścia (DSC, *dynamic susceptibility contrast imaging*), znakowania spinów krwi tętniczej (ASL, *arterial spin labeling*) oraz BOLD-MRI (obrazowanie zależne od poziomu utlenowania krwi) [20, 21]. Najczęściej stosowana technika DSC wykorzystuje zmiany sygnału wywołane przepływającym przez naczynie paramagnetykiem, natomiast metoda ASL, wykorzystując wodę zawartą we krwi, znakuje ją pulsacyjną energią o częstotliwości radiowej. W sekwencji BOLD ocenia różny stopień utlenowania hemoglobiny — jej właściwości magnetyczne. Różnica stosunku stężeń między deoksyhemoglobina (zredukowana forma hemoglobiny, paramagnetyk) a oksyhemoglobina (diamagnetyk) powoduje różnice intensywności sygnału w obrazach T2-zależnych.

Metody MRI pozwalają na zobrazowanie wczesnych zmian niedokrwiennych i ocenę penumbry (tkanki ze zwiększonym ryzykiem niedokrwienia) przy użyciu oceny tak zwanej *miss-match* DWI/PWI, czyli różnicy między obszarem o zmniejszonym przepływie krwi widocznym w sekwencjach perfuzyjnych a obszarem występowania zaburzeń dyfuzji (dokonanego uszkodzenia neuronów) wykazanych w obrazach DWI (ryc. 12). Ta niezwykle czuła technika jest coraz częściej wykorzystywana w diagnostyce ostrej fazy udaru mózgu i kwalifikacji pacjentów do leczenia trombolitycznego jako narzędzie wspomagające rutynowe metody neuroobrazowania ostrej fazy udaru, mimo dłuższego czasu potrzebnego na wykonanie badania oraz wzrostu kosztów diagnostyki.

#### **CYFROWA ANGIOGRAFIA SUBTRAKCYJNA (DSA)**

Cyfrowa angiografia subtrakcyjna (DSA, *digital subtraction angiography*) pozwala na uzyskanie dokładnego obrazu naczyń o niezwykle wysokiej rozdzielczości przestrzennej przy użyciu znacznie mniejszych dawek promieniowania oraz środka kontrastującego w porównaniu z klasyczną angiografią. Dlatego metoda ta jest nadal rutynowo stosowana w diagnostyce



**Rycina 12.** Udar niedokrwienny w fazie nad ostrej w prawej półkuli mózgu — widoczny *miss-match* DWI/PWI (różnica między obszarem o zmniejszonym przepływie krwi widocznym w sekwencjach perfuzyjnych (A) a obszarem występowania zaburzeń dyfuzji (B))

udar krwotocznego i krwawienia podpajęczynówkowego, w szczególności w celu wykrycia malformacji naczyniowych (tętniaków, malformacji tętniczo-żylnych czy naczyniaków żylnych oraz naczyń zaopatrujących) i określenia ich dokładnej lokalizacji i morfologii.

W przypadku udaru niedokrwiennego angiografia kontrastowa jest podstawowym elementem technik leczenia inwazyjnego (mechanicznej trombektomii oraz trombolizy celowanej dotętnicznej), których niewątpliwie zaletą jest większa skuteczność w porównaniu z trombolizą dożylną (systemową) w udrażnianiu dużych naczyń mózgowia [22] (ryc. 13). Angiografia kontrastowa jest także bardzo pomocna w wyjaśnieniu niejasności w obrazie angio-CT czy też angio-MR. Wadą angiografii klasycznej jest jej koszt, ryzyko wystąpienia udaru zatorowego oraz konieczność podania kontrastu, ograniczeniem jest także wysoki koszt sprzętu i konieczność posiadania wysokich kwalifikacji przez personel pracowni.

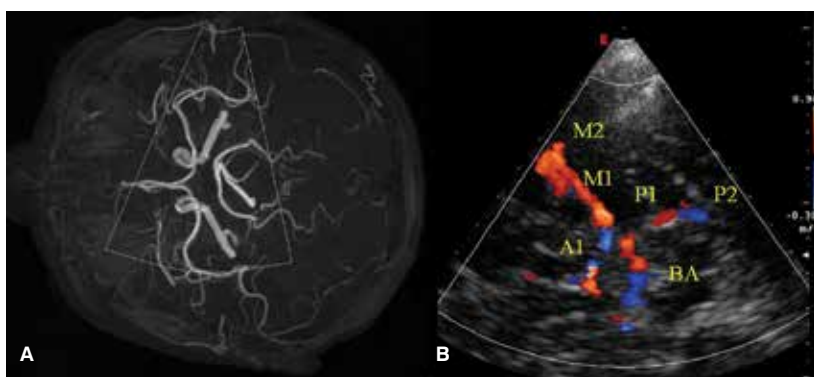
#### **PRZECZASZKOWA ULTRASONOGRAFIA DOPPLEROWSKA (TCD)**

Przeznaczskowe USG jest metodą, która łącząc w sobie ocenę strukturalną oraz funkcjonalną krążenia mózgowego pozwala nieinwazyjnie ocenić przepływ w naczyniach



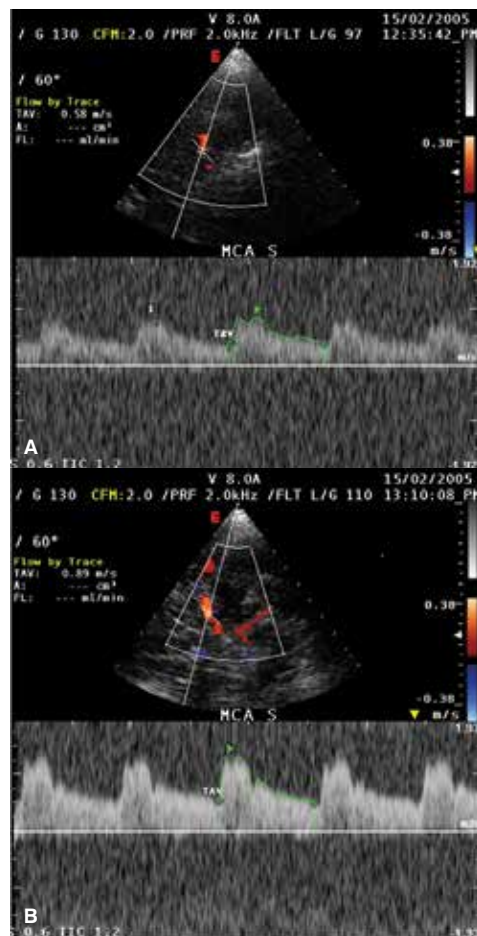


**Rycina 13.** Cyfrowa angiografia subtrakcyjna ukazująca okluzję szczytu tętnicy podstawnej mózgu



**Rycina 14.** Koło tętnicze mózgu w angiografii MRI (A) oraz w obrazie przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kolorowym kodowaniem przepływu (B)/badanie przez okno skroniowe: MCA — tętnica mózgu środkowa; ACA — tętnica mózgu przednia; PCA — tętnica mózgu tylna; BA — tętnica podstawna

koła Willisa w czasie rzeczywistym (ryc. 14). Przechczaszkowa ultrasonografia dopplerowska (TCD, *transcranial Doppler*) i przechczaszkowa ultrasonografia dopplerowska z kolorowym kodowaniem przepływu (TCCD, *transcranial color-coded duplex*) umożliwiają dynamiczną rejestrację zmian przepływu krwi w naczyniach koła Willisa w ostrej fazie udaru mózgu. Dlatego badania dopplerowskie mogą znacząco uzupełnić badanie angiograficzne (angio-CT, angio-MR), a z racji ich nieinwazyjności oraz braku konieczności podawania środków kontrastowych stanowią dla nich często racjonalną alternatywę. Ponieważ USG pozwala na szybką, nieinwazyjną diagnostykę zaburzeń przepływu u pacjentów w ostrej fa-



**Rycina 15.** Badanie USG przezczaszkowe dupleksowe u pacjenta z udarem niedokrwiennym lewej półkuli mózgu zakwalifikowanego do leczenia trombolitycznego — przed leczeniem przepływ w odcinku proksymalnym tętnicy środkowej mózgu obniżony, brak przepływu w odcinku dystalnym naczynia (punktacja w skali TIBI 3) (A); po leczeniu przywrócony przepływ w odcinku dystalnym naczynia oraz obecna poprawa parametrów przepływu w odcinku proksymalnym (punktacja w skali TIBI 5) (B)

zie udaru, stanowią one doskonałe narzędzie monitorowania skuteczności leczenia trombolitycznego, pozwalając na natychmiastowe uwidocznienie rekanalizacji naczyń po podaniu fibrynolityka (ryc. 15). Ocenę ilościową parametrów przepływu w naczyniach mózgowych w trakcie leczenia trombolitycznego wykonuje się na podstawie klasyfikacji TIBI (*Thrombolysis in Brain Ischemia*) (tab. 1). Metoda ta ma udowodnioną wartość praktyczną i jest obecnie rutynowo stosowana w diagnostyce udaru niedokrwiennego mózgu w oddziałach udarowych. Należy podkreślić, iż doświadczo-

**Tabela 1**

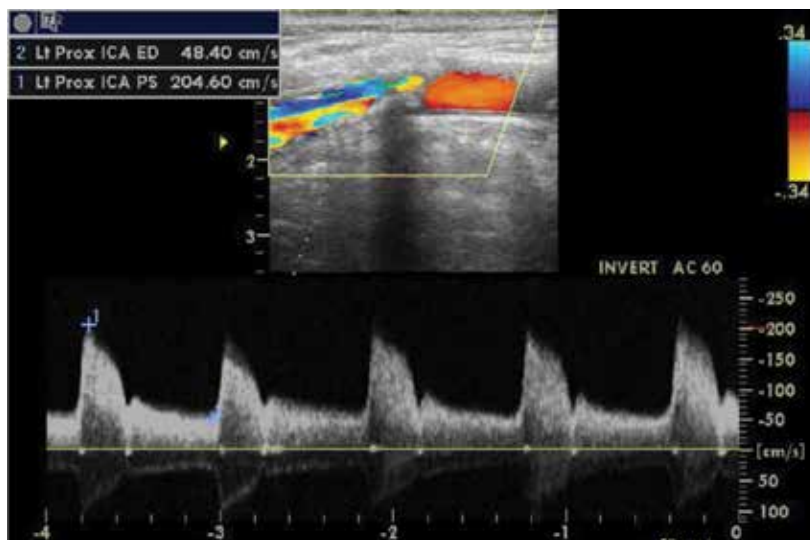
**Klasyfikacja TIBI (Trombolysis in  
Brain Ischemia) według Demchuk  
i wsp. [26]**

Grupa 0 — brak przepływu w danej tętnicy, ale przepływ obecny w pozostałych tętnicach
Grupa 1 — przepływ minimalny
Grupa 2 — przepływ słaby
Grupa 3 — przepływ obniżony
Grupa 4 — przepływ stenotyczny
Grupa 5 — przepływ normalny

ny ultrasonografista może wykonać badanie w czasie nieprzekraczającym 15 minut, nie ingerując w proces leczenia trombolitycznego bądź dalszej diagnostyki [23, 24]. Aktualnie za pomocą skali TIBI ocenia się nie tylko stopień uzyskanej rekanalizacji, ale również wyjściowo określa się zakres zaburzeń przepływu, który koreluje z ostatecznym rokowaniem terapii. Standardowo przezczaszkowe USG uzupełniane jest oceną USG dupleks naczyń domózgowych zewnątrzczaszkowych w celu wykrycia potencjalnej przyczyny udaru, takich jak zwężenie lub okluzja naczyń zewnątrzczaszkowych, rozwarstwienie tętnicy i zapalenie naczyń (ryc. 16).

Wykonując przezczaszkowe USG na podstawie tak zwanego protokołu szybkiej ścieżki (jak najszybsza ocena miejsca niedrożności) badanie rozpoczyna się od najbardziej prawdopodobnego miejsca wystąpienia patologii, wstępnie ustalonego na podstawie objawów klinicznych. Powyższe postępowanie w znaczący sposób skraca rozpoznanie miejsca niedrożności oraz umożliwia błyskawiczne określenie czy chory kwalifikuje się do leczenia trombolitycznego [25].

Ograniczeniami badań TCD i TCCD jest obecność nieprzeziernych okien kostnych czaszki u około 15% chorych, co uniemożliwia ocenę przepływów wewnątrzczaszkowych oraz fakt, że wynik badania w dużej mierze zależy od doświadczenia wykonującego badanie. Niemniej badanie ultrasonograficzne naczyń podstawy mózgu pozostaje najlepszym narzędziem do przyłóżkowej oceny stanu hemody-



**Rycina 16.** Badanie USG dupleks tętnic domózgowych u chorego z udarem niedokrwiennym mózgu — widoczne zwężeniem 50–69% lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej

namicznego krążenia mózgowego w ostrej fazie udaru mózgu [26].

#### **PODSUMOWANIE**

Udar mózgu stanowi jedno z kluczowych wyzwań dla współczesnej medycyny. Dynamiczny rozwój skutecznych form terapii ostrej fazy udaru niedokrwiennego mózgu w dużej mierze możliwy jest dzięki dynamicznemu rozwojowi nowoczesnych metod neuroobrazowania. Komplementarne użycie CT, MRI, metod neurosonologicznych, a w wybranych przypadkach badań z podaniem środków kontrastujących, takich jak angio-CT i angiografii kontrastowej pozwala na skuteczną i precyzyjną diagnostykę ostrych incydentów mózgowo-naczyniowych oraz wprowadzenie prawidłowej i efektywnej kwalifikacji do leczenia specyficznego (trombolizy lub trombektomii mechanicznej). Dlatego też neuroobrazowanie stanowi obecnie kluczowy element w postępowaniu z chorymi w ostrej fazie udaru mózgu, a szeroki wachlarz metod diagnostycznych jest coraz szerzej dostępny w rutynowej praktyce klinicznej. Wprowadzanie i rozwój nowych technik neuroobrazowania, takich jak metody oceny dyfuzji i perfuzji MRI oraz DSA pozwala mieć nadzieję na dynamiczny rozwój diagnostyki ostrej fazy udaru mózgu.

**PIŚMIENNICTWO**

1. Pendlebury S.T., Giles M.F., Rothwell P.M. Transient ischemic attack and stroke: Diagnosis, investigation and management. Cambridge University Press, Cambridge, UK 2009.
2. Kim A.S., Johnston S.C. Global variation in the relative burden of stroke and ischemic heart disease. *Stroke* 2011; 42: 1161-1167.
3. Członkowska A. Nowa definicja udaru. Stanowisko American Heart Association i American Stroke Association 2013. *Medycyna Praktyczna* 2014.
4. Kasner S.E., Sacco R.L. Implications of the AHA/ASA Updated Definition of Stroke for the 21st Century. *World Neurology*, November 2013.
5. Wintermark M., Reichhart M., Thiran J.P. i wsp. Prognostic accuracy of cerebral blood flow measurement by perfusion computed tomography, at the time of emergency room admission, in acute stroke patients. *Ann. Neurol.* 2002; 51: 417-432.
6. Ryglewicz D., Milewska D. Epidemiologia udaru mózgu. W: Mazur R., Książkiewicz B., Nyka W.M. (red.). *Udar mózgu w praktyce lekarskiej*. Via Medica, Gdańsk 2004: 5-14.
7. Walecki J. (red.). *Neuroradiologia*. Oświata UN-O, Warszawa 2000.
8. Puetz V., Dzialowski I., Hill M.D., Demchuk A.M. The Alberta Stroke Program Early CT Score in clinical practice: what have we learned? *World Stroke Organization International Journal of Stroke* 2009; 4: 354-364.
9. Ghandehari K., Rezvani M.R., Shakeri M.T. Inter-rater reliability of modified Alberta Stroke program early computerized tomography score in patients with brain infarction. *J. Res. Med. Sci.* 2011; 16: 1326-1331.
10. Szarmach A., Szurowska E., Kozera G., Studniarek M. Współczesne metody diagnostyki obrazowej zmian udarowych w obrębie struktur mózgowych tylnego dołu czaszki. *Udar Mózgu* 2008; 10: 27-39.
11. Villon W.P. Cerebral ischemia and stroke. New CT techniques: USCF. *Neuro and Musculoskeleton Imaging* 2003; 6: 205-217.
12. Wintermark M., Fischbein N.J., Smith W.S., Ko N.U., Quist M., Dillon W.P. Accuracy of dynamic perfusion CT with deconvolution in detecting acute hemispheric stroke. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2005; 26: 104-112.
13. Wintermark M., Filanders A.E., Velthuis B. i wsp. Perfusion-CT assessment of infarct core and penumbra: receiver operating characteristic curve analysis in 130 patients suspected of acute hemispheric stroke. *Stroke* 2006; 37: 979-985.
14. Doerfler A., Engelhorn T., von Kummer R. i wsp. Are iodinated contrast agents detrimental in cerebral ischemia? An experimental study in rats. *Radiology* 1998; 206: 211-217.
15. Katayama H., Yamaguchi K., Kozuka T., Takashima T., Seez P., Matsuura K. Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. *Radiology* 1990; 175: 621-628.
16. *Radiologia — diagnostyka obrazowa*. Pruszyński B. (red.). Warszawa 2011.
17. Rabinstein A.A., Resnick S.J. *Obrazowanie w udarze mózgu*. Nyka W., Urbaniak A. (red. wyd. I pol.), rozdz. 3. Wrocław 2013.
18. Remonda L., Senn P., Barth A., Arnold M., Lovblad K.O., Schroth G. Contrast-enhanced 3D MR angiography of the carotid artery: comparison with conventional digital subtraction angiography. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2002; 23: 213-219.
19. Edelman R.R., Siewert B., Darby D.G. i wsp. Qualitative mapping of cerebral blood flow and functional localization with echo-planar MR imaging and signal targeting with alternating radio frequency. *Radiology* 1994; 192: 513-520.
20. Chen Q., Siewert B., Bly B.M. i wsp. STAR-HASTE: perfusion imaging without magnetic susceptibility artifact. *Magn. Reson. Med.* 1997; 38: 404-408.
21. *Neurologia Merritta*. Rowland L.P., Pedley T.A. (red.). Kwieciński H.H., Kamińska A.M. (red. wyd. pol.). Wydanie III. Tom 1. Warszawa 2012.
22. Alexandrov A.V., Demchuk A.M., Wein T.H., Grotta J.C. Yield of transcranial Doppler in acute cerebral ischemia. *Stroke* 1999; 30: 1604-1609.
23. Demchuk A.M., Christou I., Wein T.H. i wsp. Specific transcranial Doppler flow findings related to the presence and site of arterial occlusion. *Stroke* 2000; 31: 140-146.
24. Wojczal J., Kozera G., Szczepańska Szarej H., Kaźmierski R. (red.). *Badanie TCD i TCCD w ostrej fazie udaru mózgu*; W: *Podręcznik diagnostyki ultrasonograficznej w neurologii*. Wydawnictwo Czelej, Lublin 2011: 282-287.
25. Kozera G., Wojczal J., Gąsecki D. *Badanie ultrasonograficzne w diagnostyce i leczeniu udaru mózgu*. W: *Udar mózgu: postępowanie diagnostyczne i terapia w ostrym okresie udaru*. Siebert J., Nyka W.M. (red.). Wyd. 2 poszerzone i uaktualnione. Gdańsk, Via Medica 2007: 62-71.
26. Demchuk A.M., Burgin W.S., Christou I. i wsp. 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* 2001; 32: 89-93.