

Kompleksowa diagnostyka obrazowa udaru niedokrwiennego mózgu — opis przypadku

Complex diagnostic imaging of acute ischemic stroke — case study

Marcin Hartel¹, Maria Dziubińska-Basiak¹, Marek Konopka¹, Marcin Basiak¹,
Basim Salam¹, Marek Sąsiadek^{1, 2}

¹HELIMED *Diagnostic Imaging*, Śląskie Centrum Diagnostyki Obrazowej w Katowicach

²Zakład Neuroradiologii Katedry Radiologii Akademii Medycznej we Wrocławiu

Streszczenie

Wstęp. Udar niedokrwienno jest trzecią pod względem częstości przyczyną zgonów w krajach rozwiniętych. W obliczu możliwości leczenia trombolitycznego istotna jest prawidłowa kwalifikacja pacjentów, a najlepszymi kandydatami do trombolizy są ci chorzy, u których strefa penumbry znacznie przewyższa obszar zawału.

Opis przypadku. W pracy przedstawiono opis przypadku pacjenta hospitalizowanego z powodu objawów udaru niedokrwiennego w obszarze unaczynienia tętnicy środkowej mózgu (MCA, *middle cerebral artery*) lewej. Przeprowadzono u niego badanie tomografii komputerowej (CT, *computed tomography*) głowy, a następnie perfuzji CT, dyfuzji rezonansu magnetycznego (DWI, *diffusion-weighted imaging*) oraz angiografii MR (angio-MR). W badaniu CT uwidoczniło wczesne cechy udaru niedokrwiennego; w perfuzji CT stwierdzono, że penumbra znacznie przeważa nad zawałem; w angio-MR uwidoczniło upośledzenie przepływu w tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*) i MCA po stronie lewej. Na podstawie wykonanej serii badań zrezygnowano z trombolizy systemowej na rzecz dotętnicznej.

Wnioski. Protokół diagnostyczny zawierający badanie podstawowe (CT), funkcjonalne (np. perfuzji CT) oraz naczyniowe (angiografia CT, angio-MR) pozwala zobrazować rozległość zaburzeń niedokrwienno (penumbra/zawał) i patologię dotyczącą naczyń, co jest pomocne w kwalifikacji do trombolizy, a zwłaszcza w podjęciu decyzji o sposobie podania preparatu trombolitycznego.

Słowa kluczowe: udar niedokrwienno, CT, MR, perfuzja CT, dyfuzja MR

Abstract

Introduction. Ischemic stroke is the third most frequent cause of death in developed countries. Nowadays, when thrombolytic treatment is available, a proper qualification of patients is very important and the best candidates to thrombolysis are the patients in whom area of penumbra is larger than area of stroke.

Case report. We present a case of patient hospitalized due to symptoms of acute ischemic stroke in area of left middle cerebral artery (MCA) territory. The patient underwent brain computed tomography (CT) followed by perfusion CT (CTP), magnetic resonance diffusion (DWI) and magnetic resonance angiography (MRA). CT revealed early signs of ischemic stroke; CTP demonstrated area of penumbra, which predominated over area of infarction; MRA revealed loss of flow within left internal carotid artery (ICA) and left MCA. Based on performed examinations intraarterial thrombolytic treatment was indicated, instead of systemic thrombolysis.

Conclusions. Diagnostic protocol consisting of basic (CT), functional (e.g. CTP) and vascular examinations (CT angiography or MRA) may show extent of ischemic lesion (penumbra/infarction) and vascular pathology, that is helpful in qualification to thrombolytic treatment, particularly when undertaking decision, which method of thrombolysis should be used.

Key words: ischemic stroke, CT, MR, CT perfusion, diffusion-weighted imaging

Wstęp

Odsetek osób w podeszłym wieku w populacji ogólnej stale się zwiększa. Do najczęstszych chorób wieku podeszłego zalicza się udar niedokrwienno mózgu, który w krajach rozwiniętych stanowi trzecią pod względem częstości przyczynę śmierci, po chorobach układu sercowo-naczyniowego i nowotworach [1]. Zapadalność na udar mózgu w krajach europejskich mieści się w przedziale 100–200/100 000 osób/rok [2].

Adres do korespondencji:

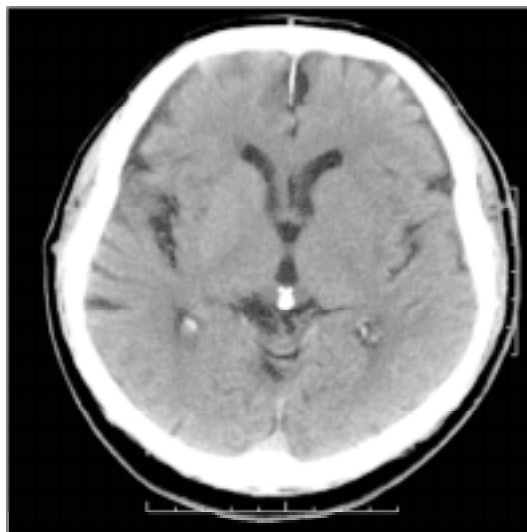
Lek. Marcin Hartel
HELIMED *Diagnostic Imaging*
ul. Panewnicka 65, 40–760 Katowice
tel.: 0 32 355 95 20, faks: 0 32 355 95 30
e-mail: marcin.hartel@helimed.pl
Praca wpłynęła do Redakcji: 20 listopada 2006 r.
Zaakceptowano do druku: 19 stycznia 2007 r.

Terapia trombolityczna jest obarczona wysokim ryzykiem powikłań w postaci ukrwotoczenia udaru. Z tego powodu, aby tromboliza była bezpieczna, niezbędną jest właściwa kwalifikacja pacjentów, między innymi na podstawie nowoczesnych metod diagnostyki obrazowej. Najlepszym kandydatem do trombolizy jest chory, u którego obszar potencjalnie odwracalnego niedokrwienia (penumbry) zdecydowanie przeważa nad obszarem zawału [1]. W celu oceny obszaru penumbry i zawału można zastosować dwie konkurencyjne metody: badanie perfuzji tomografii komputerowej (CT, *computed tomography*) oraz badania dyfuzyjne i perfuzyjne (DWI [*diffusion-weighted imaging*] i PWI [*perfusion-weighted magnetic resonance imaging*]) rezonansu magnetycznego (MR, *magnetic resonance*). Wydaje się jednak, że z powodu dostępności, krótkiego czasu wykonania oraz braku bezwzględnych przeciwwskazań (co jest szczególnie ważne w przypadkach nagłych i powszechnych, takich jak udar mózgu) perfuzja CT staje się wiodącą metodą we wczesnej diagnostyce ostrego niedokrwienia mózgu [3–5].

Opis przypadku

Mężczyzna 75-letni został przyjęty do szpitala z powodu nagłego wystąpienia objawów porażenia połowicznego prawostronnego i całkowitej afazji. Wywiad ujawnił między innymi nadciśnienie tętnicze, uogólnioną miażdżycę, niewydolność serca, tachyarytmię oraz podejrzenie nadczynności tarczycy. Pacjent był przytomny, wydolny krążeniowo i oddechowo. W badaniu neurologicznym stwierdzono afazję czuciowo-ruchową, rotację głowy i gałek ocznych w lewo, ośrodkowy niedowład nerwu VII, porażenie wiotkie prawej kończyny górnej, wiotki niedowład prawej kończyny dolnej i obustronnie dodatni objaw Babińskiego. Ciśnienie tętnicze wynosiło 160/100 mm Hg, rytm serca był niemierny (100–120/min). Badanie EKG wykazało cechy migotania przedsionków. Na podstawie uzyskanych informacji rozpoznano udar niedokrwieniny w zakresie unaczynienia lewej tętnicy środkowej mózgu (LMCA, *left middle cerebral artery*).

W trybie pilnym (ok. 2 h od wystąpienia objawów neurologicznych) wykonano badanie CT głowy, w którym uwidoczniono subtelne cechy świeżego niedokrwienia w postaci zatarcia obrysu jądra soczewkowatego po stronie lewej (ryc. 1A). W badaniu perfuzji CT, na podstawie bardzo niskich wartości parametrów przepływu mózgowego (CBF, *cerebral blood flow*), mózgowej objętości krwi (CBV, *cerebral blood volume*) i średniego czasu przepływu (MTT *mean transit time*), stwierdzono

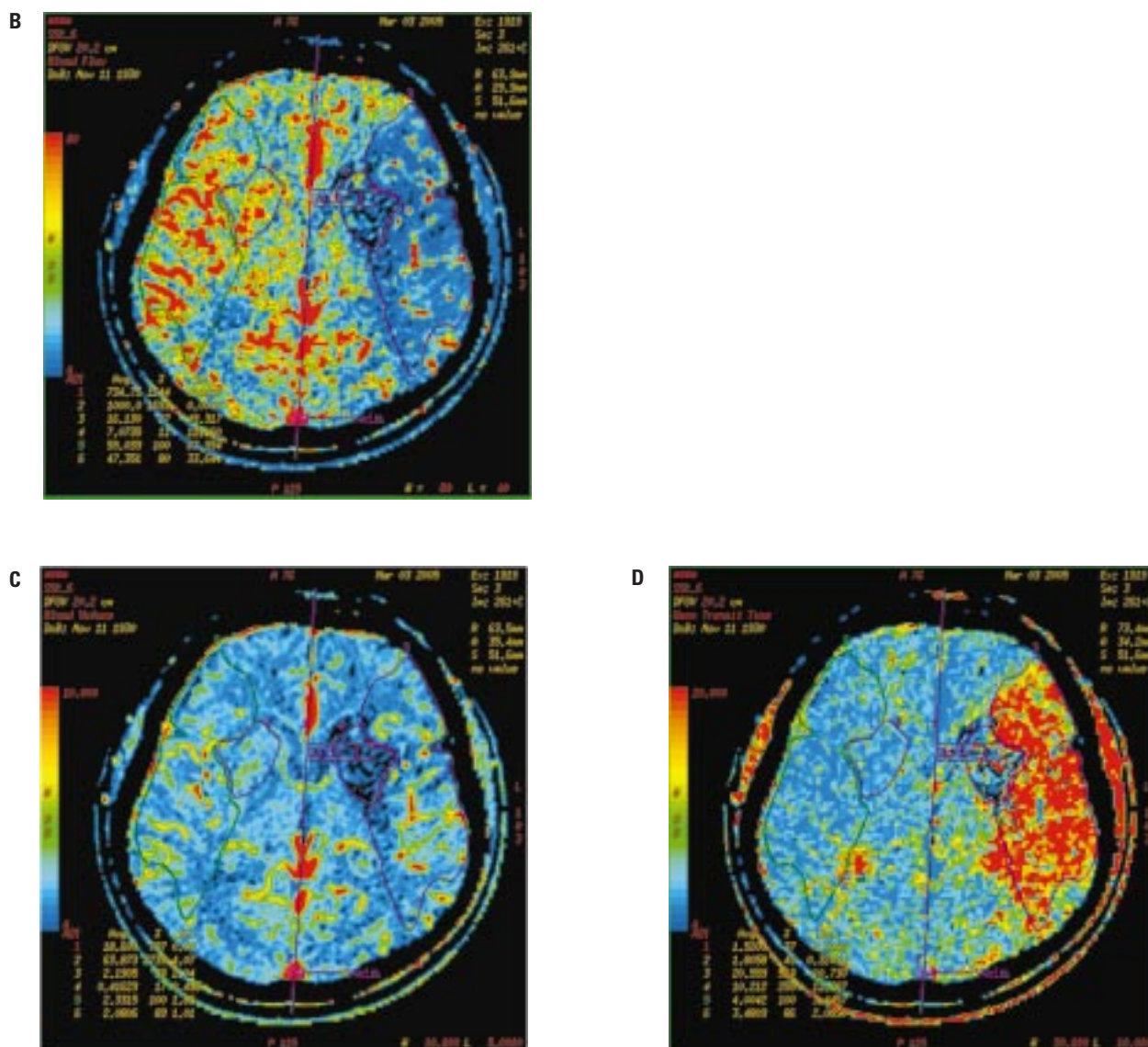


Rycina 1A. Badanie CT głowy — cechy świeżego niedokrwienia w postaci zatarcia obrysu jądra soczewkowatego po stronie lewej oraz zwężenia rowków mózgowych lewej półkuli w porównaniu ze stroną przeciwną

Figure 1A. Brain CT — there are features of early ischemia demonstrated: obscuration of the border of lenticular nucleus and narrowing of the brain sulci within the left cerebral hemisphere compared to the contralateral side

cechy zawału w obszarze jądra soczewkowatego i ogoniastego oraz przedniej odnogi torebki wewnętrznej po stronie lewej. Bocznie od zawału stwierdzono strefę odpowiadającą penumbrze, z mniejszego stopnia obniżeniem CBF i CBV oraz wydłużeniem MTT (ryc. 1B–D). W badaniu MR (projekcja osiowa FLAIR i DWI, przy wartości $b = 1000$ i 2000 s/mm²) w obrazach FLAIR stwierdzono efekt masy w postaci ucisku lewej szczeliny Sylwiusza. Obrazy DWI uwidocznili obszar o umiarkowanie zmniejszonej dyfuzji cząsteczek wody w obrębie jąder podstawy po stronie lewej oraz bardziej nasilone zaburzenie dyfuzji w sąsiadującej części lewej wyspy (ryc. 2). Wykonano także badanie angiografii MR (angio-MR), w którym nie uwidoczniono sygnału przepływającej krwi w obrębie lewej ICA oraz jedynie śladowy sygnał w odcinkach M1 i M2 lewej MCA i w odcinku A1 lewej tętnicy przedniej mózgu (ACA, *anterior cerebral artery*) (ryc. 3). Na podstawie wykonanej serii badań zrezygnowano z trombolizy systemowej na rzecz dotętnicznej, której ostatecznie nie wykonano z powodów technicznych.

W wykonanym kolejnego dnia dopplerowskim badaniu USG tętnic szyjnych i kręgowych stwierdzono całkowitą niedrożność lewej ICA, zwężenie prawej ICA (ok. 70%), a także słabe przepływy w obrębie obu tętnic kręgowych.

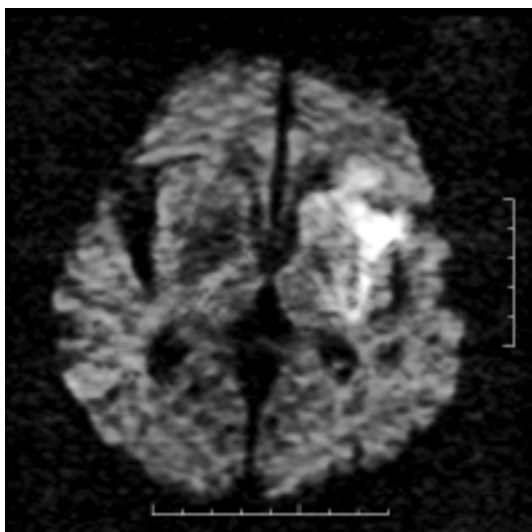


Rycina 1B–D. Badanie perfuzji tomografii komputerowej mapy przepływu mózgowego (CBF, *cerebral blood flow*) (B), mózgowej objętości krwi (CBV, *cerebral blood volume*) (C) i średniego czasu przepływu (MTT, *mean transit time*) (D); znaczne obniżenie wszystkich parametrów perfuzji w obszarze jądra soczewkowatego i głowy jądra ogoniastego oraz przedniej odnogi torebki wewnętrznej po stronie lewej, wskazujące na zawał; od strony bocznej widoczna sąsiadująca z nim rozległa strefa mniejszego obniżenia perfuzji i wydłużenia czasu MTT, odpowiadająca penumbry

Figure 1B–D. Brain CT CBF (B), CBV (C) and MTT (D) maps. Marked decrease of all perfusion parameters in the area of lenticular and head of caudate nuclei as well as in the anterior crus of the internal capsule on the left side, which is consistent with infarction; laterally from the infarction, there is area of decreased perfusion and MTT prolongation which consists with penumbra

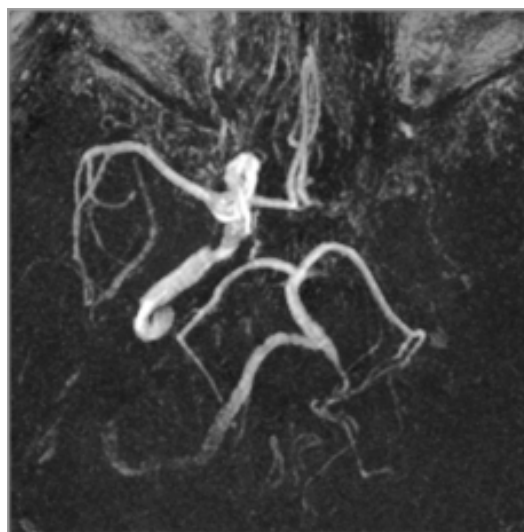
Dwa tygodnie po incydencie niedokrwienym wykonano kontrolne badanie MR (projekcje osiowe T1, T2, FLAIR, DWI oraz projekcje osiowe i strzałkowe T1 po podaniu środka kontrastowego; ryc. 4A, B). W obrębie jądra soczewkowatego i ogoniastego oraz przedniej odnogi torebki wewnętrznej po stronie lewej uwidoczniono w obrazach T1 i T2 niejednorodne, hiperintensywne ognisko, przemawiające za wynaczynioną krwią w fazie methemoglobiny (ryc. 4A). Rozpoznano

ukrwotocznienie obszaru udaru niedokrwiennego. Po podaniu środka kontrastowego stwierdzono wzmocnienie sygnału, wskazujące na przerwanie bariery krew–mózg. Towarzyszył temu umiarkowany efekt masy oraz niewielka strefa obrzęku. W sekwencji DWI uwidoczniono zaburzenia dyfuzji w mniejszym obszarze w porównaniu z badaniem wstępnym, zbliżonym wielkością i lokalizacją do strefy zawału w badaniu perfuzji CT (ryc. 4B).



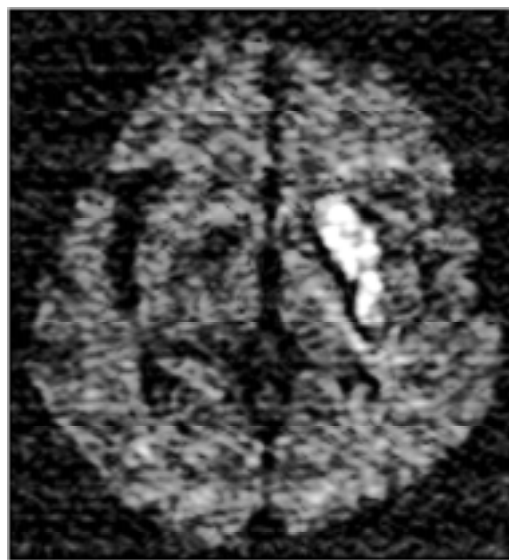
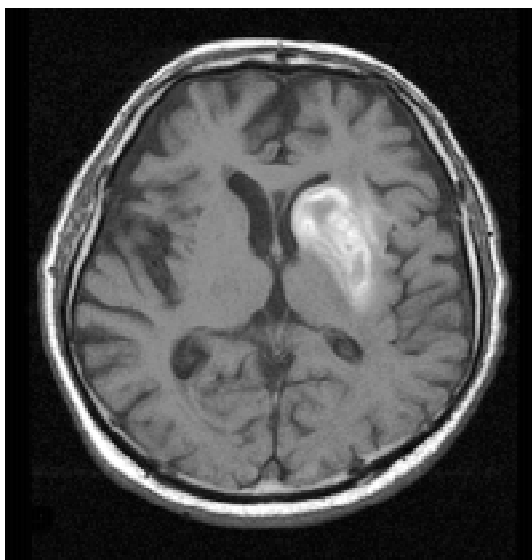
Rycina 2. Obrazowanie dyfuzyjne przy wartości $b = 2000 \text{ s/mm}^2$ — widoczny obszar o zwolnionej dyfuzji cząsteczek wody w obrębie wyspy po stronie lewej, świadczący o obecności obrzęku cytotoxycznego w przebiegu ostrego niedokrwienia

Figure 2. Diffusion weighted imaging with $b = 2000 \text{ s/mm}^2$ — the area of restricted diffusion of water molecules is seen in the region of the left insula, that indicates the presence of cytotoxic edema in the course of acute ischemia



Rycina 3. Badanie angiografii rezonansu magnetycznego koła tętniczego mózgu; brak sygnału przepływającej krwi w obrębie lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej oraz znaczne obniżenie w obrębie tętnicy środkowej mózgu i odcinka A1 tętnicy przedniej mózgu po stronie lewej

Figure 3. MR angiography of the circle of Willis. Lack of the flow signal within the left ICA and marked decrease of the flow within MCA and A1 segment of ACA on the left side



Rycina 4A, B. Kontrolne badanie rezonansu magnetycznego głowy: **(A)** obraz T1-zależny — w obrębie jądra soczewkowatego i głowy jądra ogoniastego oraz przedniej odnogi torebki wewnętrznej po stronie lewej widoczne ognisko wykazujące niejednorodny, hiperintensywny sygnał, o charakterze wynaczynionej krwi w fazie methemoglobiny; **(B)** dyfuzja rezonansu magnetycznego (DWI, *diffusion-weighted magnetic resonance imaging*) w sekwencji obrazowania echoplanarnego (EPI, *echoplanar imaging*) przy wartości $b = 2000 \text{ s/mm}^2$; upośledzenie dyfuzji w obrębie jądra soczewkowatego lewej półkuli mózgu, obejmujące mniejszy obszar w porównaniu z badaniem wstępnym

Figure. 4A, B. Follow up brain CT: **(A)** T1 image — within lenticular and head of caudate nuclei as well as the anterior crus of the left internal capsule there is heterogenous, hiperintense signal, indicating extravasated blood in the phase of methemoglobin; **(B)** DWI with EPI sequence, $b = 2000 \text{ s/mm}^2$ — restricted diffusion within lenticular nucleus of the left brain hemisphere which covers smaller area compared to the prior study

Po niespełna 3-tygodniowej hospitalizacji pacjent w stanie ogólnym dobrym z objawami afazji ruchowej, porażeniem kończyny górnej prawej i niedowładem kończyny dolnej prawej został przekazany na oddział chorób wewnętrznych w celu przeprowadzenia diagnostyki i leczenia zaburzeń hematologicznych (utrzymującej się poliglobulii).

Dyskusja

W opisanym wyżej przypadku we wstępnym badaniu CT widoczne były cechy nadostrego niedokrwienia, które są objawem prognostycznie złym, jeśli występują do 6 godzin od incydentu udarowego [6, 7]. Obraz klasycznego badania CT nie pozwala jednak na uwidocznienie rozległości penumbry, co określono w wykonanym następnie badaniu perfuzji CT. Penumbra zdecydowanie przeważała nad obszarem dokonanego zawału, co sugerowało, że pacjent był odpowiednim kandydatem do trombolizy [1]. Przemawiała za tym również rozległość obszaru ograniczonej dyfuzji w badaniu DWI, która była niższa niż 33% obszaru zaopatrzenia MCA po stronie lewej. W badaniu angio-MR nie uwidoczniono przepływu w obrębie lewej ICA. Wykonana seria badań pozwoliła określić wszystkie radiologiczne „za” i „przeciw” wdrożeniu leczenia trombolitycznego oraz pomogła w decyzji o zaniechaniu trombolizy systemowej i wyborze trombolizy celowanej.

Techniki PWI i DWI są jedynymi metodami obrazowymi, które bierze się pod uwagę w neurologicznych standardach kwalifikowania do trombolizy — określa się je jako metody pomocnicze, które można dodać do podstawowego badania obrazowego w ostrym udarze niedokrwinnym, jakim jest wciąż CT [2, 8]. Brak perfuzji CT w tych opracowaniach być może wynika z faktu, że obróbka wyniku tego badania wymaga odpowiedniego oprogramowania, które było dostępne później niż sekwencje DWI i PWI. Wymienione metody są wykorzystywane w ośrodkach udarowych z 24-godzinnym dostępem do aparatury MR; trwają jednocześnie prace nad skonstruowaniem zarówno odpowiednich sekwencji, jak i oprogramowania do obróbki wyników badania, które pozwolą na ilościową ocenę perfuzji MR. Równoległe z coraz liczniejszymi publikacjami dotyczącymi perfuzji CT i łatwością zastosowania jej w praktyce (m.in. z powodu braku przeciwwskazań, które dotyczą MR), podważa się znaną koncepcję „*mismatch*” badań PWI i DWI, według której DWI pozwala określić strefę dokonanego zawału (martwicy), a zmiany w PWI obejmują dodatkowo penumbę. Według Provenzale i wsp. [7] oraz Kidwella i wsp. [9] pre-

cyzyjne określenie stosunku zawał/penumbra jest trudne, ponieważ zaburzenia widoczne w PWI oprócz penumbry zawierają w sobie obszary oligemii, a zaburzenia uwidocznione w DWI, oprócz zawału, zawierają obszary penumbry, dlatego niekiedy obserwuje się wycofywanie się zmian widocznych w DWI. Potwierdzeniem tego jest również przypadek opisanego pacjenta, u którego początkowy obszar zahamowanej dyfuzji był większy niż strefa zawału w perfuzji CT i zaburzenia w kontrolnym badaniu DWI. Obszar ten obejmował tym samym również część penumbry. Należy dodać, że na obraz w kontrolnym badaniu DWI wpływało również ukrwotoczenie zawału stwierdzone w innych sekwencjach, którego obszar pokrywał się ze strefą zmniejszonej dyfuzji.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania oraz fakt ograniczonej dostępności aparatury MR w przypadkach ostrych, wydaje się, że korzystne jest oparcie się na metodzie CT [10]. Tym bardziej, że CT jest skuteczna w wykluczaniu krwotoku (który jest przeciwwskazaniem do trombolizy), a perfuzja CT jest wiarygodna, co określili między innymi Wintermark [11], porównując tę metodę ze zweryfikowanym już wcześniej badaniem CT po podaniu ksenonu (Stable Xenon CT).

W przypadku opisywanym przez autorów w strefie zawału wszystkie parametry perfuzji (również MTT) były znacznie obniżone, co wynikało z minimalnej ilości krwi, a tym samym środka cieniującego, które przepływały przez ten obszar. Taka sytuacja nie zdarza się zawsze — najczęściej obszar uznany za zawał charakteryzuje się niskimi wartościami CBF i CBV oraz wydłużonym MTT. Z kolei w obszarze penumbry MTT jest najczęściej wydłużony, CBF — obniżony, a CBV — w normie lub podwyższona (świadczy to o zachowanej autoregulacji), tak jak u opisanego przez autorów chorego (parametr CBV był co prawda minimalnie niższy niż po stronie przeciwnej, jednak różnica 0,14 jest uznawana za dopuszczalny błąd pomiaru).

Niektórzy autorzy zgłaszają wątpliwości związane z neurotoksycznością podanych dożylnie środków cieniujących [12] lub szkodliwością dawki promieniowania przy wykonaniu kolejnych badań radiologicznych, takich jak perfuzja CT [13].

Naukowcy niemieccy (Doerfler i wsp. [14]) przeprowadzili badania nad wpływem środków cieniujących na obszar niedokrwienia. Wyniki tych badań potwierdziły neurotoksyczność jonowych środków cieniujących, jednak wykazały, że nawet podwójna dawka środków cieniujących niejonowych nie wpływa na rozmiar zawału czy śmiertelność w ostrym udarze. Wyniki te skłaniają do stwierdzenia,

że nie ma przeciwwskazań do stosowania perfuzji CT z podaniem środków niejonowych. Również kwestie promieniowania nie powinny być ograniczeniem dla diagnostyki CT, biorąc pod uwagę bardzo prawdopodobne i pozytywne aspekty działań diagnostycznych oraz leczniczych [1, 10, 13].

Diagnostyka udaru niedokrwiennego mózgu oparta na CT pozwala na wykluczenie krwawienia śródczaszkowego, zobrazowanie stosunku zawału dokonanego do penumbry oraz stanu naczyń zapoatrujących mózg (zidentyfikowanie ew. niedrożności, zwężenia i stanu krążenia obocznego) — te wszystkie elementy oceniono u opisanego wyżej pacjenta. Takie zadania spełnia protokół, który jest zalecany w przypadku braku możliwości wykorzystania aparatury MR: badanie CT bez podania środka cieniującego, badanie perfuzji CT oraz angiografia CT (angio-CT). Badanie angio-CT należy włączyć do protokołu diagnostycznego, ponieważ jest wystarczająco dokładne i możliwe do jednoczasowego, szybkiego wykonania wraz z innymi procedurami. Wczesna informacja na temat miejsca niedrożności lub zwężenia (możliwość rozstrzygnięcia, czy patologia dotyczy naczyń małego czy dużego kalibru) i ewentualnego krążenia obocznego jest bardzo wartościowa, a w połączeniu z informacjami z badania CT i perfuzji CT — pomocna w decyzji dotyczącej wdrożenia określonego rodzaju leczenia trombolitycznego — systemowego albo dotętniczego. Angiografia CT wydłuża badanie pacjenta tylko o kilka minut i nie opóźnia w sposób znaczący leczenia [5, 15–17]. W przedstawionym przypadku nie wykonano angio-CT, gdyż zaplanowano badanie MR wraz z angio-MR, jednak — na podstawie doświadczeń ośrodka oraz literatury — w proponowanym protokole angio-MR została zastąpiona przez angio-CT.

Podsumowanie

Wstępne badanie CT pozwala zobrazować wczesne objawy udaru niedokrwiennego, które mają ścisły związek z rokowaniem. Perfuzja CT pozwala określić lokalizację i wzajemny stosunek obszaru zawału i penumbry. Badania naczyniowe (zarówno angio-MR, jak i angio-CT) są pomocne w podjęciu decyzji o zastosowaniu trombolizy systemowej bądź celowanej.

Obszar zahamowanej dyfuzji w badaniu DWI może się nie pokrywać wyłącznie ze strefą zawału, lecz może również obejmować część obszaru penumbry. Możliwości PWI są ograniczone, z powodu braku w pełni ilościowego określenia parametrów krążenia mózgowego (z tych względów podważa się koncepcję „*diffusion-perfusion mismatch*”).

Z powodów opisanych wyżej, przy stosunku do dużej liczbie tomografów komputerowych oraz zaletach CT (m.in. krótki czas badania, brak bezwzględnych przeciwwskazań), w przypadkach badania chorych z ostrym niedokrwieniem mózgowia wskazane jest działanie zgodne z proponowanym protokołem badań CT (podstawowe CT + perfuzja CT + angio-CT). Pozwala on zobrazować rozległość zaburzeń niedokrwiennych (penumbra/udar), anatomię i patologię dotyczącą unaczynienia.

Opinie zawarte w literaturze skłaniają do stosowania niejonowych środków cieniujących w perfuzji i angiografii CT, a dawka promieniowania jonizującego nie powinna być przeszkodą w stosowaniu tych badań w diagnostyce udaru niedokrwiennego mózgu.

Piśmiennictwo

1. 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.
2. The European Stroke Initiative Executive Committee and the EUSI Writing Committee: European stroke initiative recommendations for stroke management-update 2003. *Cerebrovasc. Dis.* 2003, 16, 311–337.
3. Pilch-Kowalczyk J., Konopka M., Gibińska J. i wsp.: Perfuzja TK — nowa jakość w diagnostyce obrazowej udaru niedokrwiennego. *Med. Sci. Rev.* 2002, 1, 62–66.
4. Kaste M. Reborn workhorse, CT, pulls the wagon towards thrombolysis beyond 3 hours. *Stroke* 2004, 35, 357–359.
5. Knauth M., von Kummer R., Jansen O. i wsp.: Potential of CT angiography in acute ischemic stroke *AJNR. Am. J. Neuroradiol.* 1997, 18, 1001–1010.
6. von Kummer R., Bourquain H., Bastianello S. i wsp.: Early prediction of irreversible brain damage after ischemic stroke at CT. *Radiology* 2001, 219, 95–100.
7. Provenzale J.M., Jahan R., Naidich T.P. i wsp.: Assessment of the patient with hyperacute stroke: imaging and therapy. *Radiology* 2003, 229, 347–359.
8. Adams H.P., Adams R.J., Brott T. i wsp.: ASA Guidelines for the early management of patients with ischemic stroke. A scientific statement from the Stroke Council of the American Stroke Association. *Stroke* 2003, 34, 1056–1083.
9. Kidwell C.S., Alger J.R., Saver J.L. Beyond mismatch. Evolving paradigms in imaging the ischemic penumbra with multimodal magnetic resonance imaging. *Stroke* 2003, 34, 2729–2735.
10. Wintermark M., Reichhart M., Cuisenaire O. i wsp.: Comparison of admission perfusion computed tomography and qualitative diffusion- and perfusion-weighted magnetic resonance imaging in acute stroke patient. *Stroke* 2002, 33, 2025–2031.
11. Wintermark M., Thiran J.P., Maeder P. i wsp.: Simultaneous measurement of regional cerebral blood flow by perfusion CT and stable xenon CT: a validation study. *Am. J. Neuroradiol.* 2001, 22, 905–914.
12. Pullicino P., Kendall B.E.: Contrast enhancement in ischaemic lesions. Relationship to prognosis. *Neuroradiology* 1980, 19 (5), 235–239.
13. Frey G.D., Rumboldt Z.: Radiation effects from perfusion CT. *Radiology* 2005, 234, 638.
14. Doerfler A., Engelhorn T., von Kummer R. i wsp.: Are iodinated contrast agents detrimental in cerebral ischemia? An experimental study in rats 1. *Radiology* 1998, 206, 211–217.
15. Schramm P., Schellinger P.D., Fiebich J.B. i wsp.: Comparison of CT and CT angiography source images with diffusion-weighted imaging in patients with acute stroke within 6 hours after onset. *Stroke* 2002, 33, 2426–2432.
16. Coutts S.B., Lev M.H., Eliasziw M. i wsp.: ASPECTS on CTA source images versus unenhanced CT: Added value in predicting final infarct extent and clinical outcome. *Stroke* 2004, 35, 2472–2476.
17. Ezzeddine M.A., Lev M.H., McDonald C.T. i wsp.: CT angiography with whole brain perfused blood volume imaging. *Stroke* 2002, 33, 959–966.