

Otrzymano: 2005.01.14  
Zaakceptowano: 2005.02.03

## The usefulness of perfusion CT (p-CT) in the assessment of brain perfusion and autoregulation in patients with carotid stenosis before and after surgery or stenting: a preliminary report

Przydatność badania perfuzyjnego TK (p-TK) w ocenie przepływu mózgowego i autoregulacji u pacjentów ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej przed i po zabiegu operacyjnym lub stentowaniem – doniesienie wstępne

Jerzy Walecki<sup>1</sup>, Jolanta Sikorska<sup>1</sup>, Piotr Andziak<sup>2</sup>, Mirosław Nowicki<sup>1</sup>,  
Mariusz I. Furmanek<sup>1</sup>, Adam Łukasiewicz<sup>1</sup>, Maciej Sybilski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zakład Diagnostyki Radiologicznej i Obrazowej, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego w Warszawie, Polska

<sup>2</sup> Klinika Chirurgii, Centralny Szpital Kliniczny MSWiA w Warszawie, Polska

Adres autora: Jerzy Walecki, Zakład Diagnostyki Radiologicznej i Obrazowej CMKP, Warszawa; Szpital MSWiA, ul. Wołowska 137

### Summary

**Background:**

Improvement of brain perfusion and disappearance of neurological symptoms are the objective indicators of successful treatment of carotid stenosis. The perfusion CT technique is a component of a comprehensive evaluation of blood flow in cerebropetal arteries and brain perfusion.

**Material/Methods:**

In the period of 2002-2004, perfusion CT exams were performed in 40 symptomatic patients being treated at our Surgery or Radiology Departments because of one-sided internal carotid stenosis (more than 70%). The exams were performed before and after the surgical procedure (23 patients) or stenting (17 patients). rCBV, rCBE, MTT, and TTP were evaluated.

**Results:**

In a subgroup of 16 patients with carotid stenosis (less than 90%), a significant prolongation of MTT and a decrease in rCBF were observed in preoperative perfusion CT. In another subgroup of 24 patients with tight stenosis (more than 90%), changes in perfusion parameters ipsilateral to the stenosis were observed in every patient; MTT prolongation (by 35%) was the most profound change. In 14 patients in the critical stenosis subgroup which presented clinical symptoms (for at least 5 years), exams were performed after acetazolamide (Diamox) provocation to assess vascular autoregulation. The additional parameter of cerebrovascular reserve capacity (CRC) was introduced. In the evaluated group, 5 of the 14 patients presented complications, of which intracranial hemorrhage was the most severe. Mild symptoms of reperfusion syndrome in the subgroup of moderate stenosis occurred in one case only. Analysis of preoperative perfusion parameters revealed statistically significant increases in CBV and CBF as well as shortening of MTT and TTP ipsilaterally to the carotid stenosis.

**Conclusions:**

Perfusion CT is of significant importance in the evaluation of the effectiveness of procedures to restore carotid patency. Perfusion evaluation by means of autoregulation test (test with acetazolamide) enables prognosis of the course of the postoperative period in patients at risk of reperfusion syndrome.

**Key words:**

perfusion CT • cerebrovascular reserve capacity • cerebral blood flow • acetazolamid • carotid stenting • carotid surgery

**PDF file:**

[http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol\\_70/nr\\_1/7010.pdf](http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol_70/nr_1/7010.pdf)



Obiektywnym wykładnikiem skuteczności leczenia zwężenia tętnic szyjnych jest poprawa przepływu mózgowego i ustąpienie objawów neurologicznych. Techniki perfuzji mózgowej stanowią element kompleksowej oceny przepływu w tętnicach domózgowych oraz krążenia mózgowego.

W latach 2002–2004 badanie p-TK wykonano u 40 objawowych chorych, leczonych w Klinice Chirurgii i Zakładzie Diagnostyki Radiologicznej GSK MSWiA z powodu jednostronnego zwężenia ICA (powyżej 70%). Badania wykonywano przed i po zabiegu operacyjnym (23 chorych), lub stentowania (17 chorych). Oceniano następujące parametry perfuzji: rCBV, rCBE, MTT, TTP.

W podgrupie 16 chorych ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej < 90% w przedoperacyjnym badaniu p-TK obserwowano istotne wydłużenie MTT i obniżenie rCBE. W podgrupie 24 chorych ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej > 90% zmiany w parametrach perfuzji po stronie zwężenia obserwowano we wszystkich przypadkach; najsilniej zaznaczone było wydłużenie MTT (o 35%). U 14 chorych z podgrupy krytycznego zwężenia ICA, u których objawy kliniczne trwały najdłużej (powyżej 5 lat) przeprowadzono badanie po stymulacji acetazolamidem (Diamox), oceniając autoregulację naczyniową. Wprowadzono dodatkowy parametr cerebrovascular reserve capacity (CRC). W analizowanej grupie 14 chorych u 5 stwierdzono powikłania w postaci zespołu reperfuzyjnego (najpoważniejsze to krwawienie domózgowe); objawy traktowane jako lekka postać zespołu reperfuzyjnego wystąpiły tylko w jednym przypadku w podgrupie chorych z umiarkowanego stopnia zwężenia ICA. W pooperacyjnych badaniach p-TK analiza pomiaru parametrów perfuzji po stronie udrożnionej tętnicy wykazała statystycznie istotny wzrost wartości CBV oraz CBF, a także skrócenie czasów MTT oraz TTP.

Badanie p-TK ma istotne znaczenie w ocenie skuteczności zabiegu udrożnienia tętnicy szyjnej. Ocena perfuzji mózgowej z wykorzystaniem testu na autoregulację (test z acetazolamidem) pozwala na prognozowanie przebiegu pooperacyjnego u chorych potencjalnie zagrożonych wystąpieniem zespołu reperfuzyjnego.

## Wstęp

Ocena stopnia zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej i jej topografii a także morfologii blaszki miażdżycowej powinna współistnieć z badaniem naczyń mózgowia oraz perfuzji. Dotyczy to chorych, u których wystąpiły objawy niedokrwienia mózgu bądź siatkówki o różnym stopniu nasilenia. Celem badania obrazowego OUN jest potwierdzenie lub wykluczenie obecności ogniska niedokrwiennego lub krwotocznego oraz określenie fazy jego ewolucji. Dane te mają kluczowe znaczenie dla podjęcia decyzji o leczeniu operacyjnym lub wewnątrznaczyniowym, gdyż obecność świeżego ogniska niedokrwiennego odracza zabieg przynajmniej o 6 tygodni.

Należy pamiętać, iż w 20% przypadków przyczyną zmian niedokrwienych w OUN są blaszki miażdżycowe umiejscowione w tętnicach szyjnych, a ściślej materiał zatoro-

wy uruchomiany z niestabilnej blaszki miażdżycowej. Właściwa ocena mózgowia ma duże znaczenie dla kwalifikacji do zabiegu [1,2,3].

Konwencjonalna tomografia komputerowa (TK), stanowiąca nadal standard w diagnostyce zmian niedokrwienych OUN, może uwidocznic nieodwracalne następstwa niedokrwienia dość wcześnie, ale nie jest właściwą metodą do oceny zmian odwracalnych, zależnych od niedostatecznego przepływu przez tkanki mózgowia. Istotnych klinicznie informacji dostarczają techniki perfuzyjne, wśród których coraz szersze zastosowanie ma perfuzyjne badanie TK (p-TK) z zastosowaniem jodowych środków kontrastowych [1,3,4,5]. Zastosowanie badań perfuzyjnych ma znacznie szerszy wymiar niż kwalifikacja bądź dyskwalifikacja do zabiegu operacyjnego – wielu autorów uważa bowiem, iż metoda ta obok dyfuzyjnego badania w MR (DWI) może mieć ważne znaczenie dla podjęcia decyzji o leczeniu fibrynolitycznym [6].

Perfuzja TK polega na ocenie dynamiki zmian gęstości tkankowej, zależnej od przepływu jodowego środka kontrastowego lub stabilnego ksenonu (coraz rzadziej) przez łożysko naczyniowe badanych tkanek. Jest metodą zapewniającą ilościową ocenę krążenia w obszarze zainteresowania i najwcześniej znalazła zastosowanie w ocenie niedostateczności krążenia mózgowego [2].

Zwiększająca się liczba zabiegów udrożnienia tętnic szyjnych zarówno chirurgicznie jak i drogą przezskórnej angioplastyki i stentowania wymaga przed i pooperacyjnej oceny mózgowia i jego krążenia [7,8,9]. Wiąże się to z kilkoma aspektami klinicznymi i diagnostycznymi.

Pierwszy aspekt to wspomniany wyżej stan tkanki mózgowej przed planowanym zabiegiem udrożnienia tętnic szyjnych. Równie ważny jest także stan perfuzji mózgowej oraz rezerwa naczyniowa (wydolność autoregulacji) [11].

Informacja o stanie perfuzji mózgowej w okresie przedoperacyjnym, a także dane z wywiadu dotyczące czasu trwania choroby mają istotne znaczenie kliniczne. Oczywiście ważne są wyniki badań obrazowych tętnic szyjnych (charakter blaszki: stabilna lub niestabilna), stopień zwężenia naczynia lub naczyń, warunki anatomiczne.

Szczególnie istotna jest ocena autoregulacji naczyniowej, której upośledzenie jest przyczyną zmniejszenia wydolności krążenia mózgowego, również po operacji tętnic szyjnych i wiąże się z powstaniem zespołu reperfuzyjnego (do 5 % chorych operowanych z powodu zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej) [11].

Zespół reperfuzyjny (hyperperfuzyjny) mózgowy występuje najczęściej jako następstwo udrożnienia tętnicy szyjnej wewnętrznej bądź zabiegów wewnątrznaczyniowych (stenty, angioplastyka) [12]. Zespół ten definiuje się jako zwiększenie przepływu mózgowego większe niż fizjologiczne konieczne lub też jego wzrost większy niż 100% w porównaniu z przepływem mierzonym przed udrożnieniem tętnicy szyjnej wewnętrznej. Objawy pojawiają się głównie u chorych, u których dochodzi w czasie operacji do znacznego zmniejszenia przepływu mózgowego i tych,



którzy wymagają zastosowania czasowego przepływu wewnętrznego. Częściej występuje też u chorych z dużym zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej po stronie operowanej i zwężeniem lub niedrożnością tętnicy szyjnej wewnętrznej po stronie przeciwnej.

Stwierdzono także istotną korelację częstości występowania zespołu reperfuzyjnego z czasem trwania klinicznych objawów niewydolności krążenia mózgowego [13,14].

Mechanizm powstawania tego zespołu nie jest do końca wyjaśniony. Prawdopodobną przyczyną jest upośledzona reaktywność łożyska naczyniowego wywołana długotrwałym zmniejszeniem przepływu po stronie znacznie zwężonej tętnicy szyjnej wewnętrznej. Wydaje się, iż zaburzenia autoregulacji są następstwem długo trwającego maksymalnego poszerzenia arterioli, które przy powrocie do prawidłowego przepływu nie wracają do wyjściowej szerokości. Po udrożnieniu lub rozszerzeniu tętnicy szyjnej wewnętrznej przepływ mózgowy znacznie wzrasta. Objawy występują zwykle 1-7 dnia po operacji u chorych z niskim podstawowym przepływem mózgowym i wzrostem przepływu po operacji o wartości przepływu równej lub większej niż 100-200% w stosunku do wartości wyjściowej. Objawy przekrwienia mózgu chorzy odczuwają najczęściej jako silne połowiczne bóle głowy, oka i twarzy. Mogą im towarzyszyć napady drgawek (0,4-1,3 %), krwawienia wewnątrzczaszkowe (0,6-3,8%) oraz bóle głowy o typie migrenowym. Niepowikłany zespół przekrwienno-udroźnieniowy wymaga leczenia objawowego i wycofuje się z reguły samoistnie po kilku tygodniach. Powikłania w postaci napadów drgawek czy krwawienia wewnątrzczaszkowego wymagają właściwego leczenia a śmiertelność jest wówczas wysoka i sięga prawie 40% (10) W dotychczasowym piśmiennictwie dotyczącym zastosowania badań perfuzyjnych do oceny przed i pooperacyjnej u chorych planowanych do zabiegu naprawczego tętnic szyjnych omawiane wyżej aspekty pojawiają się marginalnie; autorzy wyrażają przekonanie, iż ocena efektów poszerzenia tętnicy szyjnej i stan autoregulacji naczyń mózgowych są klinicznie równie ważne i wymagają jednoczesnej oceny.

## Cele pracy

Celami pracy były:

- ocena klinicznej wartości perfuzyjnego badania TK u chorych operowanych lub leczonych endowaskularnie z powodu zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej
- wstępna ocena przydatności testu autoregulacji naczyniowej w prognozowaniu wystąpienia zespołu reperfuzyjnego

## Materiał i metodyka

Badania perfuzji TK mózgowia wykonano u 40 chorych (18 kobiet i 22 mężczyzn w wieku 43-72 lat) (lata 2002-2004) leczonych w Klinice Chirurgii i Zakładzie Diagnostyki Radiologicznej CSK MSWiA z powodu zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej. Kryterium włączenia do dalszych badań stanowiły przypadki izolowanego zwężenia tętnicy

szyjnej, większego niż 70%, w których zmiany po stronie przeciwnej były nieistotne hemodynamicznie; klinicznie chorzy manifestowali zespół przemijającego niedokrwienia mózgu, część wszystkich nich przeżyła wcześniej udar mózgowy. U wszystkich chorych badanie perfuzyjne TK wykonano dwukrotnie przed i po zabiegu udrożnienia zwężonej tętnicy.

Do zabiegów wewnątrznaczyniowych nie kwalifikowano chorych z bezobjawowymi zwężeniami tętnicy szyjnej wewnętrznej. Rozpoznanie zmian w tętnicach szyjnych było postawione na podstawie badań:

- USG (duplex doppler) u 20 chorych
- USG (duplex doppler) i DSA u 17 chorych
- USG (duplex doppler) i angiografii MR u 2 chorych
- USG (duplex doppler) i angiografii TK u 1 chorego

Angiografię TK, MR lub DSA wykonano w przypadkach trudności lub wątpliwości diagnostycznych w badaniu ultrasonograficznym z podwójnym obrazowaniem. W przypadkach leczenia endowaskularnego DSA zawsze poprzedzało zabieg.

Kwalifikację do chirurgicznego udrożnienia lub zabiegu wewnątrznaczyniowego oparto na powszechnie przyjętych wskazaniach klinicznych (1). Operowano 23 chorych, u 17 wykonano zabieg wewnątrznaczyniowy. Do operacji kwalifikowano chorych ze zwężeniem większym niż 70%. Wskazaniem do implantacji stentu u 17 chorych było:

- zwężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej powyżej 70% u chorych z obciążeniami kardiologicznymi - 10 chorych
- zmiany popromienne prowadzące do zwężenia tętnic - 4 chorych
- restenoza, z wysokim podziałem tętnicy szyjnej wewnętrznej utrudniająca udrożnienie - 2 chorych
- wysoki podział tętnicy szyjnej wewnętrznej uniemożliwiający wykonanie udrożnienia tętnicy szyjnej wewnętrznej - 1 chorego

W grupie chorych operowanych lub stentowanych badanie TK i p-TK wykonywano nie wcześniej niż dwie doby przed planowaną operacją, zaś kontrolne badanie TK i p-TK nie później niż trzy doby po operacji lub zabiegu wewnątrznaczyniowym.

Do standardowych badań TK dla wstępnej oceny mózgowia wykorzystywano późną fazę badania dynamicznego TK.

Perfuzyjne badanie TK przeprowadzano w trakcie dożylnego podania (bolusa) jodowego środka kontrastowego o stężeniu 300mmol/ml z prędkością 5 ml/sek. z stosowaniem opcji CINE 1 sek., rekonstrukcji 0,5 sek., o łącznym czasie ekspozycji 45 sek., opóźnienie 5 sek., 80 kV, 190 mA. Warstwę badania p-TK grubości 10mm przeprowadzano u wszystkich chorych na poziomie jąder podstawy i wzgórz



powyżej zbiornika podstawnego, umożliwiającą uwidocznienie obszarów zaopatrzenia tętnic przednich, środkowych i tylnych mózgu.

Przy użyciu stacji AW 4.0 uzyskane obrazy (45 skanów) prezentujące pierwsze przejście środka kontrastowego, służyły one wykreśleniu krzywych stężenia w dużych naczyniach (tętnicach i żyłach) oraz w symetrycznych obszarach zainteresowania ROI (ok. 20 mm<sup>2</sup>), umieszczanych w dorzeczu tętnicy środkowej mózgu. Następnie za pomocą pakietu perfuzji TK opracowywano mapy parametrów perfuzji mózgowej tj.:

- regionalnej objętości krwi – Regional Cerebral Blood Volume (rCBV) w ml/ 100 g,
- regionalnego przepływu krwi – Regional Cerebral Blood Flow (r-CBF) w ml/ 100 g/ min,
- średniego czasu przejścia – Mean Transit Time (MTT) w sek.,
- czasu dojścia do szczytu krzywej – Time to Peak (TTP) w sek.

Parametryczne mapy perfuzji mózgowej i ocenę ilościową w rejonach zainteresowania opracowywano z użyciem zaproponowanego wcześniej protokołu.

Ocenę autoregulacji naczyniowej po stymulacji Diamoxem (acetazolamid) przeprowadzono u 14 chorych z krytycznym zwężeniem tętnicy szyjnej, w grupie operowanych chirurgicznie lub poddanych zabiegom angioplastyki ze stentowaniem, u których objawy neurologiczne były znacznie nasilone (częste ataki TIA, przeżyty udar) zaś czas ich występowania nie krótszy niż pięć lat. Takie kryterium włączenia do grupy badanych po zastosowaniu Diamoxu wynikało z hipotezy, iż u tych chorych może dojść do upośledzenia autoregulacji naczyniowej i że znajdują się w grupie wysokiego ryzyka wystąpienia zespołu reperfuzyjnego.

Wartość przedstawionych powyżej parametrów: CBV, CBF, MTT i TTP oceniano w odniesieniu do badania przed podaniem leku. Dodatkowym wprowadzonym parametrem była wartość mózgowej naczyniowej rezerwy objętościowej (cerebrovascular reserve capacity – CRC) obliczanej jako różnicę wartości CBV po stymulacji Diamoxem i przed podaniem leku wg wzoru:

CRC = CBV po podaniu DIAMOX-u – CBV przed podaniem DIAMOX-u

Zabiegi angioplastyki z implantacją stentów w obrębie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej wykonano w Zakładzie Diagnostyki Radiologicznej CSK MSWiA.

Wszystkie zabiegi przeprowadzone były w znieczuleniu miejscowym z dojścia metodą Seldingera. W fazie pierwszej badania wykonano diagnostyczną arteriografię łuku aorty a następnie arteriografię wybiórczą tętnic szyjnych; kolejnym etapem było umieszczenie systemu protekcji naczyń mózgowych (Angioguard XP Cordis) w obrębie tętnicy szyjnej wewnętrznej powyżej jej zwężenia. W żadnym z 17 przypadków nie zaistniała potrzeba wykonania pierwotnego poszerzenia zwężenia przed implantacją syste-

mu protekcyjnego (nawet w przypadkach obecności tzw. zwężenia krytycznego). U trzech chorych wykonano wstępne poszerzenie zwężenia po wprowadzeniu systemu protekcji balonem 20 x 3mm.

Następnym etapem zabiegu było wprowadzenie i uwolnienie samorozprężalnego stentu szyjnego (Precise Cordis-15, Zilver Cook-2, Carotid Wall Boston Scientific-1). Po uwolnieniu stentu wykonywano jego doprężenie (z użyciem strzykawki wysokociśnieniowej) balonem 40 x 5 mm (typ monorail lub over the wire) uzyskując prawidłowe poszerzenie zwężenia tętnicy.

### Grupa kontrolna

Grupę kontrolną, w której wykonano badanie p-TK (bez testu z Diamoxem) stanowiło 25 chorych w wieku 40–68 lat (śr. 54 lata), badanych w tomografii komputerowej celem wykluczenia procesu rozrostowego lub/ i wyjaśnienia przyczyny uporczywych bólów głowy. U części chorych w dalszej fazie badania wykorzystano zakontrastowanie naczyń do rekonstrukcji wtórnej (angio-TK).

### Metody statystyczne

Do analizy włączono 40 pacjentów z hemodynamicznie istotnym, jednostronnym zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej. Porównywano wartości CBV, CBF, MTT oraz TTP w obszarach zainteresowania umieszczonych w dorzeczu tętnic środkowych mózgu po stronie zwężenia oraz po stronie zdrowej. Ponadto porównywano wartości CBV, CBF, MTT i TTP po stronie zwężenia przed i po zabiegu operacyjnym lub endowaskularnym. Z uwagi na nieparametryczny (test Shapiro-Wilka) rozkład danych posłużono się testem Wilcoxon dla par porównanych. Za statystycznie istotną przyjęto wartość  $p < 0,05$ . Różnice procentowe w wartościach parametrów perfuzji dodatkowo przedstawiono w formie wykresów.

### Wyniki

Objawy kliniczne stwierdzane u chorych przed operacją lub zabiegiem wewnątrznacyniowym przedstawia tabela 1.

Dodatkowo u 11 spośród 40 chorych stwierdzano w wywiadzie przeżyty udar niedokrwienny (powyżej 3 lat przed zabiegiem)

Wyodrębniono 2 podgrupy chorych z jednostronnym zwężeniem tętnicy szyjnej w zależności od stopnia zwężenia:

**Table 1.** Symptoms assessed in patients before carotid endarterectomy or endovascular procedure.

**Tabela 1.** Objawy stwierdzone u chorych przed udrożnieniem tętnicy szyjnej wewnętrznej lub zabiegiem wewnątrznacyniowym.

Przebieg	Liczba chorych
Przejęciowy atak niedokrwienny	32
Przejęciowe zaniewidzenie jednoocznego	8
Zespoły przemijającego niedokrwienia	Razem 40



- 16 (40%) chorych - ze zwężeniem ICA 70-90%
- 24 (60%) chorych ze zwężeniem ICA > 90%

### Wyniki badań p-TK w grupie kontrolnej

Wartości poszczególnych parametrów perfuzji mózgowej otrzymanych na podstawie pTK uzyskano po zbadaniu 25 chorych bez wywiadu niedostateczności krążenia mózgowego, u których badanie dwufazowe wykonano ze wskazań klinicznych - wykluczenie procesu rozrostowego (19 przypadków), wykluczenie malformacji naczyniowej (2 przypadki) oraz inne (4 przypadki). Wiek osób w grupie kontrolnej nie różnił się istotnie od wieku pacjentów grupy badanej (tabela 2).

### Wyniki p-TK w grupie badanej

Spośród analizowanych 40 chorych u 36 w przedoperacyjnym badaniu p-TK uzyskano nieprawidłowości w parametrach perfuzji mózgowej w obszarze unaczynienia tętnicy środkowej mózgu po stronie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej; u 25 ze zwężeniem po stronie lewej, u 11 po stronie prawej.

W podgrupie 16 chorych ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej 70-90% w badaniu przedoperacyjnym p-TK u 12 obserwowano zmiany w parametrach perfuzji po stronie zwężenia ICA - obniżenie CBV średnio o 9%, CBF średnio o 10%, wydłużenie MTT średnio o 14% oraz TPP średnio o 6% w porównaniu z pomiarami w przeciwległej półkuli mózgu (ryc.1, 2).

W podgrupie 24 chorych ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej > 90% zmiany w parametrach perfuzji po stronie zwężenia obserwowano we wszystkich przypadkach; relatywne zmniejszenie CBV średnio o 12%, CBF średnio o 27%, wydłużenie MTT średnio o 35% oraz TPP średnio o 15% (ryc.3,4,5,6) wyraźniej zaznaczone niż w grupie ze zwężeniem mniejszego stopnia.

U 14 chorych z podgrupy krytycznego zwężenia ICA, u których objawy kliniczne trwały najdłużej (powyżej

**Table 2.** Values of brain perfusion parameters in the control group.  
**Tabela 2.** Wartości parametrów perfuzji mózgowej w grupie kontrolnej.

Parametr	Wartość	Odchylenie standardowe (SD)
CBV (ml/100g)	5,8	0,8
CBF (ml/100g/min)	75,9	21,6
MTT (sek)	2,26	1,08
TTP (sek)	16,7	11,6

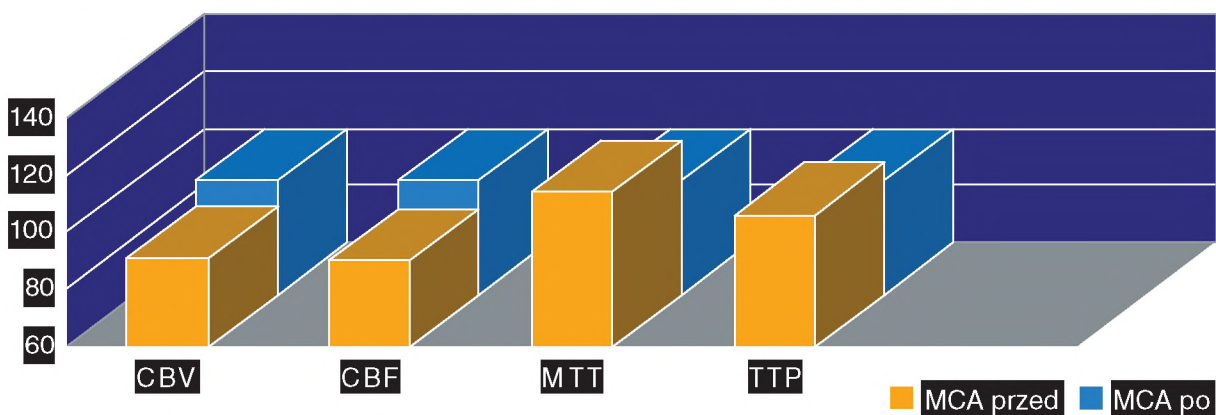
5 lat) wykonano test na autoregulację naczyniową, podając Diamox; objawy wyraźnego upośledzenia regulacji naczyniowej wyrażone brakiem zwiększenia wartości CBV i brakiem wyraźnych zmian w wartości MTT stwierdzono u 12 chorych (80%).

W analizowanej grupie 14 chorych u 5 stwierdzono powikłania po operacji tętnicy szyjnej. W jednym przypadku doszło do powstania śródmózgowego krwiaka samoistnego, w pozostałych 4 przypadkach chorzy zgłaszali bardzo silne bóle głowy, niepokój zaburzenia orientacji trwające kilka dni po zabiegu chirurgicznym (kliniczne cechy zespołu reperfuzyjnego). Powyższe objawy traktowane jako lekka postać zespołu reperfuzyjnego wystąpiły tylko w jednym przypadku w podgrupie chorych z umiarkowanego stopnia zwężenia ICA.

W analizie statystycznej badań p-TK przedoperacyjnych stwierdzono, że wartości CBF po stronie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej w dorzeczu tętnicy środkowej mózgu (CBFz) są istotnie mniejsze niż po stronie zdrowej (CBFn) (średnie odpowiednio CBFz = 64,9 SD 20 oraz CBFn = 71, 5 SD 13). Wartości średniego czasu przejścia po stronie zwężenia MTTz istotnie wyższe niż po stronie zdrowej (MTTn), średnie MTTz = 4,2 SD 5,4 oraz MTTn = 2,9 SD 1,2.

Po stronie zdrowej TTP był istotnie krótszy (średnia TTPn = 21,1 SD 4,2), niż po stronie zwężenia (TTPz = 21,9 SD 4,9).

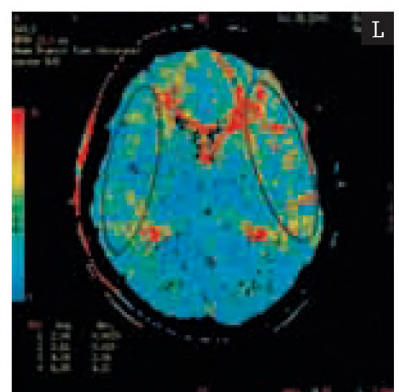
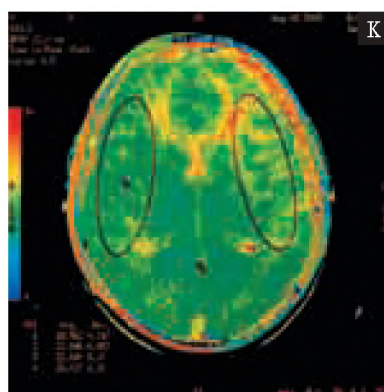
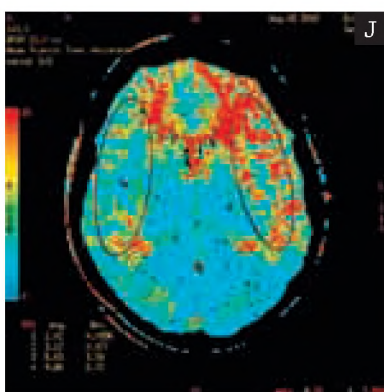
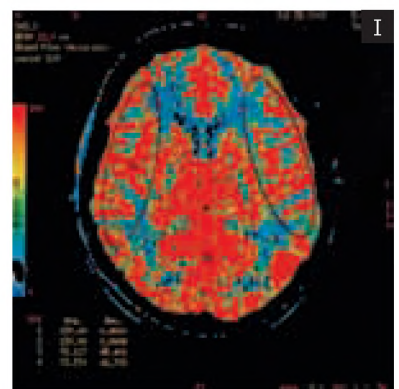
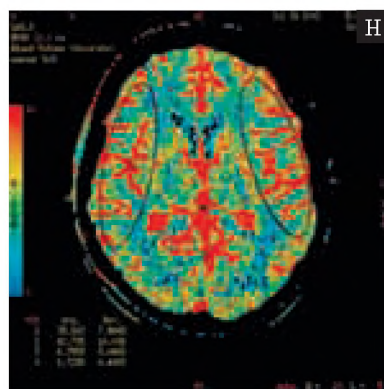
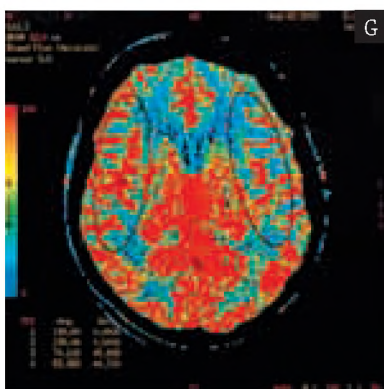
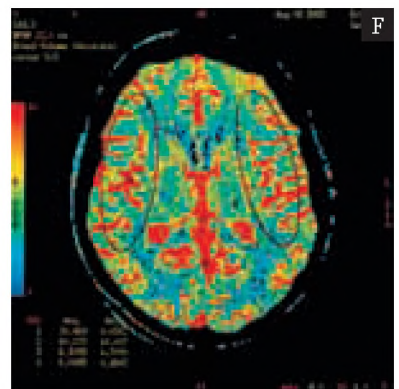
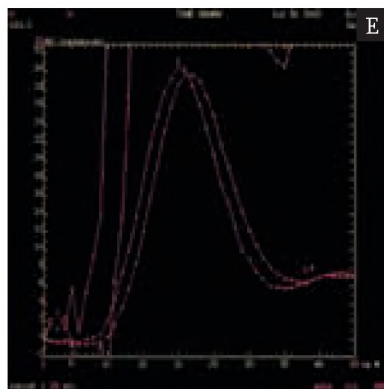
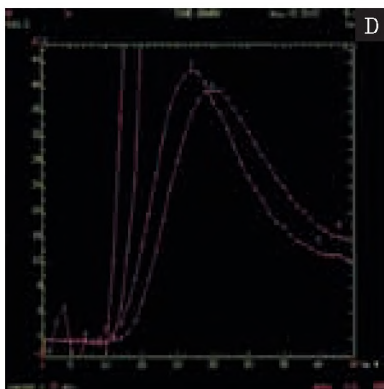
Dane przed i po operacji analizowano dla łącznie dla obu podgrup chorych. W badaniach pooperacyjnych p-TK ana-



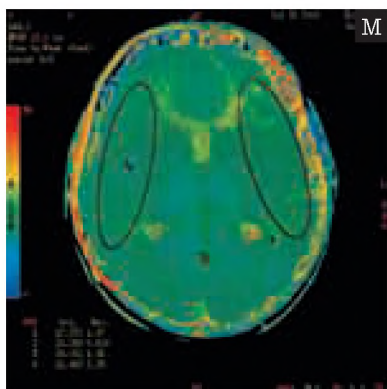
**Figure 1.** Comparison of percentage changes in pre- and post-recanalization perfusion parameters in the MCA supply territory ipsilateral to 70%-90% of the carotid stenosis.

**Rycina 1.** Porównanie procentowych zmian w parametrach perfuzji w dorzeczu MCA po stronie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej 70%- 90% przed i po jej udrożnieniu.









**Figure 2.** DSA performed in a patient with less than 90% stenosis and severe bending in the proximal portion of the left internal carotid artery before (a) and after successful recanalization and stent placement (b, c). Perfusion CT performed before treatment revealed significant changes in the left MCA supply territory and left watershed ACA/MCA zone (d, f, g, j, k). After the endovascular procedure there were distinct increases in CBV and CBF as well as shortening of MTT and TTP ipsilaterally to the recanalized artery (e, k, i, l, m).

**Rycina 2.** DSA u chorego ze zwężeniem do 90% i zagięciami początkowego odcinka lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej (a) po skutecznym udrożnieniu po implantacji stentu szyjnego (b, c). W p-TK przed zabiegiem znaczne upośledzenie parametrów perfuzji w dorzeczu lewej MCA oraz obszarze granicznym lewym ACA/MCA (d, f, g, j, k). W pomiarach parametrycznych po operacji wyraźny wzrost CBV, CBF, skrócenie MTT i TTP po stronie udrożnionej tętnicy (e, k, i, l, m).

liza pomiarów parametrów perfuzji po stronie udrożnionej tętnicy wykazała statystycznie istotny wzrost wartości CBV oraz CBF, a także istotne skrócenie czasu MTT oraz TTP (tabela 3, ryc. 1, 3, 7, 8).

### Omówienie

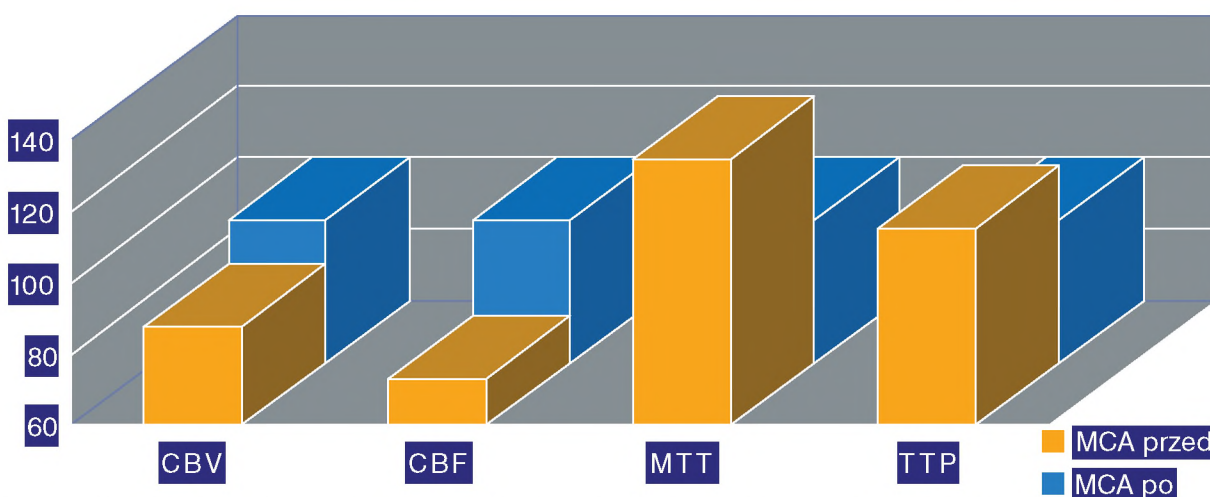
W ostatnich latach wraz z szerszym klinicznym zastosowaniem perfuzji mózgowej TK (a także innych metod perfuzji mózgowej) rośnie zainteresowanie oceną krążenia mózgowego u chorych leczonych z powodu zwężenia tętnic szyjnych i następowej niewydolności krążenia mózgowego [15].

Wiąże się to z poszukiwaniem metody, która w obiektywny sposób może wykazać poprawę stanu krążenia po operacji naprawczej tętnic szyjnych; w praktyce jednak trudno dopatrzyć się liniowej zależności pomiędzy stopniem zwężenia i stanem mikrokrążenia mózgowego, a także zależności między poprawą przepływu w tętnicach domózgowych, a poprawą krążenia krwi w mózgowiu. Klasycznym tego przykładem jest zespół reperfuzyjny, w którym nadmierna perfuzja mózgowa u chorych z długotrwałym krytycznym zwężeniem tętnic szyjnych prowadzi do poważnych powikłań i paradoksalnej sytuacji, w której zwiększona pula krwi jest przyczyną wstrząsu oksydacyjnego [10,12,13].

Drugim przykładem potencjalnych rozbieżności między perfuzją mózgową a stopniem zwężenia tętnic szyjnych jest sytuacja, w której relatywnie nieznaczne zwężenie (poniżej 60%) z niestabilną blaszką miażdżycową, która stanowi potencjalne źródło zatorów mózgowych, współistnieje z dużym zwężeniem strony przeciwnej, zakwalifikowanym do zabiegu operacyjnego. U tych chorych stentowanie krytycznie zwężonej tętnicy z pozostawieniem po stronie przeciwnej wspomnianej blaszki miażdżycowej nie wyeliminuje przemijających ataków niedokrwieniowych bądź udaru.

Wspomniane przykłady pozwalają uświadomić sobie, iż monitorowanie efektów leczenia zwężenia tętnic szyjnych wymaga wyeliminowania wszystkich znanych przyczyn niewydolności krążenia mózgowego takich jak: upośledzenie autoregulacji naczyniowej, hipotonia lub wahania ciśnienia oraz wspomniane niestabilne blaszki miażdżycowe i długotrwałe krytyczne zwężenie tętnic domózgowych (zespół reperfuzyjny).

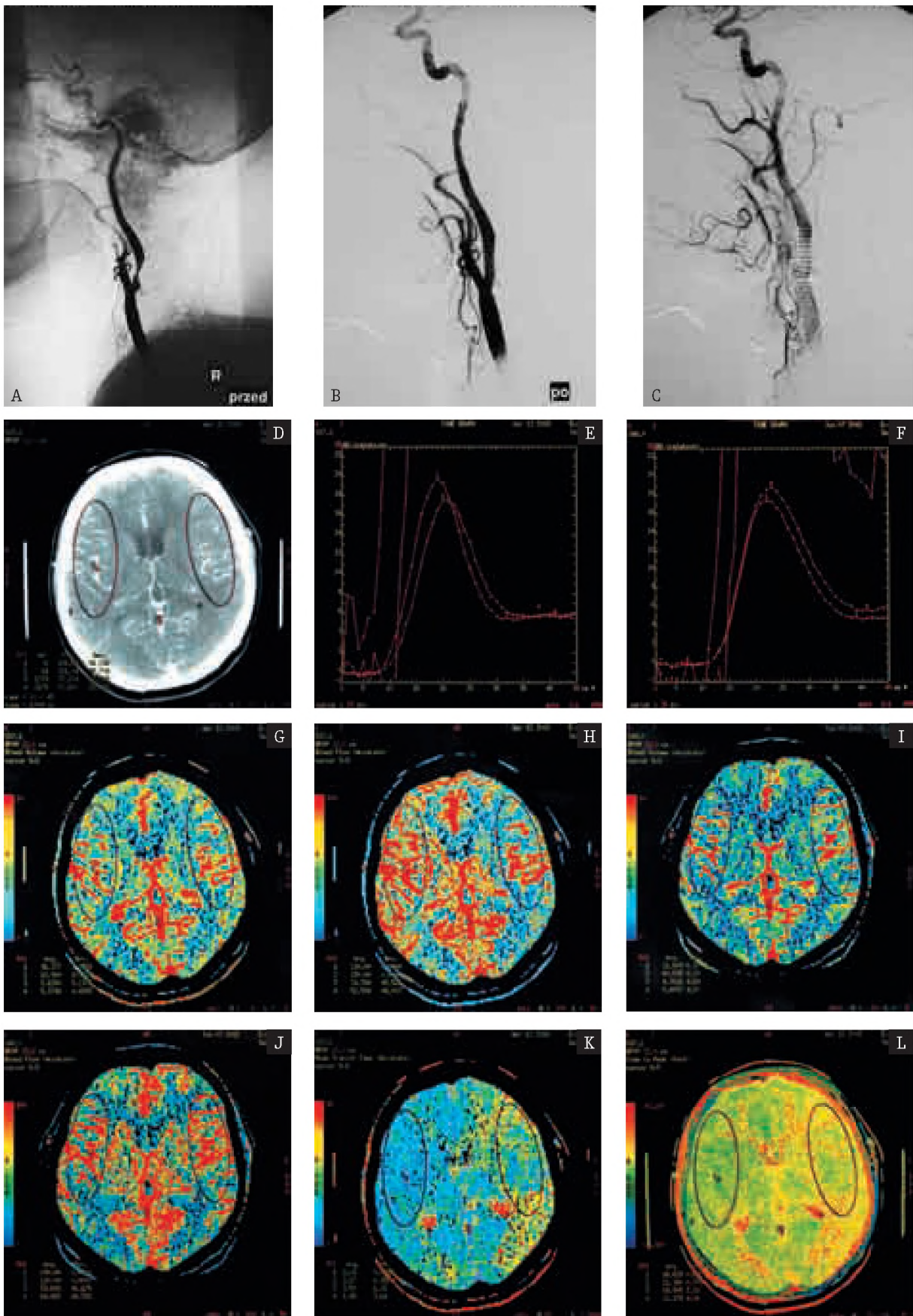
W naszym materiale udało się dokładnie ocenić tętnice przeciwne (nieistotnie zwężone, pozbawione miękkich blaszek). Wszyscy chorzy byli kontrolowani internistycznie. W grupie klinicznej w okresie przed zabiegiem naprawczym zwężonej tętnicy w większości przypadków (90%) autorzy



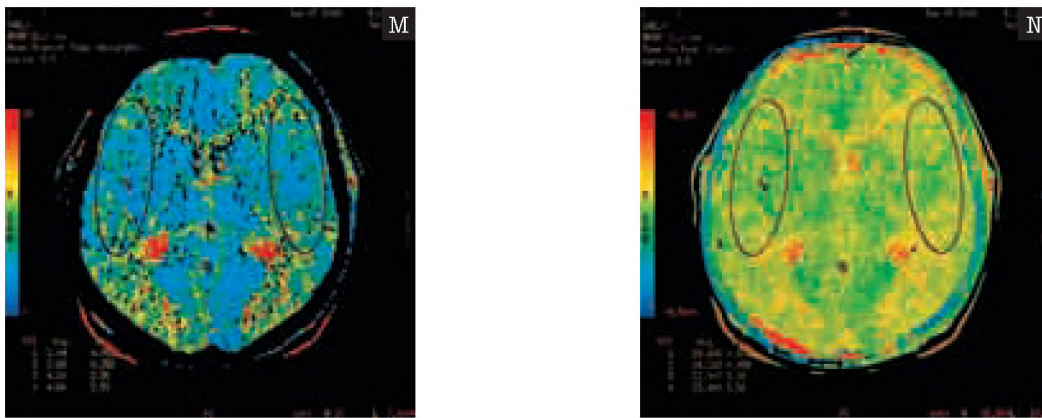
**Figure 3.** Comparison of percentage changes in pre- and post-recanalisation perfusion parameters at MCA supply territory ipsilateral to carotid stenosis (>90%).

**Rycina 3.** Porównanie procentowych zmian w parametrach perfuzji w dorzeczu MCA po stronie zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej (> 90%) przed i po jej udrożnieniu.



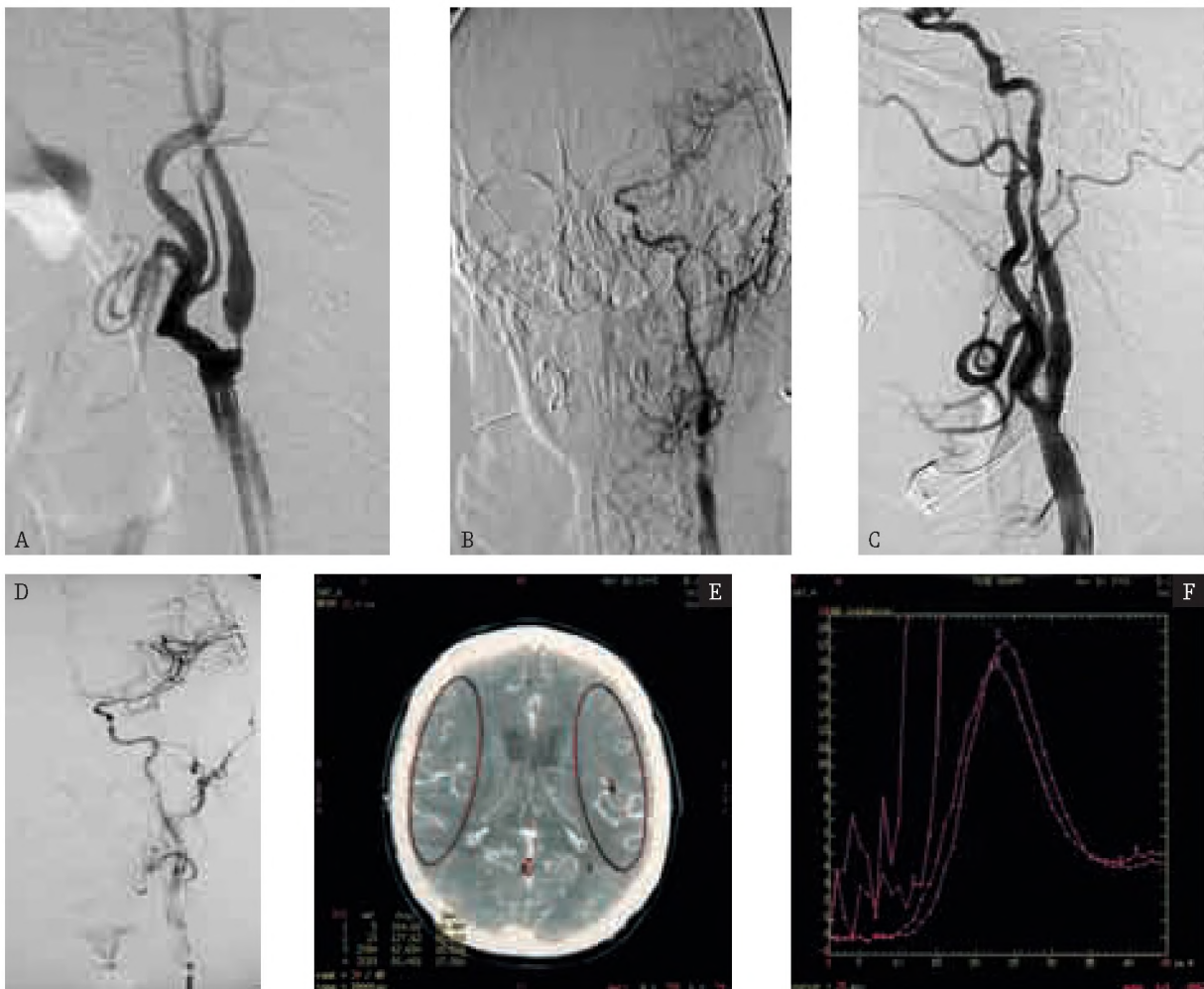




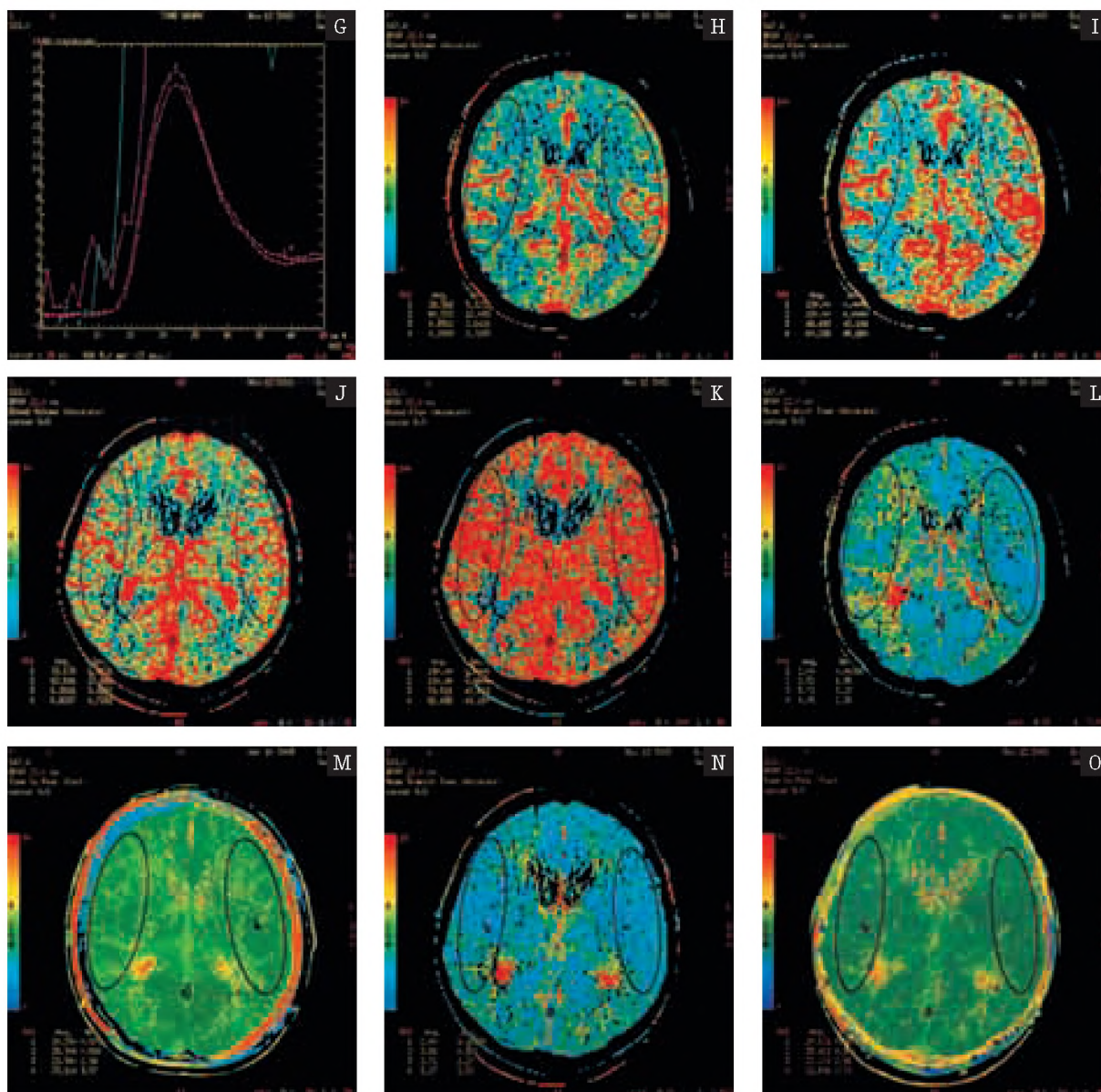


**Figure 4.** DSA performed in a patient with 90% stenosis in the proximal portion of the left internal carotid artery before (a) and after successful dilatation with a self-expanding carotid stent (b, c). Comparison of the concentration curves (e, f) and p-CT parametric maps (g–n) before and after the endovascular procedure, revealing hypoperfusion in left MCA supply territory and watershed zones as well as interhemispheric equalization of the perfusion parameters after recanalization; increase in rCBF (j), shortening of MTT (m), and equalization of TTP (n) on the left side.

**Rycina 4.** Badanie DSA u chorego z 90% zwężeniem początkowego odcinka lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej (a) oraz po skutecznym poszerzeniu samorozprężalnym stentem szyjnym (b,c). Zestawienie krzywych stężenia (e, f) i map parametrycznych w p-TK (g–n) przed i po zabiegu wewnątrz-naczyniowym uwidaczniające hipoperfuzję w obszarze unaczynienia lewej MCA i obszarach granicznych oraz międzypółkulowe wyrównanie parametrów perfuzji po jej udrożnieniu; zwiększenie regionalnego CBF (j), skrócenie MTT (m) i wyrównanie TTP (n) po stronie lewej.







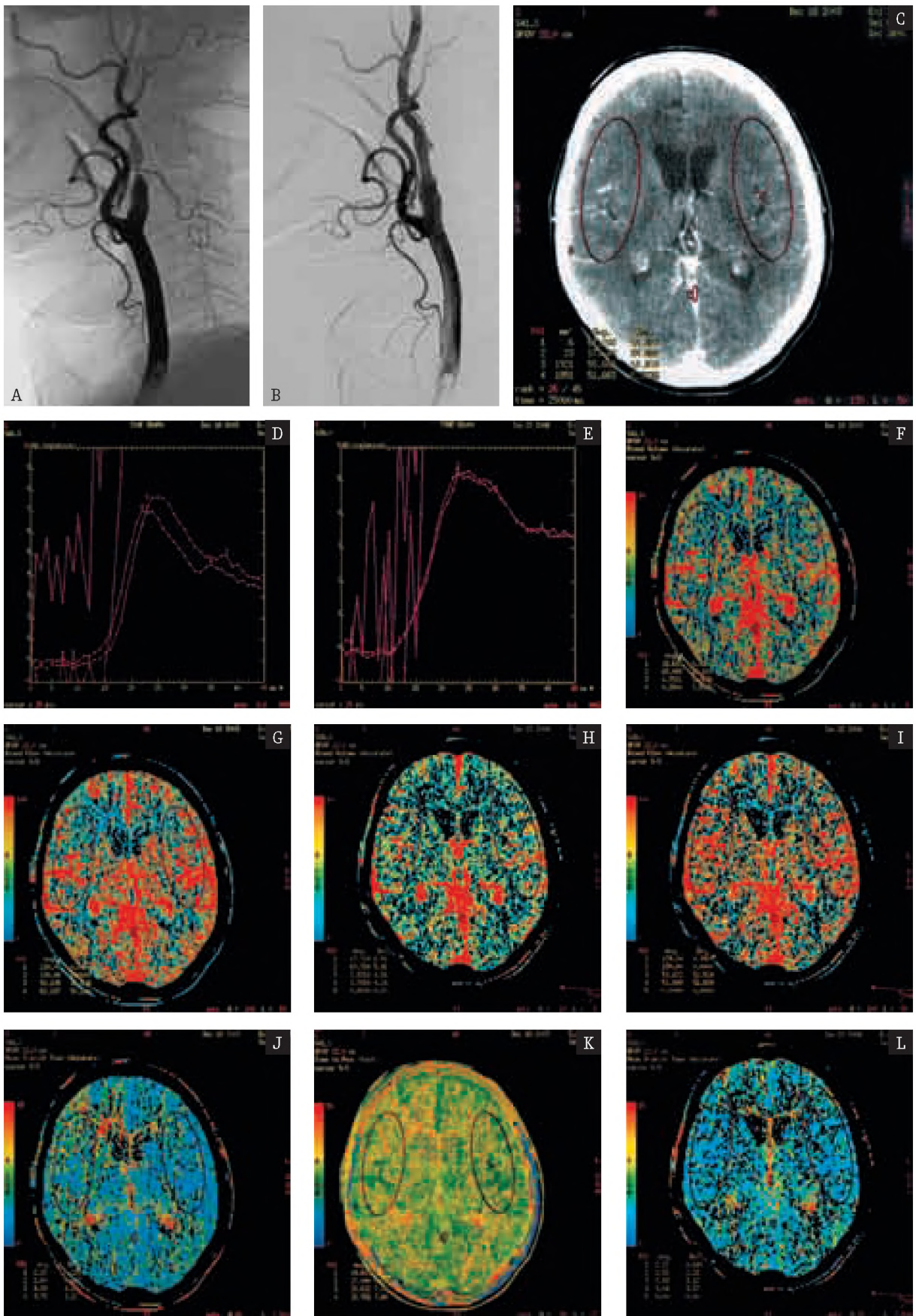
**Figure 5.** DSA performed before endovascular procedure revealing critical concentric stenosis with poststenotic dilatation in proximal portion of right ICA (a,b). Control exam after carotid stent placement resulting in artery recanalisation (c, d). p-CT revealing relative increase of CBV, decrease of CBF and lengthening of MTT and TTP in MCA supply territory and watershed zones ipsilaterally to the stenosis (f, h, i, l, m).

**Rycina 5.** W DSA przed zabiegiem wewnątrznaczyniowym krytyczne, koncentryczne zwężenie początkowego odcinka prawej ICA z poststenotycznym jej poszerzeniem (a,b). Kontrola po założeniu stentu szyjnego z udrożnieniem tętnicy (c,d). W p-TK przed zabiegiem relatywne zwiększenie CBV, obniżenie CBF oraz wydłużenie MTT i TPP w dorzeczu MCA i obszarach granicznych po stronie zwężenia (f, h, i, l, m).

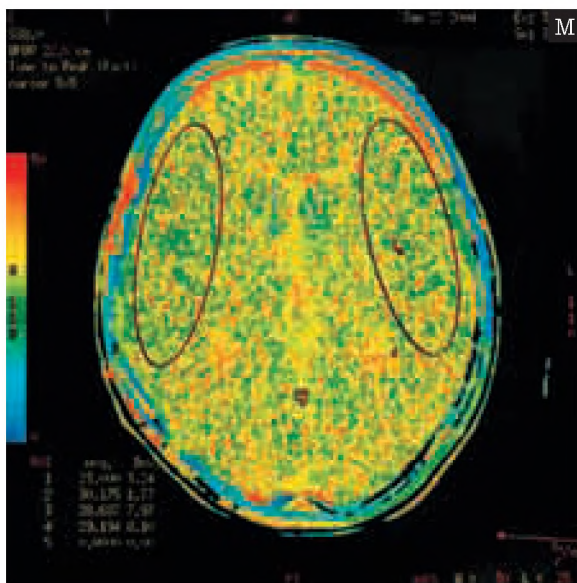
**Table 3.** Mean values of brain perfusion parameters in the MCA supply territory ipsilateral to the carotid stenosis in the pre- and postoperative periods.  
**Tabela 3.** Średnie wartości parametrów perfuzji mózgowej w dorzeczu MCA po stronie zwężenia ICA w okresie przed i pooperacyjnym.

Średnie parametrów perfuzji	Przed udrożnieniem ICA	Po udrożnieniu ICA
rCBV	rCBVz = 5,3 SD 1,7	rCBVz1 = 5,9 SD 1,6
rCBF	rCBFz = 64,9 SD 20,1	rCBFz1 = 73,8 SD 16,7
MTT	MTTz = 4,2 SD 5,4	MTTz1 = 3,2 SD 0,6
TTP	TTPz = 21,9 SD 4,9	TTPz1 = 17,8 SD 2,7









**Figure 6.** DSA in a patient with a high division of the right common carotid artery and critical stenosis of the internal carotid artery before (a) and after dilatation with a carotid stent (b). p-CT concentration curve of the right MCA supply territory (d) displaying delayed time to peak and transit time in comparison to the left side. After the procedure, equalization of the time to peak (e). Parametric images revealed at the side of the previous stenosis distinct increases in CBV and CBF (h, i) as well as shortening of MTT and TTP (l, m) compared with the initial perfusion parameters (f, g, j, k).

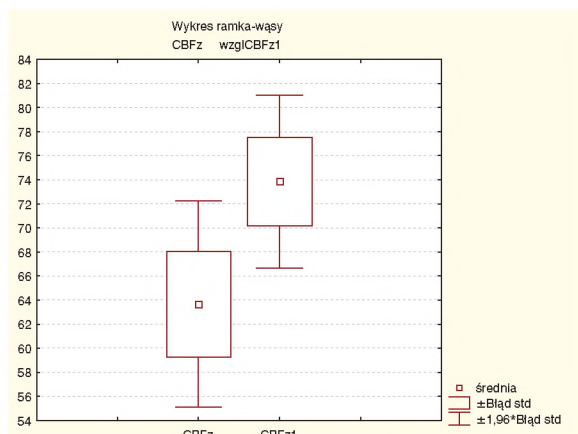
**Rycina 6.** DSA u chorego z wysokim podziałem prawej tętnicy szyjnej wspólnej i krytycznym zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej przed (a) i po jej poszerzeniu stentem szyjnym (b). Krzywa stężenia p-TK w dorzeczu prawej MCA (d) z opóźnionym czasem dojścia i przejścia środka kontrastowego w porównaniu z krzywą strony lewej. Po wykonanym zabiegu zaznaczone wyrównanie dojścia do szczytu krzywych (e). W pomiarach parametrycznych wyraźne podwyższenie CBV, CBF (h, i) i skrócenie MTT i TTP (l, m) po zabiegu po stronie zwężonej tętnicy w zestawieniu z wyjściowymi wartościami parametrów perfuzji (f, g, j, k).

stwierdzili nieprawidłowe parametry perfuzji mózgowej w obszarze unaczynienia tętnicy środkowej mózgu po stronie zwężonej tętnicy szyjnej wewnętrznej. Dobór pacjentów do badania pozwolił na uzyskanie dość jednoznacznych wyników. We wszystkich przypadkach gorsza perfuzja wiązała się ze znacznego stopnia zwężeniem tętnicy szyjnej (ipsilateralnie), zaś objawy mózgowe wskazywały na to, iż u niektórych chorych zawodziły częściowo mechanizmy autoregulacji. Powyższe wyniki korespondują z doniesieniami innych autorów, przede wszystkim zaś Lu i wsp. [16]. Na podstawie własnego materiału stwierdziliśmy nieznaczne obniżenie względnej regionalnej mózgowej objętości krwi (rrCBV), zmniejszenie CBF oraz wydłużenie czasów TTP i MTT po stronie zwężonej tętnicy. Wyniki te różniły się dość istotnie w podgrupach zwężenia ICA 70–90% i w podgrupach > 90% (krytyczne).

Każdy ze wspomnianych parametrów ma swój wykładnik hemodynamiczny i odpowiada określonej sytuacji patofizjo-

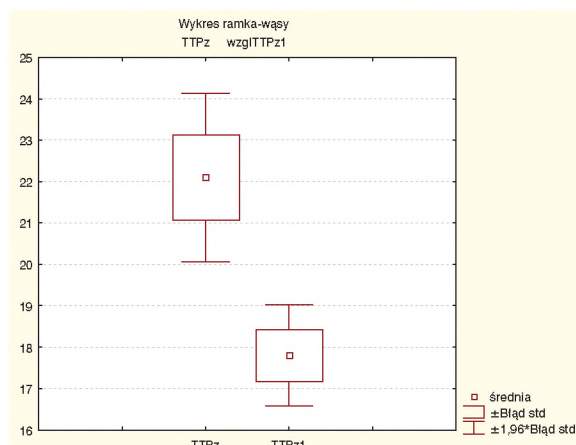
logicznej związanej z krążeniem mózgowym. Zdecydowanie najbardziej interesujący z punktu widzenia rezerwy naczyniowej jest parametr objętości krwi w mózgu (rrCBV) [17,18]. Wartość rrCBV zależy od kalibru naczyń i liczby drobnych kapilar; utrzymywanie się prawidłowych wartości tego parametru świadczy o prawidłowej autoregulacji naczyniowej. Wraz z pojawieniem się objawów neurologicznych należy myśleć o stopniowym upośledzeniu autoregulacji, który nieuchronnie prowadzi do udaru dokonanego. Pojawiło się wiele prac, podkreślających wartość tego parametru jako wykładnika zachowanej bądź zaburzonej autoregulacji [11,15,17].

Wartość przepływu krwi w mózgu (CBF) prezentuje objętość krwi płynącej w mózgu w jednostce czasu. Ta wartość zmniejszała się odpowiednio do stopnia zwężenia i obok średniego czasu przejścia (MTT) oraz czasu dojścia do krzywej traktowane są jako najsilniejsze markery upośledzonej perfuzji w półkuli o krytycznie zwężonej tętnicy szyjnej; powyższe spostrzeżenia znaleźć można w wielu pracach publikowanych



**Figure 7.** Graphic presentation of mean CBF values ipsilateral to carotid stenosis evaluated pre- (CBFz) and post treatment (CBFz1).

**Rycina 7.** Wykres średnich wartości CBF po stronie zwężonej tętnicy szyjnej wewnętrznej w okresie przed- (CBFz) i pooperacyjnym (CBFz1).



**Figure 8.** Graphic presentation of mean TTP values ipsilateral to carotid stenosis evaluated pre- (TTPz) and post treatment (TTPz1).

**Rycina 8.** Wykres średnich wartości TTP po stronie zwężonej tętnicy szyjnej wewnętrznej w okresie przed- (TTPz) i pooperacyjnym (TTPz1).



w ostatnim dziesięcioleciu [15,17,18,19]. Autorzy tych prac szczególną uwagę przywiązują do parametru czasu osiągnięcia amplitudy krzywej (TTP -time to peak); TTP wydłuża się nie tylko w krytycznym zwężeniu tętnicy lub jej niedrożności, ale także w przypadkach gorszego krążenia w kole Willisja.

Interesujące wydają się być wstępne spostrzeżenia dotyczące zespołu reperfuzyjnego, który można przewidzieć wykazując brak aktywności naczyń po teście z diamoxem. Grupa badana jest jednak na razie zbyt mała, aby wyciągnąć jednoznaczne wnioski. Wielu autorów uważa, iż ocena autoregulacji naczyniowej u chorych przed zabiegiem tętnic szyjnych jest równie ważna jak ocena stanu regionalnego krążenia mózgowego [11,19].

Zespół badaczy niemieckich [20] wykazał, iż przy określaniu rezerwy naczyniowej za pomocą testu z Diamoxem wszystkie techniki perfuzji mózgowej są równie użyteczne jak 99m Tc-ECD SPECT. Za kryteria nieprawidłowej odpowiedzi na podanie DIAMOXU należy uznać mniejszy wzrost wskaźników rCBV i rCBF oraz wydłużenie czasu MTT.

Badanie perfuzji mózgowej za pomocą tomografii komputerowej ma swoją długą historię i kilka niepowodzeń

w historii neuroradiologii; jednym z nich jest niewątpliwie wycofanie się z aplikacji perfuzji z użyciem stabilnego ksenonu, który to związek dawał wiele niepożądanych reakcji psychicznych. Wprowadzenie szybkich systemów TK i doskonałego oprogramowania do badań perfuzyjnych pozwoliło na szersze stosowanie tej metody i poszerzenie wskazań, jak np. ocena neoangiogenezy (neuroonkologia), różnicowanie typu ogniska niedokrwiennego (malacja vs. penumbra) czy autoregulacji naczyniowej.

Niniejsza praca stanowi przyczynek do roli p-TK w ocenie wyników udrożnienia tętnicy szyjnej, a także prognozowania przebiegu pooperacyjnego u chorych potencjalnie zagrożonych wystąpieniem zespołu reperfuzyjnego.

## Wnioski

Badanie p-TK ma istotne znaczenie w ocenie skuteczności zabiegu udrożnienia tętnicy szyjnej.

Ocena perfuzji mózgowej z wykorzystaniem testu na autoregulację (test z acetazolamidem) pozwala na prognozowanie przebiegu pooperacyjnego u chorych potencjalnie zagrożonych wystąpieniem zespołu reperfuzyjnego.

## Piśmiennictwo

- Gandhi D.: Computed tomography and magnetic resonance angiography in cervicocranial vascular disease. *J Neuroophthalmol*, 2004; 4: 306-14.
- NASCEE: Methods, patient characteristics and progress. *North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial*. 1991; 22: 711-720.
- Pilch Kowalczyk J., Konopka M., Gibińska J., Hartel M.: Perfuzja TK – nowa jakość diagnostyce obrazowej udaru niedokrwiennego. *Medical Science Review – Diagnostic Imaging*, 2002; 1, 62-66.
- von Kummer R., Bourquain H., Bastianello S. et al.: Early prediction of irreversible brain damage after ischemic stroke at CT. *Radiology*, 2001; 1: 95-100.
- Hoeffner EG., Case I., Jain R. et al.: Cerebral perfusion CT: technique and clinical applications. *Radiology*, 2004; 3: 632-44.
- Konopka M., Pilch-Kowalczyk J., Hartel M. et al.: Permeability surface in suspected infarct and penumbra areas of the brain in acute ischemic stroke patients. *Pol J Radiol*, 2004; 3: 87-93.
- D'Audiffret A., Desgranges P., Kobeiter H., et al.: Technical aspects and current results of carotid stenting. *J Vasc. Surg*, 2001; 33: 1001-1007.
- Oureshi AL., Luft AR., Janardhan V. et al.: Identification of patients at risk for periprocedural neurological deficits associated with carotid angioplasty and stenting. 2000; 2: 376-82.
- Cremonesi A., Castriota F., Manetti R. et al.: Endovascular treatment of carotid atherosclerotic disease: early and late outcome in a non-selected population. *Ital Heart J*. 2000; 12: 801-9.
- Ogasawara K., Inoue T., Kobayashi M. et al.: Intracerebral hemorrhage after carotid endarterectomy associated with asymptomatic perioperative cerebral ischemia detected by cerebral perfusion imaging: case report. *A.Surg Neurol*, 2004; 4: 319-22.
- Yamashita T., Kashiwagi S., Nakano S. et al.: The effect of EC-IC bypass surgery on resting cerebral blood flow and cerebrovascular reserve capacity studied with stable Xe-CT and acetazolamide test. *Neuroradiology*, 1991; 3: 217-22.
- McCabe DJ., Brown MM., Clifton A.; Fatal cerebral reperfusion hemorrhage after carotid stenting. *Stroke*, 1999; 11: 2483-6.
- Ogasawara K., Yamadate K., Kobayashi M. et al. Postoperative cerebral hyperperfusion associated with impaired cognitive function in patients undergoing carotid endarterectomy. *J Neurosurg*. 2005; 1: 38-44.
- Rippy EE., Wolfe JH., Cerebral hyperperfusion syndrome-a case report and literature review. *Vasc Endovascular Surg*. 2002; 4: 291-5.
- Koenig M., Kraus M., Theek C. et al.; Quantitative assessment of the ischemic brain by means of perfusion-related parameters derived from perfusion CT. *Stroke*, 2001 Feb; 2: 431-7.
- Lu CJ., Kao HL., Sun Y. et al.; Postprocedural complications after angioplasty with stenting of the internal carotid artery. *Cerebrovasc Dis*. 2003; 3: 308-10.
- Hunter GJ., Silvennoinen HM., Hamberg LM. et al.; Whole-brain CT perfusion measurement of perfused cerebral blood volume in acute ischemic stroke: probability curve for regional infarction. *Radiology*, 2003; 3: 725-30.
- Esteban JM., Cervera V.; Perfusion CT and angio CT in the assessment of acute stroke. *Neuroradiology*. 2004; 5.
- Okazawa H., Yamauchi H., Sugimoto K. et al.; Differences in vasodilatory capacity and changes in cerebral blood flow induced by acetazolamide in patients with cerebrovascular disease. *J Nucl Med*, 2003; 9: 1371-8.
- Engelhardt M., Pfadenhauer K., Zentner J. et al.; Impaired cerebral autoregulation in asymptomatic patients with carotid artery stenosis: comparison of acetazolamide-SPECT and transcranial CO(2)-dopplersonography *Zentralbl Chir*. 2004; 3: 178-82.