

Mikula P.<sup>1</sup>, Malík M.<sup>1</sup>, Krivošík M.<sup>2</sup>, Páleník S.<sup>1</sup>, Mižičková M.<sup>1</sup>, Ružička L.<sup>1</sup>, Poláková Mištinová J.<sup>1</sup>, Javorka V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rádiologická klinika LF UK, SZU a UN, Mickiewiczova 13, 813 69 Bratislava

<sup>2</sup> II. neurologická klinika LF UK a UN, Limbová 5, 833 05 Bratislava

## Perfúzne CT a jeho úloha v rozhodovacom procese pri akútnej ischemickej cievnej mozgovej príhode

### Abstrakt

Perfúzne CT vyšetrenie umožňuje funkčné posúdenie prekrvenia mozgového tkaniva. Ide o rýchlu a v súčasnosti aj dobre dostupnú metódu s pomerne vysokou mierou spoľahlivosti. Predĺžením časového okna reperfúznej liečby akútnej ischemickej cievnej mozgovej príhody sa perfúzne CT stáva častejšie využívanou rádiologickou metódou v procese výberu pacientov, ktorí by mohli z tejto terapie profitovať. Cieľom článku je poskytnutie prehľadu o tejto diagnostickej metóde, jej technických aspektoch, princípoch hodnotenia a limitáciách. Autori tiež sumarizujú súčasné klinické požiadavky na výstupy perfúzneho CT, vrátane ich aplikácie v rozhodovacom procese riešenia akútnej ischemickej cievnej mozgovej príhody.

**Keľúčové slová:** perfúzne CT, cievna mozgová príhoda, penumbra, reperfúzna liečba

### Abstract

Perfusion CT enables a functional assessment of cerebral tissue blood flow. It is a fast and nowadays widely available method with a relatively high degree of reliability. Due to extension of stroke reperfusion therapeutic window, perfusion CT has become an increasingly used radiological method for selecting patients who could benefit from this treatment. The aim of the article is to provide an overview of this diagnostic method, its technical aspects, evaluation principles and limitations. The authors also summarize the current clinical requirements for CT perfusion outputs along with their application in the decision-making process for the management of acute ischemic stroke.

**Key words:** CT perfusion, stroke, penumbra, reperfusion therapy

### Úvod

Náhla cievna mozgová príhoda patrí k najčastejším príčinám úmrtia vo svete a je vôbec najčastejšou príčinou imobility. Keďže jedinou kauzálnou liečbou akútnej ischemickej cievnej mozgovej príhody (iNCMP) je rýchle ob-

novenie prietoku krvi v postihnutom tkanive, je kladený výnimočný dôraz na jej včasné odhalenie.

Z pohľadu zobrazovacích metód sa vo väčšine cerebrovaskulárnych centier ustanovil vyšetrovací protokol zahŕňajúci natívne CT (NCT), CT angiografiu (CTA) a perfúzne CT vyšetrenie (PCT). Natívne CT slúži predovšetkým k vylúčeniu iného patologického procesu v intrakrániu imitujúceho iNCMP (napr. intraaxiálne, extraaxiálne krvácanie, tumor a pod.). Zároveň môže NCT zobrazit' včasné znaky ischémie (napr. zníženie denzity v postihnutom povodí, zmazanie diferenciácie sivej a bielej hmoty, vyhladenie kontúr), ktoré sú vyjadriteľné pomocou ASPECT skóre 0 – 10 (1), a tiež denzný úsek artérie, ktorý je korelátom tromboembolickeho materiálu v lúмене cievy (2). Úlohou CTA je okrem priamej identifikácie miesta oklúzie aj podrobné zobrazenie morfológie mozgových a krčných tepien v celom ich priebehu od aortálneho oblúka, s posúdením ich prípadnej stenotizácie či anatomických variant. Sekundárnym výstupom CTA by tiež malo byť zhodnotenie leptomeningeálnej kolateralizácie so stanovením kolaterálneho skóre 0 – 3 v prípade jednofázovej CTA a 0 – 5 v prípade multifázovej CTA (3, 4).

Perfúzne CT vyšetrenie je využívané predovšetkým ako voliteľná súčasť diagnostického protokolu iNCMP, má však svoje miesto aj v hodnotení perfúzie myokardu alebo v zobrazovaní nádorov. PCT v diagnostickom protokole iNCMP umožňuje funkčné posúdenie prekrvenia mozgového tkaniva. Základnou úlohou PCT je identifikácia ischemizovaných zón v mozgu ktoré možno zachrániť, a tak selektovať pacientov vhodných k reperfúznej liečbe. Zároveň je PCT vyšetrenie spolu s ASPECT skóre a kolaterálnym skóre schopné predikovať klinický vývoj pacientov s iNCMP (5). Ide o neinvazívne rýchle vyšetrenie s pomerne vysokou mierou spoľahlivosti.

### Technické aspekty PCT

Hoci perfúzne CT vyšetrenie bolo experimentálne využívané už v 80-tych rokoch minulého storočia (6), väčší

rozvoj PCT nastal až po roku 2000. Na našom pracovisku sa PCT realizuje v rámci tzv. „stroke protokolu“ od roku 2007. Pôvodne bolo možné vyšetriť mozgové tkanivo iba v malom objeme v úrovni predpokladaných ischemických zmien. Rýchly technický rozvoj hardvérového aj softvérového vybavenia multidetektorových CT prístrojov umožňuje oveľa širší rozsah vyšetrenia a na väčšine nových CT prístrojov je možné pokryť celý kraniokaudálny rozsah od bázy po vertex lebky.

Výhodou perfúzneho CT vyšetrenia je rýchlosť a dostupnosť vyšetrenia. Je možné vyšetriť aj menej spolupracujúcich pacientov bez nutnosti analgosedácie, pričom rozhábané skeny je niekedy potrebné v postprocessingových úpravách vyradiť. Dáta z PCT sú využiteľné k zobrazeniu 4D CT angiografie, ktorá umožňuje detailné posúdenie vaskulatury mozgu v čase a tým napríklad aj odlišenie uzáveru od subtotálnej oklúzie.

**Perfúzne parametre.** Základnými perfúznymi parametrami sú CBV („cerebral blood volume“; objem pretekajúcej krvi v ml/100g tkaniva), CBF („cerebral blood flow“; prietok objemu krvi tkanivom v ml/100g/min) a tzv. časové parametre udávané v sekundách, z ktorých najpoužívanejšie sú MTT („mean transit time“; priemerný tranzitný čas vypočítaný vzťahom  $MTT = CBV/CBF$ ), TTP („time to peak“; čas k maximálnej denzite), Tmax („time to maximum“; čas k maximálnej denzite reziduálnej funkcie) a TTD („time to drain“; čas od maximálnej k reziduálnej denzite). Premietnutím hodnôt týchto parametrov v každom nasnímanom bode mozgu do farebnej škály vznikajú parametrické mapy.

**Faktory ovplyvňujúce náber dát.** PCT je dynamickou akvizíciou denzity tkaniva počas prechodu bolusu kontrastnej látky (KL) mozgom. Dôležitým faktorom je správny výber AIF („arterial input function“), najčastejšie v úrovni A2 segmentu a. cerebri anterior alebo M1 segmentu a. cerebri media, a tiež VOF („venous output function“), najčastejšie v úrovni sinus sagittalis superior. Tieto dve funkcie definujú základné krivky nasýtenia bolusu KL mozgovým riečiskom. Ich vzhľad je zároveň indikátorom správne vykonaného a nasnímaného perfúzneho vyšetrenia. Vo väčšine prípadov sú detegované a volené automaticky. V niektorých prípadoch (napr. pri pohyboch pacienta) je možná ich spätná manuálna korekcia so získaním krivky optimálneho tvaru (obr. 1).

Najvýhodnejšie trvanie dynamickej akvizície je 60 sekúnd. Skrátením času snímania môže dôjsť k skresleniu perfúzných parametrov nezachytením časti pasáže bolusu KL, predĺžením času snímania zbytočne narastá radiačná záťaž bez ďalšej pridanej hodnoty (7). Vhodné množstvo KL pre získanie dostatočne kvalitného zobrazenia je 35 – 50 ml, podávaného rýchlosťou 4 – 6 ml/s. Pokiaľ sa zvýši objem fyziologického roztoku podaného hneď po boluse KL na 50 ml tou istou rýchlosťou, je možné minimalizovať objem KL na 30 – 35 ml (8). Pacienti absolvujúci PCT spravidla podstupujú aj CTA a potenciálne aj endovasku-

lárný výkon, preto je vhodné nadbytočne neprekračovať minimálne potrebné množstvo podanej KL pri PCT ako aj pri CTA.

Z hľadiska kvality akvizície nie je podstatné poradie vykonania CTA – PCT, resp. PCT – CTA v rámci diagnostického protokolu. V rutinnej klinickej praxi sa ukazuje logickejšie zvolenie poradia CTA – PCT, pretože indikácia PCT často vyplynie z NCT a CTA, resp. zo vzájomnej komunikácie indikujúceho neurológa s rádiológom počas vyšetrenia. V takom prípade je plne postačujúce dodržanie trojminútovej pauzy pred zahájením PCT po realizácii CTA (9).

### Poruchy mozgovej perfúzie

Porušenie mozgovej perfúzie nemusí ihneď znamenať ireverzibilnú nekrózu mozgových buniek, avšak pri neodstránení príčiny k nej môže smerovať. Zmeny v mozgovom tkanive pri významnom znížení až zastavení arteriálneho zásobenia majú zväčša plynulý a postupný priebeh, zjednodušene je možné tento proces vnímať ako prechod viacerými štádiami, resp. zónami v rámci ischemizovanej zóny (obr. 2). V prvej fáze tkanivo reaguje autoregovanou dostatočnou kompenzáciou, zabezpečenou predovšetkým leptomeningeálnymi kolaterálami. Táto fáza sa vyskytuje rôzne dlho na periférii ischemizovanej zóny, najbližšie ku tkanivu s neporušenou perfúziou. Tkanivo s pretrvávaním zníženej perfúzie a zachovanou funkčnosťou, ktoré ne-nekrotizuje bez ohľadu na úpravu cievneho zásobenia je označované ako benígna oligémia. Smerom bližšie do centra ischemizovanej zóny tkanivo (v prípade pretrvávania príčiny ischemizácie) prechádza cez fázu dekompenzovanej kritickej perfúzie do fázy penumbry („tissue at risk“; tkanivo v ohrození). Penumbra je posledným reverzibilným štádiom ischemizovaného tkaniva, v ktorom majú neuróny porušenú funkciu, avšak stále zachovanú bunkovú integritu. V samotnom centre ischemizovanej zóny postupne dochádza k porušeniu bunkovej integrity s rozpadom buniek a vznikom jadra nekrózy (10).

**Definícia penumbry a nekrózy.** PCT na základe snímania mozgového tkaniva počas jeho nasýtenia a vysýtenia kontrastnou látkou umožňuje stanovenie štádií porušenej perfúzie u individuálneho pacienta. Z klinického hľadiska má zásadný význam predovšetkým rozlíšenie jadra nekrózy od penumbry, ktorá je posledným štádiom umožňujúcim kauzálnu liečbu a zvrátenie ischemického procesu. Definícia penumbry a nekrózy pomocou PCT parametrov nie je jednoznačne ustálená. Fyziologické hodnoty pre sivú hmotu sú CBF 55 ml/100g/min a CBV 5 ml/100g (11). Pôvodnými kritériami pre stanovenie nekrózy boli napr. pokles absolútnych hodnôt CBF pod 25 ml/100g/min (12) alebo CBV pod 2 ml/100g (13). V prípade porovnania hodnôt s kontralaterálnou (ischemicky nepostihnutou) stranou môžu nekrózu definovať relatívny CBV (rCBV) < 40 % (14) alebo relatívne predĺženie MTT o 145 % (13).

Pomerne rozšíreným kritériom definujúcim penumbriu je absolútna hodnota  $T_{max} > 6$  s (15), ischemiu dobre definuje relatívny CBF (rCBF)  $< 30$  % nepostihnutej strany (16).

**Parametrické mapy.** Dôležitým výstupom PCT je aj vizuálne hodnotenie parametrických máp, ktoré sa opiera predovšetkým o rýchle posúdenie prítomnosti tzv. „PCT match“ v prípade jadra nekrózy, resp. „PCT mismatch“ v prípade penumbry (tab. 1). Kým farebne vyjadrené zníženie hodnôt v CBV aj CBF mape („PCT match“) signalizuje prítomnosť nekrózy (obr. 3a), diskrepancia farebne vyjadreného poklesu v CBF bez poklesu CBV mape („PCT mismatch“) vyjadruje prítomnosť penumbry (obr. 3b). Penumbriu teda možno definovať aj ako rozdiel rozsahu tkaniva potenciálne ohrozeného (reprezentovaného znížením CBF v porovnaní s kontralaterálnou hemisférou) a rozsahu tkaniva už ireverzibilne postihnutého (reprezentovaného okrem zníženia CBF aj znížením CBV v porovnaní s kontralaterálnou hemisférou). Prítomnosť stranovej asymetrie v časových mapách (TTP, MTT,  $T_{max}$ , TTD), vyjadrujúcej predĺženie časových parametrov, svedčí pre poruchu mozgovej perfúzie v akejkoľvek jej fáze, teda už aj pri kolaterálami dobre kompenzovanom uzávere a benígnej oligémii (obr. 4) (17).

**Kvantifikácia zmien.** Okrem kvalitatívnej analýzy PCT dát, určujúcej štádium ischemie s cieľom rozoznať predovšetkým penumbriu a jadro nekrózy, je z klinického hľadiska podstatná tiež ich kvantifikácia. Postupné rozširovanie perfúzneho pokrytia mozgu z 2,4 cm pri starších CT prístrojoch na 16 cm pri moderných prístrojoch umožnilo presnejšie stanovenie rozsahu penumbry a jadra ischemie (18). V súčasnosti sú dostupné viaceré softvéry s výpočtovými algoritmami umožňujúcimi kvantifikáciu perfúzných parametrov. Ich najdôležitejším výstupom je stanovenie objemu penumbry a jadra nekrózy (najčastejšie v mililitroch) a ich vzájomný pomer (obr. 5). PCT môže slúžiť aj k posúdeniu kolaterálnej cirkulácie na základe výpočtu hypoperfúzneho indexu (HIR) vyjadreného pomerom objemov tkaniva s  $T_{max} > 10$  s /  $T_{max} > 6$  s.  $HIR \geq 0,5$  koreluje s angiografickým nálezom slabo vyvinutého kolaterálneho systému, naopak  $HIR < 0,4$  je výborným prediktorom dobrých kolaterál (19).

**Limitácie PCT.** Z technických faktorov môže byť stanovenie perfúzných parametrov ovplyvnené protokolom akvizície dát, perfúznym výpočtovým algoritmom a nastavením prahových hodnôt (20). Patofyziologickými faktormi, ktoré môžu negatívne ovplyvniť vyhodnotenie PCT sú napríklad chronické infarkty, ktoré sú dobre viditeľné v NCT, ale ich perfúzny obraz môže byť mätúci s čiastočne zachovaným CBF (21). Spontánne alebo terapeutické obnovenie nenutritívnej perfúzie tkaniva postihnutého ischemiou, označovaného ako „luxusná perfúzia“, môže vďaka dočasnému zvýšeniu CBV a CBF maskovať jadro nekrózy (22). Závažné stenózy intrakraniálnych a extrakraniálnych tepien sa zvyčajne prejavujú predĺžením MTT s rôznymi zmenami obrazu CBF a CBV a môžu nadhodnotiť rozsah

penumbry (23). Aj vzhľadom na uvedené limitácie je potrebné pri iNCMP brať do úvahy vyšetrovací CT protokol (NCT, CTA, PCT) komplexne a o terapeutickom prístupe nerozhodovať iba na základe numerického výpočtu analytického softvéru.

### PCT v rozhodovacom procese

PCT vyšetrenie je pri iNCMP indikované predovšetkým v prípade podozrenia na premeškanie času umožňujúceho kauzálnu terapiu s priaznivým pomerom benefitu a rizika, tzv. terapeutického (časového) okna. Ide teda o pacientov s trvaním klinických príznakov iNCMP nad rámec základného časového okna a pacientov s „wake-up stroke“. Kauzálnou terapiou iNCMP je spriechodnenie arteriálneho uzáveru. Zlatý štandard tejto liečby v súčasnosti predstavujú intravenózne podanie trombolýzy (IVT) a endovaskulárna mechanická trombektómia (MTE).

**Selekcia pacientov pre IVT.** Intravenózna trombolýza je jedinou schválenou systémovou reperfúznou liečbou iNCMP. Nedávno aktualizované stanovisko ESO („European Stroke Organisation“) upravuje odporúčania pre podanie tejto liečby (24). Pacientom s trvaním klinických príznakov do 4,5 h (základné terapeutické okno) je odporúčané podanie IVT na základe priaznivého NCT (vylúčenie iného patologického procesu) a splnenia klinicko – laboratórnych kritérií. Podanie IVT nemá byť vynechané v prípade súčasnej indikácie k MTE, avšak nesmie významnejšie zdržať zahájenie MTE.

Predĺženie časového okna v trvaní 4,5 – 9 h pre podanie IVT je podmienené okrem priaznivého NCT a splnenia klinicko – laboratórnych kritérií aj doplnením PCT. Na základe metaanalýzy väčšieho súboru (25) spĺňajú podmienku liečby pacienti s objemom jadra nekrózy  $< 70$  ml, objemom penumbry  $> 10$  ml, a pomerom penumbry / jadra  $> 1,2$ . Kvalitatívnym kritériom PCT pre stanovenie nekrózy bolo rCBF  $< 30$  % a penumbry  $T_{max} > 6$  s. Jednoznačné odporúčanie sa týka predovšetkým pacientov neplánovaných na endovaskulárnu liečbu. U pacientov plánovaných aj na MTE, privezených priamo do centra vykonávajúceho takúto liečbu, nie je zhoda ohľadom podania IVT v predĺženom časovom okne. U pacientov privezených do centra nevykonávajúceho MTE s plánovaním ich prekladu na takéto pracovisko, je podanie IVT skôr odporúčané. U pacientov s „wake-up stroke“ v čase do 9 h od predpokladaného polčasu spánku je podanie IVT podmienené rovnakými kvalitatívnymi aj kvantitatívnymi kritériami PCT ako v prípade predĺženého časového okna 4,5 – 9 h. Podanie IVT je aj v prípade plánovanej MTE skôr odporúčané, a to bez ohľadu na to, či je pacient privezený do centra vykonávajúceho alebo nevykonávajúceho MTE.

**Selekcia pacientov pre MTE.** Indikačné kritériá k mechanickej trombektómii pacientov s NCMP sú zhrnuté v posledných odporúčaniach AHA/ASA („American Heart Association / American Stroke Association“) z roku 2019

(26), resp. ESO/ESMINT (European Stroke Organisation / European Society for Minimally Invasive Neurological Therapy) z roku 2019 (27). Pacientom s trvaním klinických príznakov < 6 h (základné terapeutické okno) je MTE odporúčaná na základe priaznivého NCT a nálezu oklúzie veľkej cievy v CTA. Akékoľvek pridané zobrazenie v tomto časovom okne iba zbytočne predlžuje čas do reperfúzie, prípadne vyradí z liečby možných profitujúcich.

Predĺženie terapeutického okna pre MTE v trvaní 6 – 16 h (28) resp. 6 – 24 h (29) je podmienené doplnením PCT. Inkluzívnym kritériom PCT v štúdií DEFUSE 3 (28) bol objem jadra nekrózy < 70 ml, objem penumbry > 15 ml a pomer penumbry / jadra > 1,8. Kvalitatívnym kritériom PCT pre stanovenie nekrózy bolo rCBF < 30 % a penumbry Tmax > 6 s. V štúdií DAWN (29) boli pacienti rozdelení podľa veku a klinickej závažnosti. Pomerne prísny inkluzívnym kritériom MTE pre pacientov nad 80 rokov s NIHSS („National Institute of Health Stroke Scale“) > 10 bodov bol objem jadra nekrózy ≤ 20 ml. U pacientov do 80 rokov s NIHSS > 10 bodov bolo podmienkou jadro nekrózy ≤ 30 ml, pacienti do 80 rokov s výraznejším postihnutím (NIHSS > 20 bodov) podstúpili MTE v prípade jadra nekrózy ≤ 50 ml. Kvalitatívnym kritériom PCT pre stanovenie nekrózy bolo rCBF < 30 %.

### Perfúzia zadnej jamy

Hoci má PCT pomerne ustálenú a jednoznačnú úlohu v detekcii supratentoriálnych ischemických lézií, pri infratentoriálnej ischémii je úloha PCT diskutabilná a zatiaľ málo významná. Zlatým zobrazovacím štandardom infarktov zadnej jamy ostáva MR. Základným predpokladom pre zvýšenie senzitivity v porovnaní s NCT v oblasti zadnej jamy bolo rozšírenie pokrytia PCT aj na túto oblasť (30). V súčasnosti je PCT s pokrytím celého mozgu vrátane infratentoriálnej časti dostupné na väčšine moderných CT prístrojoch (obr. 6). V porovnaní s difúzne váženým obrazom (DWI) v MR bola preukázaná senzitivita PCT pri zobrazení infratentoriálnych infarktov 41 % (senzitivita NCT 17,1 %), a to predovšetkým vďaka časovým parametrom (MTT 41,4 %, TTD 40 %), so špecifitou všetkých perfúzných parametrov > 93 % (v prípade CBV 99,5 %). Infarkty s priemerom > 19 mm boli detegované so senzitivitou 68 % (31). Pri úplnom vylúčení pacientov s malými lakunárnymi infarktami môže senzitivita PCT infratentoriálne v porovnaní s DWI dosahovať až 81,4 % (32). CT perfúzia infratentoriálnej oblasti ostáva naďalej technologickou výzvou, najmä v detekcii menších lézií, a aj preto zatiaľ nemá miesto v rámci európskych ani svetových odporúčaní pre liečbu iNCMP.

### Záver

Perfúzne CT vyšetrenie má v rámci diagnostického protokolu iNCMP význam predovšetkým pri predĺžení terape-

utického časového okna pre podanie intravenózneho trombolýzy alebo vykonania mechanickej trombektómie. Pri realizácii a hodnotení PCT je nutné sa oprieť o kvalitatívne a kvantitatívne kritériá použité v relevantných štúdiách a odporúčané medzinárodným konsenzom. Keďže PCT má svoje technické aj fyziologické limitácie, pri rozhodovaní o kauzálnej terapii je potrebné brať ho do úvahy komplexne spolu s NCT aj CTA. Automatizované analytické softvéry sú vďaka možnosti kvantifikácie parametrických dát veľkou výhodou, avšak netreba zabúdať ani na rádiologické vizuálne hodnotenie parametrických máp a nepodmieniť terapeutické rozhodovanie iba numerickému výsledku softvérového výpočtu.

Tab. 1. Interpretácia parametrických máp PCT vyšetrenia mozgu.

	TTP / MTT / Tmax	CBF	CBV
bez poruchy perfúzie	normálny	normálny	normálny
dobře kolateralizovaná oklúzia / stenóza	predĺžený	normálny	normálny
benigna oligémia	predĺžený	ľahko znížený	normálny
penumbra	predĺžený	znížený	normálny / ľahko znížený
jadro nekrózy	výrazne predĺžený	výrazne znížený	výrazne znížený

### Literatúra

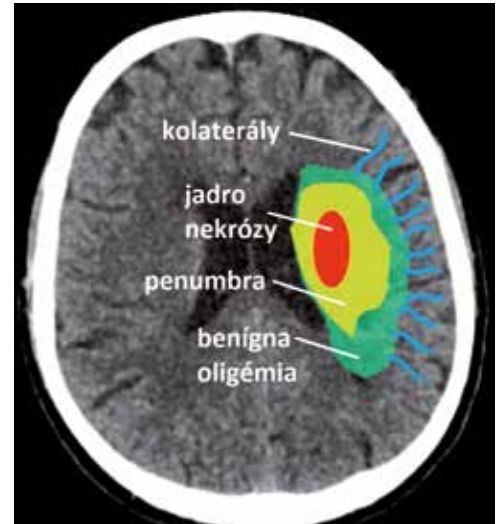
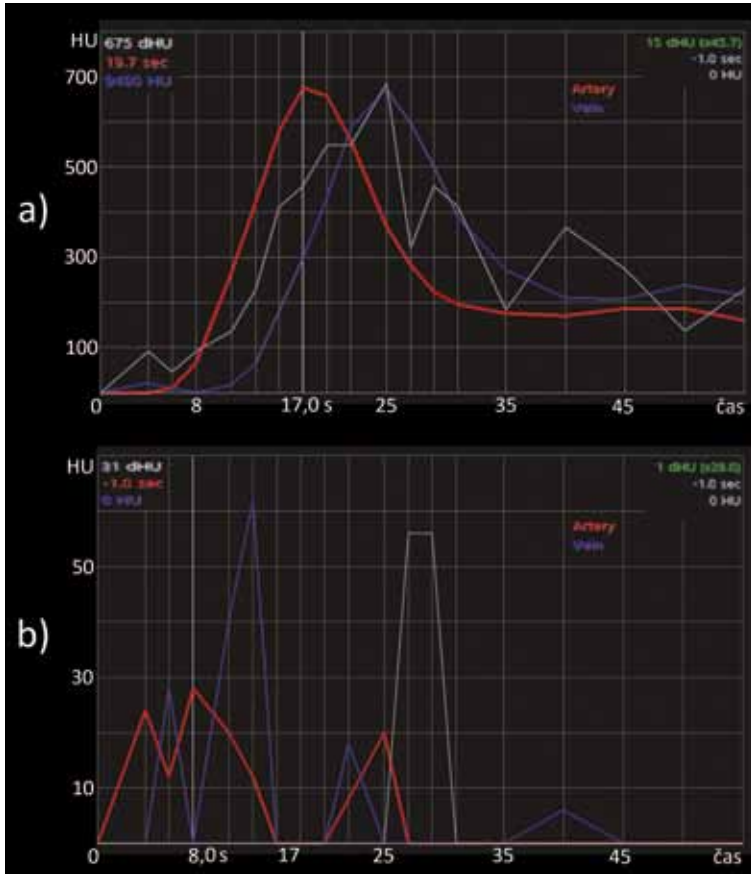
1. Barber PA, Demchuk AM, Zhang J, et al. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy. *Lancet* 2000; 355(9216): 1670–4. doi:10.1016/S0140-6736(00)02237-6.
2. Gacs G, Fox AJ, Barnett HJ, et al. CT visualization of intracranial arterial thromboembolism. *Stroke* 1983; 14(5): 756–62. doi:10.1161/01.STR.14.5.756.
3. Tan IYL, Demchuk AM, Hopyan J, et al. CT angiography clot burden score and collateral score: Correlation with clinical and radiologic outcomes in acute middle cerebral artery infarct. *Am J Neuroradiol* 2009; 30(3): 525–31. doi:10.3174/ajnr.A1408.
4. García-Tornel A, Carvalho V, Boned S, et al. Improving the Evaluation of Collateral Circulation by Multiphase Computed Tomography Angiography in Acute Stroke Patients Treated with Endovascular Reperfusion Therapies. *Interv Neurol* 2016; 5(3–4): 209–17. doi:10.1159/000448525.
5. Bivard A, Spratt N, Levi C, et al. Perfusion computer tomography: Imaging and clinical validation in acute ischaemic stroke. *Brain* 2011; 134(11): 3408–16. doi:10.1093/brain/awr257.
6. Heinz HR, Dubois P, Osborne D, et al. Dynamic computed tomography study of the brain. *J Comput Assist Tomogr* 1979; 3(5): 641–9. doi:10.1097/00004728-197910000-00013.

7. Kasasbeh AS, Christensen S, Straka M, et al. Optimal Computed Tomographic Perfusion Scan Duration for Assessment of Acute Stroke Lesion Volumes. *Stroke* 2016; 47(12): 2966–71. doi:10.1161/STROKEAHA.116.014177.
8. Ferda J, Kastner J, Kreuzberg B, et al. Zobrazení akutní mozkové ischemie. *Ces Radiol* 2007; 61(3): 231–41.
9. Dorn F, Liebig T, Muenzel D, et al. Order of CT stroke protocol (CTA before or after CTP): Impact on image quality. *Neuroradiology* 2012; 54(2): 105–12. doi:10.1007/s00234-011-0840-8.
10. Goyal M, Menon BK, Derdeyn CP. Perfusion imaging in acute ischemic stroke: Let us improve the science before changing clinical practice. *Radiology* 2013; 266(1): 16–21. doi:10.1148/radiol.12112134.
11. Leenders KL, Perani D, Lammertsma AA, et al. Cerebral blood flow, blood volume and oxygen utilization: Normal values and effect of age. *Brain* 1990; 113(1): 27–47. doi:10.1093/brain/113.1.27.
12. Murphy BD, Fox AJ, Lee DH, et al. Identification of penumbra and infarct in acute ischemic stroke using computed tomography perfusion-derived blood flow and blood volume measurements. *Stroke* 2006; 37(7): 1771–7. doi:10.1161/01.STR.0000227243.96808.53.
13. Wintermark M, Flanders AE, Velthuis B, et al. Perfusion-CT assessment of infarct core and penumbra: Receiver operating characteristic curve analysis in 130 patients suspected of acute hemispheric stroke. *Stroke* 2006; 37(4): 979–85. doi:10.1161/01.STR.0000209238.61459.39.
14. Radzina M, Krumina G, Kupcs K, et al. Perfusion computed tomography relative threshold values in definition of acute stroke lesions. *Acta Radiol Short Reports* 2013; 2(3): 204798161348609. doi:10.1177/2047981613486099.
15. Olivot JM, Mlynash M, Thijs VN, et al. Optimal tmax threshold for predicting penumbral tissue in acute stroke. *Stroke* 2009; 40(2): 469–75. doi:10.1161/STROKEAHA.108.526954.
16. Campbell BCV, Christensen S, Levi CR, et al. Cerebral blood flow is the optimal CT perfusion parameter for assessing infarct core. *Stroke* 2011; 42(12): 3435–40. doi:10.1161/STROKEAHA.111.618355.
17. Tomandl BF, Klotz E, Handschu R, et al. Comprehensive Imaging of Ischemic Stroke with Multisection CT. *Radiographics* 2003; 23(3): 565–92. doi:10.1148/rg.233025036.
18. Page M, Nandurkar D, Crossett MP, et al. Comparison of 4 cm Z-axis and 16 cm Z-axis multidetector CT perfusion. *Eur Radiol* 2010; 20(6): 1508–14. doi:10.1007/s00330-009-1688-8.
19. Guenego A, Mlynash M, Christensen S, et al. Hypoperfusion ratio predicts infarct growth during transfer for thrombectomy. *Ann Neurol* 2018; 84(4): 616–20. doi:10.1002/ana.25320.
20. Abels B, Villablanca JP, Tomandl BF, et al. Acute stroke: A comparison of different CT perfusion algorithms and validation of ischaemic lesions by follow-up imaging. *Eur Radiol* 2012; 22(12): 2559–67. doi:10.1007/s00330-012-2529-8.
21. Marchal G, Beaudouin V, Rioux P, et al. Prolonged persistence of substantial volumes of potentially viable brain tissue after stroke: A correlative PET-CT study with voxel-based data analysis. *Stroke* 1996; 27(4): 599–606. doi:10.1161/01.STR.27.4.599.
22. Malík M, Mikula P, Mižičková M, et al. Maskovanie akútneho infarktu bazálnych ganglií v perfúznom CT. *Ces Radiol* 2020; 74(1): 33–6.
23. Waaijer A, Van Der Schaaf I, Velthuis B, et al. Reproducibility of quantitative CT brain perfusion measurements in patients with symptomatic unilateral carotid artery stenosis - PubMed. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28(5): 927–32.
24. Berge E, Whiteley W, Audebert H, et al. European Stroke Organisation (ESO) guidelines on intravenous thrombolysis for acute ischaemic stroke. *Eur Stroke J* 2021; 6(1): I–LXII. doi:10.1177/2396987321989865.
25. Campbell BCV, Ma H, Ringleb PA, et al. Extending thrombolysis to 4·5–9 h and wake-up stroke using perfusion imaging: a systematic review and meta-analysis of individual patient data. *Lancet* 2019; 394(10193): 139–47. doi:10.1016/S0140-6736(19)31053-0.
26. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: 2019 update to the 2018 guidelines for the early management of acute ischemic stroke a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2019; 50(12): E344–418. doi:10.1161/STR.0000000000000211.
27. Turc G, Bhogal P, Fischer U, et al. European Stroke Organisation (ESO) - European Society for Minimally Invasive Neurological Therapy (ESMINT) Guidelines on Mechanical Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke. *J Neurointerv Surg* 2019; 11(6): 535–8. doi:10.1136/neurintsurg-2018-014569.
28. Albers GW, Marks MP, Kemp S, et al. Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging. *N Engl J Med* 2018; 378(8): 708–18. doi:10.1056/nejmoa1713973.
29. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. *N Engl J Med* 2018; 378(1): 11–21. doi:10.1056/nejmoa1706442.
30. Morhard D, Wirth CD, Fesl G, et al. Advantages of extended brain perfusion computed tomography: 9.6 cm coverage with time resolved computed tomography-angiography in comparison to standard stroke-computed tomography. *Invest Radiol* 2010; 45(7): 363–9. doi:10.1097/RLI.0b013e3181e1956f.
31. Bollwein C, Plate A, Sommer WH, et al. Diagnostic accuracy of whole-brain CT perfusion in the detection of acute infratentorial infarctions. *Neuroradiology* 2016; 58(11): 1077–85. doi:10.1007/s00234-016-1743-5.
32. Lee IH, You JH, Lee JY, et al. Accuracy of the detection of infratentorial stroke lesions using perfusion CT: An experimenter-blinded study. *Neuroradiology* 2010; 52(12): 1095–100. doi:10.1007/s00234-010-0689-2.

**Korešpondenčný autor:**

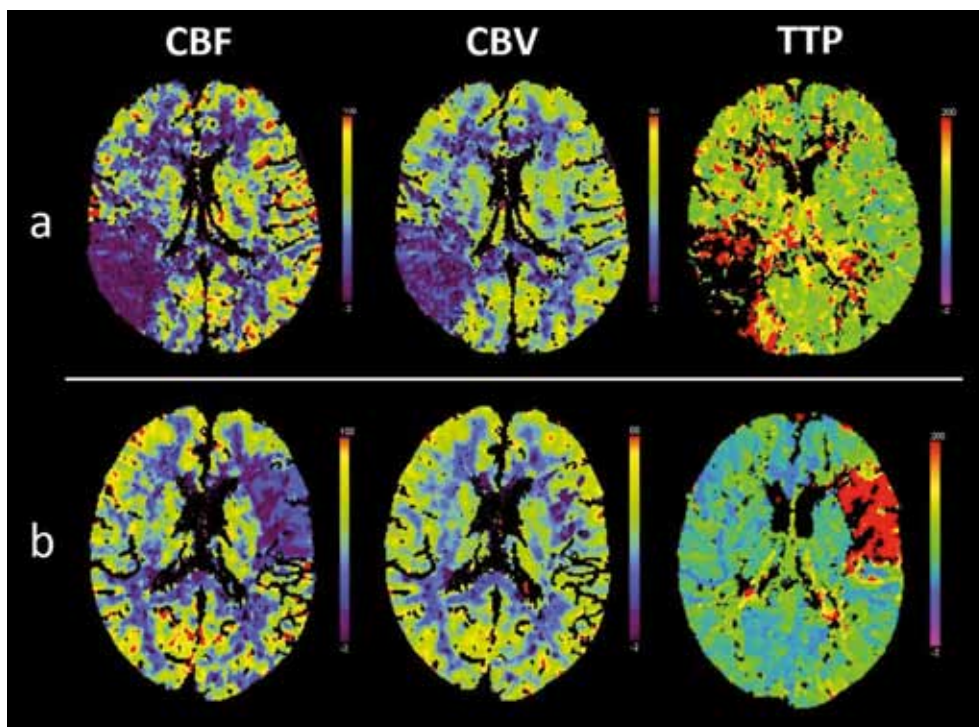
MUDr. Mikula Peter  
Rádiologická klinika LF UK, SZU a UNB  
Mickiewiczova 13, 813 69 Bratislava  
mikula.dr@gmail.com  
tel. +421 902 125 420

## Obrazová príloha



Obr. 2. Schematické znázornenie štádií pri porušenej mozgovej perfúzií.

◀  
Obr. 1. Krivky AIF a VOF na časovo – denzitnom grafe. a) optimálny tvar kriviek s ostrým nástupom AIF s maximom nasýtenia 675 HU v 17. sekunde b) nesprávny tvar krivky pri paravenóznom podaní väčšiny objemu kontrastnej látky, AIF s maximom nasýtenia 28 HU v 8. sekunde, CT perfúzia nie je hodnotiteľná (zdroj: UNB)

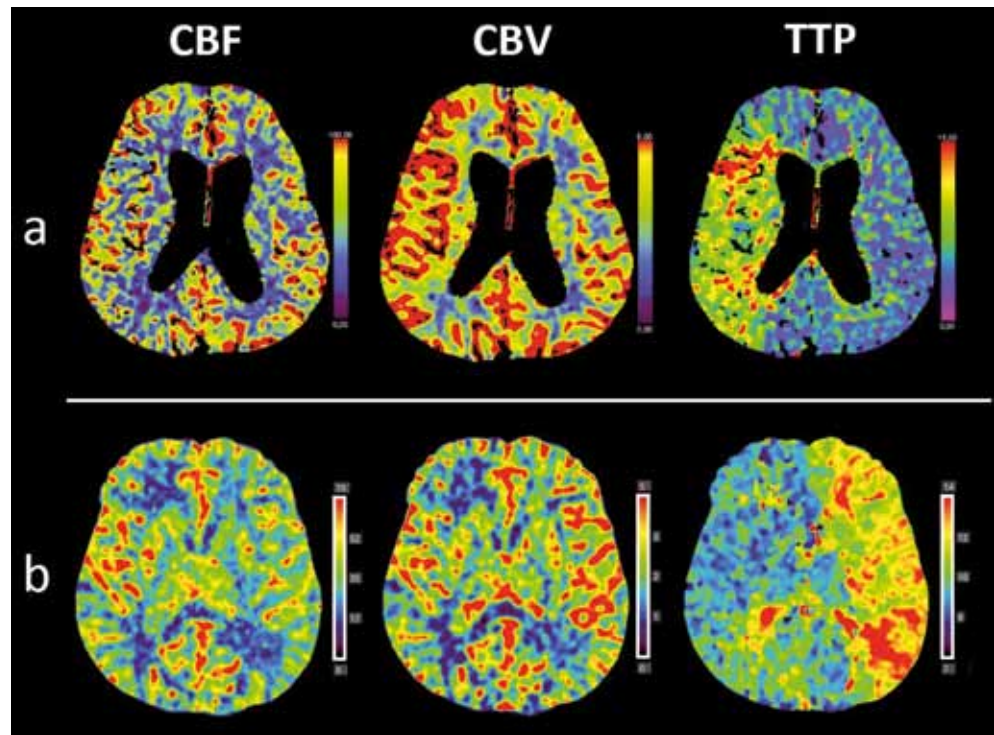


Obr. 3. Perfúzne mapy. a) posun TTP a „PCT match“ vyjadrený súhlasným znížením CBV a CBF (jadro nekrózy) temporoparietálne vpravo b) posun TTP a „PCT mismatch“ vyjadrený znížením CBF pri zachovanom CBV (penumbra) frontálne vľavo (zdroj: UNB)

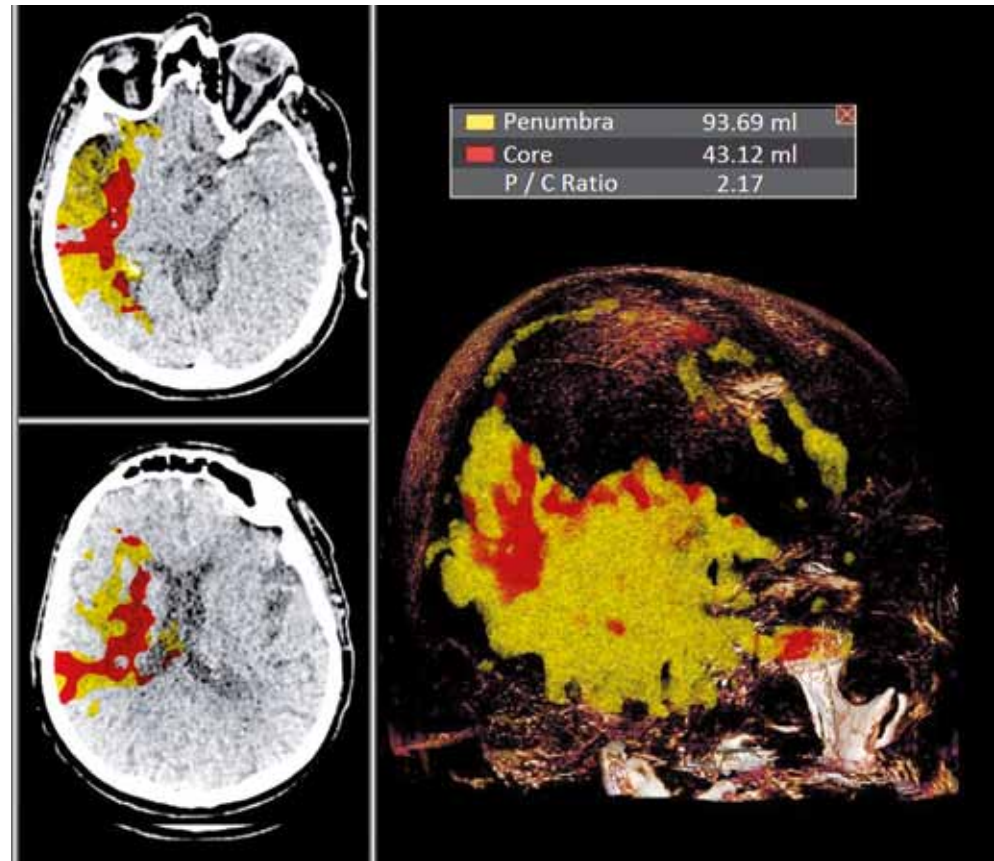


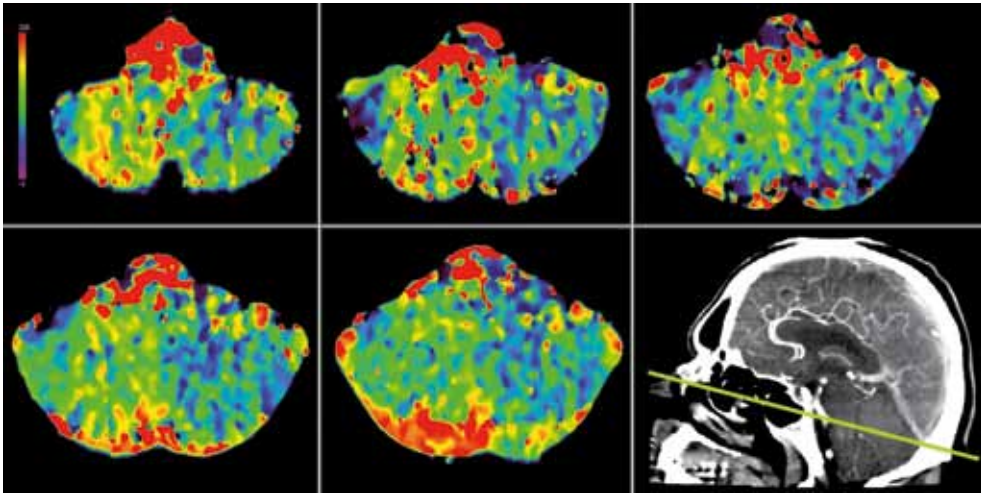
**Obr. 4. Dobre kolateralizovaná oklúzia a benigná oligémia.**

Jednoznačný posun TTP so zachovaným CBV u pacientov s chronickou oklúziou magistrálnych tepien  
 a) zachovaný CBF u pacienta s oklúziou a. cerebri media l. dx. b) ľahko znížený CBF u pacienta s oklúziou a. carotis interna l. sin (zdroj: UNB)



**Obr. 5. PCT s pokrytím celého mozgu.** Kvantitatívne stanovenie objemu penumbry (93,69 ml) a nekrózy (43,12 ml) s 3D vizualizáciou na CT prístroji umožňujúcom perfúzne vyšetrenie s kraniokaudálnym rozsahom až 16 cm (zdroj: UNB)





**Obr. 6. PCT v oblasti zadnej jamy.** Asymetrické predĺženie TTP infratentoriálne vpravo svedčiace pre perfúznú poruchu pri uzávere a. cerebelli inferior posterior l. dx. (zdroj: UNB)