

Perfuzní CT mozku – možnosti optimalizace vyšetřovacího protokolu

Perfusion CT of the brain – possibilities of scan optimization

Jiří Bejček, Jan Baxa, Jiří Ferda

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

Hlavní stanovisko práce

Optimalizovaný protokol perfuzního CT mozku je efektivní nástroj k diagnostice ischemického iktu se sníženou dávkou.

SOUHRN

Bejček J, Baxa J, Ferda J. Perfuzní CT mozku – možnosti optimalizace vyšetřovacího protokolu

Cíl: Analyzovat variabilitu intrakraniální cirkulace, navrhnout optimalizaci protokolu pro pacienty s ischemickou cévní mozkovou příhodou (CMP) a ověřit proveditelnost nového protokolu.

Metodika: Retrospektivně byl zhodnocen testovací soubor 46 pacientů, u kterých bylo provedeno perfuzní CT vyšetření mozku při podezření na CMP a zároveň nebyla prokázána významná stenóza či okluze karotického a intrakraniálního řečiště. U těchto osob byla provedena analýza časového průběhu intrakraniální cirkulace v tepenném a žilním systému. Na základě této analýzy byla navržena úprava délky a časování perfuzního CT vyšetření mozku pomocí testovacího bolusu kontrastní látky. Optimalizovaným protokolem (20 opakovaných skenů s délkou 1,5 s v rozsahu celého mozku) byly postupně vyšetřeny dvě skupiny pacientů, kdy byla použita odlišná hodnota napětí na rentgence (80 kV a 70 kV). U těchto pacientů byla provedena analýza kvality vyšetření a radiační zátěže pomocí standardních ukazatelů dávky CTDI_{vol} a DLP.

Výsledky: Pouze u jednoho pacienta bylo u optimalizovaného protokolu perfuzní CT vyšetření nehodnotitelné, u všech ostatních vyšetření bylo dosaženo optimální kvality zobrazení pro hodnocení. Bylo dosaženo snížení hodnot CTDI_{vol} a DLP při perfuzním CT mozku u obou optimalizovaných protokolů. U testovacího souboru byla průměrná hodnota CTDI_{vol} 130,37 mGy, průměrná hodnota DLP byla 2068,17 mGy·cm. U optimalizovaného protokolu byla průměrná hodnota CTDI_{vol} 85,64 mGy a průměrná hodnota DLP 1326,44 mGy·cm, u optimalizovaného protokolu se sníženým napětím na 70 kV byla průměrná hodnota CTDI_{vol} 50,57 mGy a průměrná hodnota DLP 783,42 mGy·cm.

Major statement

Optimized CT protocol of the brain perfusion is an effective tool in assessment of acute ischemic stroke with reduced dose.

SUMMARY

Bejček J, Baxa J, Ferda J. Perfusion CT of the brain – possibilities of scan optimization

Aim: To analyze variability of intracranial circulation and to design optimization of protocol for patients with acute ischemic stroke and to verify feasibility of new protocol.

Method: The test group of 46 patients with suspected acute ischemic stroke, which underwent perfusion CT of the brain and CT angiography, was retrospectively assessed. CT angiography did not prove significant stenosis or occlusion of arteries. By these patients, time of intracranial circulation in arteries and veins was analyzed. Based on this analysis, adjustment of length and timing of perfusion CT of the brain was established with the help of test bolus technique of contrast agent. Two groups of patients were examined according to optimized protocols (20 repeated scans, one scan within 1.5 seconds, whole brain was covered) with different voltage on X-ray tube (80 kV and 70 kV). Volume CT dose index (CTDI_{vol}) and dose length product (DLP) were assessed as standard indicators of dose.

Results: All examinations were evaluated as adequate from the point of view of diagnostic quality of examination. Only one examination in the optimized protocol with 70 kV was not evaluable. CT dose index and dose length product were reduced in both optimized perfusion CT protocols. Mean value of CTDI_{vol} and DLP was 130.37 mGy and 2068.17 mGy·cm in the test group. Mean value of CTDI_{vol} and DLP was 85.64 mGy and 1326.44 mGy·cm in the optimized protocol and 50.57 mGy and 783.42 mGy·cm in the optimized protocol with voltage reduced to 70 kV.

Conclusion: Optimization of start and reduction of length of perfusion CT of the brain is possible based on test bolus technique of contrast agent. It is possible to significantly reduce dose with the help of low voltage protocol.

Přijato: 15. 1. 2019.

Korespondenční adresa:

MUDr. Jiří Bejček
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN
aleš Svobody 80, 304 60 Plzeň-Lochotín
e-mail: bejcekj@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Podpořeno projektem MZ ČR Konceptní rozvoj výzkumné instituce 00669806 – FN Plzeň a projektem Univerzity Karlovy v Praze Progress q39.

Závěr: Optimalizace spuštění a redukce délky perfuzního CT mozku je možná na základě hodnot z testovacího bolusu kontrastní látky. Kombinací s nízkonapětovým protokolem lze výrazně snížit radiační zátěž.

Klíčová slova: akutní mozková ischemie, perfuzní CT mozku, snížení radiační dávky.

Key words: acute ischemic stroke, perfusion CT of the brain, dose reduction.

ÚVOD

Akutní ischemie mozku je jednou z nejčastějších příčin úmrtí v západním světě a je vůbec nejčastější příčinou imobility. Vzhledem k tomu, že jedinou kauzální terapií mozkové ischemie je bezprostřední obnovení průtoku postiženou tkání, je výjimečný důraz kladen na velmi časný průkaz přítomnosti ischemie (1, 2).

Perfuzní CT se společně s CT angiografií a nativním CT mozku ve většině cerebrovaskulárních center ustanovilo jako základní vyšetřovací metoda při diagnostice akutního ischemického iktu (3, 4). Nativní CT mozku s vysokou přesností vyloučí intrakraniální krvácení či může odhalit jinou patologii imitující iktus. V některých případech lze i na nativním CT mozku vidět známky časně ischemie, jako jsou příznak denzní tepny, snížení denzity v oblasti bazálních ganglií či snížení diferenciace bílé a šedé hmoty mozkové. CT angiografie podrobně zhodnotí morfologii krčních a mozkových tepen a prokáže případnou stenózu či okluzi.

Perfuzní CT se začalo provádět již v roce 1980, největšího rozvoje dosáhlo však až po roce 2000. Největší uplatnění perfuze je při diagnostice časně ischemické mozkové příhody, metoda se dá využít rovněž pro účely diagnostiky nádorů či hodnocení perfuze myokardu. Zpočátku bylo možné vyšetřit pomocí perfuze tkáň pouze v malém objemu v oblasti předpokládaných patologických změn (5). Rychlý technický rozvoj multidetektorových CT přístrojů a hardwarové i softwarové složky výpočetních systémů dnes dovoluje provést větší rozsah vyšetření, v případě mozku lze pokrýt kaudokraniální rozsah od báze lebny po obě mozkové hemisféry. Toto má za následek zvýšení radiační zátěže, která je již při perfuzním opakovaném skenování několikanásobně vyšší než při standardním CT vyšetření.

Práce shrnuje naše zkušenosti s prováděním perfuzního CT mozku

a možnostmi optimalizace vyšetřovacího protokolu. Cílem práce bylo najít způsob optimalizace perfuzního CT vyšetření mozku, který by umožnil snížení radiační zátěže a zvýšení kvality obrazových dat.

METODIKA

Soubor pacientů

Výběr pacientů pro testovací soubor probíhal retrospektivně v období 2016 až 2017 a bylo do něj zahrnuto 46 pacientů (25 mužů, 21 žen, průměrný věk souboru 66,5 let, rozpětí 27–93 let), kteří byli indikováni k CT vyšetření s podezřením na cévní mozkovou příhodu. Do testovacího souboru byli zařazeni jen pacienti, u kterých nebyla prokázána významná arteriální okluze.

V následujícím období jsme prospektivně zařazovali do studie pacienty, kteří byli na základě klinických projevů standardně vyšetřováni s podezřením na cévní mozkovou příhodu. Podmínkou pro zařazení do souboru bylo absolvování kompletního optimalizovaného CT protokolu (dva typy). První skupina obsahovala 134 pacientů (82 mužů, 52 žen, průměrný věk souboru 69,6 let, rozpětí 32–92 let), druhá skupina obsahovala 108 pacientů (57 mužů, 51 žen, průměrný věk souboru 70,7 let, rozpětí 36–96 let).

Technika vyšetření

Testovací bolus kontrastní látky byl proveden opakovanými skeny (120 kV, 20 mAs) v oblasti vstupu aorty po intravenózní aplikaci 10 ml neionické jodové kontrastní látky iomeprolum (Iomeron 350, Bracco Imaging GmbH, Konstanz, Německo) rychlostí 6 ml/s. CT angiografie byla provedena po intravenózní aplikaci 35 ml kontrastní látky rychlostí 6 ml/s s proplachem 50 ml

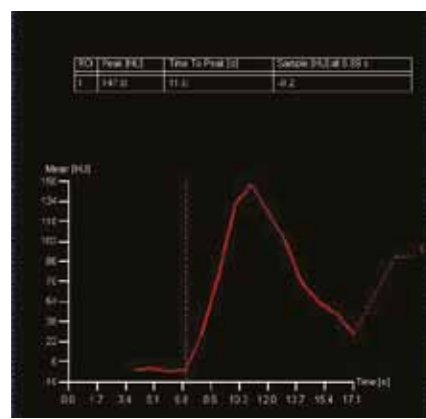
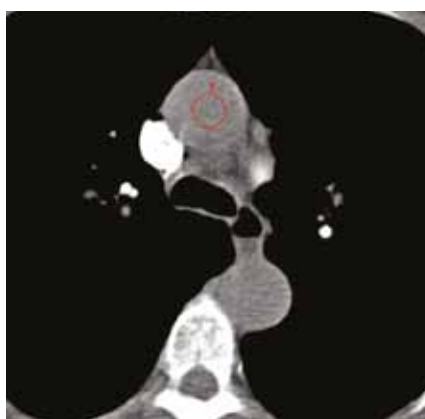
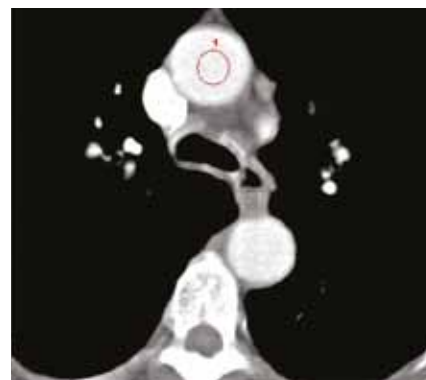
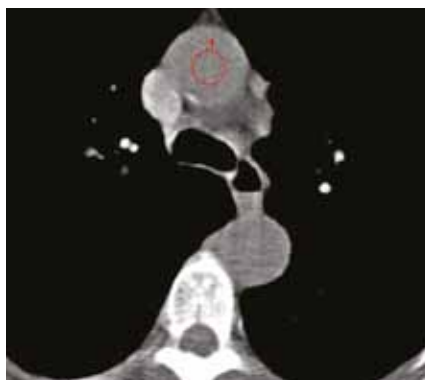
fyziologického roztoku rychlostí 6 ml/s. CT angiografie byla provedena v rozsahu od aortálního oblouku po mozkové tepny. Perfuzní vyšetření bylo provedeno po aplikaci 40 ml rychlostí 6 ml/s, s následným proplachem 50 ml fyziologického roztoku rychlostí 6 ml/s. Perfuzní vyšetření bylo provedeno a rekonstruováno s těmito parametry: hodnota proudu 185 mAs, hodnota napětí 80 kV, kolimace $32 \times 1,2$ mm a šíře rekonstruované vrstvy 2 mm. Původní počet skenů při perfuzním vyšetření u testovacího souboru byl 30. Vyšetření byla provedena na dvouzdrojovém CT přístroji (SOMATOM Definition Flash, Siemens, Forchheim, Německo). Celkově bylo aplikováno 85 ml kontrastní látky.

U optimalizovaných protokolů byly testovací bolus a CT angiografie provedeny stejným způsobem jako u testovacího souboru. Začátek perfuzního vyšetření byl zpožděn na základě předchozí analýzy křivky testovacího bolusu. U prvního souboru bylo perfuzní vyšetření provedeno a rekonstruováno se stejnými hodnotami jako u testovacího souboru, u druhého souboru byla snižena hodnota napětí na 70 kV. U obou optimalizovaných perfuzních protokolů byl snížen počet provedených skenů na 20. Vyšetření byla provedena na dvouzdrojovém CT přístroji (SOMATOM Drive, Siemens, Forchheim, Německo). Množství aplikované kontrastní látky zůstalo neměnné.

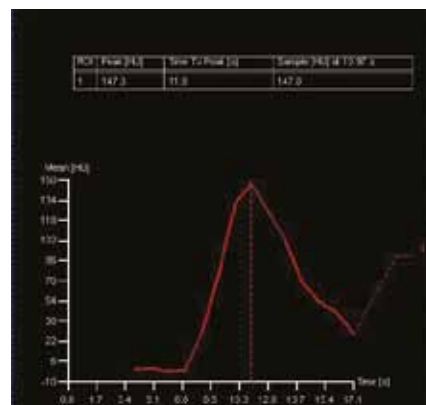
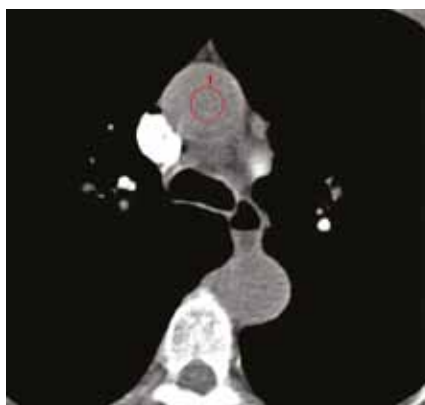
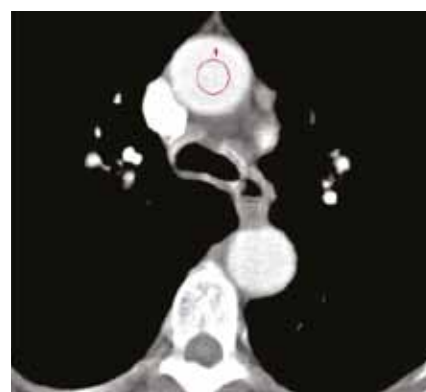
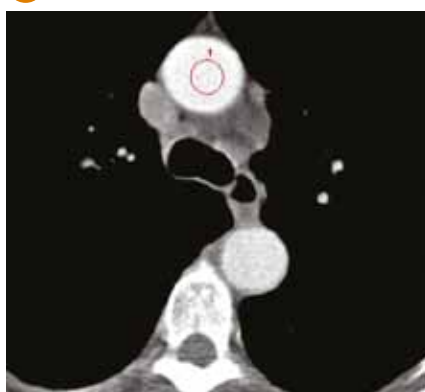
Analýza obrazu a radiační zátěž

U testovacího (původního) souboru byl zhodnocen časový průběh testovacího bolusu. Byl zaznamenán čas signifikantního vzestupu hustoty v aorta ascendens, čas maximální hustoty a čas, kdy již hustota dále neklesala. Křivka testovacího bolusu (obr. 1) byla hodnocena pomocí softwaru DynEva (Siemens, Healthineers). Dále byl zhodnocen časový průběh syčení v arteria cerebria media a sinus sagittalis superior během perfuzního CT vyšetření. Byly zaznamenány časy signifikantního vzestupu hustoty v arteria cerebria media, čas maximální hustoty v arteria cerebria media a sinus sagittalis superior a čas, kdy již dále hustota v sinus sagittalis superior neklesala. Vyšetření a křivky syčení byly hodnoceny pomocí dedikované aplikace Neuro Perfusion (Syngo.via, Siemens Healthineers). Měření prováděli

1a



1b



1

Analýza časové křivky testovacího bolusu používané k plánování CT angiografie karotického a intrakraniálního řečiště. ROI zakreslena do ascendentní aorty: signifikantní nárůst hustoty patrný v 7. sekundě (a); maximální hustota v 11. sekundě (b)

Analysis of test bolus, which is used for CT angiography planning. ROI was placed in the ascending aorta: the significant increase of density after 7 secs (a); the maximal density after 11 secs (b)

nezávisle dva radiologové, pro analýzu se použily průměrné hodnoty. U testovacího souboru a obou optimalizovaných souborů byl zhodnocen objemový CT dose index ($CTDI_{vol}$) a odvozený dose length product (DLP) u každého pacienta k posouzení radiační zátěže při perfuzním CT vyšetření.

VÝSLEDKY

Analýza časů a radiační zátěže u testovacího souboru

V původním souboru 46 pacientů (25 mužů, 21 žen, průměrný věk souboru 66,5 let, rozpětí 27–93 let) byly naměřeny při testovacím bolusu (TB) a perfuzním vyšetření tyto hodnoty: Průměrný čas maximální naměřené denzity testovacího bolusu (pTB) byl 14,7 s, průměrný čas signifikantního nárůstu denzity testovacího bolusu (TB1) byl 9,4 s, průměrný čas, kdy již dále denzita testovacího bolusu neklesala (TB2), byl 21,4 s. Průměrný čas signifikantního nárůstu denzity v arteria cerebri media (A1) byl 11,9 s, průměrný čas maximální denzity v arteria cerebri media (pA) byl 23,5 s. Průměrný čas maximální denzity v sinus sagittalis superior (pS) byl 27,5 s, průměrný čas poslední naměřené denzity v sinus sagittalis superior, kdy již denzita dále signifikantně neklesala (S2), byl 40 s. Hodnoty jsou zpracovány v tabulce 1 a schematicky znázorněny v grafu 1. Z těchto hodnot byly spočítány rozdíly mezi průměry TB1 a A1, TB2 a S2, pTB a A1, pS a pTB, pA a pTB a S2 a A1 (tab. 2).

U testovacího souboru byl zhodnocen objemový CT dose index ($CTDI_{vol}$) a od něj odvozený dose length product (DLP) s průměrnými hodnotami 130,37 mGy a 2068,17 mGy·cm.

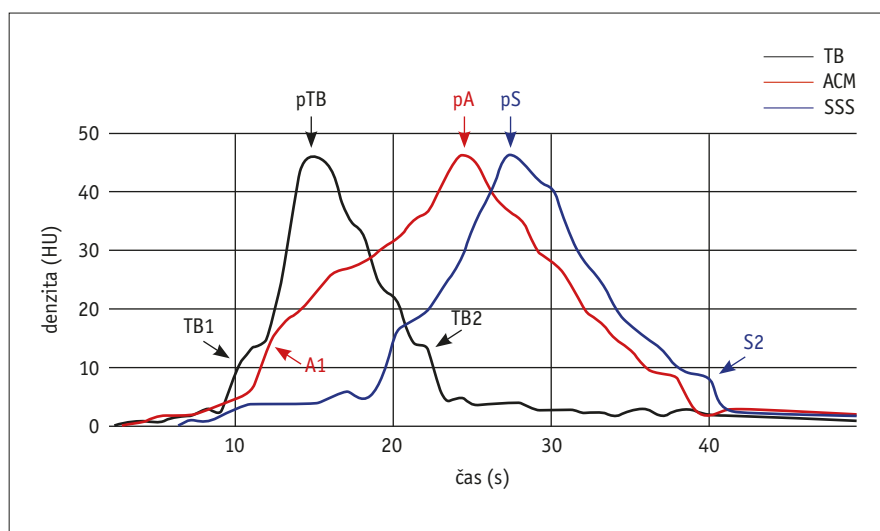
Optimalizované protokoly

Novým zkráceným perfuzním protokolem bylo během 5 měsíců vyšetřeno 134 pacientů (82 mužů, 52 žen, průměrný věk souboru 69,6 let, rozpětí 32–92 let) s průměrnou hodnotou $CTDI_{vol}$ 85,64 mGy a DLP 1326,44 mGy·cm. U všech pacientů bylo dosaženo optimální kvality pro hodnocení.

U 108 pacientů vyšetřených protokolem se sníženou hodnotou napětí (70 kV) byla průměrná hodnota $CTDI_{vol}$

Tab. 1. Průměrné časy v jednotlivých fázích vyšetření při testovacím bolusu a perfuzním CT vyšetření
Table 1. Average time of phases during test bolus and perfusion CT examination

Parametr	Průměrná hodnota (s), v závorce minimální a maximální hodnoty (s)
signifikantní vzestup denzity testovacího bolusu (TB1)	9,4 (5–17)
maximální denzita testovacího bolusu (pTB)	14,7 (9–26)
poslední hodnota, když již dále denzita testovací bolusu neklesala (TB2)	21,4 (15–32)
signifikantní vzestup denzity v arteria cerebri media (A1)	11,9 (5–18)
maximální denzita v arteria cerebri media (pA)	23,5 (15–48)
maximální denzita v sinus sagittalis superior (pS)	27,5 (18–36)
poslední hodnota, když již dále denzita v sinus sagittalis superior neklesala (S2)	40,0 (29–50)



Graf 1. Schematické znázornění průměrných hodnot testovacího bolusu (černá křivka) a změn denzit v arteria cerebri media (červená křivka) a sinus sagittalis superior (modrá křivka)

Černé šipky: TB1 – čas signifikantního nárůstu denzity, pTB – čas maximální denzity, TB2 – poslední čas, kdy již dále denzita signifikantně neklesala

Červené šipky: A1 – čas signifikantního nárůstu denzity, pA – čas maximální denzity

Modré šipky: pS – čas maximální denzity, S2 – poslední čas, kdy již dále denzita neklesala

Graph 1. Schematic illustration of average values of test bolus (black line) and changes of density in the middle cerebral artery (red line) and the superior sagittal sinus (blue line)

Black arrows: TB1 – time of significant increase of density, pTB – time of maximal density, TB2 – the last period of time without significant decrease of density

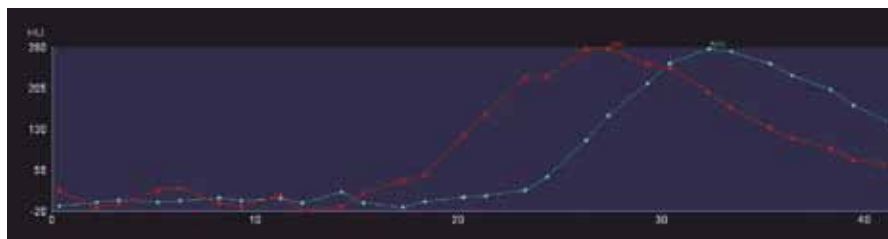
Red arrows: A1 – time of significant increase of density, pA – time of maximal density

Blue arrows: pS – time of maximal density, S2 – the last period of time without significant decrease of density

50,57 mGy, DLP 783,42 mGy·cm. Pouze u jednoho pacienta bylo perfuzní vyšetření nehodnotitelné, nejspíše kvůli špatnému celkovému stavu a nízkému srdečnímu výdeji, ostatní vyšetření dosahovaly též optimální kvality pro hodnocení.

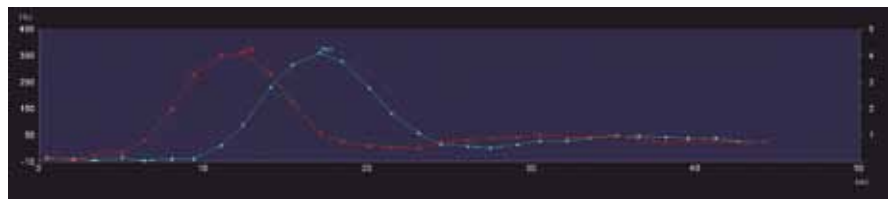
DISKUSE

Perfuzní CT dokáže odhalit ischemické změny v časně fázi, které na nativním CT mozku nejsou vyjádřeny. Pomocí základních perfuzních parametrů, TTP (time to peak – čas do maximální



Graf 2. Výrazně prodloužený vzestup density v arteria cerebri media (červená křivka) a sinus sagittalis superior (modrá křivka), sestupná část křivky sinus sagittalis superior není zcela zachycena

Graph 2. Markedly prolonged increase of density in the middle cerebral artery (red line) and the superior sagittal sinus (blue line), descending part is not fully covered



Graf 3. Časný vzestup density v arteria cerebri media (červená křivka) a sinus sagittalis superior (modrá křivka). Přibližně od 25. sekundy od začátku skenování jsou skeny nepotřebné pro perfuzní analýzu.

Graph 3. Early increase of density in the middle cerebral artery (red line) and the superior sagittal sinus (blue line). Approximately since 25th second from the beginning of examination, scans are unnecessary for the perfusion analysis.



Graf 4. Optimalizovaný perfuzní protokol na základě analýzy křivky testovacího bolusu. Křivky syčení v arteria cerebri media (červená křivka) a sinus sagittalis superior (modrá křivka) pokryty téměř ideálně, je patrné minimum skenů nepotřebných pro perfuzní analýzu.

Graph 4. Optimized perfusion protocol based on analysis of test bolus. Lines of changes of density in the middle cerebral artery and the superior sagittal sinus are nearly perfectly covered. There is only a minimum of redundant scans.

density), CBF (cerebral blood flow – průtok krve mozkem) a CBV (cerebral blood volume – objem proteklé krve), lze rozlišit penumbra od již vytvořeného jádra ischemie nebo-li nekrozy.

Tab. 2. Rozdíly mezi jednotlivými průměrnými hodnotami časů

Table 2. Differences between average values of time

Rozdíly časů	Hodnota (s)
TB1 – A1	–2,5
TB2 – S2	–18,6
pTB – A1	2,9
pS – pTB	12,8
pA – pTB	8,8
S2 – A1	28,1

Normální hodnota perfuze je v šedé hmotě 50 ml/100 g/min, funkční změny vznikající poklesem perfuze jsou značně závislé i na saturaci krve kyslíkem. Kritická minimální hodnota perfuze mozku za podmínek optimální saturace kyslíkem je 15–25 ml/100 g/min, pokles pod 10–15 ml/100 g/min vede k buněčné smrti. Penumbra je mozková tkáň, která má zachovalou buněčnou integritu, ale vymizelou neuronální aktivitu. Pokud průtok krve mozkem neklesá pod 12 ml/100 g/min, dokážou neurony nestejně dlouhou dobu přežít se zachováním integrity. Na variabilitě přežívání se dále podílejí faktory, jako jsou rychlost vzniku hypoperfuze, hodnota glykemie, výše tělesné teploty a další. Klesne-li průtok krve mozkem pod 12 ml/100g/min, dochází k selhání

buněčné integrity a rozvíjí se jádro ischemie (6). Penumbra se na perfuzních mapách zobrazuje jako zóna prodlouženého TTP, sníženého CBF a normálního či i lehce zvýšeného CBV. Jádro ischemie se pak zobrazuje jako zóna prodlouženého TTP a výrazně sníženého CBV a CBF. Včasné rozlišení těchto dvou modalit má zásadní vliv na zvolení vhodné terapie pro nemocného.

Perfuzní CT mozku má v současnosti stále větší význam při diagnostice ischemických mozkových příhod. Pomocí výsledků perfuzního CT vyšetření mohou být identifikováni nemocní vhodní pro provedení rekanalizační terapie (7), zároveň je vyšetření schopné do jisté míry predikovat klinický vývoj (*outcome*) nemocných (8). Mechanická trombektomie (MT) je v současnosti doporučená léčba u akutní ischemické cévní mozkové příhody do 6 hodin. Na základě publikovaných studií DAWN (DWI or CTA Assessment with Clinical Mismatch in the Triage of Wake-Up and Late Presenting Stroke Undergoing Neurointervention with Trevo) a DEFUSE3 (Endovascular Therapy Following Imaging Evaluation for Ischemic Stroke) lze indikovat při splnění kritérií pacienty do 24 hodin od vzniku ischemické cévní mozkové příhody (9). Dá se tedy předpokládat, že podrobné zobrazování rozsahu a tíže ischemie bude stále více potřebné k určení správné terapie. K diagnostice hyperakutní fáze ischemické cévní mozkové příhody lze použít též magnetickou rezonanci, nicméně její dostupnost pro akutní vyšetření je stále limitována (10–12). Výhodou perfuzního CT je také lineární vztah mezi densitou a koncentrací kontrastní látky v krvi, na jehož základě lze relativně snadno kvantifikovat farmakokinetické parametry (5). Perfuzní CT je vyšetření rychlejší a lze tak vyšetřit i nespolupracující pacienty bez nutnosti anagosedace či intubace, při neklidu pacienta a pohybových artefaktech lze navíc rozhýbané skeny v postprocessingových úpravách vyřadit. Data z perfuzního vyšetření lze použít k 4D CT angiografii. Pomocí 4D CT angiografie lze v některých případech rozlišit uzavěr od subtotální okluze, případně zobrazit kolaterály.

Hlavním obecným argumentem proti provádění perfuzního CT mozku je vyšší radiační zátěž pacienta. Vzhledem k vyššímu věku nemocných (v našich souborech byl průměrný věk 66,5 let,

69,6 let a 70,7 let) je sice riziko stochastických účinků záření relativně nižší, nicméně nutnost redukce radiační zátěže perfuzního skenu je jednoznačná. Perfuzní vyšetření je navíc stále častěji indikováno u osob v nízkém věku a zároveň se často nelze vyhnout přímému ozáření očních bulbů, respektive čočky jako nejcitlivější části. Nejmladšímu nemocnému bylo v našem souboru 27 let. A to je tedy i jeden z důvodů, proč je nezbytné neustále hledat nové způsoby ke snížení radiační zátěže, a to nejen u perfuzního vyšetření.

Dlouhodobým standardem pro perfuzní CT vyšetření mozku je nastavení na délku skenu 50–60 sekund, přičemž k jeho spuštění dochází současně se startem intravenózní aplikace kontrastní látky. Takto extenzivní způsob vyšetření je volen z důvodu pokrytí skupin pacientů s odlišnou rychlostí cirkulace, přesto zejména u starších pacientů dochází k selhání protokolu z důvodu extrémně prodlouženého transportu

kontrastní látky do intrakraniálních tepen (graf 2). V našem testovacím souboru jsme zjistili významný rozdíl mezi nejkratším a nejdelším intervalem pro maximální nárůst denzity v hrudní aortě – minimální hodnota byla 9 sekund, maximální hodnota byla 26 sekund. Na druhou stranu, zejména u mladších osob docházelo k velmi rychlému průtoku kontrastní látky intrakraniálním řečištěm a následné skeny již byly redundantní z hlediska nutné perfuzní analýzy (graf 3). V naší práci jsme se snažili efektivně pokrýt dobu skenování během perfuzního vyšetření tak, aby byly křivky syčení v arteria cerebri media i sinus sagittalis superior pokryty v celém rozsahu a zároveň byly minimalizovány nepotřebné skeny (graf 4). K tomuto účelu byly využity časové údaje z hodnocení testovacího bolusu kontrastní látky, které standardně využíváme pro optimální časování CT angiografie karotického a intrakraniálního řečiště. Optimalizovaný perfuzní

protokol byl dlouhodobě testován a prokázal vysokou spolehlivost bez omezení diagnostické kvality. Také další cíl byl splněn, kdy vzhledem ke snížení počtu opakovaných skenů došlo k významné redukci radiační zátěže. Podle našich znalostí se doposud tímto způsobem optimalizace perfuzního protokolu nezabývali jiní autoři. Nicméně opakovaně byla prokázána vysoká variabilita nutné délky skenu pro perfuzní CT vyšetření (13).

ZÁVĚR

Naše studie prokázala, že perfuzní CT sken lze účinně a efektivně zkrátit a optimalizovat jeho začátek podle stavu cirkulace vyšetřovaných osob. K tomu lze využít data z testovacího bolusu kontrastní látky. Kromě vyšší efektivity je zásadní i významné snížení radiační zátěže vyšetřovaných osob při zachování diagnostické kvality. ●

LITERATURA

1. Thurnher MM, Castillo M. Imaging in acute stroke. *Eur Radiol* 2005; 15: 408–415.
2. Provenzale JM, Jahan R, Naidich TP, Fox AJ. Assessment of the patient with hyperacute stroke: imaging and therapy. *Radiology* 2003; 229(2): 347–359.
3. Wintermark M. Brain perfusion-CT in acute stroke patients. *Eur Radiol* 2005; 15(Suppl 4): D28–31.
4. Lin K et al. Perfusion CT improves diagnostic accuracy for hyperacute ischemic stroke in the 3-hour window: study of 100 patients with diffusion MRI confirmation. *Cerebrovasc Dis* 2009; 28(1): 72–79.
5. Mírka H, Ferda J. Multidetector computed tomography. Perfusion examination. Praha: Galén 2015.
6. Ferda J, Kastner J, Kreuzberg B, Novák M, Rohan V. Imaging of acute brain ischemia. *Ces Radiol* 2007; 61(3): 231–241.
7. Burton KR, Dhanoa D, Aviv RI, Moody AR, Kapral MK, Laupacis A. Perfusion CT for selecting patients with acute ischemic stroke for intravenous thrombolytic therapy. *Radiology* 2015; 274: 103–101.
8. Bivard A, Spratt N, Levi C, Parsons M. Perfusion computer tomography: imaging and clinical validation in acute ischaemic stroke. *Brain* 2011; 134: 3408–3416.
9. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. 2018 Guidelines for the Early Management of patients with Acute Ischemic Stroke A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American stroke Association. *Stroke* 2018.
10. Lev MH. Perfusion imaging of acute stroke: its role in current and future clinical practice. *Radiology* 2013; 266: 22–27.
11. Eastwood JD, Lev MH, Wintermark M, Fitzek C, Barboriak DP, DeLong DM, Lee TY, Azhari T, Herzau M, Chilukuri VR, Provenzale JM. Correlation of early dynamic CT perfusion imaging with whole-brain MR diffusion and perfusion imaging in acute hemispheric stroke. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003; 24(9): 1869–1875.
12. Mullins ME, Schaefer PW, Sorensen AG, Halpern EF, Ay H, He J, Koroshetz WJ, Gonzalez RG. CT and conventional and diffusion-weighted MR imaging in acute stroke: study in 691 patients at presentation to the emergency department. *Radiology* 2002; 224(2): 353–360.
13. Kasasbeh AS, Christensen S, et al. Optimal CT perfusion scan duration for assessment of acute stroke lesion volumes. *Stroke* 2016; 47(12): 2966–2971.