

DETEKCE INTRAKRANIÁLNÍHO KRVÁCENÍ: SROVNÁNÍ VIRTUÁLNÍHO NATIVNÍHO ZOBRAZENÍ PŘI CT-ANGIOGRAFII MOZKU POMOCÍ DUÁLNÍ ENERGIE ZÁŘENÍ A „KONVENČNÍHO“ NATIVNÍHO CT

DETECTION OF INTRACRANIAL BLEEDING: COMPARISON OF THE VIRTUAL
NON-CONTRAST IMAGING OF DUAL-ENERGY CT-ANGIOGRAPHY AND
„CONVENTIONAL“ NON-CONTRAST CT

původní práce

Jiří Ferda¹
Thomas Flohr²
Bernhard Schmidt²
Milan Novák¹
František Šlauf¹
Hynek Mírka¹
Jan Baxa¹
Jana Horemužová¹
Alena Bednářová¹
Eva Ferdová¹
Boris Kreuzberg¹

¹Radiodiagnostická klinika LF UK
a FN, Plzeň

²Siemens Medical Solutions, CT
division, Department of Research
and Development, Forchheim,
Deutschland

Přijato: 15. 10. 2008.

Korespondenční adresa:

doc. MUDr. Jiří Ferda, PhD.
Radiodiagnostická klinika
LF UK a FN
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň
e-mail: ferda@fnplzen.cz

Podpořeno výzkumným záměrem
MSM 0021620819.

SOUHRN

Ferda J, Flohr T, Schmidt B, Novák M, Šlauf F, Mírka H, Baxa J, Horemužová J, Bednářová A, Ferdová E, Kreuzberg B. Detekce intrakraniálního krvácení: srovnání virtuálního nativního zobrazení při CT-angiografii mozku pomocí duální energie záření a „konvenčního“ nativního CT

Cíl. Porovnat diagnostickou kvalitu virtuálního nativního zobrazení mozku získaného analýzou dat CT provedeného skenováním duální energií záření X (DECT) a konvenčního nativního CT zobrazení mozku u intrakraniální hemoragie.

Metoda. U 16 nemocných (průměrný věk 51,1 let, rozpětí 34–75 let, 9 mužů, 7 žen) se subarachnoidálním krvácením (SAK) byly generovány virtuální nativní obrazy z DECT-angiografie, použit byl softwarový experimentální modul Syngo-DualEnergy (Siemens, Forchheim, Německo). Vyšetření byla provedena po podání 60 ml jódové kontrastní látky s koncentrací 400 mgI/ml průtokem 4 ml/s na dvouzdrojovém CT přístroji (Definition, Siemens, Forchheim, Německo) s použitím akvizice dat s napětím 140 KV soustavou A a 80 kV soustavou B; oba systémy simultánně využívaly kolimaci 2× (32 × 0,6 mm) Nálezy byly porovnány s nativním zobrazením provedeným konvenční technikou s kolimací 2× (32 × 0,6 mm) s rekon-

SUMMARY

Ferda J, Flohr T, Schmidt B, Novák M, Šlauf F, Mírka H, Baxa J, Horemužová J, Bednářová A, Ferdová E, Kreuzberg B. Detection of intracranial bleeding: comparison of the virtual non-contrast imaging of dual-energy CT-angiography and „conventional“ non-contrast CT

Aim. To compare diagnostic quality of brain imaging in patients with intracranial bleeding using virtual non-contrast images obtained during analysis of dual-energy CT with them acquired by the conventional way.

Method. 16 patients (mean age 51.1 y, range 34–75 y; 9 males, 7 females) with subarachnoid hemorrhage (SAH) were enrolled in the study. Virtual non-contrast images were reconstructed using DualEnergy software (Siemens, Forchheim, Germany). All examinations were executed after application of 60 ml of iodinated contrast agent with concentration of 400 mg of iodine per milliliter on dual-source CT equipment (Definition, Siemens, Forchheim, Germany). The data were acquired using two tube-detector systems: system A used 140 kV, system B 80 kV respectively. Both systems used collimation 2× (32 × 0.6 mm). All findings were compared with them resulted from evaluation of conventional non-contrast images obtained using collimation of 2× (32 × 0.6 mm) with reconstruction of 6 mm thick images.

strukcí obrazů šíře 6 mm. Virtuální nativní obrazy byly hodnoceny jedním radiologem (23 let praxe CT), bez znalosti klinických údajů, virtuální nativní obrazy byly generovány jiným radiologem (14 let praxe CT), jenž prováděl hodnocení „konvenčních“ nativních zobrazení.

Výsledky. V souboru bylo zastoupeno 3× traumatické SAK, 2× perimezencefalické krvácení, 6× SAK z ruptury aneuryzmatu bez zakrvácení komorové soustavy nebo intracerebrální hemoragie, 4× SAK z ruptury aneuryzmatu se zakrvácením komorové soustavy nebo s intracerebrální hemoragií, 1× SAK a intracerebrální krvácení z durálního arteriovenózního zkratu. Ve všech případech byla zobrazena hemoragie na obou typech zobrazení ve stejném rozsahu a lokalizaci. Přesnost virtuálního nativního zobrazení byla 100%.

Závěr. Virtuální nativní zobrazení je adekvátní alternativou k identifikaci krvácení z postkontrastního zobrazení provedené technikou DECT a má potenciál nahradit iniciální „konvenční“ nativní CT zobrazení.

Klíčová slova: dual-energy CT, intrakraniální krvácení, virtuální zobrazení.

Virtual-non contrast images were evaluated by one radiologist (23 years of CT praxis) blinded to the clinical history of patients. Virtual non-contrast images were created by one radiologist (14 years of CT praxis) who evaluated conventional images.

Results. 3 cases of traumatic SAH, 2 cases of perimesencephalic SAH, 6 cases of SAH caused with ruptured aneurysm without intraventricular or without intracerebral bleeding, 4 cases of SAH caused with ruptured aneurysm complicated with intraventricular or with intracerebral bleeding and one case of SAH with intracerebral bleeding caused by dural arteriovenous shunt. The same extent and the same localization of bleeding was noted on both virtual and conventional non-contrast brain CT. Accuracy of the virtual non-contrast brain imaging reached 100%.

Conclusion. Virtual non-contrast brain imaging shows an alternative way of hemorrhage detection when the postcontrast imaging was performed using dual-energy CT and exhibits a potential to replace conventional non-contrast brain imaging.

Key words: dual-energy CT, intracranial bleeding, virtual imaging.

ÚVOD

Jednou z nejstarších klinických aplikací výpočetní tomografie je detekce intrakraniálního krvácení. CT bez intravenózního podání kontrastní látky je zobrazením zlatého standardu při podezření na intrakraniální krvácení, protože denzita krve se intrakraniálně výrazně liší od denzity mozkové tkáně, cerebrospinálního likvoru i kosti (1). Až do 90. let minulého století nepatřilo vyšetření s intravenózním podáním kontrastní látky do diagnostického algoritmu intrakraniální hemoragie. U subarachnoidálního krvácení (SAK) v posledních deseti letech výrazně vstoupila do zobrazování CT-angiografie (CTA), její indikace plně nahradila v primární diagnostice zdroje intrakraniálního krvácení digitální subtrakční angiografii (2, 3). Nativní zobrazení mozku je tak rutinně doplňováno postkontrastním vyšetřením v arteriální fázi nástřiku kontrastní látky k zobrazení aneuryzmatu nebo cévní malformace. Je-li vyšetření provedeno pomocí výpočetního tomografu se dvěma zdroji záření X, je možné skenovat vyšetřovanou oblast dvojí kvalitou záření tak, že každý ze zdrojů operuje s jiným napětím na rentgence (4, 5). Nový způsob akvizice dat zvaný CT s duální energií záření (dual-energy CT, DECT) s sebou přináší možnost analyzovat tkáň dle jejich rozdílné absorpce záření při nižší a vyšší energii. Jednou z prvních klinických

aplikací analýzy dat DECT je virtuální non-kontrastní (virtuální nativní) zobrazení tkání v abdominální oblasti a zobrazování plicní tkáně (6–9). Cílem prezentované práce je porovnat virtuální nativní zobrazení mozku při intrakraniálním krvácení generované z CT-angiografie s duální energií záření X (DECT-angiografie) se skutečným nativním zobrazením provedeným konvenčně bez nitrožilního podání kontrastní látky.

MATERIÁL A METODA

Do studie bylo zařazeno celkem 16 po sobě následujících nemocných (průměrný věk 51,1 let, rozpětí 34–75 roků, 9 mužů, 7 žen), u kterých bylo nalezeno při nativním zobrazení intrakraniálního krvácení s dominujícím subarachnoidálním krvácením (SAK) a u nichž bylo doplněno vyšetření CT-angiografie k objasnění zdroje krvácení.

Informovaný souhlas nemohl být od některých nemocných získán, neboť všechna zobrazovací vyšetření byla při těžkém celkovém ohrožujícím stavu urgentní. U nemocných, u kterých stav vědomí dovolil získání informovaného souhla-



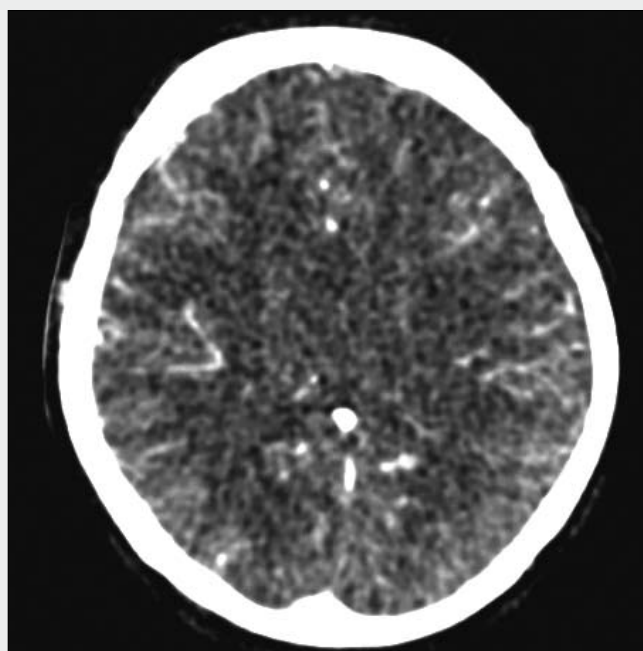
▲ Obr. 1A



▲ Obr. 1B



▲ Obr. 1C



▲ Obr. 1D

Obr. 1. Traumatické subarachnoidální krvácení frontálně

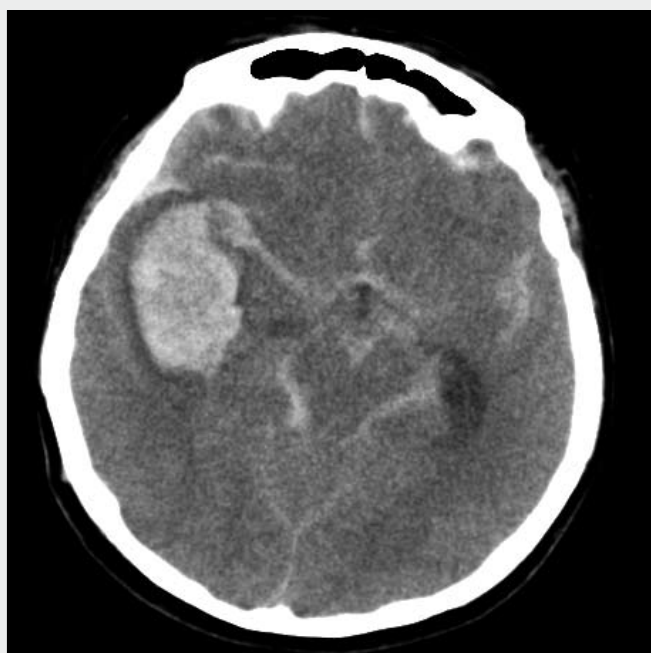
A – konvenční nativní obraz; B – axiální obraz CTA; C – virtuální non-kontrastní obraz; D – virtuální mapa distribuce jódu

Fig. 1. Subarachnoid hemorrhage occurred after trauma

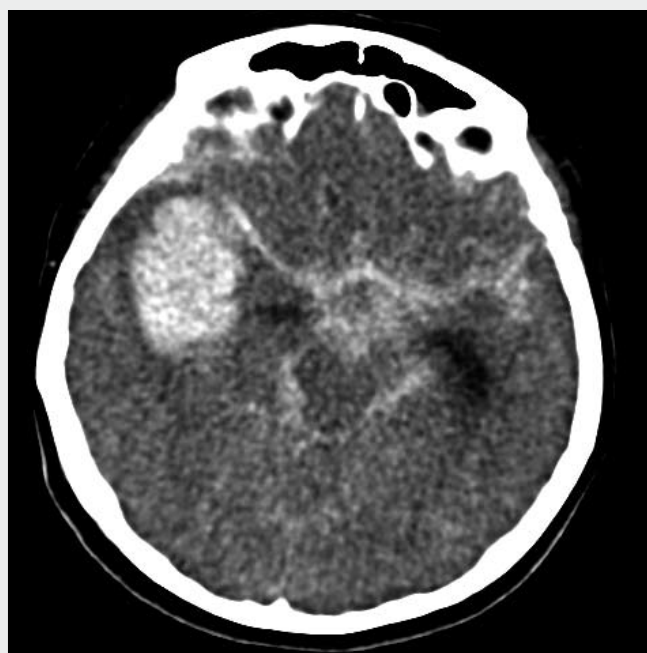
A – conventional non-contrast image; B – axial image of CTA; C – virtual non-contrast image; D – virtual map of iodine distribution

su, byl vyžádán rutinní souhlas s vyšetřením CT. Všechna vyšetření byla provedena na dvouzdrojovém výpočetním tomografu (Somatom Definition, Siemens, Forchheim, Německo). U všech nemocných bylo nejprve provedeno nativní vyšetření mozku spirální technikou s použitím následujících parametrů: kolimace $2 \times (32 \times 0,6 \text{ mm})$ – zapojením Z-samplingu byla získána sada 64

datových stop na jednu otáčku gantry. Data byla rekonstruována v širší vrstev 6 mm bez překrývání a dále byly rekonstruovány tenké vrstvy šíře 0,75 mm s rekonstrukčním incrementem 0,5 mm pro možnost zpracování dat v prostoru se submilimetrovým izotropním rozlišením. U všech zobrazení bylo použito algoritmu s potlačením rozhraní pro mozek (H25f).



▲ Obr. 2A



▲ Obr. 2B



▲ Obr. 2C

Obr. 2. Krvácející aneuryzma pravé střední mozkové tepny s intracerebrálním hematodem

A – konvenční nativní obraz; B – virtuální non-kontrastní obraz; C – MIP ukazující aneuryzma větvení pravé střední mozkové tepny po subtrakci skeletu analýzou DECT

Fig. 2. Subarachnoid bleeding caused by the ruptured aneurysm of the right middle cerebral artery complicated with intra-cerebral haematoma

A – conventional non-contrast image; B – virtual non-contrast image; C – maximum intensity projection CT-angiogram after bone removal using dual-energy analysis

Všechna vyšetření CT-angiografie byla provedena v režimu dual-energy (DE) s použitím akvizice dat s napětím 140 kV soustavou A a 80 kV soustavou B v rozsahu od oblouku aorty až po vertex hlavy. U obou systémů byla použita akvizice dat v poli zobrazení (field-of-view) o průměru 250 mm pomocí kolimace 2× (32 × 0,6 mm) – rovněž zapojením Z-samplingu bylo umožněno získání dvou sad 64 datových stop na jednu otáčku gantry. Vyšetření byla provedena po podání 60 ml jódové kontrastní látky s koncentrací 400 mgI/ml průtokem 4 ml/s s následujícím proplachem 50 ml fyziologického roz-

toku. K podání kontrastní látky a proplachu byl použit přetlakový injektor (Ohio, Ulrich, Ulm, Německo). Pro zahájení akvizice dat bylo využito automatického spuštění v okamžiku, kdy po intravenózním podání kontrastní látky v ascendentní aortě vzestoupila denzita nad úroveň 100 HU.

Data byla rekonstruována v kvalitě 140 kV, 80 kV a dále v kvalitě srovnatelné s kvalitou 120 kV (poměr fúze 0,3). Během zpracování dat byly generovány virtuální nativní obrazy z DECT-angiografie, použit softwarový experimentální modul Syngo-DualEnergy (Siemens, Forchheim, Německo) s kalku-



▲ Obr. 3A



▲ Obr. 3B



▲ Obr. 3C

Obr. 3. Subarachnoideální krvácení se zakrvácením komorové soustavy
 A – konvenční nativní obraz; B – virtuální non-kontrastní obraz; C – MIP ukazující dvojici aneuryzmat bazilární tepny po subtrakci skeletu analýzou DECT
Fig. 3. Twin-aneurysms of the basilar artery caused SAH with the presence of blood in the ventricular system

A – conventional non-contrast image; B – virtual non-contrast image; C – maximum intensity projection CT-angiogram after bone removal using dual-energy analysis showed aneurysms

lačním rozhraním materiálové dekompozice pro intrakraniální krvácení (brain haemorrhage), uzlovými body kalkulace byly denzita mozkové tkáně, krve a likvoru. Byly porovnány nálezy při nativním zobrazení provedeným konvenční technikou s rekonstrukcí obrazů šíře 6 mm s obrazy virtuálními, které byly zhotoveny v totožné orientaci a šíři. Virtuální nativní obrazy byly generovány jedním radiologem (14 let praxe CT, z toho 6 let praxe MDCT), který hodnotil „konvenční“ nativní obrazy. Virtuální nativní obrazy byly hodnoceny samostatně jiným radiologem (23 let praxe CT, 6 z toho let praxe MDCT)

bez znalosti jakýchkoliv klinických údajů o nemocných. Oběma hodnotiteli byla posuzována přítomnost intrakraniálního krvácení, rozlišeny byly jednotlivé lokalizace subarachnoidálního krvácení, dále přítomnost intracerebrálního hematomu, přítomnost krve v komorové soustavě a dále přítomnost jiných typů intrakraniálního krvácení. Hodnocení bylo zaznamenáno každým hodnotitelem do tabulky a obě tabulky byly porovnány.

Součástí evaluace vyšetření bylo i hodnocení prostorových angiogramů vytvořených z dat DECT-angiografie bez a po



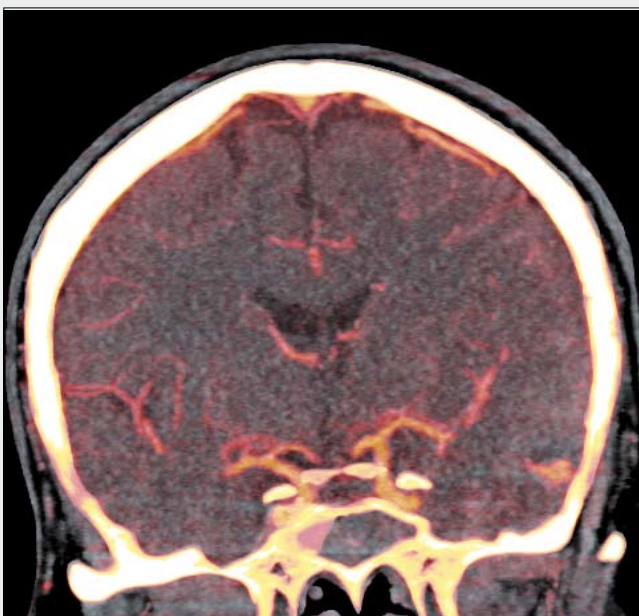
▲ Obr. 4A



▲ Obr. 4B



▲ Obr. 4C



▲ Obr. 4D

Obr. 4. Traumatické subarachnoidální krvácení frontálně a temporálně vlevo s aktivním vyléváním kontrastní látky

A – konvenční nativní obraz; B, C – virtuální non-kontrastní obraz; D – virtuální mapa distribuce jódu ukazuje vylévání kontrastní látky

Fig. 4. Subarachnoid hemorrhage after trauma surrounded the left frontal and temporal lobe with the presence of the active bleeding

A – Conventional non-contrast image; B, C – virtual non-contrast images; D – virtual map of iodine distribution showing the iodinated contrast agent leakage

subtrakci skeletu. K subtrakci skeletu bylo použito rovněž materiálové dekompozice v softwarovém modulu DualEnergy s kalkulačním rozhraním pro subtrakci skeletu hlavy.

VÝSLEDKY

V souboru bylo zastoupeno ve čtyřech případech SAK, kdy byla současně přítomna traumatická anamnéza. Protože ne-

bylo možné jako vlastní příčinu krvácení vyloučit pád následkem subarachnoidálního krvácení, bylo doplněna DECT-angiografie. Ve třech případech nebyla nalezena příčina v cévní abnormalitě, šlo tedy o čistě potraumatické krvácení. U jednoho pacienta bylo nalezeno krvácející aneurysma se subarachnoideálním, intracerebrálním a subdurálním krvácením, hemoragie byla tedy prvotní příčinou pádu (zahrnut v podskupině komplikovaných krváceních s příčinou v aneurysmatu).

U jedenácti nemocných byla nalezena jako příčina krvácení cévní abnormalita. V jediném případě šlo o krvácející duální arteriovenózní zkrat s krvácením subarachnoideálním, intracerebrálním a intraventriculárním. V šesti případech se jednalo o čistě subarachnoideální krvácení z ruptury aneurysmatu bez krvácení komorové soustavy nebo intracerebrální hemoragie. Ve čtyřech případech se jednalo o krvácení z ruptury aneurysmatu komplikované pouhým krvácením komorové soustavy (1×), krvácením komorové soustavy s intracerebrální hemoragií (2×) nebo kombinací intraventriculárního, intracerebrálního a subdurálního krvácení (1×).

U dvou nemocných bylo nalezeno perimezencefalické krvácení v typické lokalizaci, ani opakované zobrazení DECT-angiografií neprokázalo cévní abnormalitu.

Při porovnání úrovně šumu a kontrastu zobrazení skutečně nativního a virtuálně nativního (resp. non-kontrastního) byla virtuální nativní zobrazení zatížena vyšší úrovní šumu a výrazně nižším kontrastem mezi šedou a bílou hmotou. Při porovnání virtuálního nativního (resp. non-kontrastního) zobrazení a skutečného nativního zobrazení byly nalezeny shodně všechny lokalizace subarachnoideálního krvácení, shodně lokalizace a velikosti intracerebrálního hematomu a shodně byla nalezena přítomnost krve v jednotlivých mozkových komorách. Ve všech případech byla tedy zobrazena hemoragie na obou typech zobrazení ve stejném rozsahu a lokalizaci, shoda dosáhla 100 %.

DISKUSE

Provedení nativního zobrazení mozku patří mezi základní algoritmy diagnostiky intrakraniálních patologických změn (1). Nativní zobrazení mozku slouží pro detekci struktur s vysokou hodnotou denzity, především kalcia v kalcifikacích a v osifikovaných tkáních a dále k posouzení přítomnosti krvácení, na jehož vysoké denzitě se mimo vysokého obsahu bílkovin podílí především přítomnost železa. Kromě určení přítomnosti kalcia a krvácení je využíváno nativní zobrazení v hodnocení nárůstu denzity ve tkáni po intravenózní aplikaci jódové kontrastní látky.

Zatímco průkaz krvácení (včetně subarachnoidálního) se klasicky opírá o provedení nativního CT vyšetření, při pátrání po příčině krvácení je v současnosti jako zobrazení první linie indikována CT-angiografie. První zkušenosti s detekcí zdroje intrakraniálního krvácení pomocí CTA byly publikovány začátkem 90. let minulého století. Omezení v prostorovém rozlišení a zejména v rozsahu proveditelného vyšetření byly překovány zavedením multidetektorové technologie na přelomu století. V současnosti je do algoritmu subarachnoidálního krvácení již pevně zařazena CT-angiografie provedená po předchozím nativním CT vyšetření mozku. Recentní studie ukázaly, že CTA pomocí šestnácti a víceřadých CT systémů může plně nahradit v rozhodovacím procesu terapie intraarteriální katetizační digitální subtrahční angiografii (DSA): Aneurysma jako příčinu SAK je možno odhalit se senzitivitou přesahující 96 %, senzitivitou přesahující 98 % a s pozitivní prediktivní hodnotou nad 99 % (2, 3). Také perimezencefalické krvácení je možné diferencovat s vysokou přesností blížící se 100 % (2). Pouze v nekonkluzivních případech je doplňována DSA. Postavení CTA je tedy v současnosti již také pevně zakotveno při posuzování zdroje subarachnoidálního krvácení.

Výsledky studie demonstrují použitelnost kontrastního zobrazení mozku v podobě DECT-angiografie pro detekci a charakteristiku intrakraniálního krvácení, pokud je pro zobrazení hemoragie využito virtuálního non-kontrastního zobrazení. Virtuální non-kontrastní CT obrazy mohou být rekonstruovány z dat pořízených skenováním duální energií záření X po předchozí intravenózní aplikaci kontrastní látky. Ve studii bylo možno detekovat intrakraniální krvácení u všech 18 nemocných. Tyto výsledky ukazují na významný potenciál detekce krvácení jen z postkontrastních zobrazení, a tedy možnost vynechání konvečně prováděného nativního zobrazení mozku. Současné zobrazení duální energií záření v oblasti hlavy a krku s protokolem pro CT-angiografii se neliší dávkou při porovnání s protokolem využívajícím jednu energii záření.

Akvizice dat pomocí skenování duální energií záření umožňuje rekonstrukci virtuálních non-kontrastních zobrazení, na kterých je subtrahován obsah jódu. V použitém algoritmu zpracování dat je vyjádřena závislost absorpce záření ve tkáni na energii použitého záření. Vysoké atomové číslo jódu je zodpovědné za jeho odlišné chování od prvků v nativních tkáních, které jsou vesměs tvořeny prvky s nízkým atomovým číslem (4). Vlivem výraznému účinku fotoelektrického efektu je díky výraznému poklesu absorpce jodem při použití energie záření odpovídající 140 kV ve srovnání s absorpcí při použití energie záření při napětí 80 kV možné vypočítat v daném voxelu, jak se na výsledné denzitě podílí obsah jódu a jak vlastní tkáň (4). Odečtením podílu jódu ze sumační hodnoty denzity je možné vytvořit mapu odpovídající nativním denzitám tkání (4, 5). Takto vzniklý virtuální nativní (resp. non-kontrastního) obraz vytvořený z DECT-angiografie zobrazuje u nemocných s intrakraniálním krvácením neurokranium, mozkovou tkáň, mozkomíšni mok i krvácení.

Použití virtuálních non-kontrastních zobrazení při porovnání s konvečně provedeným nativním zobrazením mozku ukázalo ve studii sice zvýšení úrovně šumu a pokles kontrastu mezi šedou a bílou hmotou, a tím tedy jisté zhoršení kvality zobrazení, ale bez vlivu na detektabilitu krvácení. Na druhou stranu však vysoká kvalita postkontrastních zobrazení s ekvivalentem kvality k 120 kV umožnila zobrazení mozkových struktur s vyšším kontrastním rozlišením. I zde je tedy patrný potenciál k vypuštění nativního zobrazení mozku z diagnostického algoritmu.

Kromě detekce krvácení při zobrazení mozku pomocí virtuálních non-kontrastních obrazů existuje však také potenciál k využití map virtuální distribuce jódu (4, 5). Protože představují aktuální rozložení jódu v daném prostoru je možné jich využít v dalším zpracování dat. Z map distribuce jódu je možné pomocí algoritmu maximum intensity projection (MIP) zhotovit vysoce kontrastní MIP angiogramy ve formě vrstvého zobrazení. Dalším potenciálním využitím map distribuce jódu by mohlo být i využití k zobrazení perfuze mozkové tkáně, respektive k zobrazení perfuzního objemu v mozkové tkáni. U subarachnoidálního krvácení je využíváno perfuzní zobrazení k posouzení přítomnosti spazmů a jejich efektu na případné hypoxicko-ischemické poškození mozkové tkáně (10). Mapa distribuce jódu v rozsahu celého objemu mozku by mohla být dobrým indikátorem poruch perfuze na základě rozvoje edému či vazospazmů.

Pokud je přítomno tak masivní krvácení, že se objevuje extravazace kontrastní látky do oblasti krvácení, dovoluje

virtuální mapa distribuce jódu detekovat přítomnost aktivního krvácení – v našem souboru byl nalezen tento fenomén ve dvou případech a v obou případech se jednalo o nemocné s extrémně rychlou progresí rozvoje intracerebrálního krvácení s fatálním koncem do 3 hodin od vzniku krvácení. Průkaz vylévání kontrastní látky na mapě distribuce jódu je tedy možné považovat signum mali pro prognózu nemocného.

V neposlední řadě lze protokol používající analýzu dat získaných duální energií záření X je možné současně použít i pro přímou subtrakci tkání s obsahem kalcia, především tedy neurokrania, při zhotovování trojrozměrných angiogramů z CT dat.

Pro naši studii však existují jisté limitace. Pro zobecnění úlohy virtuálního nativního zobrazení mozku pro detekci krvácení by bylo zapotřebí větší sestavy s doplnění souboru o nemocné s jinou indikací k zobrazení mozku. Pro další úroveň posouzení možnosti nahrazení nativního zobrazení mozku evaluací DECT je nutné do budoucna rozšířit soubor

o nemocné s ischemickou cévní mozkovou příhodou, eventuálně o nemocné s intrakraniálním expanzivním procesem. K definitivnímu určení významu virtuálního non-kontrastního zobrazení mozku se zahrnutím nemocných i bez intrakraniálního krvácení je nutná další rozsáhlejší studie.

ZÁVĚR

Z dat jediného postkontrastního CT zobrazení duální energií záření X je možné s vysokou přesností odhalit přítomnost intrakraniálního krvácení, současně studovat některé hemodynamické aspekty intrakraniálního krvácení, jako jsou jeho aktivita a efekt na perfuzi mozkové tkáně. Studií byl potvrzen potenciál virtuálního non-kontrastního zobrazení nahradit nativní zobrazení mozku, a tím významně snížit celkovou radiační zátěž vyšetřovaného.

LITERATURA

1. **Biller J, Godersky JC, Adams HP jr.** Management of aneurysmal subarachnoidal hemorrhage. *Stroke* 1988; 19: 1300–1305.
2. **Westerlaan HE, Gravendeel J, Fiore D, et al.** Multislice CT angiography in the selection of patients with ruptured intracranial aneurysms suitable for clipping or coiling. *Neuroradiology* 2007; 49: 997–1007.
3. **Agid R, Lee Sk, Willinsky RA, Fard RI, Brugge KG.** Acute subarachnoid hemorrhage: using 64-slice multidetector CT angiography to „triage“ patients' treatment. *Neuroradiology* 2006; 48: 787–794.
4. **Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al.** Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007; 17: 1510–1517.
5. **Ferda J, Flohr T, Kreuzberg B.** Zobrazení tkání výpočetní tomografií s duální energií záření – první zkušenosti z klinického využití. *Ces Radiol* 2008; 62: 11–22.
6. **Thieme SF, Becker CR, Hacker M, et al.** Dual energy Ct for the assessment of lung perfusion – correlation to scintigraphy. *Eur J Radiol* 2008 (in press).
7. **Ferda J, Baxa J, Mírka H, et al.** „Ventilačně-perfuzní“ zobrazení plic pomocí CT s duální energií záření. *Ces Radiol* 2008; 62: 277–284.
8. **Stolzmann P, Frauenfelder T, Pfammatter T, et al.** Endoleaks after endovascular abdominal aortic aneurysm repair: detection with dual-energy dual-source CT. *Radiology* 2008; 249: 682–691.
9. **Chae EJ, Song J-W, Seo JB, Krauss B, Jang YM, Song K-S.** Clinical utility of dual-energy Ct in the evaluation of solitary pulmonary nodules: initial experience. *Radiology* 2008; 249: 671–681.
10. **Aralsmak A, Akyuz M, Ozkaynak C, Sindel T, Tuncer R.** CT angiography and perfusion imaging in patients with subarachnoid hemorrhage: correlation of vasospasm to perfusion abnormality. *Neuroradiology* 2008 (in press).