

POROVNÁNÍ KLASICKÉHO REKONSTRUKČNÍHO ALGORITMU FILTROVANÉ ZPĚTNÉ PROJEKCE (FBP) A ALGORITMU ITERATIVNÍ REKONSTRUKCE (IRIS)

COMPARISON OF THE FILTERED BACK PROJECTION RECONSTRUCTION ALGORITHM AND THE ITERATIVE RECONSTRUCTION ALGORITHM (IRIS)

původní práce

Petra Kozubíková¹
Martin Horák²

¹Oddělení lékařské fyziky
Nemocnice Na Homolce, Praha

²Radiodiagnostické oddělení
Nemocnice Na Homolce, Praha

Přijato: 15. 7. 2011.

Korespondenční adresa:

Ing. Petra Kozubíková
Oddělení lékařské fyziky,
Nemocnice Na Homolce
Roentgenova 2, 150 30 Praha 5
e-mail: petra.kozubikova@homolka.cz

SOUHRN

Kozubíková P, Horák M. Porovnání klasického rekonstrukčního algoritmu filtrované zpětné projekce (FBP) a algoritmu iterativní rekonstrukce (IRIS)

Cíl. Cílem studie bylo posoudit možnosti IRIS (iterativní rekonstrukce v obrazovém prostoru) algoritmu z hlediska redukce šumu v obraze a efektivní dávky.

Metoda. Bylo vyhodnoceno celkem 85 pacientů, kteří podstoupili CT vyšetření (plic, břicha a mozku) s rekonstrukcí snímků pomocí IRIS algoritmu, a podobná skupina 95 pacientů, jejichž snímky byly rekonstruovány filtrovanou zpětnou projekcí (FBP). Referenční součin proudu a expozičního času byl pro skupinu s IRIS algoritmem v původních užívaných protokolech snižován tak, aby kvalita snímku na základě subjektivního posouzení radiologa byla zachována. Obě skupiny byly porovnány z hlediska množství šumu na snímku, poměru signálu a šumu a efektivní dávky, kterou pacient během vyšetření obdrží.

Výsledky. Ukázalo se, že u vyšetření břicha je možné radiační zátěž pacienta snížit až o 50 %, aniž by došlo ke zhoršení kvality snímku. Na druhou stranu pro vyšetření mozku se podařilo dosáhnout snížení průměrné efektivní dávky pouze o 23 %.

Závěr. Z tohoto důvodu by měla obdobná měření a optimalizace vždy předcházet uvedení nového rekonstrukčního algoritmu do klinické praxe.

Klíčová slova: FBP, IRIS, iterativní rekonstrukce, filtrovaná zpětná projekce, CT, efektivní dávka.

SUMMARY

Kozubíková P, Horák M. Comparison of the filtered back projection reconstruction algorithm and the iterative reconstruction algorithm (IRIS)

Aim. The aim of this study was to assess the possibilities of IRIS (Iterative reconstruction in Image Space) algorithm in noise reduction and potential dose reduction.

Method. A total of 85 patients clinically underwent CT examination (chest, abdomen, brain) with IRIS reconstruction and similar groups of 95 patients with Filtered Back Projection (FBP) reconstruction were evaluated. The reference tube current product in original CT protocols was modified for IRIS algorithm according to the subjective image quality. Two reconstruction algorithms were compared in terms of image noise, signal to noise ratio and effective dose.

Results. It was demonstrated that with the novel approach the mean effective dose reduction up to 50% for CT examination of the abdomen did not lead to image quality degradation. However, to retain the quality of CT images of the brain it was accomplished mean effective dose reduction only of 23%.

Conclusion. For this reason such measurements and similar optimization should precede to introduction of any new reconstruction algorithm into clinical routine.

Key words: FBP, IRIS, iterative reconstruction, filtered back projection, CT, effective dose.

ÚVOD

Počet vyšetření výpočetním tomografem (CT) v současné době neustále narůstá díky vysoké dostupnosti těchto přístrojů, a to i v malých nemocnicích. Mezi roky 2000 a 2009 vzrostl počet provedených vyšetření na odděleních a pracovištích radiologie o 50 % (ÚZIS) a s instalací nových zařízení nadále roste. Avšak s tím narůstají také nežádoucí účinky těchto vyšetření na populaci jako celek, tj. efektivní kolektivní dávka nebo efektivní individuální dávka pro obyvatele neustále narůstá. Proto je nutné mít na zřeteli, že další zvyšování počtu diagnostických vyšetření by nemělo přinášet další nárůst efektivní dávky pro obyvatelstvo. Z těchto důvodů se dnes zaměřuje pozornost nejen na hardwarový vývoj CT, ale také na výpočetní systémy, které zpracovávají naměřené údaje do obrazové podoby. Moderní CT přístroje umožňují nejen skenovat s vysokým rozlišením velké objemy ve velmi krátké době, ale navíc je kladen důraz na snižování dávky, kterou pacient během vyšetření obdrží.

Rekonstrukce CT obrazů pomocí filtrované zpětné projekce (FBP), která se dnes běžně používá, neumožňuje snížit dávku, aniž by došlo k výraznému nárůstu šumu v obraze. Alternativní metodou rekonstrukce obrazu je iterativní rekonstrukce. Tento algoritmus se již používá v nukleární medicíně při zpracování obrazů z pozitronové emisní tomografie (PET). Rekonstrukce obrazu pomocí iterativní rekonstrukce, která oproti klasické FBP mnohem více využívá podrobnější znalosti o geometrii skeneru a interakci ionizujícího záření, umožňuje významně snížit šum v obraze a zachovat vysoké prostorové rozlišení. Pokles šumu v obraze dovoluje snížit množství proudu na rentgence, a tedy redukovat efektivní dávku. Zavedení iterativní rekonstrukce do klinické praxe pro běžná CT vyšetření bylo až do současnosti omezeno vysokými nároky na výpočetní čas. Výrobci CT zařízení ale vyvinuli nové přístupy k iterativní rekonstrukci, které nejsou tak náročné na výpočetní čas, a v klinické praxi mohou tedy být použity v reálném čase (ASIR (adaptivní statistická itera-

tivní rekonstrukce) od společnosti GE Healthcare, Waukasha, Wisconsin, IRIS od společnosti Siemens Medical Systems, Erlangen, Německo a iDose od společnosti Philips Healthcare, Andover, Massachusetts). Jedním z těchto přístupů je právě tzv. iterativní rekonstrukce v obrazovém prostoru – algoritmus IRIS. Oproti klasické iterativní rekonstrukci, kde jsou výsledky jednotlivých rekonstrukcí srovnávány s „RAW daty“ (hrubá data na CT), je v první fázi IRIS algoritmu z RAW dat vytvořen výchozí obraz (tzv. „master image“). Tento výchozí obraz, který obsahuje už všechny relevantní informace o zobrazované struktuře, ale také velké množství šumu, je iteracemi upravován tak, aby byl co nejvíce snížen šum a navýšen kontrast obrazu. Iterace tedy probíhají v obrazovém prostoru, bez nutnosti provádět další rekonstrukce z RAW dat. Podle dostupné literatury použití IRIS algoritmu umožňuje redukovat šum v obraze o 20–30 % (1–3), což umožňuje snížit množství proudu na rentgence o 40–50 %. Tyto studie byly zaměřeny především na CT vyšetření hrudníku. Cílem této studie je statisticky vyhodnotit kvalitu snímků pořízených normálním CT protokolem, normálním protokolem s použitím IRIS a s protokolem se sníženou dávkou s použitím IRIS.

MATERIÁL A METODA

Pro porovnání dosud používaného rekonstrukčního algoritmu FBP a algoritmu IRIS byly vyhodnoceny tři skupiny pacientů. První skupina podstoupila CT vyšetření plic, druhá CT vyšetření břicha a třetí CT vyšetření mozku. Všechny skupiny pacientů podstoupily tato CT vyšetření bez podání kontrastní látky na novém přístroji SOMATOM Definition Flash (Siemens, Erlangen, Německo) s následujícími parametry: kolimace $128 \times 2 \times 0,6$ mm s plovoucím ohniskem a napětí 120 kV byly pro všechny skupiny shodné; doba rotace pro vyšetření hrudníku a břicha: 0,5 s, pro vyšetření mozku: 1 s; u vyšetření hrudníku a vyšetření břicha a malé pánve byla použita 4D modulace dávky (Care Dose 4D; Siemens, Němec-

Protože nelze pacienta zbytečně ozařovat dvakrát pro dosažení absolutně stejných podmínek při různých protokolech, jsou vyšetření porovnávána vždy takto: nativní vyšetření FBP v klasickém protokolu, postkontrastní vyšetření IRIS s protokolem redukujícím dávku.

It is not possible to irradiate anyone twice to achieve absolutely the same conditions in different protocols, there are exams always compared this way: native examination using FBP in standard protocol, post contrast examination using IRIS in protocol with dose reduction.



▲ Obr. 1A

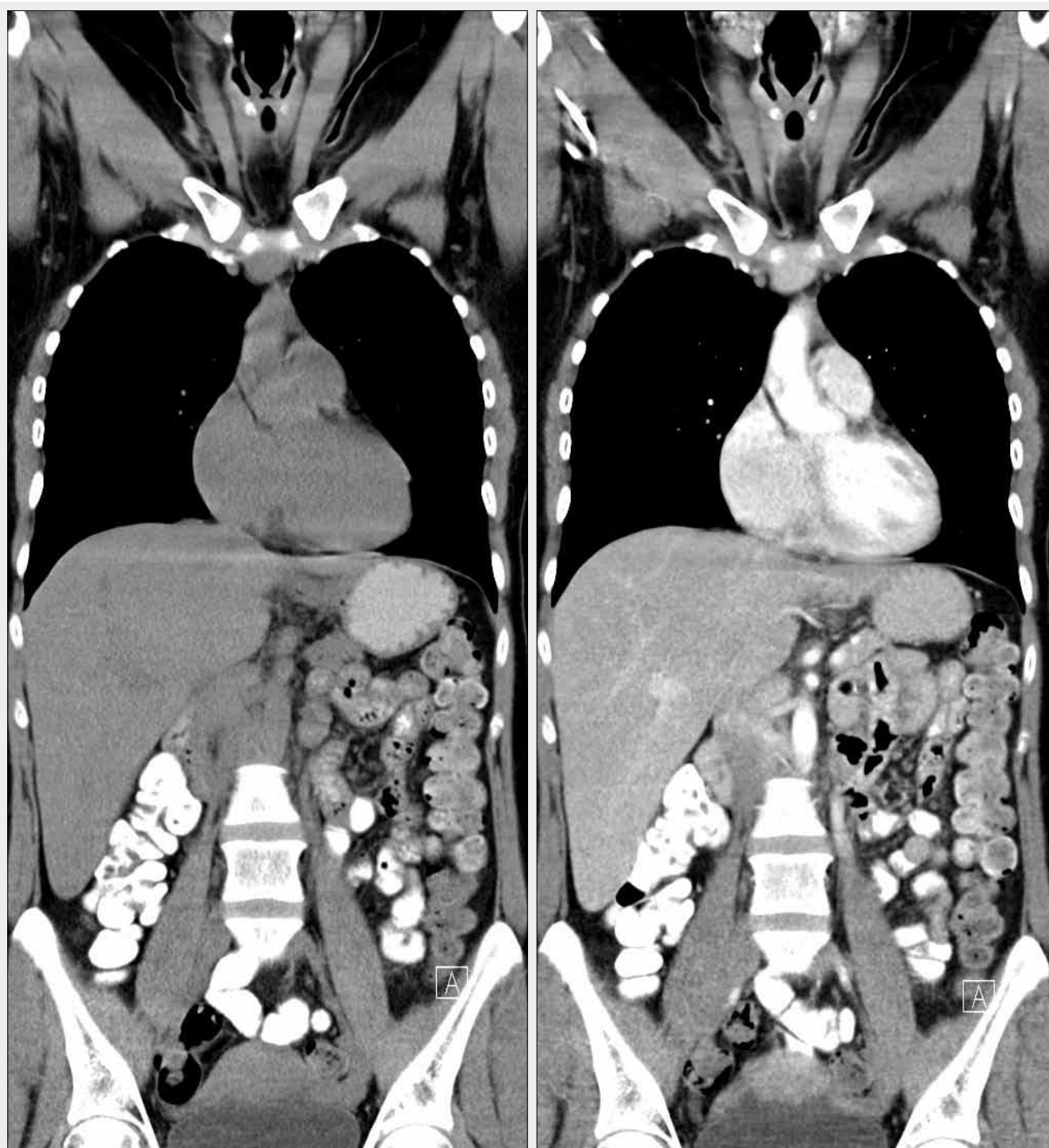


▲ Obr. 1B

ko). Pro protokol vyšetření hrudníku byl použit pitch faktor 1,2, pro protokol vyšetření břicha a malé pánve 0,9 a pro protokol vyšetření mozku 0,6.

V rámci všech skupin byly porovnány obrazy rekonstruované pomocí obou rekonstrukčních algoritmů: FBP a IRIS algoritmu. Celkem byla vyhodnocena vyšetření 85 pacientů, u kterých byl pro rekonstrukci CT obrazů použit IRIS algoritmus a 95 pacientů s rekonstrukcí FBP. Tělesná hmotnost pacientů byla 70 ± 20 kg. Pro hodnocení byla zvolena dvě základní kritéria – subjektivní

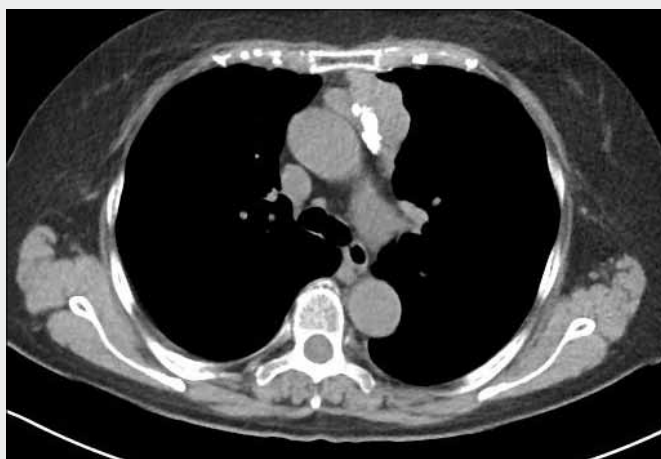
ohodnocení kvality obrazu radiologem a objektivní vyhodnocení kvality obrazu stanovením šumu a poměru signál–šum (SNR) na základě metodiky použité v dostupné literatuře (1, 4). Šum byl definován jako standardní odchylka signálu a SNR jako podíl signálu a standardní odchylky signálu. Měření bylo provedeno v oblastech zájmu (ROI) umístěných v transverzálních řezech do vzestupné části aorty pro vyšetření hrudníku, v úrovni odstu- pu truncus coeliacus pro vyšetření břicha a do jedné z laterálních komor pro vyšetření mozku. Velikost ROI byla zvolena přibližně



▲ Obr. 1C

▲ Obr. 1D

Obr. 1. CT hrudníku, břicha a malé pánve. A, B – axiální sken v úrovni jater; C, D – koronární sken. Redukce dávky s IRIS při postkontrastním skenu byla 49%.
Fig. 1. CT of thorax, abdomen and pelvis. A, B – axial scan in liver area; C, D – coronar scan. Dose reduction with IRIS in post contrast scan reached to 49%.



▲ Obr. 2A



▲ Obr. 2B

Obr. 2. CT hrudníku, v předním mediastinu se nachází ohraničený útvar s kalcifikací, který byl chirurgicky ověřen jako thymom. A – nativní sken; B – postkontrastní sken. Redukce dávky s IRIS při postkontrastním skenu 36 %.
Fig. 2. CT of thorax, there is well defined structure with calcification in ventral mediastinum. It was surgically verified as thymoma. A – native scan; B – post contrast scan. Dose reduction with IRIS in post contrast scan reached to 36%.

1,0 cm² tak, aby neobsahovala okolní struktury. Součin proudu a expozičního času pro vyšetření hrudníku a břicha za použití IRIS algoritmu byl snížen na základě výsledků o redukci šumu publikovaných v dostupné literatuře. Protože v době studie nebyly k dispozici informace o možné redukci šumu při použití IRIS algoritmu oproti FBP pro vyšetření mozku, byla provedena nejprve malá studie, ve které byl kvantitativně vyhodnocen pokles šumu v obraze. Bylo vybráno 10 pacientů, kteří podstoupili vyšetření mozku, a řezy byly rekonstruovány jak pomocí FBP, tak pomocí IRIS algoritmu. Pro jednotlivé pacienty byly v obou sadách obrazů umístěny ROI do stejného řezu a stejné pozice v rámci řezu do oblasti bílé hmoty mozku a laterální komory tak, aby bylo možné kvantifikovat změnu množství šumu a SNR mezi obrazy rekonstruované FBP a IRIS algoritmem. Pro všechny skupiny pacientů byla také stanovena průměrná hodnota efektivní dávky (E) a váženého kermového indexu výpočetní tomografie korigovaného na pitch faktor (C_{vol}), který je uveden v protokolu o vyšetření pacienta. Efektivní dávka byla stanovena na základě odečtu hodnoty součinu kerry a délky (DLP) uvedeného v protokolu o vyšetření. Tato hodnota je odečítána a zaznamenávána pro každé jednotlivé vyšetření. Hodnota DLP byla vynásobena konverzním koeficientem E/DLP 14 μ Sv/(mGy · cm) pro vyšetření hrudníku, 15 μ Sv/(mGy · cm) pro vyšetření břicha a malé pánve a 2,1 μ Sv/(mGy · cm) pro vyšetření mozku, který převádí hodnotu DLP na efektivní dávku (5). Všechny výsledky jsou prezentovány ve formě průměr (směrodatná odchylka).

VÝSLEDKY

V první skupině (vyšetření hrudníku) bylo vyhodnoceno 30 pacientů s průměrnou tělesnou hmotností 73,5 (12,0) kg, u kterých byla rekonstrukce obrazu provedena standardní FBP s kernelem B30f a 22 pacientů s průměrnou tělesnou hmotností 74,5 (0,8) kg, u kterých byl použit k rekonstrukci IRIS algoritmus s kernelem I30f. Použití IRIS algoritmu umožnilo snížit referenční efektivní součin proudu a expozičního času o 37 %, a to tak, že kvalita snímku na základě subjektivního posouzení radiologa byla zachována. Obrazy byly vyhodnoceny také

kvantitativně výše uvedeným způsobem a z výsledků uvedených v tabulce 1 je patrné, že nedošlo k nárůstu šumu v obraze ani k poklesu hodnoty SNR. Referenční efektivní součin proudu a expozičního času byl snížen ze 110 mAs na 70 mAs bez ztráty obrazové informace. Tato změna vedla přímo k redukci efektivní dávky ze 4,6 (1,3) mSv na 3,0 (1,0) mSv.

Ve druhé skupině (vyšetření břicha a malé pánve) bylo opět vyhodnoceno po 35 pacientech pro oba způsoby rekonstrukce. Průměrná tělesná hmotnost u pacientů s FBP rekonstrukcí s kernelem B30f byla 69,9 (10,7) kg a u pacientů s IRIS rekonstrukcí s kernelem I30f 74,1 (8,73) kg. Pro toto vyšetření bylo dokonce možné snížit hodnotu referenčního efektivního součinu proudu a expozičního času o 50 % (z 210 mAs na 105 mAs), aniž by podle hodnocení radiologa došlo ke zhoršení kvality obrazu. Tato změna snížila průměrnou efektivní dávku v této skupině pacientů z 6,8 (2,1) mSv na 3,4 (0,7) mSv. Z tabulky 1 je zřejmé, že ani tato značná redukce proudu na rentgence nevedla k nárůstu šumu v obraze a poklesu SNR.

Pro třetí skupinu pacientů (vyšetření mozku) byl stanoven pokles šumu v obraze při použití IRIS algoritmu (kernel J30S) oproti algoritmu FBP (kernel H31S) 20 %, což by umožňovalo snížit hodnotu proudu na rentgence o přibližně 30 %. Po vyhodnocení obrazů radiologem byla nakonec nastavena optimální hodnota součinu proudu a expozičního času na 240 mAs (z původní hodnoty 320 mAs). Průměrná hodnota efektivní dávky pacienta poklesla z 1,9 (0,1) mSv na 1,4 (0,1) mSv (tab. 1).

DISKUSE

CT snímky, k jejichž rekonstrukci byl použit rekonstrukční algoritmus IRIS, obsahovaly výrazně méně šumu než snímky rekonstruované pomocí FBP. Tato skutečnost v první řadě umožňuje vhodnou volbou parametrů snížit efektivní dávku, kterou pacient během CT vyšetření obdrží, a za druhé u obězích pacientů, u kterých je množství šumu v obraze rekonstruovaných pomocí FBP značné, poskytuje při stejných parametrech vyšetření snímky s požadovanou kvalitou. Z výsledků uvedených v tabulce 1 je zřejmé, že použití rekonstrukčního



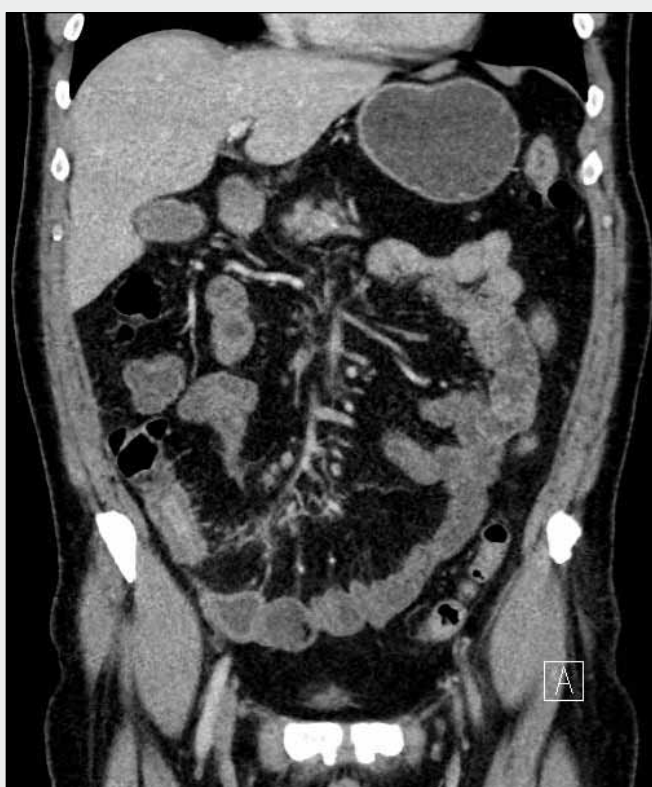
▲ Obr. 3A



▲ Obr. 3B



▲ Obr. 3C



▲ Obr. 3D

Obr. 3. CT břicha a malé pánve metodou CT enterografie, pacient s Crohnovou chorobou po IC resekcí a nyní zánět na neotermínálním ileu. A, B – axiální sken v úrovni řezu postiženou kličkou tenkého střeva; C, D – koronární sken se zachycením postižené kličky tenkého střeva. Snímky jsou ze stejné úrovně, ale pacient se nepatrně jinak nadechl, proto postižený úsek mírně jinak zachycen. Redukce dávky s IRIS při postkontrastním skenu 54%.

Fig. 3. CT of abdomen and pelvis prepared as CT enterography, patient with Crohn's disease after ileo-cecal resection, there is new inflammation on neoterminal ileum there. A, B – axial scan in inflamed loop of ileum; C, D – coronar scan with inflamed loop of ileum. Scans are from the same position, but patient did different deep breath hold, that is why the inflamed loop seems to be in different position. Dose reduction with IRIS in post contrast scan reached to 54%.

Tab. 1. Srovnání rekonstrukčních algoritmů z kvality obrazu a efektivní dávky, kterou pacient obdrží při daném vyšetření

Table 1. The comparison of reconstruction algorithms in the viewpoint of quality of image and effective dose achieved by patient during examination

	Vyšetření plic		Vyšetření břicha		Vyšetření mozku	
	FBP	IRIS	FBP	IRIS	FBP	IRIS
počet pacientů	30	22	35	35	30	28
hmotnost pacienta (kg)	73,5 (12,0)	74,5 (10,8)	69,9 (10,7)	74,1 (8,7)	–	–
šum (HU)	11,0 (1,8)	9,1 (1,3)	13,6 (2,4)	12,7 (2,4)	4,2 (0,4)	4,1 (0,4)
SNR (HU)	4,0 (1,0)	4,6 (1,0)	3,0 (0,7)	3,4 (0,7)	1,6 (0,4)	1,6 (0,3)
C _{vol} (mGy)	8,9 (2,4)	6,0 (2,0)	10,5 (2,3)	6,0 (1,2)	58,9 (11,2)	44,6 (1,4)
E (mSv)	4,6 (1,3)	3,0 (1,0)	6,8 (2,1)	3,4 (0,7)	1,9 (0,1)	1,4 (0,1)

algoritmu IRIS umožnilo do současnosti snížit efektivní dávku o 34 % pro vyšetření plic, o 50 % pro vyšetření břicha a o 23 % pro vyšetření mozku. Toto snížení je významné z hlediska jak individuální efektivní dávky, tak efektivní kolektivní dávky, protože tím dochází ke snížení potenciální újmy pro obyvatelstvo. Nejvíce diskutovanou újmou je vznik sekundárních maligních nádorů. Snížení efektivní dávky až o 50 % snižuje výrazně i pravděpodobnost vzniku sekundárních zhoubných nádorů. Z kvantitativního vyhodnocení obrazů z hlediska šumu a SNR je navíc patrné, že i po výrazném snížení referenčního efektivního součinu proudu a expozičního času nedošlo k nárůstu šumu v obrazu, poklesu SNR, a tím potřebná obrazová informace pro radiodiagnostiku zůstala zachována.

Výsledky této studie potvrzují, že použití IRIS algoritmu umožňuje významně snížit radiační zátěž pacienta. Charakteristika získaných obrázků, tzv. rastr či moaré snímku, se oproti FBP rekonstrukci mírně liší, hodnocení charakteru snímku je však poměrně subjektivní. Každý radiolog přecházející na techniku iterativní rekonstrukce si musí zvyknout na nový charakter snímku, který však v žádném případě neztrácí diagnostickou informaci. Pozorovatelné subjektivní změny jsou patrné zejména v úrovni velkých ploch (tzv. izoploch), např. parenchymatózních orgánů, kde v důsledku algoritmu iterativní rekonstrukce dochází k určitému splývání přechodů, což může některým radiologům působit obtíže, či připadat neobvyklé pro daný typ CT snímků.

V nastavování rekonstrukčních parametrů je nutné dbát obecně vždy zvýšené opatrnosti a nedůvěřovat slepě jen aplikačním technikům dodavatele CT přístroje. V Nemocnici Na Homolce jsme se setkali v rámci konzultací s některými externími CT snímky již tak vyhlazenými a vyčištěnými od šumu filtracemi a algoritmy včetně využití iterativní rekonstrukce z CT jiných výrobců, že zřetelně ztratily již na diagnostické kvalitě. Rozeznat takové snímky lze poměrně snadno pohledem například na plicní okno v oblasti hrudníku, neboť takové snímky mají výrazně redukovanou periferní plicní kresbu. Na snímcích periferní kresba prostě neexistuje, je kompletně odfiltrovaná, stejně jako šum. Tento efekt však nebyl při použití rekonstrukčního algoritmu IRIS pozorován.

Pokud se některá pracoviště rozhodnou používat iterativní rekonstrukční algoritmy, musí mít vždy na paměti, že jsou to pomocné metody. Z uvedené krátké studie je patrné, že při zavedení IRIS algoritmu do klinické praxe nelze pouze automaticky snížit proud na rentgence o určitou hodnotu, ale je třeba provést optimalizaci parametrů pro každé jednotlivé vyšetření tak, aby bylo dosaženo potřebné kvality snímků. Doporučujeme nejprve nastavit optimálně parametry jednotlivých vyšetření pro původní FBP rekonstrukční algoritmus a teprve následně aplikovat IRIS algoritmus. Poté můžeme postupně snižovat dávku

v jednotlivých protokolech a sledovat, jak se mění charakteristika a kvalita snímků. Každé pracoviště nejspíše bude používat redukci dávky na trochu jiné úrovni právě podle subjektivního vyhodnocení pracujících radiologů. Je také nutné si uvědomit, že analyzovat nastavení parametrů v každém protokolu lze až po vyšetření několika desítek pacientů a jejich vyhodnocení, zda bylo snížení dávky dostatečné nebo je možné v redukci dávky ještě pokračovat, či zda je i při použití rekonstrukčního IRIS algoritmu množství šumu v obrazu neakceptovatelné. Při výrazném podzáření pacienta během vyšetření při snaze maximálně snížit dávku mohou být snímky již tak zašuměné, že jejich diagnostická hodnota bude malá a snímky budou hodnoceny jako špatné, pro diagnostiku nevhodné. Je třeba mít na paměti, že v takovém případě bude nutné vyšetření opakovat, což je z hlediska radiační ochrany nepřijatelné.

Do této studie byli zařazeni pacienti, jejichž tělesná hmotnost byla maximálně 90 kg. V případě obezních pacientů obsahují snímky při použití protokolu s redukovanou dávkou poměrně velké množství šumu, které není možné ani pomocí IRIS rekonstrukce zcela odstranit. V takovém případě se ukázalo vhodné aplikovat algoritmus IRIS na standardní protokol bez redukce dávky. Oproti původním snímkům rekonstruovaných FBP, které obsahují vyšší podíl šumu, IRIS algoritmus větší část šumu odstraní a snímky dosahují více obvyklého vzhledu jako u normostenického pacienta. U obezních pacientů tedy již není nutné zvyšovat dávku pro pořízení dostatečně kvalitních snímků, protože při použití IRIS algoritmu a standardního vyšetřovacího protokolu určeného pro FBP se množství šumu sníží. Na tuto problematiku se však tato práce výrazněji nesoustředila.

ZÁVĚR

Použití IRIS algoritmu pro rekonstrukci CT snímků redukuje šum v obrazu, a tím umožňuje výrazně snížit radiační zátěž pacienta. Z uvedených výsledků je ovšem zřejmé, že před zavedením nového rekonstrukčního algoritmu do klinické praxe na daném pracovišti je třeba provést optimalizaci parametrů všech běžně používaných protokolů vyšetření tak, aby kvalita pořízených snímků zůstala zachována. Každý lékař radiolog si musí na charakter nových snímků zvyknout a současně akceptovat i limitace s tímto spojené. Rekonstrukce pomocí IRIS algoritmu jsou vhodné zejména pro vyšetření hrudníku, břicha a malé pánve, kde lze dosáhnout až 50% redukce dávky u astenických a normostenických pacientů. U obezních pacientů je vhodné spíše provést vyšetření s klasickým protokolem, snímky následně rekonstruovat pomocí IRIS algoritmu, a tím dosáhnout požadovaného snížení šumu v obraze.

LITERATURA

1. Bittencourt MS, Schmidt B, Selmann M, et al. Iterative reconstruction in image space (IRIS) in cardiac computed tomography: initial experience. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010 (online) <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-010-9756-3>.
2. Pontana F, Duhamel A, Flohr T, et al. Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 1): evaluation of image noise reduction in 32 patients. *Eur Radiol* 2011; 21: 627–635.
3. Pontana F, Duhamel A, Flohr T, et al. Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 2): image quality of low-dose CT examinations in 80 patients. *Eur Radiol* 2011; 21: 636–643.
4. Leipsic J, Heilbron BG, Hague C. Iterative reconstruction for coronary CT angiography: fading its way. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011 (online) <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-011-9832-3>.
5. AAPM REPORT NO. 96, The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. (online) (cit. 2011-05-10). Dostupný z: http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_96.pdf
6. Alkadhi H, Leschka S. Radiation dose of cardiac computed tomography – what has been achieved and what Leeds to be done. *Eur Radiol* 2011; 21: 505–509.