

SROVNÁNÍ RADIAČNÍ ZÁTĚŽE A OBRAZOVÉ KVALITY PŘI HRCT VYŠETŘENÍ PLIC MEZI PŘÍSTROJI NA JEDNOM PRACOVÍŠTI

INTER-SCANNER COMPARISON OF RADIATION DOSE AND IMAGE QUALITY IN HIGH-RESOLUTION CT OF THE LUNG IN A SINGLE INSTITUTION

původní práce

Lukáš Lambert¹
Lucie Šimáková¹
Alena Lambertová²
Patrik Matras¹
Jiří Votruba³
Josef Hořejš¹

¹Radiodiagnostická klinika 1. LF UK a VFN, Praha

²Psychiatrická klinika 1. LF UK a VFN, Praha

³II. klinika tuberkulózy a respiračních nemocí 1. LF UK a VFN, Praha

Přijato: 9. 9. 2015.

Korespondenční adresa:

MUDr. Ing. Lukáš Lambert, Ph.D.
Radiodiagnostická klinika 1. LF UK a VFN

U Nemocnice 2, 128 08 Praha 2
e-mail: lukas.lambert@vfn.cz

SOUHRN

Lambert L, Šimáková L, Lambertová A, Matras P, Hořejš J. Srovnání radiační zátěže a obrazové kvality při HRCT vyšetření plic mezi přístroji na jednom pracovišti

Cíl: Porovnání radiační zátěže a obrazové kvality při HRCT plic mezi třemi přístroji v jedné nemocnici.

Metodika: Retrospektivně bylo zhodnoceno 3 × 50 náhodně vybraných pacientů, kteří podstoupili HRCT plic na třech různých přístrojích (Somatom Definition AS [SD], Somatom Emotion [SE], Brilliance iCT [iCT]) v rámci jedné nemocnice. Rekonstrukce byly provedeny standardně s použitím měkkotkáňového (mediastinálního) algoritmu a algoritmu s vysokým prostorovým rozlišením (HRCT). Obrazová kvalita byla měřena jako směrodatná odchylka hustoty v trachee, levé síni, aortě a hodnocena na čtyřstupňové Likertově škále. Podle naměřených hodnot efektivního průměru pacientů byl vytvořen fantom, který byl zobrazen s pěti úrovněmi proudu na rentgence.

Výsledky: Obrazová kvalita vyjádřená jako směrodatná odchylka hustoty v zájmové oblasti byla v mediastinální rekonstrukci významně lepší u přístroje SD oproti SE ($p = 0,0060$), rozdíl v subjektivním hodnocení na čtyřstupňové škále významný nebyl ($p = 0,11$). V HRCT rekonstrukci byla směrodatná odchylka hustoty významně nižší u přístroje iCT oproti SD ($p = 0,0003$), avšak obrazová kvalita byla subjektivně hodnocena o třetinu stupně hůře ($p = 0,028$). Průměrná radiační zátěž z vyšetření byla na přístroji SD 2,6násobná a na SE 1,9násobná v porovnání s iCT ($p < 0,0001$).

SUMMARY

Lambert L, Šimáková L, Lambertová A, Matras P, Hořejš J. Inter-scanner comparison of radiation dose and image quality in high-resolution CT of the lung in a single institution

Aim: To compare radiation dose and image quality in HRCT of the lung among three scanners in a single institution.

Methods: HRCTs of the lung of fifty randomly selected patients per scanner in a single institution (Somatom Definition AS [SD], Somatom Emotion [SE], Brilliance iCT [iCT]) were evaluated. Reconstructions were performed with a standard soft-tissue (mediastinal) and high-resolution (HRCT) reconstruction algorithms. The image quality was measured as a standard deviation of the density in the trachea, left atrium, and aorta and evaluated on a four-point Likert scale. A phantom, that was constructed according to the real patient data, was scanned with five different levels of the tube current.

Results: In the soft-tissue reconstruction, the image quality expressed as standard deviation of density was significantly better in the SD compared to SE ($p = 0.0060$) and there was no difference in subjective ratings of the image quality ($p = 0.11$). In HRCT reconstruction, the image quality was significantly better in iCT compared to SD ($p = 0.0003$) but the ratings were worse by a third of a point ($p = 0.028$). The average radiation dose estimate was 2.6 times (SD) and 1.9 times (SE) higher compared to iCT ($p < 0.0001$).

Conclusion: A significant difference in radiation dose estimate in HRCT of the lung

Konflikt zájmů: žádný.

Závěr: V práci jsme ukázali významný rozdíl v radiační zátěži při HRCT vyšetření plic na různých přístrojích v jedné nemocnici. Mezi přístroji s největším rozdílem byl minimální rozdíl v subjektivním hodnocení obrazové kvality HRCT, což je nejspíše dáno optimalizací vyšetření a zvyklostmi.

Klíčová slova: výpočetní tomografie, radiační zátěž, hrudník.

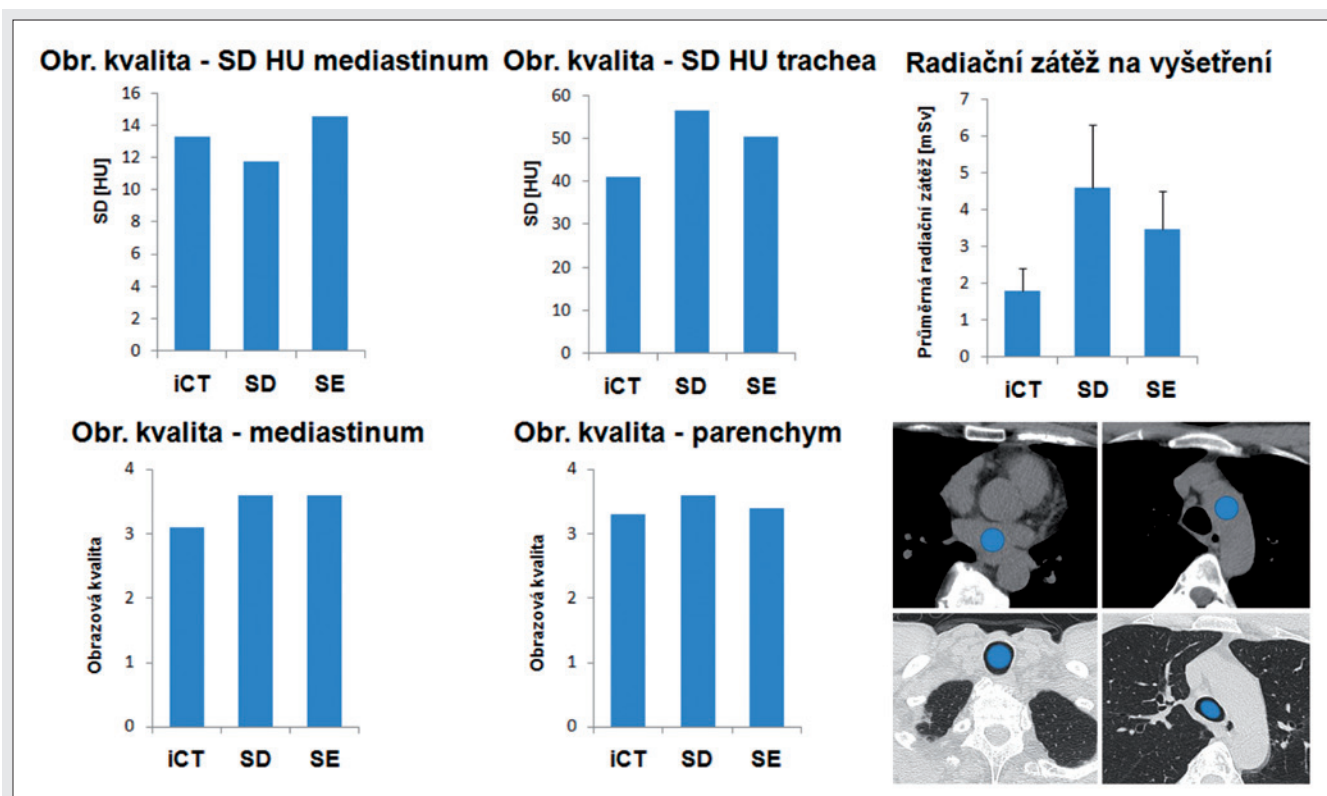
among three different scanners was demonstrated. Between the two scanners with the highest and the lowest radiation dose, only a minimal difference in subjective evaluation of image quality was found, which is probably due to optimization and established practice.

Key words: computed tomography, radiation dose, thorax.

ÚVOD

Ačkoliv nativní vyšetření plic s vysokým rozlišením (HRCT) nepatří mezi trojici nejčastěji indikovaných CT vyšetření, jedná se o vyšetření, které je u pacientů (včetně mladých) často opakováno (1). Průměrná radiační zátěž se pohybuje kolem 4 mSv a mezi jednotlivými zařízeními vykazuje vysokou va-

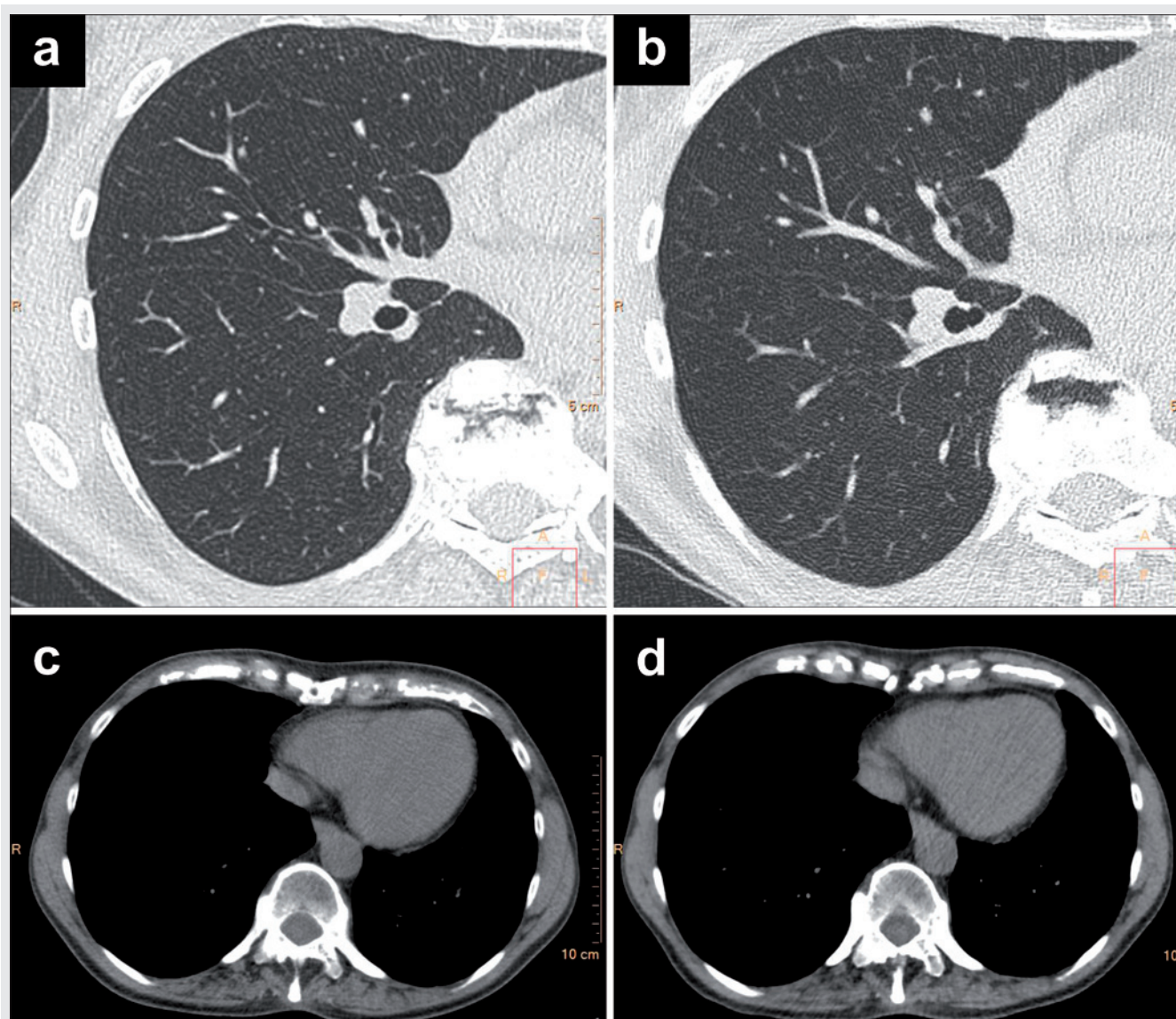
riabilitu, která dosahuje až třináctinásobku (1). Téma radiační zátěže u jednotlivých zobrazovacích metod se se zpožděním zhruba 5 let postupně dostává i do střední Evropy. Reagují na to i výrobci CT přístrojů, jak je patrné ze stále narůstajícího počtu článků věnovaných např. iterativní rekonstrukci. Zatímco jednotlivé systémy iterativní rekonstrukce se alespoň snaží navzájem dohnat v tom, čemu říkáme „generace“, jejich



▲ Obr. 1

Obr. 1. **Obrazová kvalita vyjádřená jako směrodatná odchylka hustoty v zájmové oblasti** (vpravo dole) byla v mediastinální rekonstrukci významně lepší u přístroje SD proti SE ($p = 0,0060$, vlevo nahoře), rozdíl v subjektivním hodnocení na čtyřstupňové škále významný nebyl ($p = 0,11$). V HRCT rekonstrukci byla směrodatná odchylka hustoty významně nižší u přístroje iCT oproti SD ($p = 0,0003$, uprostřed nahoře), avšak obrazová kvalita byla subjektivně hodnocena o třetinu stupně hůře ($p = 0,028$, uprostřed dole). Průměrná radiační zátěž z vyšetření byla na přístroji SD 2,6násobná a na SE 1,9násobná v porovnání s iCT ($p < 0,0001$, vpravo nahoře).

Fig. 1. **Image quality expressed as standard deviation of density in a region of interest** (bottom right) was significantly better in soft-tissue reconstruction in SD scanner compared to SE ($p = 0.0060$, top left). In high-resolution reconstruction the standard deviation was significantly lower in iCT scanner compared to SD ($p = 0.0003$, top middle), but it had worse ratings by one third of a point ($p = 0.028$, bottom middle). The average radiation dose estimate was higher in SD by a factor of 2.6 and in SE by a factor of 1.9 compared to iCT ($p < 0.0001$, top right).



▲ Obr. 2

Obr. 2. Porovnání HRCT plicního parenchymu (normální obraz) u téhož pacienta s odstupem 3,5 měsíce ukazuje, že ačkoliv je obrazová kvalita srovnatelná, liší se radiační zátěž 1,75krát (A, B); srovnatelná je i obrazová kvalita mediastina (C, D)

Fig. 2. Comparison of high-resolution CTs of the lung parenchyma (normal finding) in one patient three months and a half apart shows that although the image quality is comparable, the radiation dose estimate is different by a factor of 1.75 (A, B); the image quality of the mediastinum is comparable as well (C, D)

rozdíly jak v možnosti redukce artefaktů (zejména elektronického šumu) tak i výpočetní rychlosti nejsou zanedbatelné (2, 3).

Cílem této studie bylo srovnat radiační zátěž a obrazovou kvalitu HRCT plic mezi třemi přístroji na jednom pracovišti.

METODIKA

Vyšetření bylo provedeno na třech přístrojích: Somatom Emotion 16 (Siemens, Forchheim, Německo; SE), Somatom Definition AS (Siemens, Forchheim, Německo; SD), Brilliance iCT (Philips Healthcare, Best, Nizozemí; iCT), jejichž podrobnější popis je uveden v tabulce 1.

Z každého pracoviště bylo vybráno náhodně 50 pacientů, kteří podstoupili HRCT plic. Kvalitu zobrazení na anonymizovaných datech hodnotili retrospektivně dva radiologové

na čtyřstupňové Likertově škále (1 = nedignostické, 2 = horší kvalita, 3 = průměrná kvalita, 4 = vynikající, nadprůměrná kvalita) jak v rekonstrukci pro mediastinum, tak pro HRCT. Objektivní srovnání obrazové kvality bylo provedeno měřením směrodatné odchylky denzity v oválné ploše 100–200 mm² v trachee v úrovni horní hrudní apertury a nad karinou, dále v levé síni a v oblouku aorty (obr. 1). Dále jsme změřili průřez pacienta v úrovni vrcholu levé poloviny bránice.

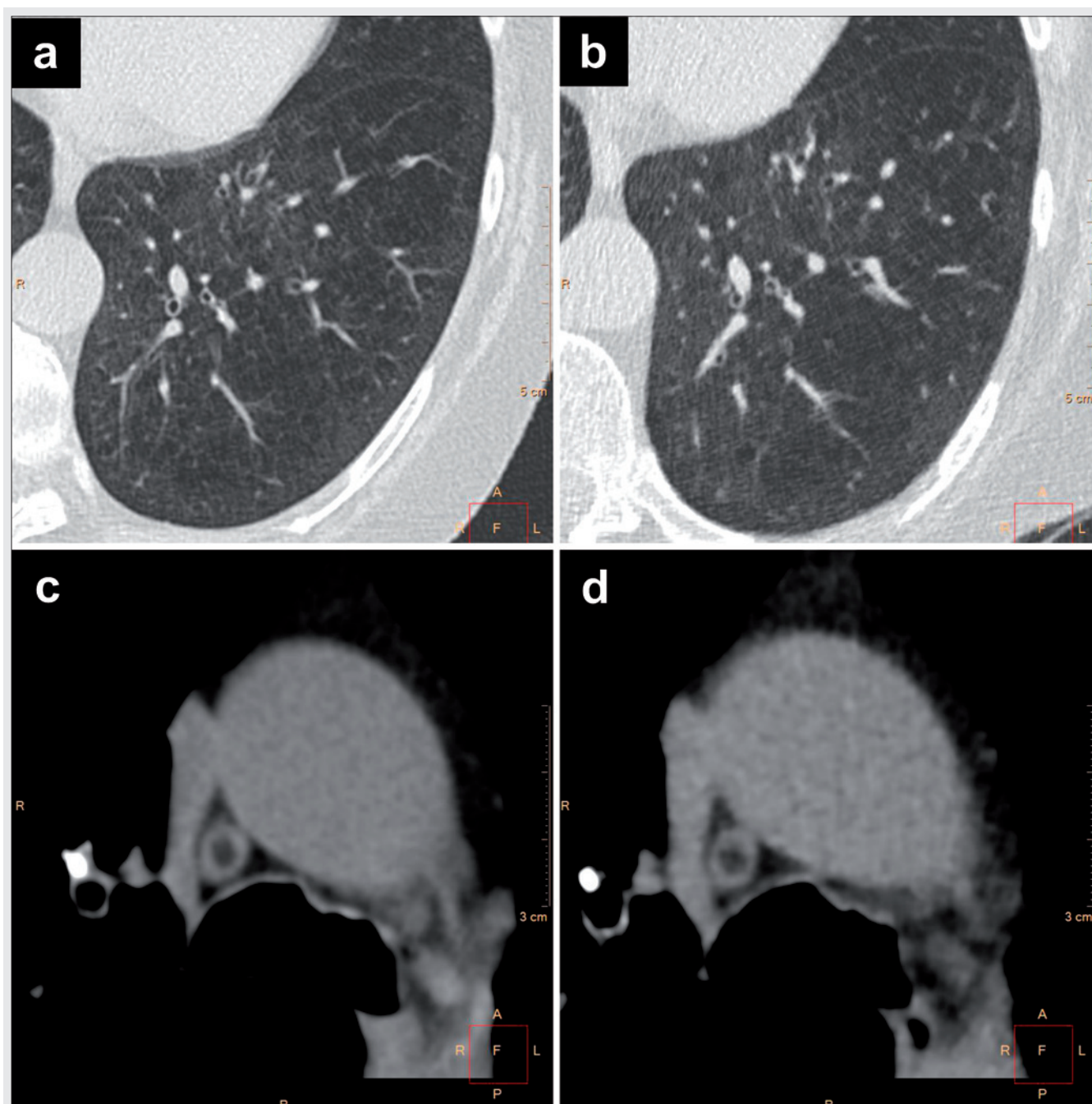
Odhad dávky jsme provedli vynásobením dávkového lineárního koeficientu (DLP) konverzním koeficientem 0,0145 mSv · mGy⁻¹ · cm⁻¹ dle ICRP-103 (4, 5).

Ve druhé části jsme provedli experiment s fantomem vytvořeným z kartónu a nádoby s vodou tak, aby efektivní průřez odpovídal hodnotám naměřeným u pacientů. Fantom jsme zobrazili na iCT v HRCT protokolu se sestupnými referenčními hodnotami součinu času a proudu (100 mAs,

Tab. 1. Vlastnosti a nastavení CT přístrojů a použitý rekonstrukční algoritmus

Table 1. CT scanners, acquisition parameters, and reconstruction algorithms

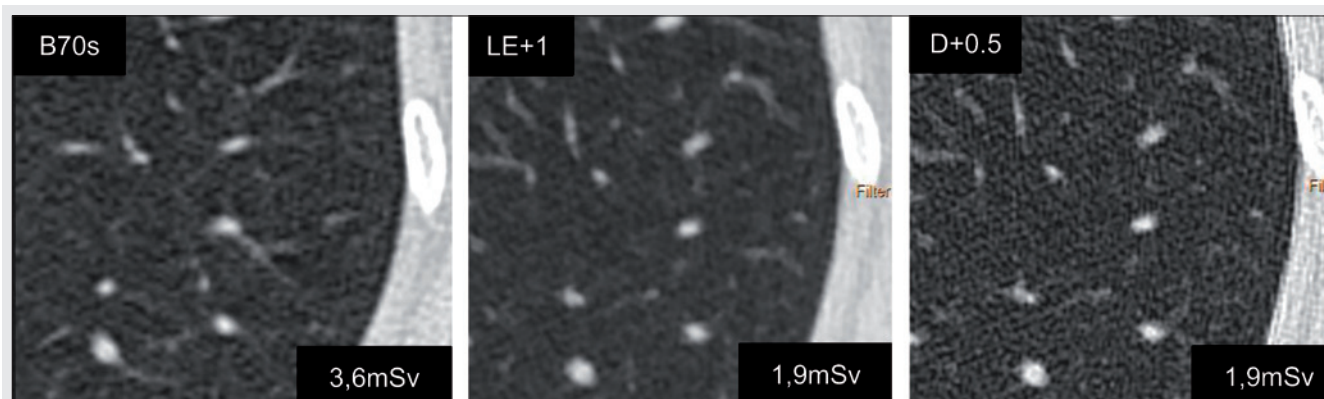
Přístroj	Kolimace	Rotace	Pitch	Modulace	Napětí na rentgence	Referenční součin proudu a času	Rok výroby	Rekonstrukční algoritmus	
								mediastinum	HRCT
Somatom Emotion (SE)	16 × 1,5 mm	0,6 s	0,8	ano	130 kV	45 mAs	2003	B41s medium +, 5 mm	B70s sharp, 1,5 mm
Somatom Definition AS (SD)	64 × 0,6 mm	0,5 s	1,2	ano	120 kV	141 mAs	2014	B31f medium smooth +, 5 mm	B60f sharp, 1,5 mm
Brilliance iCT (iCT)	256 × 0,625 mm	0,5 s	0,76	ano	120 kV	50 mAs	2011	B, iDOSE4, 5 mm	Lung enhanced, iDOSE4, 1,5 mm



▲ Obr. 3

Obr. 3. Minimálně redukováná obrazová kvalita HRCT plicního parenchymu (plicní emfyzém) a mediastina u téže pacientky s odstupem jednoho roku s 2,1krát vyšší radiační u prvního vyšetření (A, C) v porovnání s kontrolním vyšetřením (B, D)

Fig. 3. Minimal reduction of image quality in high-resolution CT of the lung parenchyma (pulmonary emphysema) and mediastinum in one patient 1 year apart with 2.1 higher radiation dose in the first examination (A, C) compared to the follow-up (B, D)



▲ Obr. 4

Obr. 4. Ačkoliv je **obrazová kvalita HRCT plic u staršího (SE, vlevo) a novějšího (iCT, uprostřed a vpravo) přístroje srovnatelná**, je rozdíl radiační zátěže 1,9násobný. U iCT lze kombinací rekonstrukčního algoritmu, stupně iterativní rekonstrukce a postprocessingu upravit vzhled obrazu tak, aby šum vypadal, jak jsou na něj lékaři zvyklí. Výrazné snížení šumu na obrázku uprostřed totiž může působit dojmem, že na něm něco (šum) chybí, a tím působit nezvykle.

Fig. 4. Although **the image quality of high-resolution CT of the lung is comparable between the older scanner (SE, left) and the newer one (iCT, middle and right)**, the difference in the radiation dose in the same patient is greater by a factor of 1.9. In iCT, the image texture can be customized by a combination of the reconstruction algorithm, iterative reconstruction, and postprocessing to appear familiar. Marked decrease of the image noise in the middle image can make an unusual impression to an unaccustomed reader.

80 mAs, 60 mAs, 40 mAs, 20 mAs) a u těchto vyšetření jsme zhodnotili obrazový šum a kvalitu obrazu.

Statistické porovnání jsme provedli v programu GraphPad Prism (GraphPad Software, La Jolla, USA) pomocí ANOVA s Bonferroni post hoc testy. Hodnotu $p < 0,05$ jsme považovali za významnou.

VÝSLEDKY

Odhadovaná radiační zátěž, obrazová kvalita jak v HRCT, tak i v mediastinální rekonstrukci, které jsou přehledně uvedeny na obrázku 1, ukazují, že ačkoliv rozdíly v obrazové kvalitě byly minimální, radiační zátěž z vyšetření byla na přístroji SD 2,6násobná a na SE 1,9násobná v porovnání s iCT ($p < 0,0001$) (obr. 2 až 4). Efektivní průměr pacientů, podle kterého byl vytvořen fantom ve druhé části experimentu, byl $26,2 \pm 4,5$ cm. Obrazová kvalita u fantomu klesla pod únosnou míru u 40 mAs a u 20 mAs se stal obraz prakticky nehodnotitelný (obr. 5).

DISKUSE

V této studii jsme ukázali, že rozdíl radiační zátěže mezi pracovišti v rámci jedné kliniky může být až 2,6násobný. Z tohoto důvodu se domníváme, že to není dáno technickými možnostmi, ale optimalizací vyšetření a pravděpodobně i zvyklostmi.

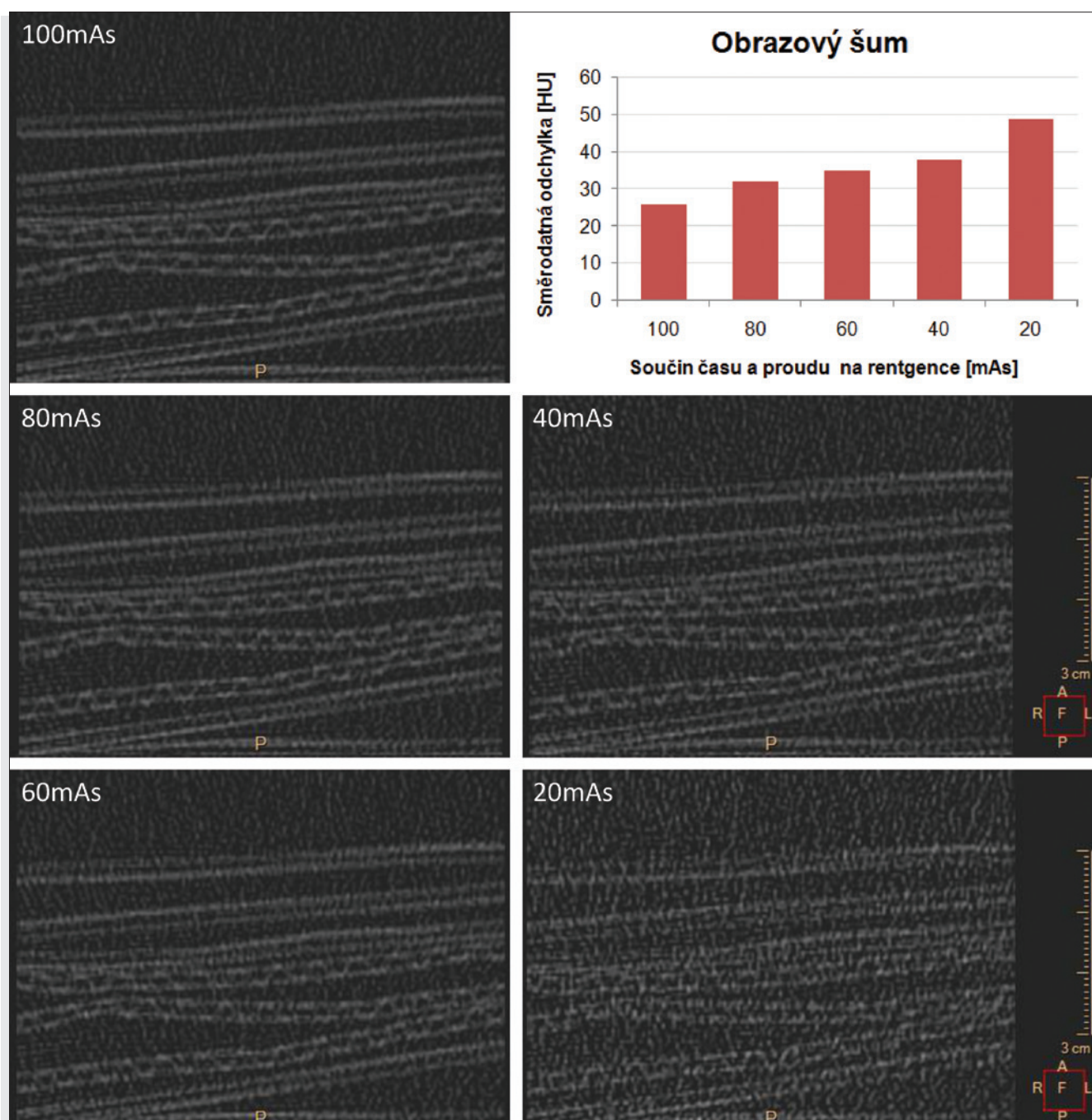
Každé CT vyšetření, které se provádí pravidelně, lze optimalizovat. Standardní „tovární“ protokoly, jejichž výstupem by měl být ukázkový obraz, to z podstaty věci nemohou naplnit. U přístrojů, kde lze upravovat více rekonstrukčních parametrů, to znamená obětovat čas nejen na jejich „poladění“, ale i na komunikaci s ostatními kolegy, kteří spolurozhodují o tom, jak má výsledný obraz vypadat. Zavedení iterativní rekonstrukce do běžného provozu je dlouhodobá strategie.

Ačkoliv jsou výsledné obrazy kvalitnější, mívají lehce pozměněnou texturu, a neadaptovanému oku mohou proto připadat podstatně horší. Jednou ze strategií je postupné přidávání síly iterativní rekonstrukce, které může trvat od několika týdnů po roky (3, 6). I jiní autoři poukazují na to, stejně jako v této práci, že objektivní hodnocení obrazové kvality (šum, rozlišení) se často neshoduje s hodnocením subjektivním (7).

Pro srovnání obrazové kvality skenů s různými akvizičními parametry jsme zvolili jednoduchý antropometrický fantom s ohledem na jednoduchost při zachování stejného efektivního průměru (ekvivalent vody) jako u našich pacientů. Alternativou je použití zvířecího modelu, kadávera, základního fantomu pro vysoké rozlišení nebo antropometrického fantomu, které mají své výhody, ale i cenu (2, 8).

Odhadovaná radiační zátěž použitá pro vyšetření u přístroje iCT je srovnatelná s „National Lung Screening Trial“, kde cílem CT vyšetření s odhadovanou radiační zátěží 1,5 mSv byl záchyt plicních nádorů, nikoliv hodnocení struktury plicního parenchymu (9, 10). Tento projekt začal v roce 2002, v roce 2015 se ale ukazuje, že v této indikaci jsme schopni dávku redukovat až na 0,06 mSv s použitím speciálních technologií (11). Kromě standardních nástrojů pro redukci dávky a iterativní rekonstrukce lze použít i přídatné cínové filtrace (12). Na našem pracovišti jsme schopni rozumného obrazu dosáhnout i při 0,2 mSv – a to jak u průměrných, tak i u obézních pacientů při použití vyšších stupňů hybridní iterativní rekonstrukce (obr. 6).

Rozdíly v radiační zátěži při stejném vyšetření na různých pracovištích nejsou obecně známy, proto si nemůže pacient jednoduše vybrat pracoviště, kde by byla průměrná dávka nejnížší. Navíc řada pacientů, kteří bez rozdílu podepisují informované souhlasy před CT vyšetřením, ani netuší, jaké riziko vyšetření obnáší. Otázkou je, zda by informovanost v tomto směru mohla vést k tomu, aby si pacienti vybírali pracoviště i podle tohoto parametru, čímž by dané zařízení mělo více výkonů s vyhlídkou návratu investice do redukce radiační zátěže (např. pořízení iterativního rekonstruktoru).



▲ Obr. 5

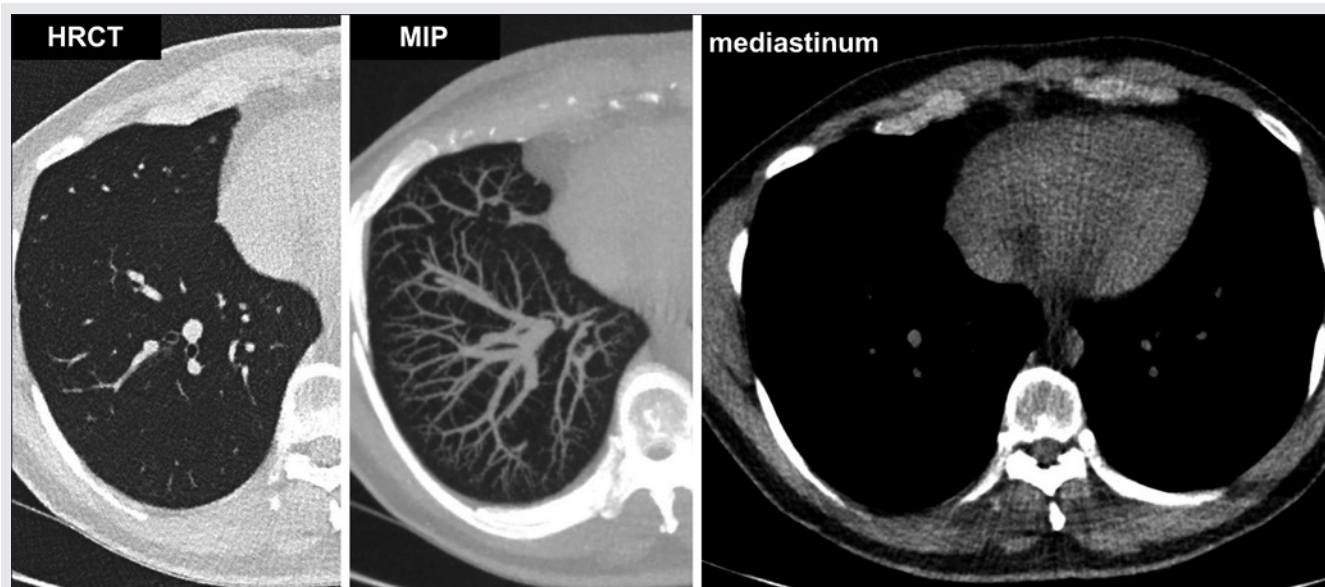
Obr. 5. CT fantomu vytvořeného z kartónu (efektivní průřez 26 cm) ukazuje, že u HRCT rekonstrukce (filtr LE+1, iDOSE4 level 6) klesá obrazová kvalita pod únosnou míru u 40 mAs a u 20 mAs je nárůst šumu tak výrazný, že je obraz prakticky nehodnotitelný

Fig. 5. CT of a phantom constructed from cardboard (effective diameter 26 cm) shows, that in high-resolution reconstruction (filter LE+1, iDOSE4 level 6) the image quality drops below an acceptable level in 40 mAs and in 20 mAs the noise is already too high to evaluate the image

ZÁVĚR

V práci jsme ukázali významný až 2,6násobný rozdíl v radiační zátěži při HRCT vyšetření plic na různých přístrojích v nemocnici. Mezi přístroji s největším rozdílem byl minimální rozdíl v subjektivním hodnocení obrazové kvality HRCT, což

je nejspíše dáno optimalizací vyšetření a zvyklostmi. Dále jsme na dvou případech ukázali, že radiační zátěž pro vyhledávání hrubších patologií v plicích (např. plicních uzlů) lze na přístroji s iterativním rekonstruktorem snížit až na 0,20 mSv.



▲ Obr. 6

Obr. 6. Nativní CT plic ultra low-dose technikou (100 kV, 10 mAs) u pacienta s BMI 32 kg/cm² s efektivní dávkou 0,21 mSv ukazuje, že pro hodnocení např. ložiskových změn v plicním parenchymu je obrazová kvalita více než dostačující

Fig. 6. Unenhanced CT of the lung using ultra low-dose technique (100 kV, 10 mAs) in a patient with BMI 32 kg/cm² with an effective dose of 0.21 mSv shows that the image quality is more than sufficient for the detection of pulmonary nodules

LITERATURA

1. van der Molen AJ, Schilham A, Stoop P, et al. A national survey on radiation dose in CT in The Netherlands. *Insights Imaging* 2013; 4(3): 383–390.
2. Löve A, Olsson M-L, Siemund R, et al. Six iterative reconstruction algorithms in brain CT: a phantom study on image quality at different radiation dose levels. *Br J Radiol* 2013; 86(1031): 20130388.
3. Muenzel D, Koehler T, Brendel B, et al. Sub-mSv CT Imaging of Pulmonary Arteries Using an Iterative Model Reconstruction Algorithm. Chicago IL; 2013 [cited 2014 Oct 6]. Available from: <http://archive.rsna.org/2013/13023937.htm>
4. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007; 37(2–4): 1–332.
5. Huda W, Magill D, He W. CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. *Med Phys* 2011; 38(3): 1261–1265.
6. Noël PB, Renger B, Fiebich M, et al. Does Iterative Reconstruction Lower CT Radiation Dose: Evaluation of 15,000 Examinations. *PLoS ONE* 2013; 8(11): e81141.
7. Pickhardt PJ, Lubner MG, Kim DH, et al. Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging. *Am J Roentgenol* 2012; 199(6): 1266–1274.
8. Honda O, Johkoh T, Tomiyama N, et al. High-resolution CT using multidetector CT equipment: evaluation of image quality in 11 cadaveric lungs and a phantom. *Am J Roentgenol* 2001; 177(4): 875–879.
9. National Lung Screening Trial Research Team, Aberle DR, Adams AM, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med* 2011; 365(5): 395–409.
10. Larke FJ, Kruger RL, Cagnon CH, et al. Estimated Radiation Dose Associated With Low-Dose Chest CT of Average-Size Participants in the National Lung Screening Trial. *Am J Roentgenol* 2011; 197(5): 1165–1169.
11. McCollough CH, Primak AN, Braun N, et al. Strategies for Reducing Radiation Dose in CT. *Radiol Clin North Am* 2009; 47(1): 27–40.
12. Gordic S, Morsbach F, Schmidt B, et al. Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping. *Invest Radiol* 2014; 49(7): 465–473.