

přehledový článek

Photon-counting CT v pediatrickém zobrazování

Photon-counting CT in pediatric imaging

Jiří Ferda, Jan Baxa, Hynek Mírka, Renata Vondráková

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

Hlavní stanovisko práce

Photon-counting CT umožňuje v pediatrické diagnostice významným způsobem ovlivnit kontrastní i prostorové rozlišení, významný potenciál je v možném snížení dávky ionizujícího záření.

SOUHRN

Ferda J, Baxa J, Mírka H, Vondráková R. Photon-counting CT v pediatrickém zobrazování

Cíl: Zhodnotit zkušenosti se zobrazováním dětí pomocí photon-counting CT a poukázat na základní postupy jak metodu využít v diagnostice onemocnění v dětském věku.

Metodika: Po dobu 22 měsíců jsme provedli celkem 209 vyšetření dětí pomocí CT systému s photon-counting detektorem (Naeotom Alpha, Siemens Healthineers, Forchheim, Německo). V souboru jsme hodnotili zastoupení jednotlivých indikací a využití skenovacích protokolů a jejich optimalizaci v jednotlivých indikačních skupinách.

Výsledky: Nejčastější indikací v zobrazování bylo vyšetření skeletu končetin, v 64 případech, hrudníku se zaměřením na plicní parenchym v 56 případech, vyšetření břicha v 32 případech. Častěji byla indikována vyšetření dětí ve věku nad 6 let (144krát) než u dětí mladších (65krát). Do 6 let věku byly také téměř výhradně používány protokoly dětské adjustované na danou věkovou a váhovou kategorii, naproti tomu u dětí nad 6 let začala převažovat zobrazování modifikovanými protokoly. Kromě zobrazování skeletu dominuje u dětí využití 70 kV protokolů, které umožnily efektivní snížení dávky a dále mají nejvyšší efekt atenuace jódu, pokud byla kontrastní látka podána. Spektrální způsob zobrazování jsme využívali především v zobrazování skeletu.

Závěr: Photon-counting CT je metoda zobrazování, u níž lze využít zejména přednosti vysokého rozlišení a zvýšené detekční schopnosti pro zvýšení kvality zobrazování se současným snížením dávky.

Klíčová slova: photon-counting CT, výpočetní tomografie, snížení dávky, zobrazování v pediatrii.

Major statement

Photon-counting CT makes it possible to significantly influence contrast and spatial resolution in paediatric diagnostics, and there is a significant potential in the possible reduction of the dose of ionizing radiation.

SUMMARY

Ferda J, Baxa J, Mírka H, Vondráková R. Photon-counting CT in pediatric imaging

Aim: To evaluate the experience with imaging children using photon-counting CT and to point out the basic procedures how to use the method in diagnosing diseases in childhood.

Method: Over a period of 22 months, we performed a total of 209 examinations of children using a CT system with a photon-counting detector (Naeotom Alpha, Siemens Healthineers, Forchheim, Germany).

Results: The most frequent indication in imaging was examination of the skeleton of the limbs in 64 cases, chest with a focus on pulmonary parenchyma in 56 cases, examination of the abdomen in 32 cases. Examinations of children over 6 years of age (144 times) were indicated more often than in younger children (65 times). Up to six years of age, children's protocols adjusted to the given age and weight category were also used almost exclusively, while in children over 6 years of age, imaging by modified protocols began to predominate. In addition to skeletal imaging, children are dominated by the use of 70 kV protocols, which allowed for effective dose reduction and also have the highest effect of iodine attenuation when contrast medium was administered. The spectral method of imaging was used mainly in skeletal imaging.

Conclusion: Photon-counting CT is an imaging method that can take advantage of the advantages of high resolution and increased detection capabilities to increase image quality while reducing the dose.

Key words: Photon-counting CT, computed tomography, dose reduction, pediatric imaging.

Přijato: 31. 12. 2023

Korespondenční adresa:

prof. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN
Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň
e-mail: ferda@fnplzen.cz

Podpořeno projektem MZ ČR Konceptní rozvoj výzkumné instituce 00669806 – FN Plzeň a projektem COOPERATIO, basic sciences Univerzity Karlovy.

Konflikt zájmů: žádný.

ÚVOD

Konstrukce photon-counting detektoru významným způsobem ovlivňuje způsob registrace signálu po dopadu kvanta záření X dvěma způsoby. Jedním je zvýšení efektivity získání signálu, druhým je získání informace o energii fotonu záření X, který dopadl na detektor (1). Kromě způsobu registrace signálu je další změnou podstatné zvýšení prostorového rozlišení zmenšením detektorového elementu, který dává vzniknout datové stopě. V rutinních akvizičních protokolech je možné používat seskupení čtyř detektorových elementů ve čtvercový klastř o hraně 0,4 mm. Zvýšení efektivity detekce signálu a současně zvýšení možného prostorového rozlišení je možné v CT zobrazení využít několika způsoby. V zobrazování dětí jsou podstatné zejména zvýšení signálu využitelné buď ke zkvalitnění zobrazení v nízkodávkových protokolech, nebo také při dalším snižování dávky až do úrovně shodných s rentgenovým vyšetřením prostými snímky (2). Vzhledem k malému objemu těla u dětských pacientů je podstatné i zvýšené prostorové rozlišení zobrazení (2, 3). V práci shrnujeme zkušenosti s vyšetřováním dětí na našem pracovišti.

METODIKA

V průběhu 22 měsíců jsme vyšetřili na našem pracovišti celkem 209 dětí ve věku od 13 dní do 18 let. Vyšetření jsme prováděli na dvouzdrojovém přístroji Naeotom Alpha (Siemens Healthineers, Forchheim, Německo)

vybaveném dvěma detektorovými systémy s technologií photon-counting s kadmium-teluridovým materiálem detektoru a s elementy velikosti $0,2 \times 0,2$ mm spojitelnými v klastř 2×2 elementy o celkové velikosti $0,4 \times 0,4$ mm. U dětí jsme podávali v případě potřeby kontrastní látku iopromid s koncentrací jódu 370 mgI/ml (Ultravist 370, Bayer Berlín, Německo) v příslušném objemu 2 ml na kilogram aktuální hmotnosti dítěte. Kontrastní látku jsme podávali automatickým injektorem s průtokem 1,5–2 ml/s a s proplachem, který se rovnal dvojnásobku objemu podané látky. Používáme aplikační injektor (Now-Motion, Ulrich, Ulm, Německo). Provedli jsme analýzu jednotlivých indikací k zobrazení výpočetní tomografií a hodnotili jsme vyšetřovací protokoly v jednotlivých indikačních skupinách z hlediska kvality zobrazení, dávky a diagnostického přínosu, a to rovněž ve skupinách dětských pacientů – novorozenci, kojenci, batolata, předškolní věk, mladší školní věk, starší školní věk a věk nad 15 let (tab. 1).

VÝSLEDKY

Indikace k vyšetření

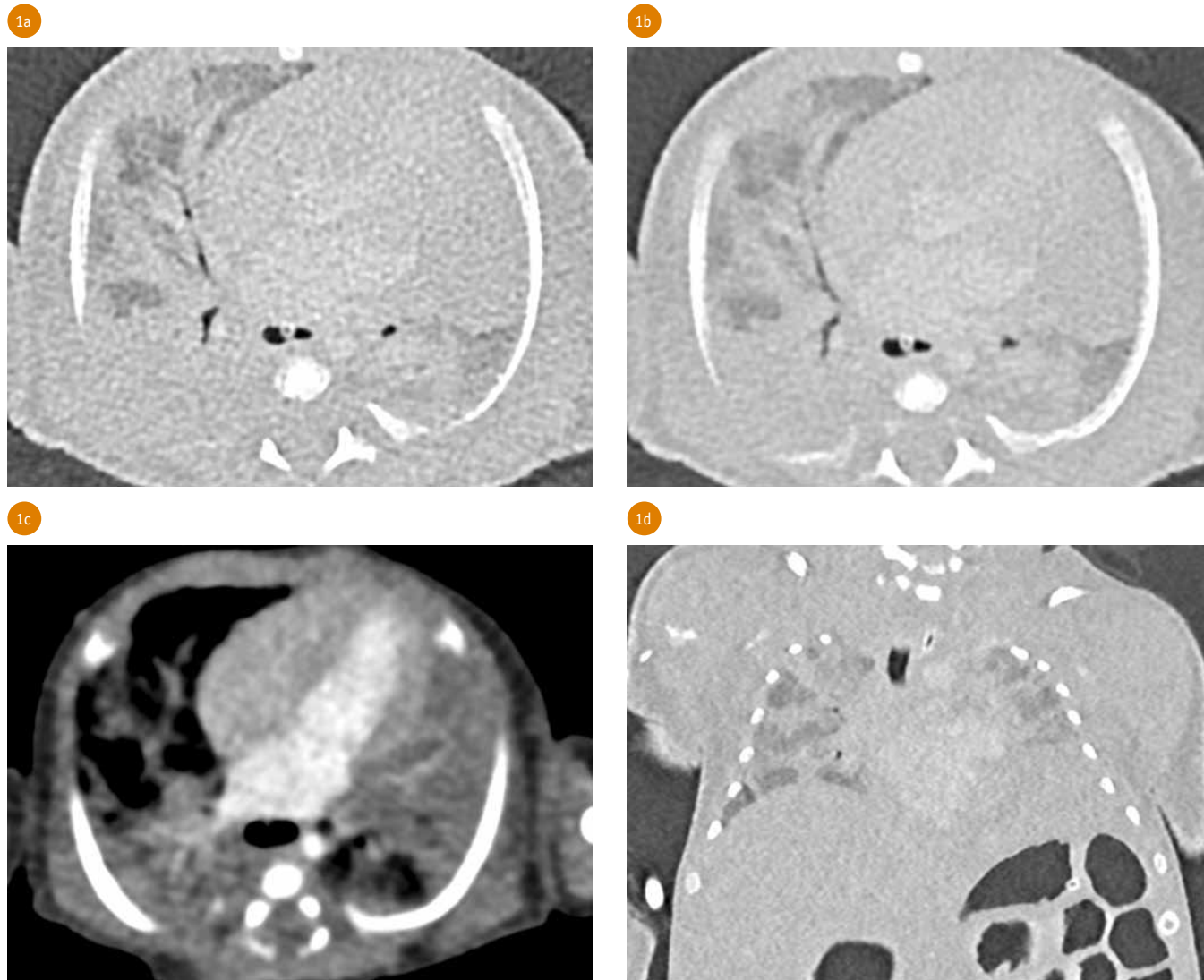
Zatímco v nejmladších věkových skupinách dětí – novorozenců a kojenců – byla indikace k výpočetní tomografii relativně vzácná, ve věkových skupinách batolecího věku a předškolního věku stoupala indikace postupně a ve věku nad 6 let tvořily indikace k CT dvě třetiny všech indikovaných. V celé skupině vyšetření byla nejčastěji indikována

zobrazení skeletu končetin, jejich indikace vzrůstala ve skupině nad 6 let, kdy byly indikovány více než tři čtvrtiny všech těchto vyšetření. Druhou nejčastější indikací byla indikace zobrazení hrudníku, tvořila přibližně jednu čtvrtinu všech indikací, zcela dominantní indikací byla vyšetření z důvodu komplikovaného plicního zánětu, kdy zobrazení z této indikace tvořila čtyři pětiny indikací k CT hrudníku. Třetí nejčastější skupinu indikací tvořilo vyšetření břicha, kdy největší část vyšetření byla provedena z důvodu urologického. Tyto indikace tvořily dvě třetiny indikací CT břicha. Z ostatních vyšetření je významná skupina zobrazení hlavy z důvodu zobrazení mozku nebo neurokrania s relativně malým zastoupením v souboru pouhých 16 vyšetření, kdy indikace převažovaly z důvodu traumatu nebo neurochirurgické indikace zobrazení neurokrania. Protože vyšetření na pracovišti jsou prováděna dominantně z indikací Pediatrické kliniky FN v Plzni a dětských ambulancí ortopedie, nikoliv z ambulancí dětské otorinolaryngologie, která je umístěna v druhém areálu Fakultní nemocnice, bylo relativně málo indikací oblasti obličejové. Provedená zobrazení hlavy a krku byla však zčásti indikována z dětské ambulance maxilofaciální chirurgie se zaměřením na patologické stavy čelisti. Ojedinelými byly indikace zobrazení koronárních tepen a srdce, indikace byla 2krát u postkovidového syndromu u dětí s podezřením na postižení podobné Kawasakiho nemoci a jednou při podezření na anomální odstup koronárních tepen. U nejmenších dětí a dětí, které nejsou schopny vydržet po dobu vyšetření

Tab. 1. Vyšetření pomocí photon-counting CT, indikace ve věkových kategoriích

Table 1. Examinations with photon-counting CT, indications in age-related groups

Oblast vyšetření	< 28 dní	29–365 dní	> 1–3 roky	> 3–6 let	> 6–12 let	> 12–15 let	15–18 let	Celkem
břicho		4	4	1	11	3	9	32
hrudník	1	3	13	7	12	8	12	56
hrudník a břicho			1	1		1	3	6
srdce				2			1	3
končetiny skelet			5	9	21	19	10	64
pánev skelet			1	1		4	3	9
krční páteř				2		1		3
TH a LS páteř				1		3	3	7
celá páteř					1			1
hlava a krk				2	2	1	1	6
paranasální dutiny				1	1	2		4
spánková kost				1	1			2
mozek		1	2	2	4	3	4	16
všechna vyšetření	1	8	26	30	53	45	46	209



1 Novorozenec 680 g, adnatní pneumonie způsobená *Ureaplasma urealyticum*, protokol 70 kV, datová stopa šíře 0,2 mm, DLP 1,52 mGycm, podáno 1 ml iopromidu 370 intravenózně: (a) axiální obrazy šíře 0,2 mm, rekonstruované plicním algoritmem; (b) axiální obraz šíře 1,0 mm, rekonstruovaný plicním algoritmem; (c) axiální obraz šíře 0,2 mm, rekonstruovaný algoritmem pro měkké tkáně; (d) koronární obraz šíře 1,0 mm, rekonstruovaný plicním algoritmem

Newborn 680 grams, adnate pneumonia due to *Ureaplasma urealyticum*, protocol 70 kV, 0.2 mm wide data trace, DLP 1.52 mGycm, administered 1 ml of iopromide 370 intravenously: (a) axial images of 0.2 mm width reconstructed by the pulmonary algorithm; (b) axial image of width 1.0 mm reconstructed by the pulmonary algorithm; (c) axial image of 0.2 mm width reconstructed by the algorithm for soft tissues; (d) coronary image of width 1.0 mm, reconstructed by the pulmonary algorithm

v klidu, využíváme celkovou anestezii vedenou anesteziologem.

Protokoly akvizice dat

Při zobrazení pomocí photon-counting CT jsme volili primárně nastavení dětských protokolů pro hrudník a břicho v dětské variantě do věku do 12 let a do hmotnosti přibližně 40 kg, v ostatních případech používali protokoly pro dospělé. U dětských hrudních a abdominálních protokolů používáme nastavení expozice s napětím 70 kV, které umožňuje významné efektivní snížení radiační dávky a současně využití zvýšené absorpce záření a tím

zvýšení denzity při použití kontrastní látky. U vyšetření dětí, které se hmotností a věkem již blíží dospělé populaci, je možné se rozhodnout pro strategii vyšetření, zda použít protokol dětský, nebo protokol určený pro dospělé.

U expozičních parametrů je podstatná automatická selekce protokolu s nízkou voltáží. U použití takového protokolu zároveň kontrolujeme kvalitativní faktor IQ level, který je udáván v číselné hodnotě, jež odpovídá úrovni šumu, která by byla při použití standardní expozice v mAs s napětím 120 kV, základní nastavení kvalitativního faktoru u břicha je 145. Tento kvalitativní

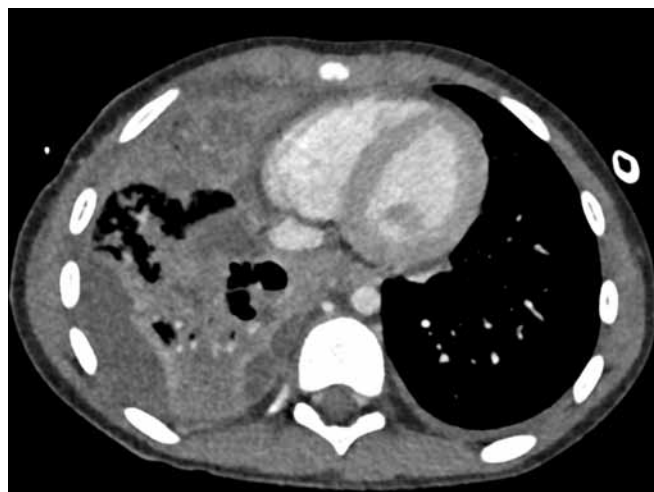
parametr volíme s ohledem na prováděné vyšetření, snažíme se jej snížit u protokolů přednastavených přibližně o 10–20%.

U zobrazení hrudníku využíváme u dětí od mladšího školního věku s výhodou protokol nízkodávkového zobrazení s nastavením napětí 100 kV a s použitím cínového filtru. Jedná se o protokol optimalizovaný pro detekci plicních zánětů a kontrolu postižení plic, které je vhodné u oportunních infekcí imunokompromitovaných dětí, například při anebo po léčbě hematologických onemocnění. Další indikací takových nízkodávkových vyšetření je vyšetření u cystické fibrózy, kdy

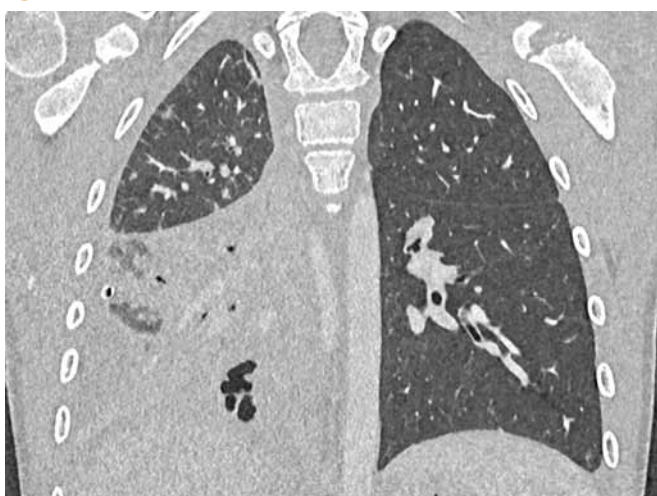
2a



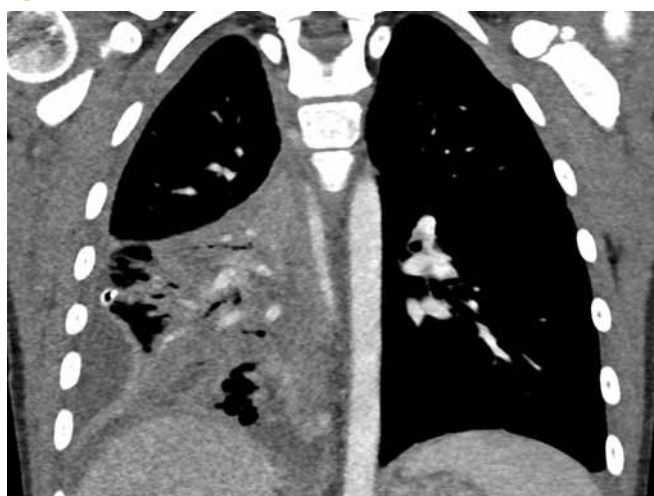
2b



2c



2d



2 Batole, abscedující pleuropneumonie, protokol 70 kV, datová stopa šíře 0,4 mm, DLP 22,7 mGycm, podáno 15 ml iopromidu 370 intra-venózně: (a) axiální obraz šíře 0,4 mm, rekonstruované plicním algoritmem; (b) axiální obraz šíře 0,4 mm, rekonstruovaný algoritmem pro měkké tkáně; (c) koronární obraz šíře 0,4 mm, rekonstruovaný plicním algoritmem; (d) koronární obraz šíře 1,0 mm, rekonstruovaný algoritmem pro měkké tkáně

Toddler, absceding pleuropneumonia, 70 kV protocol, 0.4 mm wide data trace, DLP 22.7 mGycm, administered 15 ml of iopromide 370 intravenously: (a) 0.4 mm wide axial image reconstructed by the pulmonary algorithm; (b) 0.4 mm axial image reconstructed by the soft tissue algorithm; (c) 0.4 mm wide coronary image, reconstructed by the pulmonary algorithm; (d) 1.0 mm wide coronary image, reconstructed by soft tissue algorithm

optimalizací skenovacího protokolu je možné provádět i vyšetření v inspiriu a expiriu s dávkami jednotlivé expozice kolem DLP (dose-length-product) 10 až 15 mGycm. U vyšetření mozku provádíme vyšetření pomocí dětských protokolů jen do věku 6 let. U zobrazení paranasálních dutin, zobrazení obličejového skeletu využíváme především snížení dávky pomocí snížení voltáže při akvizici dat na 100–110 kV. Pokud je podezření i na současně přítomnou mastoiditidu, preferujeme protokol pro zobrazení spánkové kosti.

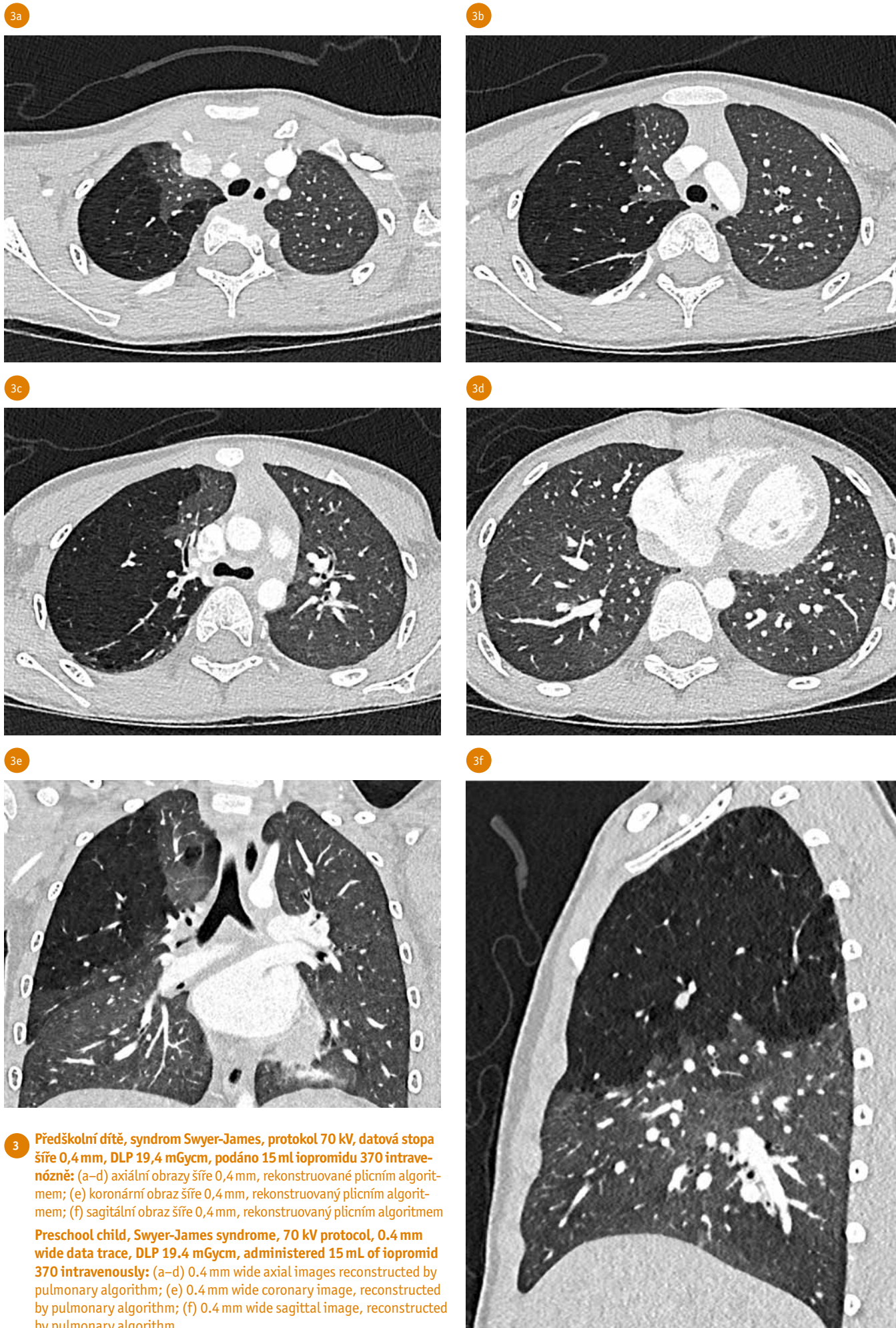
Abdominální zobrazení byla v našem souboru nejčastěji indikovaná z důvodu

kongenitálních poruch vývodného močového systému. Pro optimalizaci zobrazení náplně vývodného systému a pro možnost dalšího snížení dávky při vyšetření pomocí furosemidového testu používáme nyní s výhodou protokol, kdy je nejprve aplikována kontrastní látka na oddělení, poté při vlastním vyšetření injektorem. Injektorem podáváme kontrastní látku v dávce cca 1,5–1,8 ml/kg u nejmenších dětí, u větších je možné při správném zacílení akvizice dávku snížit i na objemy 0,5 ml/kg, průtok volíme 2 ml/s.

V zobrazení appendikulárního skeletu a páteře používáme rutinně protokoly

s expozicí 120 kV a možností spektrálního zobrazení, s použitím datové stopy 0,4 mm. Rekonstrukce obrazů pak je možné provést s prostorovým rozlišením až 0,2 mm a lze využít i výhod mono-energetického zobrazení (viz dále). U zobrazení sakroiliakálních kloubů používáme odlišnou strategii – použití expozice 100 kV s přídatnou cínovou filtrací.

Pro zobrazení hrudníku a břicha používáme protokoly s akvizicí dat pomocí integrovaného klastu detektorových elementů o velikosti 0,4 × 0,4 mm, akvizici nejmenší možné datové stopy 0,2 mm využíváme obecně u zobrazení



4a



4b



4c



4d



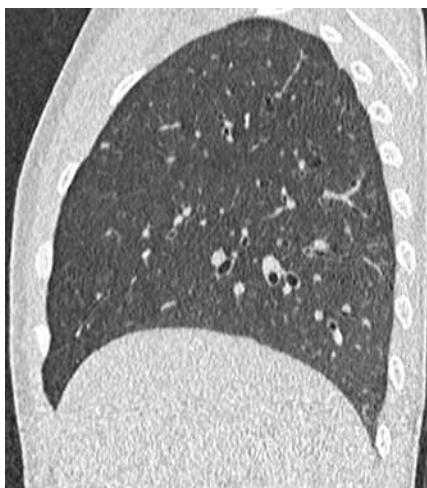
4e



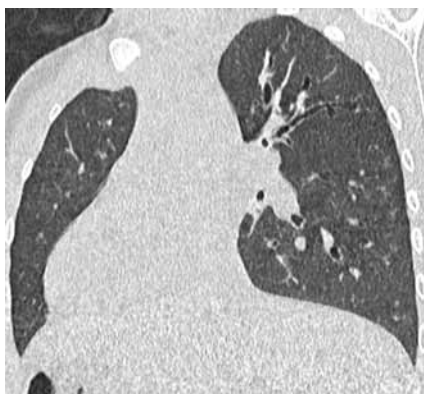
4f



4g



4h



4 Chlapec 12 let, cystická fibróza, zobrazení pomocí protokolu pro dospělé, 100 kV s přídatnou filtrací cínem, vyšetření v inspiriu a expiriu, DLP 2×14 mGycm: (a, b) axiální obrazy v inspiriu šíře 0,8 mm; (c, d) obrazy v expiriu 0,8 mm; (e, f) sagitální a šikmý obraz v inspiriu; (g, h) sagitální a šikmý obraz v expiriu

12-year-old boy, cystic fibrosis, adult protocol imaging, 100 kV with additional tin filtration, examination in inspiration and expirium, DLP 2×14 mGycm: (a, b) axial images in inspiration width 0.8 mm; (c, d) images in expiration 0.8 mm; (e, f) sagittal and oblique images in inspiration; (g, h) sagittal and oblique image in expiration

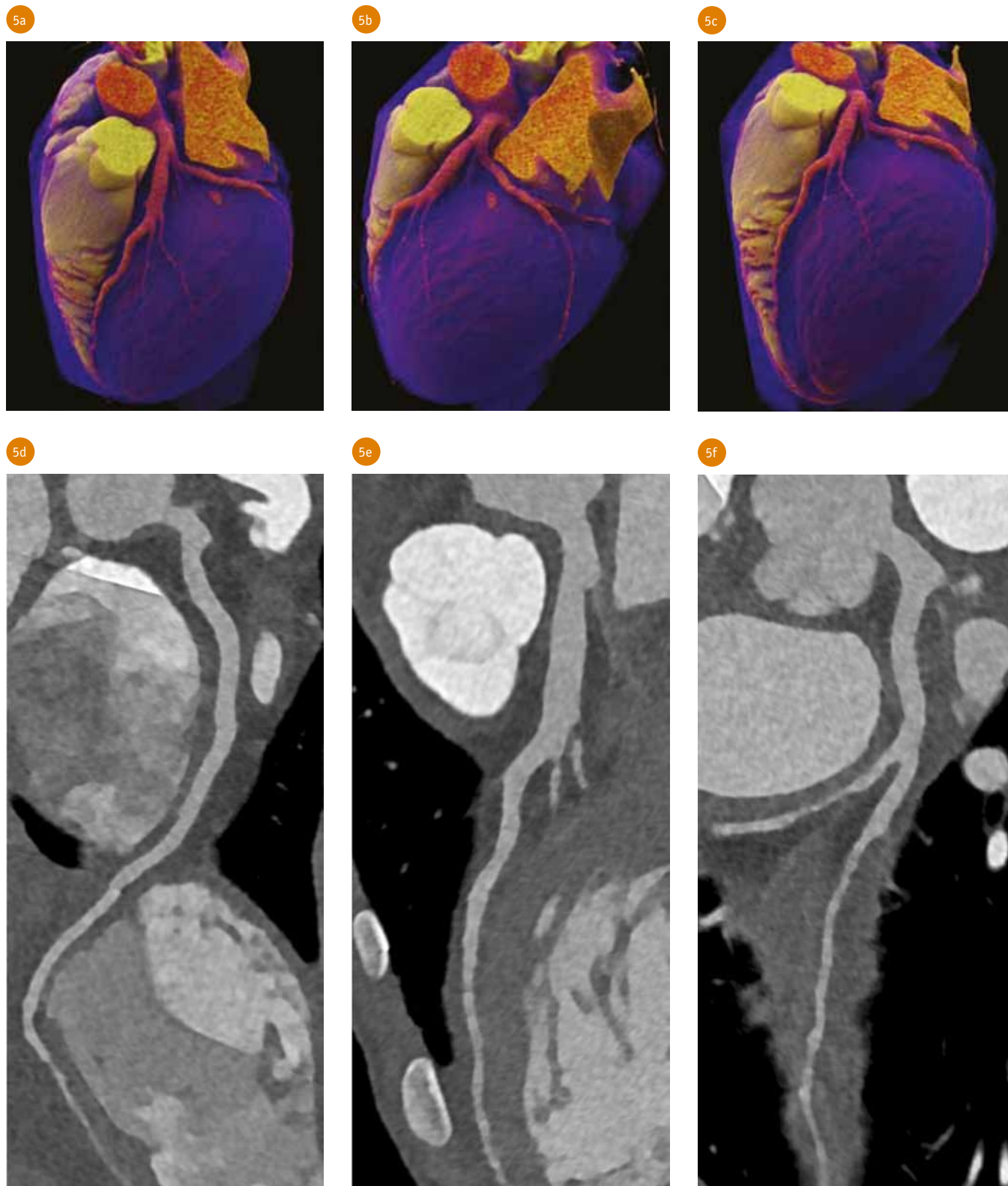
spánkové kosti, vzácněji u vyšetření obličejového skeletu nebo u plicní tkáně.

Rekonstrukce dat

Při rekonstrukci obrazů se dbáme na to, abychom optimalizovali poměr mezi prostorovým rozlišením a poměrem signál/šum. Pokud používáme nízkodávková vyšetření obecně, je výhodnější rekonstruovat obrazy někdy v širší, která je 1,5–2krát vyšší než šíře datové stopy, a s použitím rekonstrukčního inkrementu o polovinu rekonstruované šíři vrstvy. Co se týče rekonstrukčních algoritmů (kernelů), je možné vzhledem k vysokému prostorovému rozlišení a také při vysoké intenzitě signálu používat vyšší hodnoty, než je tomu u energií integrujících detektorů. U zobrazení spánkové kosti nebo zobrazení plicní tkáně je možné využít i vyšší matice, ale ty jsou vzhledem k malým rozměrům dětského těla již často zatíženy kolizí se skutečným fyzikálním rozlišením detektorové soustavy. Tyto matice tedy nemají významnější výhodu, na rozdíl od vyšetření dospělých pomocí photon-counting CT.

Sub-optimální zobrazení

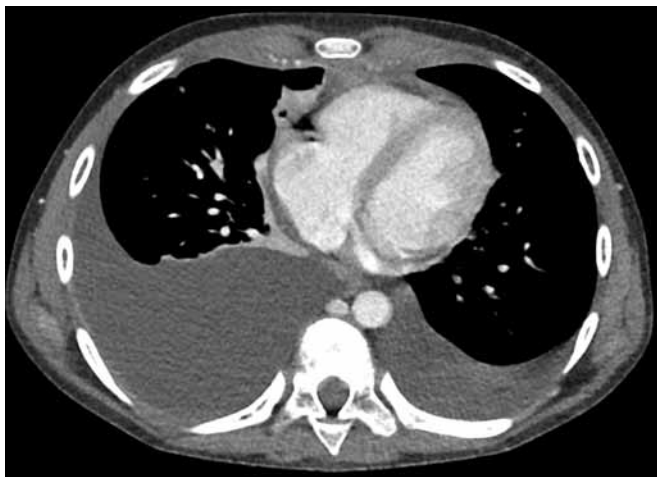
Sub-optimální zobrazení bylo v našem souboru u jednotek vyšetření. Nejvýznamnější problém se vyskytl při podání kontrastní látky u pacienta v časném kojeneckém věku s chybou v načasování skenování. Ve smyslu nedostatečného snížení dávky z vyšetření bylo u prvních vyšetření břicha u dětí také vyšší nastavení kvalitativního parametru skenování. Jde však o problémy, které lze postupně se získáním větších zkušeností



5 Šestiletý chlapec, bolesti na hrudi, prolongovaný syndrom po COVID-19, Kawasaki-like onemocnění koronárních tepen. Provedeno vyšetření DLP 220 mGycm, nepravidelná akce 56–96/s, dávková modulace expozice, retrospektivní rekonstrukce dat: (a–c) volume rendering zobrazení; (d) arteria coronaria dextra; (e) ramus interventricularis anterior; (f) ramus circumflexus

Six-year-old boy, chest pain, prolonged post-COVID-19 syndrome, Kawasaki-like coronary artery involvement. Examination of DLP 220 mGycm, irregular action 56–96/s, dose modulation of exposure, retrospective reconstruction of data: (a–c) volume rendering of imaging; (d) arteria coronaria dextra; (e) ramus interventricularis anterior; (f) ramus circumflexus

6a



6b



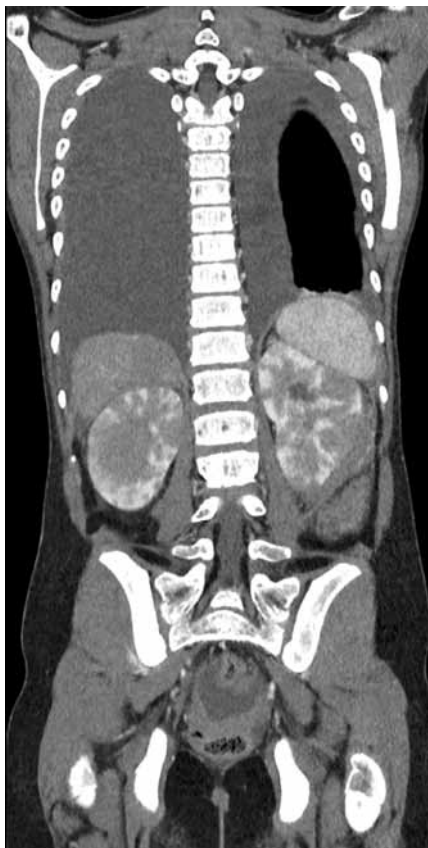
6c



6d



6e



6f



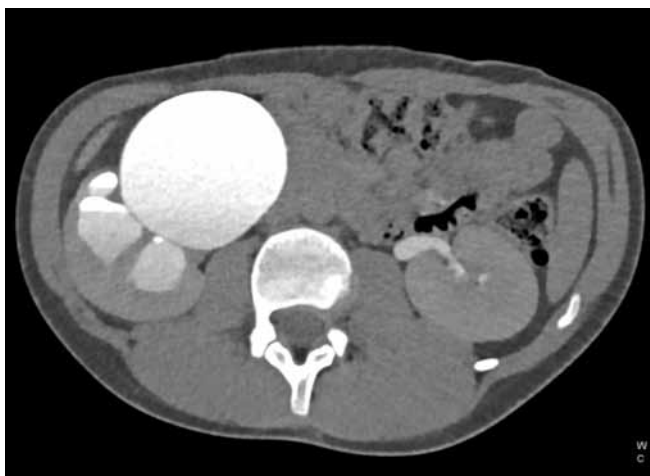
6 Třináctiletý chlapec, bolesti břicha, lymfomová infiltrace ledvin a střeva, pleurální tekutina, ascites. Výška 161 cm, 45 kg hmotnost, provedeno zobrazení 70 kV protokolem DLP 146 mGycm, kvalitativní index (Iq-level) 145, podáno 20 ml kontrastní látky iopromid 370 intravenózně, monoenergetická rekonstrukce 55 keV: (a–d) abdominální obrazy šíře 3,0 mm; (e, f) koronární obrazy 3,0 mm

A thirteen-year-old boy, abdominal pain, lymphoma infiltration of the kidneys and intestines, pleural fluid, ascites. 161 cm height, 45 kg weight, 70 kV imaging performed using DLP protocol 146 mGycm, qualitative index (Iq-level) 145, administered 20 ml of contrast medium iopromid 370 intravenously, monoenergetic reconstruction 55 keV: (a–d) abdominal images width 3.0 mm; (e, f) coronal images 3.0 mm

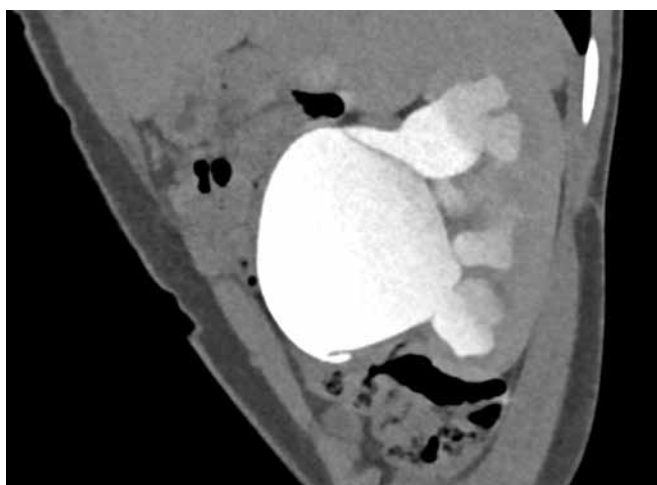
7a



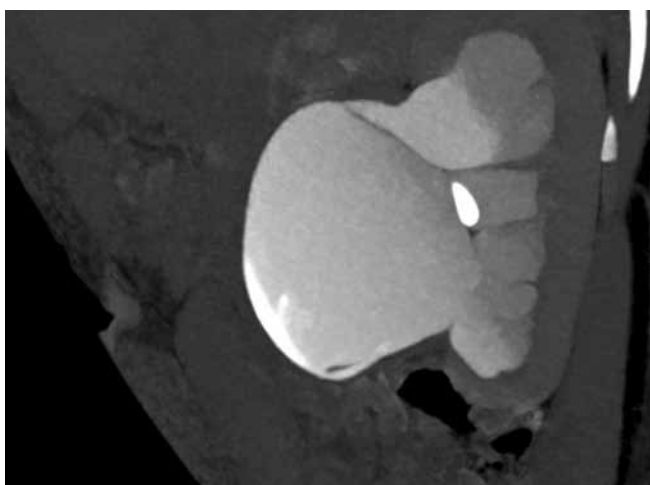
7b



7c



7d



7e



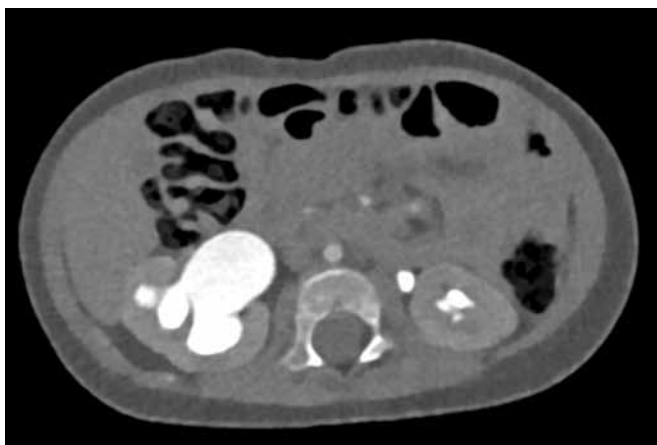
7f



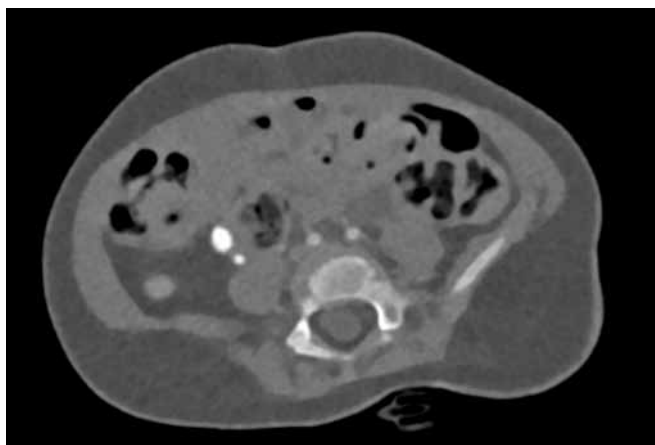
7 Třináctiletý chlapec, hydronefróza. 142 cm výška, 41 kg hmotnost, provedeno zobrazení 70 kV protokolem DLP 2 × 82 mGycm, kvalitativní index (Iq-level) 145, podáno 20 ml kontrastní látky iopromid 370 intravenózně, monoenergetická rekonstrukce 55 keV: (a, b) abdominální obrazy šíře 3,0 mm v parenchymové fázi nástřiku na zádech a exkreční fázi na břiše; (c, d) šikmé rekonstrukce pravé ledviny ukazují stenózu ureteropelvickejunkce; (e, f) volume rendering rekonstrukce

Thirteen-year-old boy, hydronephrosis. 142 cm height, 41 kg weight, 70 kV imaging performed using DLP protocol 2 × 82 mGycm, qualitative index (Iq-level) 145, administration of 20 ml of iopromid 370 contrast medium intravenously, monoenergetic reconstruction 55 keV: (a, b) abdominal images with a width of 3.0 mm in the parenchymal phase of the injection on the back and the excretion phase on the abdomen; (c, d) oblique reconstructions of the right kidney show stenosis of the ureteropelvic junction; (e, f) volume rendered reconstruction

8a



8b



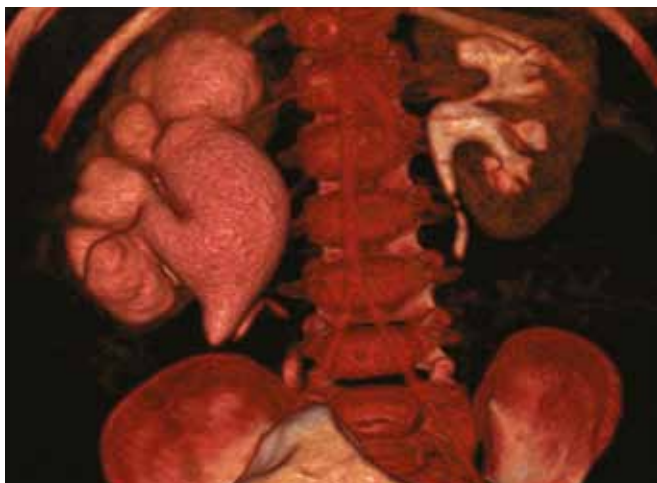
8c



8d



8e



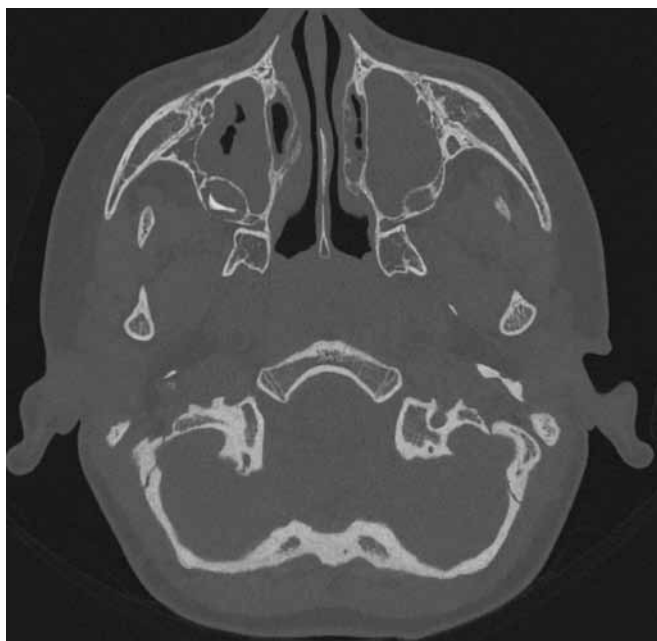
8f



8 Chlapec 10 měsíců, 73 cm, 9,46 kg, hydronefróza při stenóze ureteropelvicé junkce, provedeno zobrazení 70 kV protokolem DLP A × 29 mGycm, podáno 5 + 10 ml kontrastní látky iopromid 370 intravenózně, první dávka 30 minut před vyšetřením na lůžkovém oddělení, druhá část injektorem pro zachycení renálních cév, monoenergetická rekonstrukce 55 keV: (a, b) abdominální obrazy šíře 0,4 mm v exkreční fázi na zádech; (c, d) koronární rekonstrukce šíře 0,4 a 5 mm pravé ledviny ukazují stenózu ureteropelvicé junkce a průběh jediné renální tepny; (e, f) volume rendering rekonstrukce

Boy 10 months, 73 cm, 9.46 kg, hydronephrosis due to stenosis of the ureteropelvic junction, 70 kV imaging performed using DLP A protocol x 29 mGycm, administration of 5 + 10 ml of iopromid 370 contrast medium intravenously, first dose 30 minutes before examination in the inpatient ward, second part with an injector to capture renal vessels, monoenergetic reconstruction 55 keV: (a, b) abdominal images 0.4 mm wide in the excretory phase on the back; (c, d) coronary reconstruction 0.4 and 5 mm wide of the right kidney show stenosis of the ureteropelvic junction and the course of a single renal artery; (e, f) volume rendering reconstruction

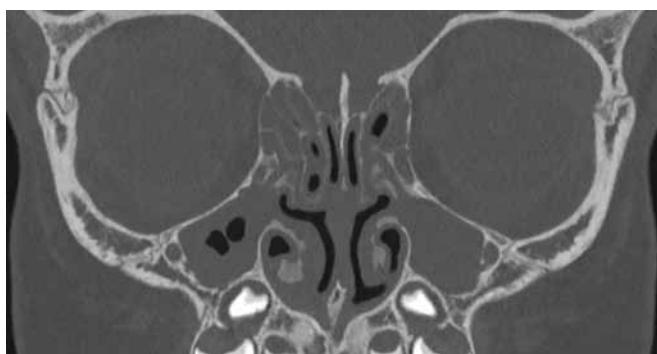
9a



9b



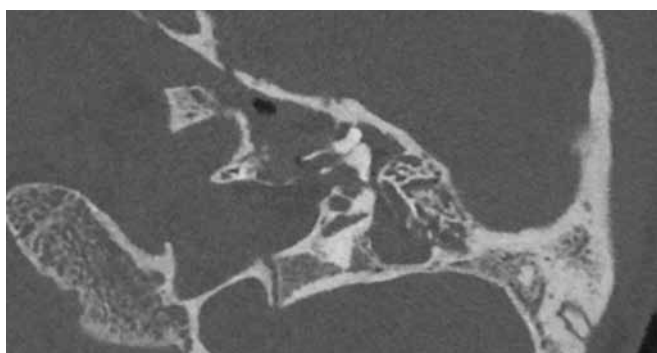
9c



9d



9e



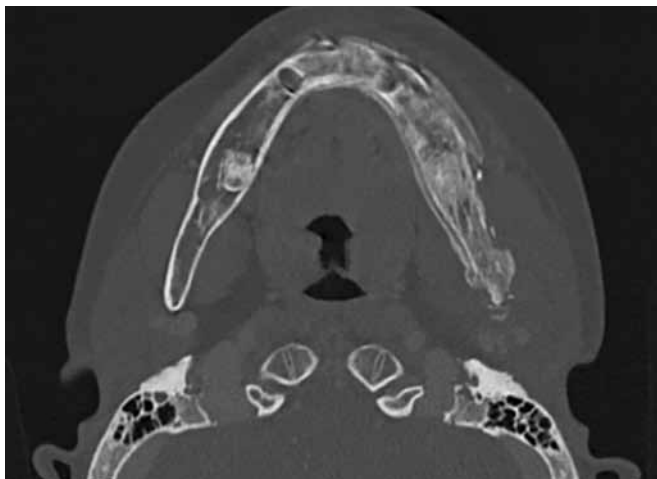
9f



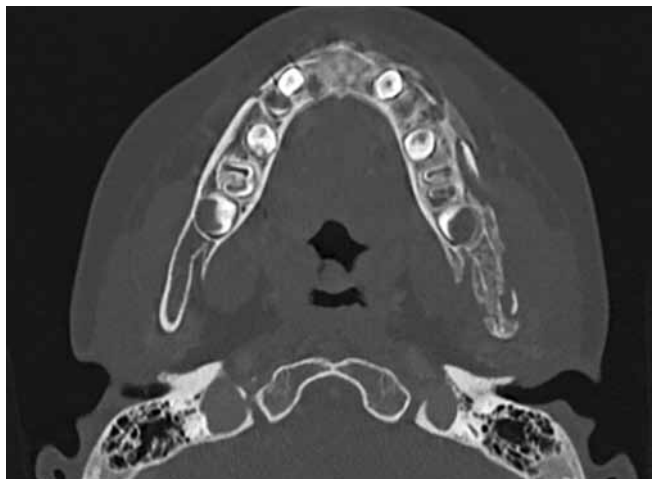
9 Sedmiletý chlapec, pneumokoková sinusitida a mastoiditida, ultra-high resolution, datová stopa 0,2 mm, rozlišení v prostoru 0,1 mm, rekonstrukce s inkrementem 0,1 mm: (a, b) axiální obrazy šíře 0,1 mm; (c, d) koronární rekonstrukce šíře 0,2 mm přes paranasální dutiny; (e, f) šikmé rekonstrukce 0,2 mm zobrazují kloub mezi kladívkem a kovádkou a dále canalis musculotubarius a umbo membranae tympani

Seven-year-old boy, pneumococcal sinusitis and mastoiditis, ultra-high resolution, 0.2 mm data track, 0.1 mm spatial resolution, 0.1 mm incremental reconstruction: (a, b) 0.1 mm wide axial images; (c, d) 0.2 mm wide coronary reconstruction across the paranasal sinuses; (e, f) 0.2 mm oblique reconstructions show the joint between the hammer and the anvil, as well as the musculotubar canal and the umbo of tympanic membrane

10a



10b



10c



10d



10 **Dívka 10 let, osteomyelitida mandibuly:** (a, b) axiální obrazy 0,4 mm; (c) šikmá rekonstrukce šíře 0,4 levé poloviny mandibuly; (d) volume rendering rekonstrukce

A 10-year-old girl, osteomyelitis of the mandible: (a, b) axial images 0.4 mm; (c) oblique reconstruction of the width of 0.4 left halves of the mandible; (d) volume rendering reconstruction

eliminovat, nebo jde o potíže, které v dětské výpočetní tomografii lze očekávat.

DISKUSE

Indikace k vyšetření výpočetní tomografie jsou v současnosti relativně malé ve srovnání s vyšetřením magnetickou rezonancí. Naše výsledky potvrzují, že hlavními indikacemi k provedení CT na pracovišti, které není superspecializovaným dětským centrem s léčbou solidních nádorů a se specializovanou operativou dětských pacientů, jsou indikace při komplikovaných plicních zánětech, dále indikace v zobrazování v dětské urologii a zobrazování dětského skeletu v různých indikacích, vzácné jsou kardiovaskulární indikace.

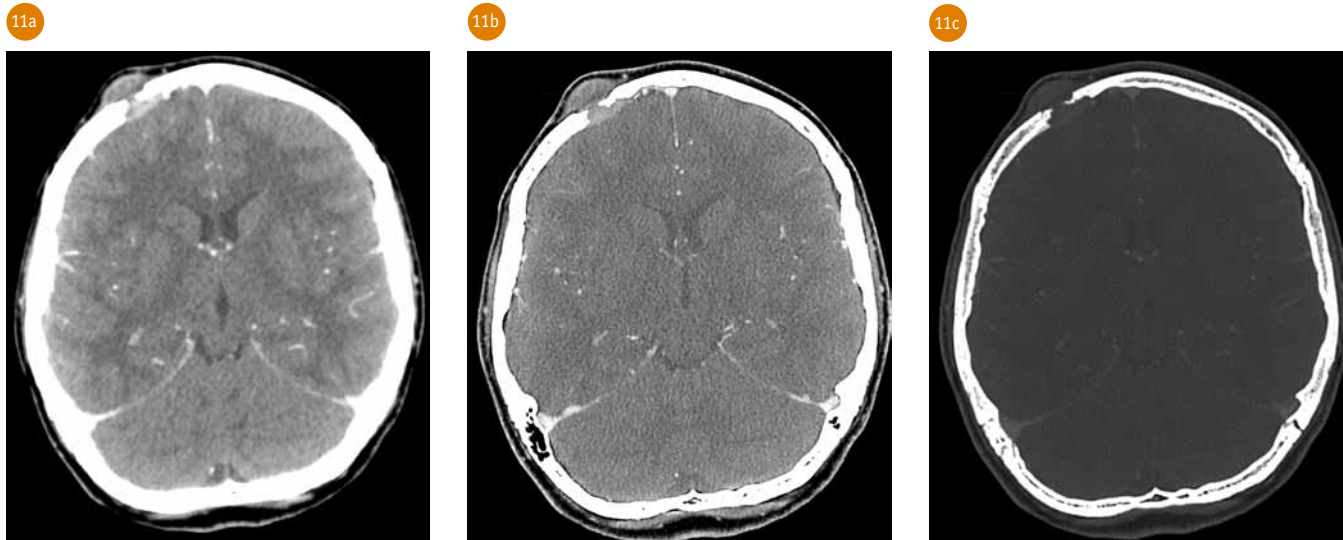
Podstatným přínosem photon-counting CT obecně je možnost snížení dávky zvýšením detekční efektivity detektorového materiálu. Naše zkušenosti ukazují, že snížení dávky při použití optimalizovaného protokolu může být velmi významné. Naproti tomu je nutné u některých protokolů zvažovat, zda je cílem maximalizovat požadavek snížení dávky (4–6).

Snížení dávky

Maximalizace tohoto požadavku je adekvátním přístupem u vyšetření CT z indikace detekce plicních zánětů nebo u kontrol chronických plicních onemocnění. Přístup k akvizici dat je možný dvěma základními postupy. První je použití 70 kV protokolu, kdy tento je výhodný zejména, pokud je používána

kontrastní látka; kromě redukce dávky se navíc zvyšuje efekt atenuace jódu. Při použití 70 kV protokolu se dávky pohybují u kojenců vyjádřené DLP kolem 20 mGycm a často pod 10 mGycm. U dětí větších se DLP pohybuje kolem 25 mGycm. Druhým podobně efektivním způsobem snížení dávky je přídatná cínová filtrace při použití 100 kV. Tento postup je možné využít dobře u pacientů s kontrolami onemocnění plic s postižením intersticia nebo s chronickými onemocněními typu cystické fibrózy, tedy u vyšetření, které je zaměřeno primárně na plicní parenchym a jeho strukturu, nikoliv na vyšetření mediastinálních struktur nebo syčení plicní tkáně.

V podobných intencích snižování dávky jako u plic je možné postupovat i u dalších zobrazení s vysokým kontrastem tkání. Jedná se o zobrazení



11 Chlapec 12 let, Langerhansova hystiocytóza (eosinofilní granulom): (a) axiální obraz 0,8 mm, rekonstrukční algoritmus pro mozek, nastavení okna pro mozek; (b) obraz 0,6 mm, rekonstrukční algoritmus pro skelet, nastavení okna pro mozek; (c) obraz 0,6 mm, rekonstrukční algoritmus pro skelet, nastavení okna pro mozek

A 12-year-old boy, Langerhans hystiocytosis (eosinophilic granuloma): (a) axial image 0.8 mm, reconstruction algorithm for the brain, adjustment of the window for the brain; (b) image 0.6 mm, reconstruction algorithm for the skeleton, adjustment of the window for the brain; (c) image 0.6 mm, reconstruction algorithm for the skeleton, adjustment of the window for the brain

vedlejších nosních dutin – je možné použít jak protokol s nízkou voltáží a redukcí kvalitativního parametru IQ level na velmi nízké hodnoty, nebo dokonce modulaci zcela vypnout a nastavit konstantní nízký proud kolem 5 mAs (hodnoty DLP mohou klesat i pod 1). Je nutné pak mít na paměti, že je možné hodnotit jen náplň paranasálních dutin, nikoliv struktur kostní tkáně (7–10). Druhým postupem je použití 100 kV protokolu s cínovou filtrací. Tento protokol dovoluje dosáhnout hodnot DLP kolem 20 mGycm, pak jsou hodnotitelné i struktury obličejového skeletu. Cínová filtrace 100 kV protokolu je využitelná i při zobrazování pánevního skeletu včetně sakroiliakálních kloubů.

Význam snížení dávky je i u vyšetření v oblasti břicha, kdy nejvýznamnějšími z hlediska radiačního jsou vyšetření z urologických indikací se zobrazením vývodného systému s případným provedením furosemidového testu. Abdominální zobrazení u nejmenších dětí je možné 70 kV protokolem. Jeho výhody jsou zmíněny výše ohledně zvýšení efektu jódové kontrastní látky (8). V závislosti na objemu dětského těla se u CT břicha kojenců pohybuje dávka vyjádřená DLP v hodnotách kolem 25 mGycm, u dětí batolecího a předškolního věku kolem 45 mGycm. Vyšetření s kvalitativní vyšší úrovní expozice (IQ level 130) jsou vhodná pro detailnější hodnocení abdominálních orgánů a současně

cévních struktur. Pokud jde o vyšetření furosemidovým testem, u vyšetření ve vylučovací fázi, nebo při vyšetření opakovaných při nutnosti zobrazit anatomii vývodného systému – ureteru, ureterocystické junkce a podobně, pak je dávku vhodné snížit na hodnoty nižší (IQ level 80 až 90) a hodnoty DLP dosahují kolem 25 mGycm. U dětí školního věku je rozptýl dávek abdominálních CT výrazně vyšší, v závislosti na hmotnosti a BMI. U hmotnosti se mohou pohybovat i kolem 70 kg při BMI 25, pak jsou výhodné protokoly s 90 kV, které dovolují snížit dávku vyjádřenou DLP na hodnoty kolem 60–90 mGycm.

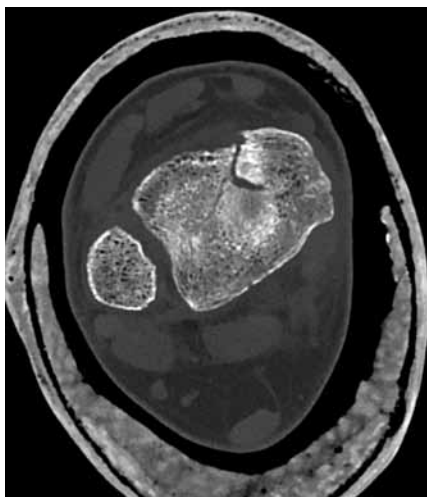
Spektrální zobrazení

Zatímco v oblasti zobrazování plic a břicha jsou protokoly vystavěny na použití nízkého napětí 70–90 kV nebo s cínovou filtrací 100 kV, není k tomu v datech dostatečně diskretní informace z podílů jednotlivých, tedy vyšších energií záření. U protokolů s použitím 120 kV jsou data dostatečná k využití spektrální analýzy. Známé jsou aplikace spektrální analýzy pro optimalizace kontrastu jódové kontrastní látky a zejména sycení tkání, ale užitečnými jsou i aplikace v muskuloskeletálním zobrazení. Jelikož jsou protokoly s vyšší voltáží právě používány u muskuloskeletálního zobrazování, v oblasti apendikulárního skeletu, zejména dolních končetin,

není snižování dávky nejpodstatnějším aspektem optimalizace zobrazení, protože nejde o oblasti tkání s vysokou radiosenzitivitou. Ale i tak je možné dávku významněji redukovat ve srovnání s energií integrujícími systémy. Spektrální analýza dovoluje rekonstrukci monoenergetických obrazů, kdy nastavení energie zobrazení přispívá k optimalizaci zobrazení jednotlivých materiálů. Jde o zobrazování tkání s vysokým obsahem kolagenu – tedy k zobrazení pigmentu, šlach a vazivové chrupavky, dále pak k zobrazení úrovně osifikace skeletu a také k zobrazení kovových implantátů. Velmi vysoké energie obecně jsou vhodné k současnému zobrazení kovových implantátů při posuzování komplikací hojení zlomenin nebo osteotomií. Vyšší energie 70 až 100 kV jsou vhodné k zobrazení úrovně mineralizace skeletu, nízké energie pak k optimalizaci trojrozměrného zobrazení skeletu, například u komplikovaných zlomenin (8).

Kromě muskuloskeletálního zobrazení je spektrální analýza možné také využít při zobrazování mozku, neurokrania a u stavů po neurochirurgických výkonech. Spektrální analýza a využití monoenergetických obrazů dovoluje optimalizovat kontrast mezi šedou a bílou hmotou (optimální je hodnota energie 55–57 keV), dále také v případě intrakraniálního krvácení umožňuje zvýraznit kontrast mezi krvácením a mozkovou tkání, kdy v závislosti

12a



12

Dívka 12 let, epifyzeolýza tibie, protokol 120 kV, spektrální zobrazení skeletu: (a) axiální obraz 0,4 mm, rekonstrukční algoritmus pro skelet, monoenergetická rekonstrukce 70 keV; (b) koronární obraz 0,4 mm, monoenergetický obraz 70 keV; (c) volume rendering obraz, monoenergetická rekonstrukce 120 keV, zobrazení zohledňuje míru kostní denzity; (d) volume rendering obraz, monoenergetická rekonstrukce 50 keV, rekonstrukce zobrazuje především povrch a zdůrazňuje linie zlomeniny

12-year-old girl, tibial epiphyseolysis, 120 kV protocol, skeletal spectral imaging: (a) axial image 0.4 mm, reconstruction algorithm for skeleton, monoenergetic reconstruction 70 keV; (b) coronary image 0.4 mm, monoenergetic image 70 keV; (c) volume rendering image, monoenergetic reconstruction 120 keV, imaging reflects the rate of bone density; (d) volume rendering image, monoenergetic reconstruction 50 keV, reconstruction mainly shows the surface and emphasizes fracture lines

12b



12c



12d



na obsahu proteinů (koagulované krve) je vhodné využití energií monoenergetického zobrazení ve vyšším středním pásmu (90–120 keV).

Kardiovaskulární zobrazení

Nadějně je v pediatrické kardiologii i zobrazování srdce, avšak je nutné individuálně volit protokol tak, aby bylo možné zobrazit koronární řečiště a srdeční oddíly s dostatečným časovým rozlišením. Metodika high-pitch nebo step-and-shoot vede sice k rychlé akvizici dat, ale vzhledem k časté vysoké frekvenci nedovoluje optimálně rekonstruovat srdeční fázi. Problémem je také pochopitelně v obtížnější spolupráci s dětským pacientem, kdy vyšetření není možné provádět v celkové anestezii. CT angiografie u abdominálních cév a cév hlavy a krku je indikovaná vzácně, nejdůležitějším problémem je však, podobně jako u dřívějších způsobu vyšetření správné načasování akvizice

dat. Významnou výhodou při zobrazování srdce se pak jeví vysoké prostorové rozlišení, které dovoluje zobrazit i koronární řečiště po sekundární a terciální větve, tato výhoda je především zřejmá u malých dětí, u kterých hlavní tepny mají průsvit kolem 2 mm (8).

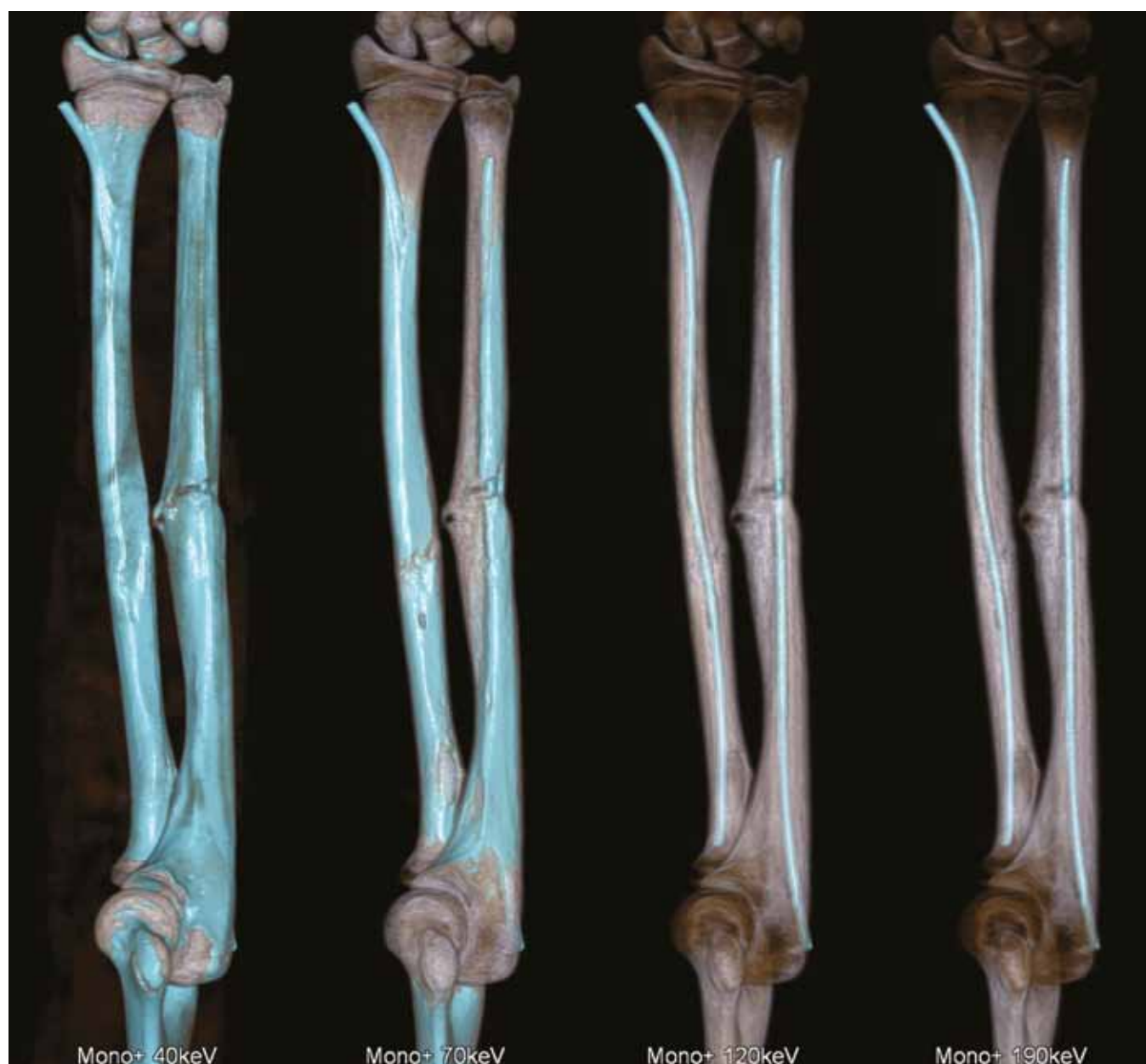
Zobrazení s velmi vysokým rozlišením

Základní zobrazovací postupy photon-counting CT samy o sobě už vycházejí z velice malého detektorového elementu. Ten je o více než polovinu menší než detektorové elementy energy-integrating systémů, dosahuje pouze $0,4 \times 0,4$ mm (oproti velikosti $0,6 \times 0,6$ mm). Při použití nejmenšího možného detektorového elementu $0,2 \times 0,2$ mm pak dosahuje jeho plocha až kolem jedné desetiny běžného detektorového elementu. Samo o sobě základní rozlišení přispívá k vyššímu prostorovému rozlišení, optimalizované

rekonstrukce dat pak dovolují běžně v mřížkovém modelu prostoru dosáhnout rozlišení jednotlivého voxelu 0,2 mm při použití rekonstrukce jednotlivé vrstvy 0,4 mm s inkrementem 0,2 mm, nebo dokonce 0,1 mm při použití 0,2 mm šíře vrstvy a 0,1 inkrementu. Vliv tohoto rozlišení je především u nejmenších dětí s možností lepšího zobrazení anatomických struktur, zejména cév, ureteru, bronchů nebo struktury kostí. Zvýšení matrice na 1024×1024 už další diagnostické zlepšení nepřináší s výjimkou kosti spánkové. U kosti spánkové, dále pak v některých případech zobrazení plicní tkáně nebo cév je vhodnou aplikací právě akvizice dat s rekonstrukcí datových stop z nejmenšího možného elementu.

Konfrontace s publikovanými studiemi

V současnosti je v písemnictví velmi málo údajů o využití photon-counting



- 13** Dívka 13 let, osteosyntéza ulny a radia, pakloub tibie, protokol 120 kV, spektrální zobrazení skeletu – porovnání jednotlivých monoenergetických rekonstrukcí 40, 70, 120 a 190 keV a vliv energie na zobrazení osteosyntetického materiálu a skeletu při shodném nastavení parametrů volume rendering rekonstrukce

13-year-old girl, osteosynthesis of the ulna and radius, pseudoarthrosis of the tibia, protocol 120 kV, spectral imaging of the skeleton – comparison of individual monoenergetic reconstructions of 40, 70, 120 and 190 keV and the effect of energy on the imaging of osteosynthetic material and skeleton, the same setting of the parameters of the volume rendering of the reconstruction were used

CT v diagnostice onemocnění v dětském věku (8). K dispozici jsou pouze přehledná sdělení a analýza jednotlivých orgánových aplikací je pouze u plicního vyšetření (7, 9, 10). Další zkušenosti jsou publikovány na základě jednotlivých vyšetření. Systematické zhodnocení větší sestavy vyšetření zatím chybí. Naše práce je v současnosti první, která se zabývá analýzou zkušeností s větším souborem dětských pacientů.

ZÁVĚR

Photon-counting CT je v indikacích pediatrického zobrazování významným psounem zejména v kvalitě zobrazení. Velmi významným směrem může být dále studium možností redukce dávky a zachování optimálního odlišení tkání a anatomických struktur. Významné bude zejména studium nízkovoltážních protokolů ve srovnání s protokoly, které využívají cínovou filtraci

u zobrazování plicního parenchymu, dále pak možnosti optimalizace přístupu k zobrazování abdominálních orgánů. To jsou dvě základní témata, v ostatních skupinách zobrazení je poměrně jisté, že je proton-counting CT výhodné v muskuloskeletálním zobrazování kvůli mimořádně vysokému prostorovému rozlišení. U muskuloskeletálních aplikací je také významné redukování artefaktů z implantovaných kovových materiálů. ●

LITERATURA

1. Flohr T, Petersilka M, Henning A, Ulzheimer S, Ferda J, Schmidt B. Photon-counting CT review. Phys Med. 2020; 79: 126–136.
2. Chen H, Danielsson M, Xu C. Size-dependent scanning parameters (kVp and mAs) for photon-counting spectral CT system in pediatric imaging: simulation study. Phys Med Biol. 2016; 61(11): 4105–4126.
3. Mese I, Altintas Mese C, Demirsoy U, Anik Y. Innovative advances in pediatric radiology: computed tomography reconstruction techniques, photon-counting detector computed tomography, and beyond. Pediatr Radiol. 2024; 54(1): 1–11.
4. Cao J, Bache S, Schwartz FR, Frush D. Pediatric Applications of Photon-Counting Detector CT. AJR Am J Roentgenol. 2023; 220(4): 580–589.
5. Patsch JM. Editorial Comment: Pediatric Photon-Counting Detector CT-Are We in This Together? AJR Am J Roentgenol. 2023; 221(3): 372.
6. Vorona G. Editorial Comment: Photon-Counting Detector CT in Pediatric Imaging-Is It Time to Upgrade to a New Electric Car? AJR Am J Roentgenol. 2023; 220(4): 589.
7. Siegel MJ, Bugenhagen SM, Sanchez A, Kim S, Abadia A, Ramirez-Giraldo JC. Comparison of Radiation Dose and Image Quality of Pediatric High-Resolution Chest CT Between Photon-Counting Detector CT and Energy-Integrated Detector CT: A Matched Study. AJR Am J Roentgenol. 2023; 221(3): 363–371.
8. Hagen F, Soschynski M, Weis M, Hagar MT, Krumm P, Ayx I, Taron J, Krauss T, Hein M, Ruile P, von Zur Muehlen C, Schlett CL, Neubauer J, Tsiflikas I, Russe MF, Arnold P, Faby S, Froelich MF, Weiß J, Stein T, Overhoff D, Bongers M, Nikolaou K, Schönberg SO, Bamberg F, Horger M. Photon-counting computed tomography - clinical application in oncological, cardiovascular, and pediatric radiology. Rofo. 2024; 196(1): 25–35.
9. Horst KK, Hull NC, Thacker PG, Demirel N, Yu L, McDonald JS, Larson NB, McCollough CH, Fletcher JG. Pilot study to determine whether reduced-dose photon-counting detector chest computed tomography can reliably display Brody II score imaging findings for children with cystic fibrosis at radiation doses that approximate radiographs. Pediatr Radiol. 2023; 53(6): 1049–1056.
10. Tsiflikas I, Thater G, Ayx I, Weiss J, Schaefer J, Stein T, Schoenberg SO, Weis M. Low dose pediatric chest computed tomography on a photon counting detector system - initial clinical experience. Pediatr Radiol. 2023; 53(6): 1057–1062.



NEMOCNICE TGM HODONÍN
Vaše nemocnice

hledá lékaře/ku radiologa

*„Jste lékař se specializovanou
způsobilostí nebo lékař těsně
před jejím získáním či absolvent
se zájmem o radiologii?“*

*Přesně Vás hledáme do zcela nově
zbudovaných moderních prostorů
RDG oddělení.“*

Nabízíme:

- akreditované pracoviště
- náborový příspěvek 300 000,- Kč
- služební byt
- výborné platové podmínky

Nástup ihned nebo dle dohody.

Profesní stabilitu a rozvoj.

Vzdělávání a hrazenou účast na kongresech.

Firemní mini školkou v areálu nemocnice.

Zaměstnanecké benefity.

Kontakt:

Lucie Švrčková
Tel.: +420 518 306 341
svrckova.lucie@nemho.cz
www.nemho.cz