

学龄儿童能谱 CT 腹部血管成像中最佳单能量图像的选择

闫清淳, 杨洋, 袁新宇, 孙海林, 辛海燕, 曹志会, 沈云

【摘要】 目的:探讨 CT 能谱成像(GSI)技术在学龄儿童腹部血管成像中的最佳单能量图像。**方法:**选取我科腹部增强 CT 扫描的学龄期儿童 30 例,男 19 例,女 11 例,平均年龄(9.4 ± 2.8)岁,以 GSI 模式进行增强 CT 扫描。重建获得 40~80 KeV 单能量图像 41 组及 140 KvP 混合能量图像。分别测量腹主动脉、门静脉、下腔静脉、竖脊肌 CT 值。分析图像 CT 值与能量变化关系,测量图像 CNR 及噪声,对最高 CNR 与最低噪声单能量图像以及混合能量图像进行主观评分。对数据进行统计学分析。**结果:**CNR 变化曲线总体呈双峰下降趋势,峰值分别位于 40 keV 与 60~65 keV。门静脉、腹主动脉、下腔静脉的最佳 CNR 分别位于(62.0 ± 2.1),(61.4 ± 1.9)和(60.7 ± 2.0) keV。噪声最低的单能量图像为 68 keV。60~62 keV 单能量图像主观评分(10.2 ± 0.6 ; 10.2 ± 0.8 ; 10.2 ± 0.8)高于混合能量图像(9.1 ± 0.6),其差异具有统计学意义($P < 0.001$)。**结论:**学龄儿童腹部血管成像,观察腹主动脉、门静脉、下腔静脉的最佳单能量图像为 60~62 KeV。

【关键词】 儿童; 体层摄影术, X 线计算机; 血管造影术

【中图分类号】 R05; R814.42; R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)10-0984-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.10.018

Optimal monochromatic image for abdominal vasculargraphy CT in school-aged children: a gemstone spectral imaging study

YAN Yu-chun, YNAG Yang, YUAN Xin-yu, et al. Children's Hospital Affiliated to Capital Insititute of Pediatrics, Beijing 100020, China

【Abstract】 Objective: To investigate the optimal monochromatic image for vasculargraphy CT in school-aged children using gemstone spectral imaging (GSI) technique. **Methods:** 30 school-aged children (mean age 9.4 ± 2.8 years old) with clinical suspected abdominal disease underwent enhanced GSI CT examination. All the data were transferred to GSI viewer to generate 41 sets of monochromatic images (40~80keV) and 140kVp mixed energy image. The CT value of abdominal aorta, portal vein, inferior vena cava (IVC) and erector spinae muscle were measured respectively. Optimal contrast-to-noise ratio (CNR) of portal vein, abdominal aorta, inferior vena cava were calculated respectively. The image noises of left erector spinae at the level of ensisternum were measured respectively. The correlations between CT value and energy were analyzed. The CNR and the noise of the image were calculated respectively and subjective scoring was taken on the image of maximum CNR, minimum monochromatic and mixed energy. All data were statistically analyzed. **Results:** The general trend of CNR with the monochromatic level was declined, and had two peaks at 40keV and around 60keV to 65keV. The best CNR in portal vein, abdominal aorta and IVC were at (62.0 ± 2.1)keV, (61.4 ± 1.9)keV, (60.7 ± 2.0)keV respectively. The lowest noise was at 68keV. The mean score of 60keV to 62 keV were 10.2 ± 0.6 ; 10.2 ± 0.8 ; 10.2 ± 0.8 respectively. The score of mixed energy image was 9.1 ± 0.6 . The difference had statistical significance ($P < 0.001$). **Conclusion:** The recommended optimal monochromatic image in school-aged children for portal vein, aorta and IVC was 60~62keV in enhanced vasculargraphy CT.

【Key words】 Child; Tomography, X-ray computed; Angiography

能谱 CT 成像技术(gemstone spectral imaging, GSI)在成人中已广泛应用,基于 GSI 扫描,以选择组织结构对比最强的单能量图像为目的,在成人中进行血管成像的最佳单能量图像选择已多有研究。但目前,有关儿童 GSI 血管成像的研究尚未广泛展开。本研究旨在探讨如何选择学龄期儿童 GSI 扫描腹部血管成像的最佳单能量图像。

材料与方法

1. 研究对象

2015 年 2 月 1 日—6 月 25 日于我科进行 GSI 腹部增强扫描的学龄期儿童 30 例,其中年龄 6.0~14.0 岁,平均(9.4 ± 2.8)岁。所有患儿男 19 例,女 11 例。就诊原因包括门脉高压症 10 例,肾积水 8 例,胆总管囊肿 5 例,腹部肿瘤 3 例,白血病 2 例,腹痛待查 2 例。本研究经我院伦理委员会批准进行。

2. 仪器与方法

采用 GE Discovery CT750 HD 宝石 CT 扫描仪,

作者单位: 100020 北京,首都儿科研究所附属儿童医院放射科(闫清淳、杨洋、袁新宇、孙海林、辛海燕); 100176 北京,GE 中国 CT 影像研究中心(曹志会、沈云)

作者简介: 闫清淳(1981—),男,北京人,硕士,副主任医师,主要从事儿科影像诊断工作。

通讯作者: 袁新宇, E-mail: xinyu_y@hotmail.com

以 GSI 模式进行扫描,选用自动管电流,螺距 0.984,管球旋转速度 0.5 s/r,层厚 5 mm,CTDI 剂量 6.48 mGy。增强扫描按 1.5 mL/kg 注射对比剂碘海醇 (350 mg I/L),注药后 60 s 进行扫描。

3. 图像处理与分析

用标准重建模式 GSI 处理/重建平台重建图像,获得 41 组单能量图像(从 40~80 keV,间距为 1 keV)及 140 kVp 混合能量图像。

第一步,客观指标评价。包括对 CT 值、比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR) 及噪声 (Noise)。测量腹主动脉 (Aorta)、门静脉 (Portal vein) 及下腔静脉 (inferior vena cava, IVC) 的 CT 值及标准差。腹主动脉测量点为腹腔干层面、双侧肾动脉层面、髂动脉分支等 3 个层面。门静脉测量点为门静脉左支主干、脾静脉汇合门脉主干、肠系膜上静脉主干等 3 个层面。腔静脉测量点为肝门层面、右肾静脉层面、髂静脉分支等 3 个层面。测量 ROI 均为 20 mm²。同时测量肝门层面量测竖脊肌 CT 值及标准差,并计算其均值。根据计算公式得到以下指标 $CNR = (\text{测量点 CT 值} - \text{竖脊肌平均 CT 值}) / \text{竖脊肌 CT 至标准差}$; 噪声为竖脊肌 CT 值的标准差。

第二步,主观指标评价^[1]。选用腹主动脉、门静脉以及下腔静脉最高 CNR 单能量图像,最低噪声单能量图像以及混合能量图像进行图像质量评分。由两名高年资儿科放射医师进行盲评,意见不同时经讨论达成一致。

主观评价指标评价内容包括:①血管壁显示情况。1 分,不能评价;2 分,无法辨别血管壁;3 分,血管壁显示模糊;4 分,血管壁显示清晰锐利。②肌肉脂肪间隙显示情况。1 分,无法观察;2 分,肌肉脂肪间隙显示模糊;3 分,肌肉脂肪间隙显示基本清晰;4 分,肌肉脂肪间隙显示清晰锐利。③图像噪声。1 分,噪声大,颗粒感强;2 分,噪声中等,颗粒感较强;3 分,噪声较小,颗粒感较轻;4 分,噪声小,图像细腻。在相同窗位窗宽 (400/40 HU) 条件下进行图像判读,以上述 3 指标之和作为图像最终质量得分,满分为 12 分。

4. 统计学处理

应用 SPSS 19.0 统计学软件,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,分别对所有图像的 CNR、SNR 以及主观评分进行方差齐性检验、单因素方差分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 客观评价指标

41 组单能量图像的腹主动脉、下腔静脉、门静脉的 CT 值和 CNR 以及噪声随能量变化曲线(图 1、2)。

腹主动脉、下腔静脉及门静脉的 CT 值在 40 keV 时为峰值,后随能量增加逐渐下降(图 1)。门静脉 CT 均值最高,IVC 最低,主动脉 CT 值均值居中。

腹主动脉、下腔静脉及门静脉的 CNR 在 40 keV 时出现第一峰值,后逐渐下降,在 55 keV 出现拐点,在 60~65 keV 出现第二峰,后再次下降。CNR 总体变化呈下降趋势。从 CNR 绝对值看,门静脉最高,下腔静脉最低,腹主动脉居中(图 2)。

门静脉最佳 CNR 为 (62.0 ± 2.1) keV,腹主动脉最佳 CNR 为 (61.4 ± 1.9) keV,下腔静脉最佳 CNR 为 (60.7 ± 2.0) keV。

噪声在 40 keV 时出现最高值,后逐渐下降,在 54 keV 时下降幅度增大,在 68 keV 时达到最低值,后缓步上升,但其总体变化呈下降趋势(图 2)。

2. 主观评价指标 (图 3)

分别选取 CNR 第一、二峰值所在单能量图像与混合能量图像进行比较。

腹主动脉、门静脉、下腔静脉的 CNR 在不同组别中的差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$, 表 1)。60 keV、61 keV、62 keV 以及混合能量图像的组间主观评分差异具有统计学意义 ($F = 27.85, P < 0.001$)。60~62 keV 单能量图像的主观评分分别为 $10.2 \pm 0.6, 10.2 \pm 0.8, 10.2 \pm 0.8$ 。

讨 论

在腹部肿瘤术前术后评估、血管畸形诊断等方面,学龄儿童腹部 CT 血管造影十分常见且重要。儿童 CT 血管造影 (CT angiography, CTA) 检查具有诸多

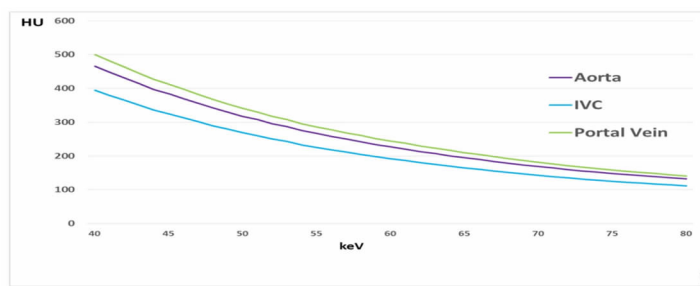


图 1 门静脉、下腔静脉、腹主动脉 CT 值随能量变化曲线。

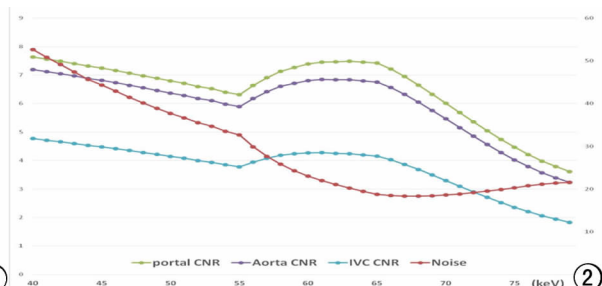


图 2 门静脉、下腔静脉、腹主动脉 CNR 及噪声随能量变化曲线。

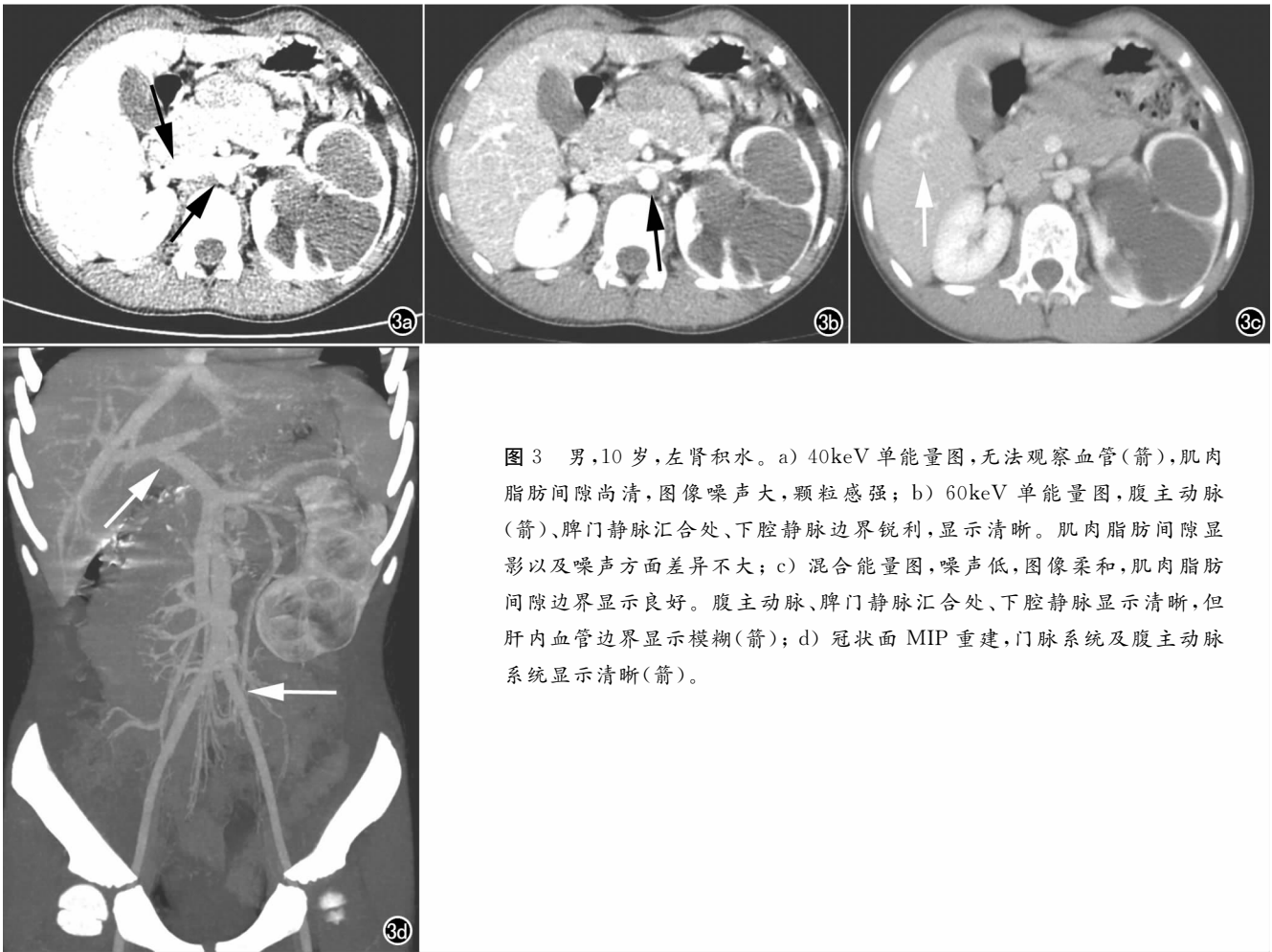


图 3 男,10 岁,左肾积水。a) 40keV 单能量图,无法观察血管(箭),肌肉脂肪间隙尚清,图像噪声大,颗粒感强; b) 60keV 单能量图,腹主动脉(箭)、脾门静脉汇合处、下腔静脉边界锐利,显示清晰。肌肉脂肪间隙显影以及噪声方面差异不大; c) 混合能量图,噪声低,图像柔和,肌肉脂肪间隙边界显示良好。腹主动脉、脾门静脉汇合处、下腔静脉显示清晰,但肝内血管边界显示模糊(箭); d) 冠状面 MIP 重建,门脉系统及腹主动脉系统显示清晰(箭)。

表 1 单能量图像与混合图像的 CNR 及主观评分

组别	腹主动脉	门静脉	下腔静脉	主观评分
60 keV	6.8±1.8	7.4±2.0	4.3±1.6	10.2±0.6
61 keV	6.8±1.8	7.5±2.1	4.3±1.6	10.2±0.8
62 keV	6.8±1.8	7.5±2.1	4.3±1.6	10.2±0.8
混合能量	5.9±2.1	6.1±2.1	3.7±1.6	9.1±0.6
F 值	4.13	6.35	14.708	27.85
P 值	0.045	0.014	<0.001	<0.001

困难。成人 CTA 检查可大剂量团注对比剂以获得更高的对比峰值,但学龄儿童不适用。由于血管较细、留置针管径小等因素,导致注药流速不能过高。笔者所在医院的经验是注药速度最高不超过 2.5 mL/s(24G 留置针)。近年提倡 CT 双低检查(低辐射剂量,低剂量对比剂)在儿科中更应提倡与普及。如何在有限对比剂总量及注药速度的制约下得到更完美的图像是对儿科影像医师的挑战。

有关能谱 CT 扫描辐射剂量的问题是目前关注重点之一,甚至该问题大大限制了该项技术在儿科中的应用。我们的科研团队针对此问题进行了研究,所得数据为儿童期能谱 CT 扫描 CTDI 为 (6.95 ± 3.46) mGy,传统 CT 扫描的 CTDI 为 6.48 mGy,二者之间差异无统计学意义。说明学龄儿能谱扫描未显著增加辐射剂量。有关辐射剂量的相关问题,我们会在

单独的文章中加以详述。本文的重点在于寻找最佳单能量图像。

能谱 CT 利用双 kVp 瞬时切换作为核心技术,在得到两组吸收投影数据后,通过后处理可以得到单能量图像^[2]。这种技术通过小的辐射剂量得到更多的图像信息^[2-4]。利用不同能量的组织对比度不同这一特性,可在血管造影成像方面运用广泛。本研究通过能谱 CT 选择最佳腹部 CTA 单能量图像,为学龄儿童双低 CTA 检查提供数据支持。

通过测量腹主动脉、门静脉、下腔静脉的 CT 值以及背部肌肉噪声,我们得到 CT 值、CNR 与噪声随能量变化的曲线(图 1、2)。三套血管系统的 CT 值变化曲线相同,自 40 keV 开始,逐渐下降。在能量越小的单能量图像中,CT 值均值越高,图像血管显示越亮。三套血管 CNR 变化曲线大致相同,均表现为双峰曲线,即 40 keV 出现第一高峰,后逐渐下降,在 55 keV 时达到谷底并逐渐上升,在 60~65 keV 区域达到第二高峰,后逐渐下降。CNS 的第一波峰与第二波峰基本一致。噪声曲线 40 keV 时最高,后逐渐下降,在 54 keV 时陡然下降,在 68 keV 达到谷底,后逐渐上升,但其整体变化呈下降趋势。

三套血管系统的 CNR 门静脉最高,下腔静脉最低,腹主动脉居中。这种分布与我们扫描时间是吻合的。由于注药速度的限制,多数患儿在 25~30 s 内全部注入对比剂,本研究开始注药 60 s 时扫描,因此扫描时相处于门静脉后期。由于门静脉与腹主动脉的曲线更为靠近,即 60 s 扫描时,门静脉与腹主动脉的 CNR 相近,可以同时得到清晰的动脉与门脉系统的图像(图 3d)。因此我们是否可以考虑在腹部肿瘤或需要观察腹部动脉的患儿,增强 CT 检查无需进行动脉期扫描,这样可显著减少患儿的辐射剂量。这也是我们下一步的研究重点。CNR 变化曲线,下腔静脉均明显低于其他两套血管系统。这说明对于需要显示静脉系统的病例,在保持上述注药方案的同时,扫描时间应再延长,以获得最佳的静脉血管图像。在本研究中虽然下腔静脉的 CNR 不高,但完全能满足诊断需要。

40 keV 时 CNR 达到峰值,但同时 40 keV 单能量图像也是噪声的最高峰。噪声曲线在 55 keV 陡然下降,因此我们综合考虑 CNR 与噪声变化曲线,得到以下最佳单能量图像。门静脉最佳 CNR 为 (62.0 ± 2.1) keV,腹主动脉最佳 CNR 为 (61.4 ± 1.9) keV,下腔静脉最佳 CNR 为 (60.7 ± 2.0) keV。

结合图像主观评分,60 keV,61 keV,62 keV 单能量图像评分差异无统计学意义。与混合能量图像主观评分相比,两者差异存在统计学意义($P < 0.001$)。因此,需要观察腹部动脉、静脉、门脉系统时,单能量图像质量优于混合能量图像。笔者建议在 60~62 keV 单能量图像中进行观察。此时无论对于大血管显影,还是脏器内血管显影均显示优异(图 3)。这与成人研究结果不同。国外学者推荐 70 keV 为最佳观察图像^[5],国内有学者进行体外实验推荐 55 keV 单能量图像作为最佳图像^[6]。国内人体研究推荐 51 keV 作为观察门静脉的最佳单能量图像^[7]。出现上述差异可能与儿童腹部脂肪总量较成人少,对比剂注入总量亦明显低于成人有关。

在儿科研究领域,国内有学者通过一项 15 例学龄儿资料研究,推荐儿童腹部血管的最佳单能量图像为 42 keV^[8],这也与我们的研究结果不同。从 CNR 随能量变化曲线可知,CNR 变化曲线呈双峰,第一峰出现在 40 keV,这与作者的结论一致,但此时噪声曲线也

位于最高峰值。笔者从 40 keV 单能量图像看(图 3),大血管难以辨别且图像噪声明显,对比锐利,不能满足临床诊断需要。随能量增加,CNR 在 60~65 keV 会出现第二高峰,在此区间内图像主管评分均较高,可满足诊断需要。出现这样的结果可能与该作者只选取 40 keV、50 keV、70 keV 3 个单能量图像进行比较有关^[8]。

本研究的不足之处有二,一是病例数较少,30 例患儿能否精确反映 CNR 的变化规律有待证实。二是增强扫描注药流率、对比剂药量、浓度以及扫描时间不同,均可能导致结果有所变化,因此在与其它研究进行横向对比时缺乏足够的说服力。

总之,依据我们的研究,结合客观指标与主观评分,在学龄儿童能谱 CT 腹部血管造影检查中,我们推荐 60~62 keV 作为最佳单能量图像。

参考文献:

- [1] 张龙敏,刘爱莲,刘义军,等.低浓度对比剂能谱 CT 单能量成像对提高门静脉图像质量的研究[J].放射学实践,2015,30(4):360-363.
- [2] Lifeng Yu, Shuai Leng, Cynthia HM. Dual-energy CT-based monochromatic imaging[J]. AJR, 2012, 199(5): S9-15.
- [3] 沈云. 宝石 CT 能谱成像原理及其扫描射线剂量[J]. 中国医疗设备, 2012, 27(9): 13-16.
- [4] 黄仁军. 能谱 CT 的临床应用与研究进展[J]. 放射学实践, 2015, 30(1): 81-83.
- [5] Yoshitake Yamada, Masahiro Jinzaki, Takahiro Hosokawa, et al. Abdominal CT: an intra-individual comparison between virtual monochromatic spectral and polychromatic 120kVp images obtained during the same examination[J]. Eur J Radiology, 2014, 83(10): 1715-1722.
- [6] 汪洁,王万勤,刘斌,等.体外实验中宝石 CT 能谱成像技术血管成像最佳单能量图像的选择[J]. 中国医学影像技术, 2012, 27(11): 2340-2343.
- [7] Yamin Wan, Zhizhen Li, Nina Ji, et al. Comparison of gastric vascular anatomy by monochromatic and polychromatic dual-energy spectral computed tomography imaging[J]. J International Medical Research, 2014, 42(1): 26-34.
- [8] Di Hu, Tong Yu, Xiaomin Duan, et al. Determination of the optimal energy level in spectral CT imaging for displaying abdominal vessels in pediatric patients[J]. Eur J Radiology, 2014, 83(3): 589-594.

(收稿日期:2015-11-23 修回日期:2016-03-25)