

双能 CT 虚拟平扫技术替代儿童腹部增强 CT 扫描中平扫序列的可行性

谢明叶, 唐世龙, 王浩入, 李婷, 秦津洁, 何玲

【摘要】 目的:探讨儿童腹部双能虚拟平扫图像(VUE)代替真实平扫图像(TUE)的可行性。**方法:**回顾性搜集 136 例接受腹部双能增强 CT 检查的患儿,重建动、静脉期 VUE(VUE-AP、VUE-VP)。比较 TUE、VUE-AP、VUE-VP 3 组图像噪声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、主观评价以及在占位性病变显示方面的表现;分析肝脏、肾脏、竖脊肌、病灶 CT 值在 VUE 和 TUE 间的一致性。**结果:**两组 VUE 图像噪声低于 TUE, CNR 高于 TUE, 主观评分低于 TUE 但均具有诊断价值($P < 0.05$)。VUE 各部位 CT 值低于 TUE($P < 0.05$), 但差异较小(差异均值 < 7 HU), 一致性可以接受。病灶检出率无统计学差异(88.16% vs. 86.84% vs. 88.16%, $P = 0.96, \chi^2 = 0.08$)。VUE 在描述囊性及实性病灶的增强上准确性与 TUE 一致($P > 0.05$)。以 TUE 为标准, VUE 表现病灶的强化特征准确率高($> 92\%$)。腹部多期检查中 VUE 代替 TUE 后辐射剂量可降低约 34.49%。**结论:**儿童腹部双能 CT 的 VUE 图像能够在满足影像诊断需求的前提下降低儿童辐射剂量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 腹部; 儿童

【中图分类号】 R814.42; R323.3; R195.1 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2024)06-0795-07

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.06.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Feasibility of using dual-energy CT virtual un-enhanced technology to replace true un-enhanced sequence in pediatric abdominal enhanced CT XIE Ming-ye, TANG Shi-long, WANG Hao-ru, et al. Department of Radiology, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing Key Laboratory of Pediatrics, Chongqing 400014, China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of dual-energy virtual un-enhanced images (VUE) as an alternative to true un-enhanced images (TUE) of the abdomen in children. **Methods:** 136 children who underwent abdominal enhanced dual-energy CT were retrospectively collected, and arterial phase VUE (VUE-AP) and venous phase VUE (VUE-VP) were reconstructed. The image noise, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), subjective evaluation of images, and the performance in the display of occupying lesions were compared to TUE, VUE-AP, and VUE-VP. The consistency of CT values of liver, kidney, erector spinae, and lesions between VUE and TUE were analyzed. **Results:** The image noise of VUE was lower than that of TUE, CNR was higher than that of TUE, and subjective evaluation was lower than that of TUE but both of them had diagnostic value (all $P < 0.05$). The CT values of all areas of VUE were lower than that of TUE ($P < 0.05$), but the differences were subtle (mean value of the differences was < 7 HU), and the concordance was acceptable. There was no statistically significant difference in lesion detection rate (88.16% vs. 86.84% vs. 88.16%, $P = 0.96, \chi^2 = 0.08$). The accuracy of VUE in describing the enhancement of cystic and solid lesions was consistent with that of TUE ($P > 0.05$). Using TUE as a standard, VUE was highly accurate in enhancement characteristic of lesions ($> 92\%$). The radiation dose can be reduced by about

作者单位: 400014 重庆, 重庆医科大学附属儿童医院放射科/国家儿童健康与疾病临床医学研究中心/儿童发育疾病研究教育部重点实验室/儿科学重庆市重点实验室

作者简介: 谢明叶(1999-), 女, 湖南永州人, 硕士, 主要从事影像技术工作。

通讯作者: 何玲, E-mail: heling508@sina.com

基金项目: 重庆市渝中区基础研究与前沿探索项目(20200155)、重庆市卫生健康委医学(含中医药类)科研项目(2022WSJK026)

34.49% with VUE instead of TUE in abdominal multiphase examination. **Conclusion:** VUE images of dual-energy CT of the abdomen in children can reduce the radiation dose to children while meeting diagnostic imaging needs.

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

增强 CT 检查是儿童腹部病变的常规影像学检查手段,在腹部外伤、腹部肿瘤、泌尿系统疾病等临床诊疗中应用广泛^[1]。然而增强 CT 检查涉及多期扫描,其辐射剂量是平扫的数倍。辐射剂量是影响电离辐射致癌效应发生的关键因素^[2]。与成人相比,儿童对电离辐射更为敏感。随着儿童 CT 检查越来越普遍^[3],如何在满足诊断需要的前提下实现低辐射剂量扫描是儿童腹部增强 CT 检查需要解决的重要问题之一。

以往降低辐射剂量的研究多集中于低管电压扫描、自动管电流调节技术、重建算法优化等^[4-5]。双能 CT 利用其物质分离能力去除对比增强图像中的碘对比剂可重建虚拟平扫图像(virtual un-enhanced images, VUE)^[6],为降低多期扫描辐射剂量提供了新思路。以往研究表明 VUE 有望在多期增强 CT 中代替真实平扫图像(true un-enhanced images, TUE)^[7-9]。但大多数研究均基于成人队列,在儿童中是否同样适用还需要更多相关研究。此外,以往对于 VUE 的研究多围绕动脉期 VUE 展开,缺乏对不同期像 VUE 的研究。然而对于儿童腹部肿瘤患者而言,静脉期 CT 扫描是目前国际上倡导的方案^[10]。因此,研究静脉期虚拟平扫图像对于儿科人群具有十分重要的临床价值。本研究欲通过比较儿童腹部不同期像 VUE 与 TUE 的图像质量以及对病灶的显示能力,探讨 VUE 在多期增强 CT 检查中替代 TUE 的可行性。

材料与方 法

1. 病例资料

回顾性搜集本院 2021 年 9 月至 2022 年 11 月接受全腹部能谱增强 CT 检查的 0~16 岁患儿 136 例。其中男 63 例,女 73 例,年龄范围为 0~15.33 岁,平均年龄为(5.35±4.61)岁,体重范围 1.99~68.00 kg,平均体重(20.82±15.23) kg。其中占位性病变共 54 例,男 25 例,女 29 例,年龄 0~14.5 岁,平均(5.29±4.72)岁,体重范围 1.99~68.00 kg,平均(21.79±17.12) kg。纳入标准:年龄为 0~16 岁;至少接受过一次全腹部能谱增强 CT 检查;平扫期,动脉期,静脉期 3 期扫描资料完整。排除标准:图像具有大量运动伪影影响诊断者;金属植入物致大量金属伪影影响诊断者;扫描体位严重偏向两侧超出双能 CT 处理范围者;临床资料不全者。

2. 扫描方法与图像重建

所有患者的数据来自西门子双源 CT(Somatom Force, Siemens Healthineers, Forchheim, Germany)。双能扫描管电压采用 80/Sn150 kV 组合,管电流采用 CARE DOSE 4D 自动调节,质量参考 mAs 为 250/150 mAs。扫描层厚 5.0 mm,螺距 0.7~1.1;重建层厚 1.0 mm,增量 0.7 mm。对比剂使用威视派克(320 mg I/mL),注射剂量 1.5~2 mL/kg,上限 80 mL。对比剂注射速率 0.5~3.5 mL/s,注射时间 18~22 s。动脉期扫描设置为监测感兴趣区(region of interest, ROI) CT 值达到 180 HU 后延迟 3 s 自动触发,动脉期 35 s 后行静脉期扫描。ROI 置于膈下层面腹主动脉中。对于不配合的患儿予以镇静后检查。

使用 syngo.via 后处理工作站重建动脉期 VUE(VUE-AP)以及静脉期 VUE(VUE-VP),重建时长约 15~20 s,其余后处理方法包括容积再现、多平面重组、曲面重组等。

3. 图像质量评价

客观评价:测量 TUE、VUE-AP、VUE-VP 3 组图像肝 VI 段 CT 值、右侧肾门水平肾脏 CT 值(右肾有病变或者受压时选择健侧)以及同层面左侧竖脊肌 CT 值及标准差(standard deviation, SD)。ROI 勾画面积尽量 $\geq 0.5 \text{ cm}^2$ (由于婴幼儿体型较小,部分患儿肾脏和竖脊肌可能不足 0.5 cm^2),勾画时尽量避开脉管结构、器官边缘及伪影。利用 syngo.via 工作站 Compare 和复制粘贴 ROI 的功能,使 ROI 大小、位置在 VUE 与 TUE 上保持一致(图 1)。取竖脊肌 SD 值作为图像噪声;以竖脊肌 CT 值与竖脊肌 SD 值的比值为图像信噪比(signal to noise ratio, SNR);以肝脏和肾脏的 CT 值差值与竖脊肌 SD 值的比值作为图像对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。所有数据均测量 3 次取平均值以减小误差。

主观评价:由 2 名具有 5 年以上影像阅片经验的放射医师在双盲情况下独立诊断,并对图像质量评分。评分采用 5 分法,评分细则为 5 分:图像质量极好,没有明显伪影,噪声点少,解剖结构及细节、病灶显示清晰。4 分:图像质量较好,存在少量伪影及噪声点,解剖结构及细节、病灶显示清晰。3 分:图像质量一般,存在一定伪影及噪声但不影响诊断,解剖结构可辨认,病灶显示较清晰,基本满足诊断要求。2 分:图像质量较差,伪影及噪声较明显,解剖结构不清晰,细节无法辨认,影响诊断。1 分:图像质量极差,伪影及噪声明



图1 肾脏以及竖脊肌 ROI 勾画示意图。a) TUE; b) VUE-AP; c) VUE-VP。

显,解剖结构无法辨认,无法诊断。3分及以上代表可以诊断。两位医师结果有分歧时一同重新阅片,共同商讨并达成一致意见。

4. 占位性病变评估

测量占位性病灶平扫期、动脉期以及静脉期的CT值(为了保证测量准确性, $<1\text{ mm}$ 的病灶被忽略)。勾画时选取病灶最大层面(多发时选择最大病灶),避开血管、钙化及边缘,选择均匀的部分勾画面积尽量大的ROI。计算病灶在动脉期与静脉期的CT值差值,差值 $\geq 20\text{ HU}$ 则认为病灶有强化^[8]。以增强图像为标准,记录病灶检出率以及病灶强化方式。结合病理结果、超声表现以及静脉期CT图像将病变诊断为实性病灶和囊性病灶。

5. 辐射剂量评估

根据剂量报告记录患儿检查平扫期辐射剂量以及总辐射剂量。剂量参数包括剂量长度乘积(dose length product, DLP)及有效辐射剂量(effective dose, ED)。ED=DLP $\times k$, k 为与年龄相关的腹部特异权重因子,单位为 $\text{mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ 。0~12月: k 取0.049;1~3岁: k 取0.030;3~6岁: k 取0.020;6岁以上: k 取0.015^[11]。

6. 统计学方法

所有统计分析由统计软件SPSS 29.0以及Med-

Calc 20.022完成。定量资料以均值 \pm 标准差(符合正态分布)或者中位数(四分位间距)(不符合正态分布)的形式给出,计数资料以“率”或百分比的形式给出。差值符合正态分布、方差齐性的资料比较采用配对样本 t 检验,否则采用 Wilcoxon 秩和检验进行比较。率的比较使用卡方检验。VUE与TUE的CT值一致性分析采用 Bland-Altman 分析,取均值 ± 1.96 标准差作为95%一致性界限。使用 Kappa 检验对两名医师主观图像评分进行一致性评估。Kappa值 <0.4 表示一致性差;0.4~0.75表示一致性较好; >0.75 代表一致性较好,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

1. VUE与TUE图像质量比较

VUE-AP、VUE-VP两组VUE图像噪声均小于TUE,且具有更高的CNR,图像质量更好。3组间SNR值差异无统计学意义。VUE-AP、VUE-VP间各指标无显著差异(表1)。

两位医师对3组图像评分的一致性较好,TUE评分主要集中在5分,优于两组VUE主观评分,但所有图像评分均 ≥ 3 分,符合诊断要求(表2)。VUE-AP与VUE-VP图像主观评分差异无统计学意义($P=1.00, Z=0.00$)。

表1 两组VUE和TUE图像质量客观参数比较($n=136$)

图像参数	TUE	VUE-AP	VUE-VP	TUE-(VUE-AP)		TUE-(VUE-VP)		(VUE-AP)-(VUE-VP)	
				t/Z	P	t/Z	P	t/Z	P
噪声	15.53 \pm 2.93	14.48 \pm 2.39	14.49 \pm 2.37	4.93	<0.001	4.87	<0.001	-0.18	0.86
SNR	3.80 \pm 0.81	3.70 \pm 0.61	3.68 \pm 0.56	1.04	0.30	1.22	0.22	0.36	0.72
CNR	1.75 \pm 0.54	2.04 \pm 0.58	2.03 \pm 0.57	-6.35	<0.001	-6.06	<0.001	0.18	0.86

注:TUE为真实平扫图像;VUE-AP为动脉期虚拟平扫图像;VUE-VP为静脉期虚拟平扫图像;SNR为信噪比;CNR为对比信噪比。

表2 两组VUE与TUE主观评分比较(例)

组别	评分					合计	M(Q1, Q3)	Z^*	P^*	Kappa
	5	4	3	2	1					
TUE	62	54	20	0	0	136	4(4,5)			0.69
VUE-AP	18	74	44	0	0	136	4(3,4)	-7.09	<0.001	0.66
VUE-VP	20	70	46	0	0	136	4(3,4)	-7.09	<0.001	0.59

注:TUE为真实平扫图像;VUE-AP为动脉期虚拟平扫图像;VUE-VP为静脉期虚拟平扫图像; P^* 、 Z^* 均为与TUE比较结果。

2. 两组 VUE 与 TUE 各部位 CT 值一致性分析

两组 VUE 各部位的 CT 值均低于 TUE, 差异有统计学意义(表 3), 在两组 VUE 之间无统计学意义($P > 0.05$)。但两组 VUE 与 TUE 的差值均值 < 7 HU, 可被临床所接受。在与 TUE 的比较中, 肝脏

和竖脊肌 CT 值一致性优于肾脏(图 2)。

3. 占位性病灶显示能力比较

占位性病变患者共 54 例, 其中肿瘤性占位 37 例, 肝结节 1 例, 卵巢囊肿 2 例, 子宫周围囊肿 2 例, 肾上腺血肿 1 例, 直肠息肉 1 例, 肾囊肿 10 例。以增强图

表 3 各部位 CT 值及比较结果

部位	TUE	VUE-AP	VUE-VP	VUE-AP 与 TUE 比较		VUE-VP 与 TUE 比较		VUE-AP 与 VUE-VP 比较	
				t/Z	P	t/Z	P	t/Z	P
肝脏	66.46±7.32	61.68±7.61	61.29±7.67	-8.59	<0.001	-8.75	<0.001	1.27	0.21
肾脏	39.81±4.27	33.52±3.28	32.90±3.48	-15.79	<0.001	-16.74	<0.001	1.97	0.05
竖脊肌	56.83±4.93	52.41±4.69	52.36±5.11	-8.49	<0.001	-8.73	<0.001	0.17	0.86

注: TUE 为真实平扫图像; VUE-AP 为动脉期虚拟平扫图像; VUE-VP 为静脉期虚拟平扫图像。

表 4 占位性病变的检出率、CT 值及强化方式

参数	TUE	VUE-AP	VUE-VP	相应界值	P
病灶检出率(%)	88.16%(67/76)	86.84%(66/76)	88.16%(67/76)	$\chi^2 = 0.08$	0.96
病灶 CT 值(HU)	28.13±21.11	23.50±17.89	23.56±18.03	$t = 5.93^a$ $t = 5.60^b$	$P < 0.001^a$ $P < 0.001^b$
实性病灶 CT 值[M(Q1, Q3)](n=33)	40.00(36.00, 46.00)	35.00(31.00, 39.50)	34.00(30.50, 40.00)	$Z = 4.16^a$ $Z = 3.76^b$	$P < 0.001^a$ $P < 0.001^b$
囊性病灶 CT 值[M(Q1, Q3)](n=21)	11.00(6.00, 18.00)	6.00(4.00, 14.00)	5.00(4.00, 13.50)	$Z = 3.43^a$ $Z = 3.55^b$	$P = 0.001^a$ $P < 0.001^b$
静脉期病灶强化 ≥ 20 HU(例, %)					
实性病灶(n=33)	30(90.91%)	30(90.91%)	30(90.91%)	$\chi^2 = 0.00$	$P = 1.00$
囊性病灶(n=21)	0(0.00%)	0(0.00%)	0(0.00%)	$\chi^2 = 0.00$	$P = 1.00$
病灶强化方式(例)					
不强化	24	24	24	—	—
渐进性强化	25	25	25	—	—
动脉期与静脉期同等强化	4	4	4	—	—
静脉期强化较动脉期强化降低	1	1	1	—	—

注: TUE 为真实平扫图像; VUE-AP 为动脉期虚拟平扫图像; VUE-VP 为静脉期虚拟平扫图像。^a 基于 TUE 与 VUE-AP 的比较; ^b 基于 TUE 与 VUE-VP 的比较

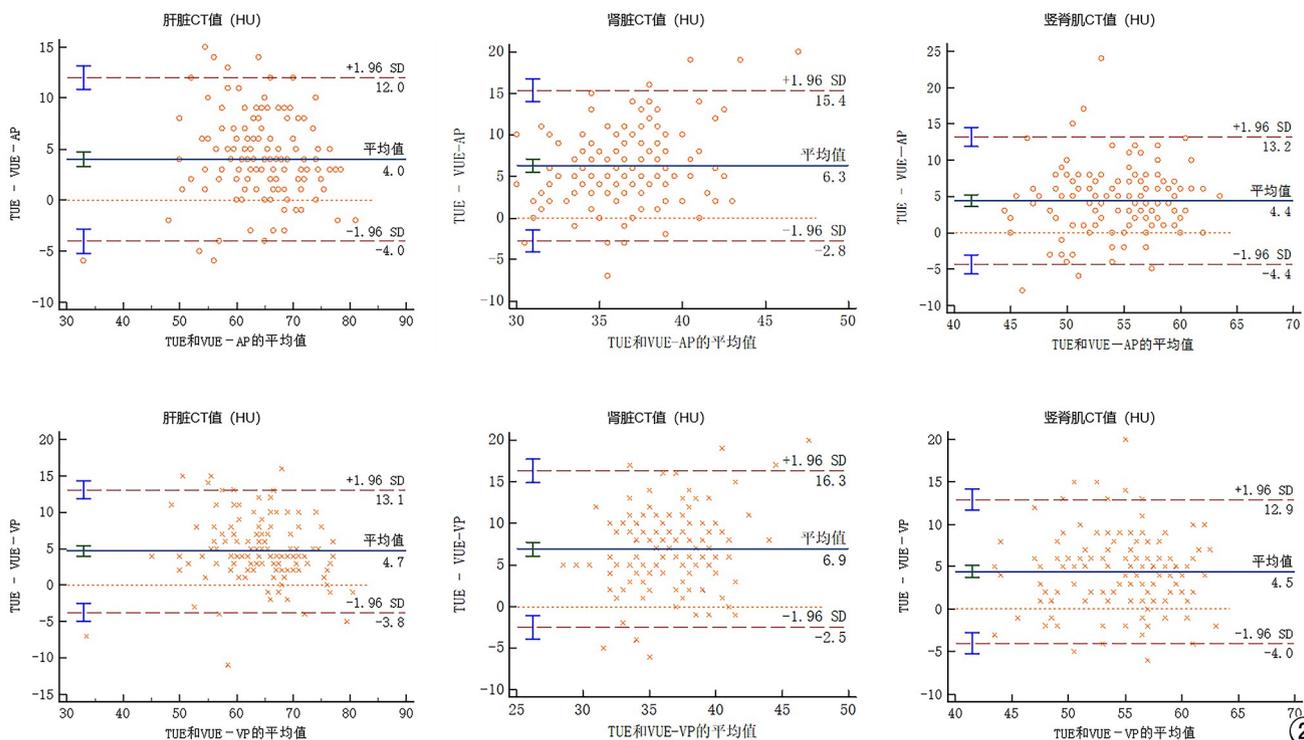


图 2 Bland-Altman 图评估 VUE 与 TUE 各部位测量 CT 值之间的一致性。水平实线表示差值的平均值, 水平虚线表示 95% 一致性界限。注: TUE 为真实平扫图像; VUE-AP 为动脉期虚拟平扫图像; VUE-VP 为静脉期虚拟平扫图像。

像为标准,54例患者共检出病灶76个,3组图像的病灶检出率差异无统计学意义。两组VUE病灶CT值低于TUE($P < 0.01$),差异均值分别为 -4.63 HU、 -4.57 HU。使用VUE能较为准确的描述囊性和实性病灶的CT值以及强化情况(表4)。

54例占位性病变中30例病灶在对比增强期有强化,24例病灶未强化。在以CT差值20 HU为界限判断是否增强时,两组VUE图像对病灶动脉期及静脉期强化表现与TUE较为一致。以TUE为标准,VUE-AP、VUE-VP区分病变动脉期是否有强化的正确率分别为92.59%(50/54)、92.59%(50/54);区分病变静脉期是否有强化的正确率为100%(54/54)、100%(54/54)。然而,与TUE相比,两组VUE均对钙化显示稍显不足,VUE常常会低估钙化大小及CT值(图3),尤其是微小钙化。

4. 辐射剂量比较

使用VUE代替TUE后DLP为(138.58 ± 174.82) mGy·cm,ED为(2.79 ± 2.41) mSv,均低于常规3期扫描总DLP[(211.55 ± 266.25) mGy·cm, $P < 0.001, t = -9.25$]与ED[(4.24 ± 3.67) mSv, $P < 0.001, t = -13.23$]。VUE代替TUE后可使辐射剂量较常规3期扫描降低约34.49%。

讨论

增强CT检查作为腹部疾病的诊断、鉴别诊断及随访的常规检查手段之一,在儿童中也应用广泛^[1]。然而增强CT往往辐射剂量较大,是医源性辐射的主要来源之一。儿童由于细胞分裂活跃,对电离辐射更为敏感。且因其年龄小,受辐射伤害的隐患时间更长^[12]。因此,儿童CT检查中尤其是辐射剂量较高的增强CT检查中尽可能地降低儿科人群在检查中的辐射暴露水平尤为重要。双能CT的虚拟平扫技术可以从对比增强图像中重建虚拟平扫图像,减少扫描期像。这有助于避免重复扫描,降低患者辐射暴露水平。本研究结果显示在腹部常规3期增强CT中使用双能CT虚拟平扫技术替代平扫序列可使患儿辐射剂量降

低约34.49%,可大大降低患儿的辐射暴露水平。

VUE能否代替TUE,关键在于VUE的图像质量能不能达到诊断要求,以及VUE是否对病变进行准确描述。林禹等^[13]学者通过评估肝脏3期VUE,认为VUE质量能满足诊断要求。与TUE相比,VUE噪声低、SNR值高。另一项关于肾癌患者的研究也有相似结论:VUE的噪声、SNR、CNR值均显著优于TUE^[14]。本研究结果同样显示与TUE相比,VUE噪声更低、CNR更高,但二者SNR值间并无显著差异。本研究中VUE各脏器的CT值与TUE相比偏低。据SNR值计算公式(竖脊肌CT值/竖脊肌SD值),CT值的降低会导致SNR值的降低。这可能是本研究中VUE在SNR上无显著优势的原因。主观评价中虽然VUE评分略低于TUE,但所有图像都能够满足诊断要求,且在评估病灶时表现良好。VUE主观评分较低原因可能是脂肪在VUE中会显示更高的CT值^[15]。器官周围脂肪间隙CT值偏高,会影响器官边缘显示主观印象,导致VUE主观评分较TUE低。

Meyer等^[8]学者对293名患者的肾脏VUE图像进行了研究,发现VUE在描述肾脏病变特征上与TUE具有很高的一致性,尽管VUE在判断病灶强化方面诊断性能有所降低,这与本研究结果一致。本研究对VUE在54例患儿的病变显示能力进行了研究,结果表明VUE对病灶的描述比较准确。病灶的强化特征常常是疾病诊断以及良恶性鉴别的重要影像依据之一,正确描述病灶强化情况是TUE应用于临床的必要条件之一。本研究中VUE可以较为准确地描述病灶强化特征。两组VUE描述占位性病灶动脉期增强情况的正确率达到92.59%,对静脉期强化情况的正确率则达到100%。由于两组VUE的病灶CT值较TUE稍低,导致与病灶动脉期CT差值增大出现4例假阳性结果,分别为1例肝血管瘤,1例肾母细胞瘤,1例B淋巴瘤母细胞淋巴瘤以及1例腹膜后神经母细胞瘤。这4例病灶强化方式均为渐进性强化,结合静脉期强化情况,使用TUE仍然可以准确诊断。病灶检



图3 1例神经母细胞瘤患儿。a) TUE对于肿瘤内钙化的显示(箭); b) VUE-AP对于肿瘤内钙化的显示(箭); c) VUE-VP对于肿瘤内钙化的显示(箭)。

出率上两组 VUE 与 TUE 之间无差异,且两者病灶 CT 值一致性较高(差异均值低于 5 HU)。VUE 对于钙化显示不足可能与钙通常不作为双能 CT 材料分解的基物质有关^[16]。肿瘤内钙化是部分肿瘤诊断与鉴别诊断的重要影像学依据,VUE 对钙化显示不足也是在本研究中影响对占位性病变诊断的主要原因之一。实际诊断中疾病的诊断不只依靠平扫期,绝大多数的钙化情况能从后续期像(如延迟期像)上得到准确评估。

对于 VUE 图像与 TUE 图像的 CT 值一致性结果仍有争议,许多学者表示 VUE 与 TUE 在 CT 值的差异较高,应用需要谨慎考虑^[17-19]。Popnoe 等^[17]学者研究了 60 例胰腺癌患者的 VUE 图像,发现在含高钙与碘的组织中,VUE 的 CT 值与 TUE 差异较大(差异均值 >10 HU)。另一项关于肾上腺病变的研究也同样表示 VUE 与 TUE 的 CT 值差异足以影响富脂腺瘤诊断的敏感性与特异性^[19]。但 Jamali 等^[20]学者研究 295 例患者的腹部 VUE 后表示 VUE 在不同的腹部组织中与 TUE 具有良好的一致性,可代替 TUE。研究结果差异可能与研究人群之间的体型或者体重差异、不同扫描仪间的差异以及扫描参数设置间的差异有关。本研究中 TUE 图像与 VUE 各部位 CT 值一致性较好,Bland-Altman 散点图 95% LOA 界外数据较少,差异均值为 4.0~6.9 HU,其中富含碘对比剂的肾脏的 CT 值差异最大。但本研究结果显示 VUE 肾脏 CT 值更低,这点与其他学者结论不同。这可能与研究使用的双能 CT 扫描仪不同有关。VUE 在射线衰减方面因扫描仪的类型不同而存在差异,并且这种扫描仪间的差异受到碘存在的显著影响。碘分离消除方面本研究使用的第三代双源 CT 表现更好,抑碘不完全带来的影响将会更小^[21]。研究中各组织 CT 值不准确的问题可能与双能成像的散射线有交叉,不能做到完全能谱分离,导致双能 CT 识别、去除碘不完全准确有关^[22]。虽然 VUE 各部位 CT 值较 TUE 降低,但在病变特征的描述上与 TUE 一致性较高。在描述实性病灶与囊性病灶的强化上,VUE 的表现与 TUE 一致。

本研究结果显示,VUE-AP、VUE-VP 两组图像在各部位 CT 值、各客观评价指标以及主观评分上的差异均无统计学意义。在占位性病变的表现中也较为相似。说明二者图像质量并无显著差异,都可以作为 TUE 的替代选项。

本研究的局限性:①研究样本量较小,需扩大样本量进一步研究。②本研究仅对占位性病变的显示能力作了比较,未能对 VUE 在不同类型疾病中的价值进行分类研究。③未进一步对 VUE 在钙化显示、检出

率等方面进行研究。

综上所述,儿童腹部多期 CT 检查中 VUE 可以提供各部位及病灶较为准确的 CT 值,且图像质量较好。虽然在图像主观评价略低于 TUE,但对病灶描述较为准确。儿童腹部多期检查中尤其是须多次检查和随访的患儿中,VUE 具有代替 TUE,降低儿童辐射剂量的潜力。但在对疾病钙化灶进行评估时,需要考虑到 VUE 对钙化的显示受限,结合其余期像综合诊断。

参考文献:

- [1] Kaiser S, Finnogason T, Jorulf HK, et al. Suspected appendicitis in children: diagnosis with contrast-enhanced versus nonenhanced helical CT[J]. *Radiology*, 2004, 231(2): 427-433.
- [2] Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study[J]. *Lancet*, 2012, 110(5): 450-451.
- [3] Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, et al. The use of computed tomography in pediatrics and the associated radiation exposure and estimated cancer risk[J]. *JAMA Pediatr*, 2013, 167(8): 700-707.
- [4] 殷小平, 左紫薇, 徐英进, 等. 自动协议选取能谱联合自适应迭代算法重建技术降低腹部增强及血管成像辐射剂量及对比剂剂量的可行性[J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(4): 603-607.
- [5] Higaki T, Nakamura Y, Fukumoto W, et al. Clinical application of radiation dose reduction at abdominal CT[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 111(2): 68-75.
- [6] McCollough CH, Leng S, Yu L, et al. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications[J]. *Radiology*, 2015, 276(3): 637-653.
- [7] 付蓝琦, 潘馨梦, 刘思佳, 等. 双层探测器光谱 CT 虚拟平扫替代常规平扫评估甲状腺结节的可行性分析[J]. *放射学实践*, 2022, 37(3): 302-306.
- [8] Meyer M, Nelson RC, Vernuccio F, et al. Virtual unenhanced images at dual-energy CT: influence on renal lesion characterization[J]. *Radiology*, 2019, 291(2): 381-390.
- [9] 吴亚莉, 魏伟安, 易婷. 能谱 CT 虚拟平扫在儿童肝肿瘤中的应用价值[J]. *放射学实践*, 2022, 37(5): 616-620.
- [10] Srinivasan A, Parikh A, Pace E, et al. Imaging of pediatric abdominal soft tissue tumors: A COG diagnostic imaging committee/SPR oncology committee white paper[J]. *Pediatr Blood Cancer*, 2023, 70(Suppl 4): e30341.
- [11] Deak PD, Smal Y, Kalender WA. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product[J]. *Radiology*, 2010, 257(1): 158-166.
- [12] Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998[J]. *Radiat Res*, 2007, 168(1): 1-64.
- [13] 林禹, 张潇潇, 张有彬, 等. 双层探测器光谱 CT 虚拟平扫应用于肝脏三期增强扫描[J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36(S1): 29-33.
- [14] Ma G, Han D, Dang S, et al. Replacing true unenhanced imaging in renal carcinoma with virtual unenhanced images in dual-energy spectral CT: a feasibility study[J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(1): 81.

- e21-81.e27
- [15] Ananthakrishnan L, Rajiah P, Ahn R, et al. Spectral detector CT-derived virtual non-contrast Images; comparison of attenuation values with unenhanced CT[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(3):702-709.
- [16] Siegel MJ, Ramirez-Giraldo JC. Dual-energy CT in children; imaging algorithms and clinical applications[J]. *Radiology*, 2019, 291(2):286-297.
- [17] Popnoe DO, Ng CS, Zhou S, et al. Comparison of virtual to true unenhanced abdominal computed tomography images acquired using rapid kV-switching dual energy imaging[J]. *PLoS One*, 2020, 15(9):e0238582.
- [18] Sahni VA, Shinagare AB, Silverman SG. Virtual unenhanced CT images acquired from dual-energy CT urography; accuracy of attenuation values and variation with contrast material phase[J]. *Clin Radiol*, 2013, 68(3):264-271.
- [19] Cao J, Lennartz S, Parakh A, et al. Dual-layer dual-energy CT for characterization of adrenal nodules; can virtual unenhanced images replace true unenhanced acquisitions? [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46(9):4345-4352.
- [20] Jamali S, Michoux N, Coche E, et al. Virtual unenhanced phase with spectral dual-energy CT: is it an alternative to conventional true unenhanced phase for abdominal tissues? [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2019, 100(9):503-511.
- [21] Lennartz S, Pisuchpen N, Parakh A, et al. Virtual unenhanced images; qualitative and quantitative comparison between different dual-energy CT scanners in a patient and phantom study[J]. *Invest Radiol*, 2022, 57(1):52-61.
- [22] Takahashi N, Hartman RP, Vrtiska TJ, et al. Dual-energy CT iodine-subtraction virtual unenhanced technique to detect urinary stones in an iodine-filled collecting system; a phantom study[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 190(5):1169-1173.
- (收稿日期:2023-05-11 修回日期:2023-09-05)

欢迎订阅 2024 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已 39 周年。遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序,《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志再次入选 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、中国科技核心期刊、中国高质量科技期刊分级目录临床医学领域医学影像学期刊,并在中国学术期刊分区中位列 Q1 区。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册 25 元,全年定价 300 元。

国内统一刊号:ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号:38-122

电话:(027)69378385

E-mail:fsxsjzz@163.com 网址:http://www.fsxsj.net

编辑部地址:430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋