

双层探测器光谱CT虚拟平扫在儿童胸部CT增强扫描中的应用

刘晓静, 吴红英, 马金强, 雷子乔, 余建明

Application of Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography Virtual Non-contrast Scanning in Enhanced Chest Computed Tomography for Children

LIU Xiaojing, WU Hongying, MA Jinqiang, LEI Ziqiao, and YU Jianming

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.123>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

儿童新型冠状病毒奥密克戎毒株感染的胸部CT影像特点

Chest Computed Tomography Imaging Features of Novel Coronavirus Omicron Strain Infection in Children

CT理论与应用研究. 2023, 32(3): 347–355

亚实性肺腺癌能谱CT虚拟平扫效果的研究

Study of Energy Spectrum CT Virtual Non-contrast in Subsolid Lung Adenocarcinoma

CT理论与应用研究. 2019, 28(1): 81–90

基于子空间投影和边缘增强的低剂量CT去噪

Low-dose CT Denoising Based on Subspace Projection and Edge Enhancement

CT理论与应用研究. 2022, 31(6): 721–729

儿童气管性支气管微剂量MSCT诊断及分型研究

Study on the Diagnosis and Classification of Tracheobronchial Micro Dose MSCT in Children

CT理论与应用研究. 2020, 29(2): 203–209

iDose4迭代重建在AIDS合并PJP患者胸部低剂量CT扫描中的应用研究

Application of iDose4 Iterative Reconstruction on Low Dose CT Scanning in AIDS Patients with PJP

CT理论与应用研究. 2020, 29(2): 195–202

双源CT双能量虚拟平扫对直肠癌壁外血管侵犯的诊断价值

Diagnostic Value of Dual-source CT Dual-energy Virtual Non-contrasting Extramural Vascular Invasions of Rectal Cancer

CT理论与应用研究. 2024, 33(1): 42–48



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘晓静, 吴红英, 马金强, 等. 双层探测器光谱 CT 虚拟平扫在儿童胸部 CT 增强扫描中的应用[J]. CT 理论与应用研究 (中英文), 2024, 33(6): 709-716. DOI:10.15953/j.ctta.2024.123.

LIU X J, WU H Y, MA J Q, et al. Application of Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography Virtual Non-contrast Scanning in Enhanced Chest Computed Tomography for Children[J]. CT Theory and Applications, 2024, 33(6): 709-716. DOI:10.15953/j.ctta.2024.123. (in Chinese).

双层探测器光谱 CT 虚拟平扫在儿童胸部 CT 增强扫描中的应用

刘晓静^{1,2}, 吴红英^{1,2}, 马金强^{1,2}, 雷子乔^{1,2}, 余建明^{1,2}

- 华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科, 武汉 430022
- 分子影像学湖北省重点实验室, 武汉 430022

摘要: 目的: 讨论双层探测器光谱 CT (DLCT) 虚拟平扫 (VNC) 技术在儿童胸部 CT 增强检查中应用的可行性。方法: 回顾性分析我院在双层探测器光谱 CT 上扫描的 51 例儿童增强胸部 CT 影像数据及临床资料。对每例原始图像采取相同方案进行处理: 分别利用静脉期光谱基数据 (SBI) 进行投影空间光谱重建得到 VNC 图像, 并和常规真实平扫 (TNC) 图像从图像质量和辐射剂量两方面进行比较: 选用两位高年资影像诊断医生分别在两组影像上测量肺动脉干、胸主动脉干、竖脊肌、肺部组织、胸壁皮下脂肪的 CT 值和 SD 值, 计算相应影像的信噪比 (SNR) 和对比度噪声比 (CNR), 分别记录平扫期、动脉期、静脉期的辐射剂量; 对两组图像运用 5 分法进行主观评分, 采用 Kappa 检验分析两位医师对两种图像主观评价的一致性, 采用 Mann-Whitney U 检验比较两种图像的图像质量的主观评分; 运用配对样本 *t* 检验对组间图像质量和辐射剂量进行客观统计学分析。结果: 图像质量客观评价中各结构的 SNR、CNR 及主观评分两组之间无明显统计学差异, TNC 组和 VNC 组的主观图像评分中位数均为 4 分; VNC 组有效剂量长度乘积 (DLP) (298.14 ± 119.40) mGy·cm 和有效辐射剂量 (ED) (4.27 ± 1.34) mSv 均显著低于 TNC 组的 DLP (437.31 ± 178.28) mGy·cm 和 ED (6.26 ± 2.00) mSv, VNC 组两期扫描相比 TNC 组 3 期扫描 DLP 降低了 31.82%, ED 降低了 31.79%。结论: 将光谱 CT 虚拟平扫 VNC 图像用于儿童胸部增强扫描中以替代常规平扫期 TNC 图像, 有较好的图像质量用于诊断, 并能够显著降低辐射剂量。

关键词: 光谱 CT; 虚拟平扫; 低剂量; 儿童; 胸部增强

DOI:10.15953/j.ctta.2024.123

中图分类号: R 814.42; R 815

文献标识码: A

在儿童胸部增强 CT 检查中, 降低辐射剂量是当前的研究热点。为了达到这一目标, 通常采用降低管电压、管电流或应用自动管电压、管电流调制技术, 以及引入迭代重建等方法^[1-2], 这些策略的单独使用或者联合运用有效减少了患者的辐射剂量。随着光谱 CT 技术的进步, 双层探测器光谱 CT (dual-layer spectral detector CT, DLCT) 的虚拟平扫 (virtual non-contrast, VNC) 技术提供了一种新的选择, 通过利用增强图像的光谱基数据 (spectral base images, SBI), 采用投影空间光谱重建方法获取 VNC 图像, 而无需进行常规平扫 (true non-contrast, TNC)^[3], 这种方法使得常规 3 期扫描减少为两期, 显著降低了患者的辐射剂量。有研究表明, 在 DLCT 上利用静脉期光谱基 SBI 数据重建的 VNC 图像优于动脉期的 VNC 图像质量^[4]。

本研究拟通过回顾性分析, 利用在我院飞利浦 iQon Spectral 光谱 CT 上获取的儿童胸部增强检查中的每一例静脉期 SBI 数据进行光谱 VNC 图像的重建。同时, 将这些重建的 VNC 图像与同一患者的常规 TNC 图像进行对比, 评估图像质量及辐射剂量的差异。通过这两方面的比较, 探讨利用虚拟平扫 VNC 替代常规平扫 TNC 在儿童胸部增强扫描中降低辐射剂量的可行性。

1 资料和方法

1.1 临床资料

回顾性分析我院 2020 年 7 月至 2024 年 5 月期间的 51 例在飞利浦 iQon Spectral 光谱 CT 扫描

收稿日期: 2024-07-03。

的儿童胸部增强扫描图像数据及临床资料, 其中包含 30 例男性和 21 例女性, 年龄范围为 0~15 岁, 平均年龄 (10.5 ± 3.5) 岁, 身体质量指数 (body mass index, BMI) 平均为 (17.5 ± 2.2) kg/m^2 。

病例中 12 例正常, 19 例肺部感染, 7 例肺部结节, 5 例胸腔积液, 3 例支气管炎, 2 例术后改变, 2 例肺部纤维灶, 1 例肺隔离征。

1.2 检查方法

采用飞利浦 iQon Spectral 双层探测器光谱 CT, 患者取足先进、仰卧位, 进行多层探测器能谱模式扫描, 扫描范围自胸廓入口至膈底水平。扫描参数设置: 120 kVp, 使用自动管电流调制技术, DRI 指数 (dose right index, DRI) 设为 21; 探测器宽度 40 mm (64×0.625 mm), 螺距 1.383, 转速 0.27 s/r, 矩阵 512×512 。所有患者采用 3 期扫描模式 (真实平扫 TNC 期、动脉期、静脉期) 进行扫描。

对比剂使用方法: 使用 Ulrich 高压注射器注射优维显 300 mgI/mL 的对比剂。先行常规平扫, 随后再行两期增强扫描: 对比剂 1.0 mL/kg, 生理盐水 20 mL, 流速 1.0~1.5 mL/s, 采用团注示踪法, 监测 ROI 置于支气管分叉水平升主动脉层面, 触发阈值 150 HU, 触发后延迟 5 s 扫描动脉期, 延迟 30 s 扫描静脉期^[5]。所有患者优先选择语音呼吸指令模式, 对于不能配合语音指令的患者则采取自由呼吸下扫描。两期增强扫描范围同平扫范围保持一致, 扫描后自动生成剂量报告并进行记录。

对照组 (常规平扫 TNC 组) 定义: 常规 3 期扫描模式, 即先进行常规平扫期 (TNC) 扫描, 随后再行两期相同范围的增强扫描, 所有扫描均采用光谱扫描、重建模式, 层厚及层间距 5 mm。

实验组 (虚拟平扫 VNC 组) 定义: 两期扫描模式, 即除去常规 3 期扫描中真实平扫 TNC 期外的两期同范围的动脉期和静脉期的增强两期扫描。利用对照组获取的静脉期光谱基 SBI 数据进行投影空间光谱重建 (Spectral, level 4) 获得虚拟平扫 VNC 纵隔窗、肺窗图像用以替代常规平扫 TNC 期图像。

1.3 图像后处理

将每位患者的薄层和 SBI 数据导入 Philips Spectral Diagnost Suite 10.0 图像处理工作站进行处理和分析, 所有患者数据均采用下列处理方法。

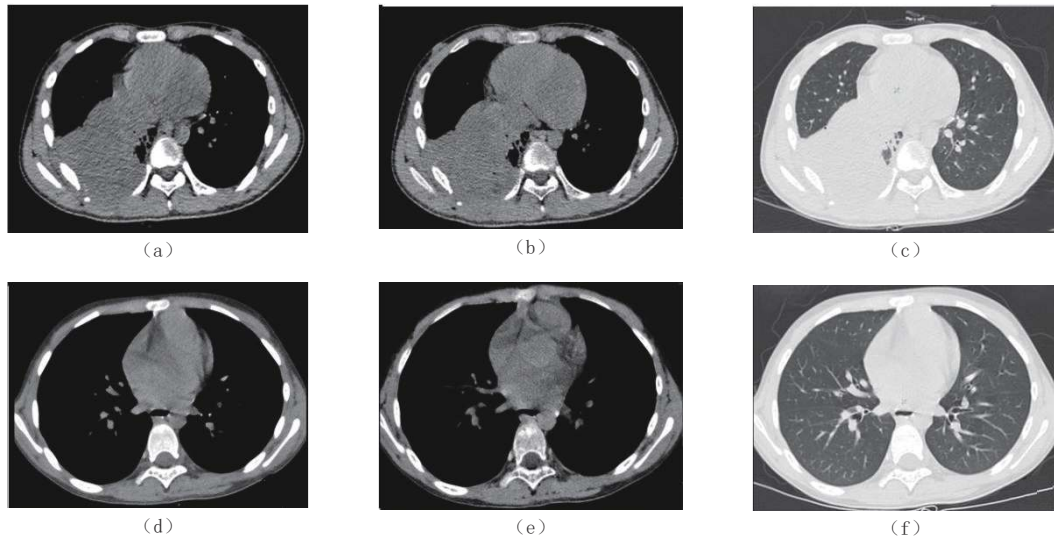
常规平扫 TNC 组: 平扫期、动脉期和静脉期均采用混合迭代重建模式 (iDose⁴, level 4) 进行纵隔窗、肺窗重建, 重建层厚 1.5 mm, 重建间隔 1.0 mm。虚拟平扫 VNC 组: 动脉期、静脉期均采用混合迭代重建模式 (iDose⁴, level 4) 进行纵隔窗重建, 平扫期利用静脉期光谱基 SBI 数据进行投影空间光谱重建 (Spectral, level 4) 获得虚拟平扫 VNC 纵隔窗、肺窗图像代替常规平扫 TNC 期图像 (图 1)。两组各期图像重建层厚 1.5 mm, 重建间隔 1.0 mm, 纵隔窗窗宽 400 HU, 窗位 50 HU, 肺窗窗宽 1600 HU, 窗位 -600 HU。

1.4 图像质量评价

(1) 客观评价。一名具有 10 年诊断资质的医师在动脉期增强图上勾画感兴趣区 (region of interest, ROI), 选择肺动脉干、主动脉干、肺组织、竖脊肌及胸壁皮下脂肪组织和空白处的相同横截面及上下相邻 3 个层面图像, ROI 尽量接近组织区域的最大横截面, 并尽量避开明显血管、钙化、囊变和坏死的区域。在 TNC 和 VNC 组相同层面的图像中, 保持每个 ROI 的大小高度一致, 并根据需要手动调整和校正增强期和 TNC 平扫期图像之间的呼吸运动差异。测量每个 ROI 上的平均 CT 值和标准差 (standard deviation, SD), 将相邻 3 个层面的测量结果取平均值作为每个 ROI 的最终测量结果, 计算每个 ROI 的 SNR 和 CNR。其中 SNR 定义为 $\text{CT 值}_{(\text{组织})} / \text{SD 值}_{(\text{组织})}$, CNR 定义为 $(\text{CT 值}_{(\text{组织})} - \text{CT 值}_{(\text{竖脊肌})}) / \text{SD 值}_{(\text{胸壁皮下脂肪})}$ 。

(2) 主观评价。由两名具有 10 年诊断经验的医师使用双盲法对常规平扫 TNC 组和虚拟平扫 VNC 组的图像进行评估, 并按 5 级评分标准^[6]打分。如果两位医师的评分存在分歧, 则通过讨论达成一致。评分标准: 1 分: 图像质量极差, 噪声大, 解剖结构和病灶显示不清, 无法诊断; 2 分: 图像质量较差, 噪声较多, 解剖结构和病灶部分模糊, 不满足诊断要求; 3 分: 图像质量一般, 噪声中等, 解剖结构和病灶可区分, 尚能诊断; 4 分: 图像质量良好, 噪声较少, 解剖结构和病灶细节显示较好; 5 分:

图像质量极好,无噪声,解剖结构和病灶显示清晰。评分达到 3 分及以上即认为满足诊断要求。



注: (a)~(c)图分别为右侧胸腔肿瘤儿童增强扫描的 TNC、VNC、VNC 肺窗影像; (d)~(f)图分别为正常儿童增强扫描的 TNC、VNC、VNC 肺窗影像。

图 1 TNC、VNC、VNC 肺窗图像

Fig.1 TNC, VNC, and VNC lung window images

1.5 辐射剂量计算

胸部增强常规剂量。扫描完成后自动生成各期 CT 容积剂量指数 (volume CT dose index, CTDIvol) 和总剂量长度乘积 (dose length product, DLP), 虚拟平扫 VNC 组 $DLP_{VNC} = DLP_{总} - DLP_{平扫期}$ 。计算有效剂量 (effective dose, ED), 常规平扫 TNC 组 $ED_{TNC} = DLP_{总} \times K$, 虚拟平扫 VNC 组有效剂量 $ED = \text{虚拟平扫 VNC 组 } DLP_{VNC} \times K$, K 为转换因子, 参照国标关于 X 射线诊断中受检者器官剂量的估算方法, 在儿童胸部 CT 扫描时 $K = 0.026$ (1 岁)、 $K = 0.018$ (5 岁)、 $K = 0.013$ (10 岁)^[7-8]。

1.6 统计学方法

采用 SPSS 24.0 软件进行数据处理和分析。计量数据以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 使用 S-W 检验计量数据是否服从正态分布, 通过一致性 kappa 检验分析两位医生对常规平扫 TNC 组和虚拟平扫 VNC 组图像主观评分结果的一致性; 计数资料以率 (%) 表示, 采用 χ^2 检验; 使用 Mann-Whitney U 检验比较两种图像的主观评分, 并通过配对样本 t 检验对组间图像质量客观评价和辐射剂量进行统计分析。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量评价

2.1.1 客观评价

TNC 及 VNC 影像上各兴趣区的 CT 值比较: 两组影像除空白处 ROI 外, VNC 影像上肺动脉干、胸主动脉、肺组织、竖脊肌及胸壁皮下脂肪的 CT 值均略高于 TNC 影像, 除胸部皮下脂肪 CT 值外, 其余 ROI 两者间差异均无统计学意义; TNC 及 VNC 影像上各兴趣区的背景噪声 SD 比较: 两组影像除空白处 ROI 外, VNC 影像上肺动脉干、胸主动脉干、肺组织、竖脊肌的背景噪声 SD 值均高于 TNC 图像, 除肺动脉干以外, 其余各兴趣区两组图像间差异无统计学意义; TNC 及 VNC 影像上各兴趣区 SNR 和 CNR 值的比较: 两种影像中肺动脉干、胸主动脉、肺组织、竖脊肌、胸部皮下脂肪的 SNR、CNR 值差异均无统计学意义 (表 1)。

表 1 TNC 和 VNC 两组图像的客观测量指标比较 ($n=51, \bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of Objective Measurement Metrics between TNC and VNC Image Groups ($n=51, \bar{x} \pm s$)

观测指标	区域	组别		统计检验	
		TNC	VNC	t	p
CT 值	竖脊肌	50.31 ± 6.82	51.47 ± 6.84	-1.052	0.298
	肺动脉干	38.98 ± 21.89	40.24 ± 11.58	-0.364	0.717
	主动脉干	40.07 ± 20.86	44.63 ± 13.09	-1.453	0.152
	胸部皮下脂肪	-103.81 ± 20.88	-95.26 ± 24.15	-3.846	0.000
	空白处	-995.24 ± 14.21	-995.38 ± 15.37	0.152	0.880
	肺组织	-803.13 ± 80.74	-796.22 ± 80.22	-0.676	0.502
SD 值	竖脊肌	13.58 ± 4.78	13.66 ± 7.11	-0.082	0.935
	肺动脉干	9.91 ± 3.13	11.31 ± 3.63	-4.091	0.000
	主动脉干	11.67 ± 3.88	12.17 ± 4.082	-1.153	0.254
	胸部皮下脂肪	14.38 ± 8.04	17.62 ± 24.54	-0.949	0.347
	空白处	15.91 ± 21.27	15.83 ± 15.69	0.050	0.960
	肺组织	47.03 ± 41.05	50.09 ± 40.91	-0.389	0.699
SNR	竖脊肌	4.16 ± 1.50	4.44 ± 1.84	-1.088	0.282
	肺动脉干	4.28 ± 2.29	3.92 ± 1.74	1.034	0.306
	主动脉干	3.68 ± 1.71	3.99 ± 1.68	-1.043	0.302
	胸部皮下脂肪	-9.22 ± 4.69	-8.41 ± 5.45	-1.448	0.154
	空白处	-106.43 ± 54.42	-89.25 ± 35.07	-2.922	0.005
	肺组织	-31.03 ± 21.68	-28.74 ± 21.29	-0.682	0.499
CNR	竖脊肌	-	-	-	-
	肺动脉干	0.98 ± 1.34	1.03 ± 1.62	0.234	0.816
	主动脉干	0.92 ± 1.43	0.72 ± 1.65	-0.712	0.479
	胸部皮下脂肪	13.43 ± 6.15	12.82 ± 8.03	-0.725	0.472
	空白处	-	-	-	-
	肺组织	72.48 ± 29.82	72.10 ± 39.17	0.088	0.930

注: TNC 为真实平扫图像; VNC 为虚拟平扫图像; SD 为背景噪声; SNR 为信噪比; CNR 为对比度噪声比。

2.1.2 主观评价

51 例患者数据经双盲法 5 分制评分法得到评分统计数据, 利用 kappa 检验两名医师对两组图像评分的一致性, 常规平扫 TNC 组和虚拟平扫 VNC 组图像质量评分中位数为均为 4, 结果显示两名医师对两组图像评分具有高度一致性 ($kappa=0.859$ 和 0.829) (表 2)。

表 2 主观评价一致性 kappa 分析表
Table 2 Kappa analysis for subjective evaluation consistency

组别	评分标准	评分		统计检验	
		医师 A	医师 B	k	P
TNC 组	3	1	1	0.859	0.00
	4	37	36		
	5	13	14		
VNC 组	3	1	1	0.829	0.00
	4	35	33		
	5	15	17		

经 S-W 检验以及直方图结果显示, 评分数据不服从正态分布, 因此对两组评分数据采用 Mann-Whitney U 检验。由表 3 可知, 统计量 $Z=-0.460$, $P=0.645>0.05$, 说明两位医师对图像的评分

差异没有统计学意义，即在双侧 $\alpha = 0.05$ 的检验水准下，TNC 组和 VNC 组两组图像质量评分一致性较高，常规平扫 TNC 组和虚拟平扫 VNC 组两组图像质量评分差异没有统计学意义。

表 3 两组图像评分差异
Table 3 Differences in image scores between the two groups

	TNC 组 ($n = 51$)	VNC 组 ($n = 51$)	Z	P
图像质量评分	4 (4, 5)	4 (4, 5)	-0.460	0.645

2.2 虚拟平扫 VNC 组与常规平扫 TNC 组两组间的剂量比较

两组剂量数据服从正态分布，使用配对样本 t 检验，虚拟平扫 VNC 组 DLP (298.14 ± 119.40) mGy·cm 和 ED (4.27 ± 1.34) mSv 均显著低于常规 TNC 平扫组的 DLP (437.31 ± 178.28) mGy·cm 和 ED (6.26 ± 2.00) mSv，虚拟平扫 VNC 组较常规平扫 TNC 组 DLP 降低 31.82%、ED 降低 31.79%；两组剂量参数间的差异均有统计学意义 (表 4)。

表 4 虚拟平扫组和常规平扫组剂量的差异 ($n = 51, \bar{x} \pm s$)
Table 4 Differences in dose between the two groups ($n = 51, \bar{x} \pm s$)

项目	组别		统计检验	
	TNC 组	VNC 组	t	p
DLP/ (mGy·cm)	437.31 ± 178.28	298.14 ± 119.40	15.95	0.00
ED/mSv	6.26 ± 2.00	4.27 ± 1.34	19.85	0.00

3 讨论和结论

基于儿童所受辐射剂量的考虑，在儿童胸部增强中临床总是在不断探索新的方式和方法以实现剂量的大幅度降低。本研究的开展得益于双层探测器光谱 CT 虚拟平扫 VNC 技术，此技术与其他能谱 CT 不同之处在于：它使用一个 X 线球管和两层探测器进行影像采集。上、下两层探测器分别采集高、低两种能量的数据，同时确保时间和空间上的完美契合，避免不同能量射线之间的相互干扰，保证了数据的精度^[9]，真正意义上实现了“同时、同源、同向、同步”成像^[10]。VNC 虚拟平扫是 DLCT 的后处理算法之一，它基于增强图像算法，通过选择性地从软组织中抑制碘对比剂并进行能量重建，模拟出平扫影像^[11-12]。在 DLCT 中，VNC 技术对碘对比剂有良好的抑制作用，并能与 TNC 影像保持高度一致，从而可以替代 TNC 影像进行定性诊断^[13-14]。

儿童进行 CT 检查时，需要高度配合。对于年龄太小的儿童，通常使用水合氯醛麻醉等方式进行催眠检查。对于轻微躁动的儿童，如果常规平扫因运动伪影导致采集失败，可以通过 VNC 虚拟平扫技术直接从增强期 SBI 数据重建出 VNC 虚拟平扫图像用于诊断。这种方法避免了由于儿童躁动导致的检查失败和重复扫描，减少了再次催眠的麻醉负担以及减少了重复 CT 扫描时的辐射剂量和造影剂用量。

动脉期病灶及上腔内和主动脉内高浓度团注的造影剂形成的放射状伪影，在 VNC 图像上可能因为碘抑制不足从而行成放射状低密度伪影，从而影响影像诊断。这种影响很大程度上与迭代重建算法有关，有研究表明这种算法在物质分解过程中，其过程准确性可能受到其他物质的干扰^[15-16]。为了尽量避免这种影响，本研究均采用静脉期 SBI 数据进行 VNC 重建以得到 VNC 的图像作为实验组数据。本次研究中，两位资深影像医师对图像进行了主观评分，经 kappa 检验结果显示两名医师图像评分具有高度一致性，经 Mann-Whitney U 统计检验发现，VNC 组和 TNC 组图像评分无计学差异，说明 VNC 组图像质量符合临床诊断要求，不影响影像诊断。

为了客观判断两组图像是否存在差异，需要在两组图像相同的 ROI 区域测量 CT 值和标准差 (SD 值) 并进行客观评价分析。本研究发现，VNC 组和 TNC 组图像的 CT 值除胸部皮下脂肪 ROI 外的

其他区域均无显著差异。VNC 组和 TNC 组图像的背景噪声 SD 值除肺动脉干选区外的其他区域也无显著差异, 两组图像的 CT 值和 SD 值在统计学分析中表现出较高的一致性。肺动脉干 SD 值的差异可能是由于不同患者间循环的差异, 导致静脉期扫描时肺动脉干内造影剂残留量不同。在 VNC 重建的碘抑制过程中, 部分病例的肺动脉干内出现了伪影, 这类似于动脉期扫描时上腔静脉内高浓度造影剂聚集产生的伪影。

SNR 和 CNR 是客观评价影像质量的重要参数, 其数值高低直接反映图像质量的优劣。本研究发现, VNC 组与 TNC 组图像中各组织的 SNR 和 CNR 值无显著差异, 这与既往研究^[17-18]的结果基本一致。另有较早研究^[19]发现, 在双源能谱 CT 中, VNC 图像的主观和客观影像质量均低于 TNC 图像, 可能原因在于不同 CT 设备及 VNC 技术的差异。具体来说, 不同的重建算法、双能量射线的交叉等因素可能导致物质分离和碘抑制过度或不足, 以及数据丢失或未被利用, 导致部分碘仍存在于 VNC 图像中且无法完全抑制或被过度抑制。

常规胸部增强扫描通常包括平扫、动脉期和静脉期 3 期扫描, 扫描范围内涉及甲状腺、胸腺等对辐射较敏感的器官。有研究表明, 大剂量 CT 扫描可能增加甲状腺、大脑及血液系统癌变的风险^[20-21]。赵永霞等^[22]研究表明, 能谱扫描模式相比普通模式扫描, 不仅提高了图像质量, 还显著降低了辐射剂量。在本研究中, 采用虚拟平扫 VNC 代替常规 TNC 平扫, 从而将常规 3 期胸部增强扫描减少为两期扫描, 辐射剂量降低了 31.82%。这种差异具有统计学意义, 结合前述图像主观评价及客观评分的数据分析, 说明在降低患者辐射剂量的同时, VNC 组图像质量仍能满足临床诊断需求, 与现有研究结果一致。

本研究也存在一些不足之处。首先, 本研究属于单中心回顾性研究, 纳入的样本量较少, 后续会有待大样本量、多中心数据验证。其次, 虚拟平扫 VNC 图像在质感和细节方面稍逊于常规 TNC 图像, 常规 TNC 图像展示了良好的肺纹理、纵隔、支气管内结构和病变显示, 而虚拟平扫 VNC 图像则通过数学算法直接去除图像中的碘, 这一过程在抑制碘的同时稍微降低了整体图像的对比度。特别是在选取动脉期数据进行 VNC 图像重建时, 由于上腔静脉内高浓度的造影剂, 导致去碘后的 VNC 图像出现围绕上腔的低密度放射状伪影。为避免对诊断的影响, 本研究选择了静脉期增强 SBI 数据进行虚拟平扫 VNC 图像的重建。虽然这一方法在一定程度上解决了问题, 但由于患者循环情况不同, 控制肺动脉干内造影剂残留量仍需进一步优化, 以减少和优化伪影的出现概率。最后, 本次研究受限于飞利浦 iQon Spectral 双层探测器 CT 技术指标的影响, 此机型的能谱模式扫描必须在 120 kV 的管电压下才能进行能谱分离, 这个不足直接导致在此机型中扫描体型较小患者时不能个性化降低管电压以进一步降低辐射剂量。经查阅相关资料, 飞利浦皓克 Spectral 256 排光谱 CT 机型可以在 100 kV 下的能谱模式扫描, 为进一步减少单次扫描的辐射剂量提供可能, 结合本院实际条件, 后续研究将在飞利浦皓克 Spectral 256 光谱 CT 机型中进行。

综上所述, 双层探测器光谱 CT VNC 代替 TNC 用于儿童胸部增强扫描是可行的。这种方法能够显著降低约 32% 的辐射剂量, 对 VNC 图像与 TNC 图像质量的评估没有显著差异。将 VNC 图像代替 TNC 图像不仅能够保证诊断准确性, 还能将常规 3 期胸部增强扫描减少为两期, 从而大幅度减少辐射剂量。因此, 这可作为儿童低剂量胸部增强扫描的优选方案。

参考文献

- [1] 王广启, 郑义, 吴友双, 等. CARE Dose 4D 联合 CARE kV 技术降低胸部 CT 扫描辐射剂量的可行性研究[J]. 湖北科技学院学报(医学版), 2023, 37(6): 510-513. DOI:10.16751/j.cnki.2095-4646.2023.06.0510.
WANG G Q, ZHENG Y, WU Y S, et al. The feasibility research of care dose 4D combined with care kV to reduce CT radiation dose in chest CT scanning[J]. Journal of Hubei University of Science and Technology (Medical Sciences), 2023, 37(6): 510-513. DOI:10.16751/j.cnki.2095-4646.2023.06.0510. (in Chinese).
- [2] 曹俊涛, 陈琪琪, 胡铭, 等. 基于低剂量胸部 CT 原始数据迭代重建增强等级评价不同类型肺小结节的初步分析[J]. CT 理论与应用研究, 2021, 30(6): 735-742. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.06.09.
CAO J T, CHEN Q Q, HU M, et al. A preliminary analysis of using the sinogram-affirmed iterative reconstruction strength levels based on the original data of low-dose chest ct to evaluate different types of small pulmonary nodules[J]. CT Theory and Applications, 2021, 30(6): 735-742. DOI:10.15953/

- j.1004-4140.2021.30.06.09. (in Chinese).
- [3] MAHGEREFTEH S, BLACHAR A, FRAIFELD S, et al. Dual-energy derived virtual nonenhanced computed tomography imaging: Current status and applications[J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 2010, 31(4): 321-327. DOI:10.1053/j.sult.2010.06.001.
- [4] 穆荣华, 李鑫, 黄光仪, 等. 双层探测器光谱 CT 胸部虚拟平扫与常规 CT 平扫影像质量比较分析[J]. *国际医学放射学杂志*, 2023, 46(4): 383-389. DOI:10.19300/j.2023.L20039.
- MU R H, LI X, HUANG G Y, et al. Image quality of dual-layer spectral chest CT: Virtual non-contrast in comparison to true non-contrast images[J]. *International Journal of Medical Radiology*, 2023, 46(4): 383-389. DOI:10.19300/j.2023.L20039. (in Chinese).
- [5] 中华医学会影像技术分会, 中华医学会放射学分会. CT 检查技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(12): 916-928. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.004
- Chinese Medical Association Chinese Society of Imaging Technology, Chinese Medical Association Chinese Society of Radiology. Expert consensus on CT technology[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2016, 50(12): 916-928. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.004. (in Chinese).
- [6] BEHRENDT F F, SCHMIDT B, PLUMHANS C, et al. Image fusion in dual energy computed tomography: Effect on contrast enhancement, signal-to-noise ratio and image quality in computed tomography angiography[J]. *Invest Radiology*, 2009, 44(1): 1-6. DOI:10.1097/RLI.0b013e31818c3d4b.
- [7] 中华医学会放射学分会质量管理与安全管理学组. CT 辐射剂量诊断参考水平专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(11): 817-822. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.11.001
- Chinese Medical Association Radiology Society Quality Management and Security Management Group. Experts consensus on diagnostic reference level of CT radiation dose[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2017, 51(11): 817-822. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.11.001. (in Chinese).
- [8] GB/T16137-2021. X 射线诊断中受检者器官剂量的估算方法[S]. 北京: 国家市场监督管理总局; 国家标准化管理委员会. 2021.
- [9] HICKETHIER T, WENNING J, BRATKE G, et al. Evaluation of soft-plaque stenoses in coronary artery stents using conventional and monoenergetic images: First in-vitro experience and comparison of two different dual-energy techniques[J]. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2020, 10(3): 612-623. DOI:10.21037/qims.2020.02.11.
- [10] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识 (第一版)[J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(7): 635-643. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200513-00679.
- Chinese Journal of Radiology Cooperative Group of Clinical Application of Dual-layer Spectral Detector CT. China expert consensus on clinical application of dual-layer spectral detector CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2020, 54(7): 635-643. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200513-00679. (in Chinese).
- [11] HERING D A, KROGER K, BAUER R W, et al. Comparison of virtual non-contrast dual-energy CT and a true non-contrast CT for contouring in radiotherapy of 3D printed lung tumour models in motion: A phantom study[J]. *The British Journal of Radiology*, 2020, 93(1116): 20200152. DOI:10.1259/bjr.20200152.
- [12] PARK A, LEE Y H, SEO H S. Could both intrinsic and extrinsic iodine be successfully suppressed on virtual non-contrast CT images for detecting thyroid calcification?[J]. *Japanese Journal of Radiology*, 2021, 39(6): 580-588. DOI:10.1007/s11604-021-01095-8.
- [13] BERNSEN M, VEENDRICK P B, MARTENS J M, et al. Initial experience with dual-layer detector spectral CT for diagnosis of blood or contrast after endovascular treatment for ischemic stroke[J]. *Neuroradiology*, 2022, 64(1): 69-76. DOI:10.1007/s00234-021-02736-5.
- [14] RIEDERER I, FINGERLE A A, ZIMMER C, et al. Potential of dual-layer spectral CT for the differentiation between hemorrhage and iodinated contrast medium in the brain after endovascular treatment of ischemic stroke patients[J]. *Clinical Imaging*, 2021, 79: 158-164. DOI:10.1016/j.clinimag.2021.04.020.
- [15] BORHANI A A, KULZER M, IRANPOUR N, et al. Comparison of true unenhanced and virtual unenhanced (VUE) attenuation values in abdominopelvic single-source rapid kilovoltage-switching spectral CT[J]. *Abdominal Radiology (NY)*, 2017, 42(3): 710-717. DOI:10.1007/s00261-016-0991-5.
- [16] CHEN B, MARIN D, RICHARD S, et al. Precision of iodine quantification in hepatic CT: Effects of iterative reconstruction with various imaging parameters[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2013, 200(5): W475-W482. DOI:10.2214/AJR.12.9658.
- [17] LI B, POMERLEAU M, GUPTA A, et al. Accuracy of dual-energy CT virtual unenhanced and material-specific images: A phantom study[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2020, 215(5): 1146-1154. DOI:10.2214/AJR.19.22372.
- [18] LACROIX M, MULE S, HERIN E, et al. Virtual unenhanced imaging of the liver derived from 160-mm rapid-switching dual-energy CT (rsDECT): Comparison of the accuracy of attenuation values and solid liver lesion conspicuity with native unenhanced images[J]. *European Journal of Radiology*, 2020, 133: 109387. DOI:10.1016/j.ejrad.2020.109387.
- [19] 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. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.03.004.

- FU L Q, PAN X M, LIU S J, et al. Feasibility analysis of double-layer spectral detector CT virtual non-contrast images instead of true non-contrast images in evaluating thyroid nodules[J]. *Radiologic Practice*, 2022, 37(3): 302–306. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.03.004. (in Chinese).
- [20] MATHEWS J D, FORSYTHE A V, BRADY Z, et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: Data linkage study of 11 million Australians[J]. *British Medical Journal*, 2013, 346: f2360. DOI:10.1136/bmj.f2360.
- [21] PEARCE M S, SALOTTI J A, LITTLE M P, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study[J]. *Lancet*, 2012, 380(9840): 499–505. DOI:10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
- [22] 赵永霞, 左紫薇, 索红娜, 等. 肾动脉 CT 血管成像中采用常规扫描和能谱成像扫描方案对图像质量和辐射剂量的影响[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(4): 304–307. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.04.014.
- ZHAO Y X, ZUO Z W, SUO H N, et al. Comparison of spectral imaging and conventional CT in CT angiography of the kidney: Image quality and radiation dose[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2017, 51(4): 304–307. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.04.014. (in Chinese).

Application of Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography Virtual Non-contrast Scanning in Enhanced Chest Computed Tomography for Children

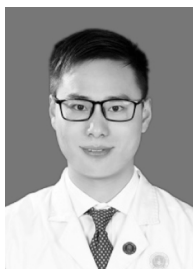
LIU Xiaojing^{1,2}, WU Hongying^{1,2✉}, MA Jinqiang^{1,2}, LEI Ziqiao^{1,2}, YU Jianming^{1,2}

1. Department of Radiology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China

2. Hubei Province Key Laboratory of Molecular Imaging, Wuhan 430022, China

Abstract: Objective: This study aimed to explore the feasibility of applying dual-layer detector spectral computed tomography (DLCT) virtual non-contrast (VNC) technology in pediatric enhanced chest CT examinations. Methods: Retrospective analysis was conducted on the enhanced chest CT imaging data and clinical information of 51 children who underwent DLCT scanning at Wuhan Union Hospital. The same processing protocol was applied to each original image. VNC images were obtained using projection space spectral reconstruction from the venous phase spectral base images (SBI) and compared with true non-contrast (TNC) images regarding image quality and radiation dose. Two radiologists measured the CT and SD values of the pulmonary artery trunk, aorta trunk, erector spinae, lung tissue, and subcutaneous fat of the chest wall on image sets, calculating the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR). Non-contrast, arterial, and venous phase radiation doses were recorded. Subjective image quality scores were assigned using a 5-point Likert scale, and inter-observer consistency was assessed with the Kappa test. The Mann-Whitney U test compared subjective scores, while the paired t-test was used for objective image quality and radiation dose analyses. Results: Objective evaluation of image quality showed no significant statistical differences between the SNR, CNR, and subjective scores of both groups. The median subjective image scores for TNC and VNC were 4 points. The DLP and ED values of the VNC group (298.14 ± 119.40) mGy·cm, (4.27 ± 1.34) mSv were significantly lower than those of the TNC group (437.31 ± 178.28) mGy·cm, (6.26 ± 2.00) mSv. The DLP and ED of the VNC group reduced by 31.82% and 31.79%, respectively, compared to the TNC group. Conclusion: Spectral CT virtual non-contrast (VNC) images as a substitute for conventional non-contrast (TNC) images in pediatric enhanced chest scans offers satisfactory diagnostic image quality and can significantly reduce radiation dose.

Keywords: spectral CT; VNC; low dose; children; enhanced CT



作者简介: 刘晓静, 男, 华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科主管技师, 主要从事医学影像技术的临床应用及研究, E-mail: jen1990@foxmail.com; 吴红英[✉], 女, 华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科副主任技师, 主要从事能量 CT 理论与临床应用研究, E-mail: hongyingwuxh@163.com.