

## 论 著

## 剂量指数及管电压对幼儿心脏CTA图像质量和辐射剂量的影响

张 见 张晓军\* 王 颖  
南京医科大学附属儿童医院放射科  
(江苏 南京 210000)

【摘要】目的 探究剂量指数及管电压对幼儿心脏CTA图像质量及辐射剂量的影响。方法 按照时间顺序对患儿进行管电压及剂量指数分组检查, 分组内依照年龄再分组, 分为0~1岁、1~3岁及3~6岁组, 每组患儿30名, 采取不同管电压及剂量指数的方式进行检查, 比较不同扫描条件下图像质量及辐射剂量。结果 E组患儿的CTDIvol、DLP较A组降低分别为: 0~1岁组: 61.45%(2.04/3.32), 61.17%(28.24/46.17); 1~3岁组: 54.52%(2.41/4.42), 49.88%(28.87/57.88); 3~6岁组: 40.86%(1.99/4.87), 42.19%(26.92/63.8)。随着剂量指数及管电压的降低, 辐射剂量明显降低( $P<0.01$ ), SNR、CNR实验组较对照组未见明显统计学差异( $P>0.05$ )。结论 选用低管电压及剂量指数, 在满足诊断的前提下, 可降低患儿辐射剂量。

【关键词】剂量指数; 婴幼儿; 心脏CTA; 辐射剂量

【中图分类号】R322.1+1

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.029

## The Effects of Dose Right Index and Low Voltage on CT Scan Image Quality and Radiation Dose of Children with Congenital Heart Disease

ZHANG Jian, ZHANG Xiao-jun\*, WANG Ying.

Department of Radiology, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the effects of dose right index and low voltage on CT scan image quality and radiation dose of children with congenital heart disease. **Methods** Voltage and Dose Right Index groups examinations were performed on children in chronological order. Within the same group, they were subdivided according to age and divided into groups under 1 year old, 1 to 3 years old, and 3 to 6 years old. 30 children were examined by different DRI methods. Compare images quality and radiation dose under different scanning conditions. **Results** The CTDIvol and DLP of the children in group E were lower than those in group A as follows: 0 to 1 year old group: 61.45% (2.04/3.32), 61.17% (28.24/46.17); 1 to 3 year old group: 54.52% (2.41/ 4.42), 49.88% (28.87/57.88); 3 to 6 years old group: 40.86% (1.99/4.87), 42.19% (26.92/63.8). With the decrease of DRI and voltage, there was statistical significance in radiation dose ( $P<0.05$ ), but no statistical significance in SNR and CNR ( $P>0.05$ ). **Conclusion** Choosing the low voltage and DRI can significantly reduce the radiation dose of children on the premise of satisfying the diagnosis.

**Keywords:** Dose Right Index; Infants; Cardiac Angiography; Computed Tomography; Radiation Dose

先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)是婴幼儿常见病之一, 心脏CTA检查近年来越来越成为临床心脏术前常规检查之一<sup>[1]</sup>。但心脏CTA检查由于其成像载体X线本身具有放射性, 加之婴幼儿对射线损伤的高度敏感性, 辐射损伤愈加引起人们的重视。在以往的研究中, 大螺距、容积扫描、前瞻性ECG触发、管电流自动曝光控制技术以及重建算法均用于降低受检者辐射剂量<sup>[2-4]</sup>, 但对于剂量指数(Dose Right Index, DRI)的应用少有报道。Dose Right技术是一种自动管电流曝光控制技术, 能够根据定位像所呈现的受检者体型和受检部位及X线衰减大小进行计算, 根据其特定衰减和诊断所需要的图像质量自动给出合适且最低的管电流<sup>[5]</sup>。如何在图像质量及辐射剂量之间寻求平衡点愈加成为研究的热点<sup>[6]</sup>。本文旨在探讨管电压及DRI对婴幼儿心脏CTA检查图像质量及辐射剂量的影响。

## 1 资料与方法

**1.1 临床资料** 本研究为前瞻性研究, 通过我院伦理委员会审批(审批号: 201908224-1)后进行。选取2019年7月至2020年10月间来我科行CT心脏大血管检查的先心病患儿。纳入标准: 胸部无金属异物、胸部表面无明显占位性病变、胸廓无明显畸形、体型非太过瘦小或肥胖者。依照时间顺序将入选患儿分为对照组A及实验组B、C、D、E, 每组患儿90例。各组患儿依照年龄的不同分为(0~1岁)、(1~3岁)及(3~6岁)3个亚组, 每组患儿30名。检查前患儿家长或代理人均签署检查知情同意书。各亚组患儿年龄、左右径、前后径、扫描范围差异均无统计学意义, 研究具有可行性。

**1.2 检查方法** 采用飞利浦Brilliance 128 iCT进行数据采集。患儿检查前需要禁食禁水2-6小时不等, 不能配合检查者口服水合氯醛(1mL/kg, 规格: 10mL:0.5 g)待其深睡眠后再行检查<sup>[7]</sup>。患儿去除厚重衣物及金属异物后仰卧于检查床上, 头先进或脚先进。双臂上举置于头颅两侧。扫描范围上至胸廓入口, 下至肝门, 使用铅皮遮挡无关检查部位。扫描参数: 对照A组患儿管电压100 kV, DRI为14; 实验组B、C、D、E管电压80 kV, DRI分别为14、12、10、8。正侧位双定位像扫描, 管电流采用DoseRight自动曝光控制技术, 管电流下限为20 mA, 上限225 mA。自动跟踪手动触发、前瞻性心电门控、轴向扫描、iDose4重建算法。扫描层厚0.8 mm, 重建层厚4 mm, 数据采集周期为40% RR间期。探测器0.625 mm×128, 矩阵512×512, 球管转速0.27 s/圈。造影剂使用碘克沙醇(规格: 320 mgI/mL), Ulrich高压注射器从肘静脉或手背静脉注入, 注射顺序为: 5 mL生理盐水→造影剂→8mL生理盐水, 生理盐水注射速度与造影剂相同, 造影剂装入高压注射器前置37℃恒温箱内。造影剂用量及注射速率: 体重≤5kg: 2 mL/kg, 注射速率(0.6~1.0) mL/s; 体重(5~15)kg: 1.5mL/kg, 注射速率(1.0~1.5) mL/s; 体重≥15 kg: 1.0 mL/kg, 注射速率(1.5~3)mL/s。

**1.3 辐射剂量** 记录每个患儿的容积CT剂量指数(volumetric CT dose index, CTDIvol, mGy, 基于32cm体模)及剂量长度乘积(dose length product, DLP, 包括定位像及示踪扫描剂量)。

【第一作者】张 见, 男, 主管技师, 主要研究方向: 儿童CT扫描及新技术的应用指导。E-mail: zhangjian\_nch@163.com

【通讯作者】张晓军, 男, 副主任医师, 主要研究方向: CT及MRI儿童疾病的诊断。E-mail: easycool\_z@qq.com

**1.4 图像质量评价** 采用主客观两种评价方式。主观评价：由两名资深放射科诊断医师对PACS上原始及后处理图像运用双盲5分法评分。标准如下：5分：心腔及主要大血管充盈显示良好，边界锐利，无明显运动伪影，图像整体质量优秀，诊断信心坚决；4分：心腔及主要大血管充盈尚可，边界清晰，运动伪影轻微基本不影响诊断，图像整体质量良好，诊断信心充足；3分：心腔及主要大血管充盈可，边界较为清晰，有轻微运动伪影但不影响诊断，图像整体质量尚可，诊断信心尚可；2分：心腔及主要大血管充盈较浅，边界稍模糊，运动伪影可见，结合其他检查尚能得出结论，诊断信心较为犹豫；1分：不能出具诊断报告<sup>[8]</sup>。得分 $\geq 3$ 认为图像可满足诊断需要。

客观评价：测量肺动脉干、左心室、主动脉弓中部及主动脉弓层面竖脊肌CT值，测量感兴趣区(region of interest,ROI)面积为 $10\text{mm}^2$ 。测量主动脉弓水平空气标准差(standard deviation,SD)作为其背景噪声，ROI面积为 $10\text{mm}^2$ 。以上数据测量应尽量避免开骨骼及造影剂硬化伪影，测量三次取其平均值。利用上述测量数据分别计算图像信噪比(signal noise ratio,SNR)及对噪声比(contrast noise ratio,CNR)。SNR=CT腔脉/SD空气；CNR=(CT腔脉-CT肌肉)/SD空气<sup>[9]</sup>。

**1.5 统计学方法** 采用SPSS18.0统计学软件进行统计学分析。K-S检验计量资料是否符合正态分布，符合正态分布的计量资料

用( $\bar{x} \pm s$ )表示。组间患儿年龄、左右径、前后径、图像客观评价及辐射剂量差异采用方差分析，主观评分采用Kruskal-Wallis检验，组内两两比较采用LSD法。2名医师的主观评分其一致性评价采用Kappa检验， $k \leq 0.2$ 为一致性差， $0.2 < k \leq 0.4$ 为一致性一般， $0.4 < k \leq 0.6$ 为一致性中等， $0.6 < k \leq 0.8$ 为一致性较好， $0.8 < k \leq 1.0$ 为一致性好。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 图像质量客观评价结果** 同一年龄分组内肺动脉干、左心室、主动脉弓中部的CT值有明显统计学意义( $P < 0.05$ )，CNR、SNR无明显统计学意义( $P > 0.05$ )。两两比较结果：A组肺动脉干、左心室、主动脉弓中部的CT值与B、C、D、E组的差异均具有统计学意义( $P < 0.05$ )，B、C、D、E组间CT值差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。详见表1、2、3。

**2.2 辐射剂量及主观评价结果** 5组患儿的辐射剂量间比较差异有统计学意义( $P < 0.01$ )。A组最高，E组最低。随着管电压及DRI的降低，患儿辐射剂量降低显著。在主观评价方面，所有患儿图像评分均在3分及以上，两名医师对图像质量的评分一致性为中等及以上。5组图像的主观评分统计学差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。详见表4。

表1 (0~1岁)组图像客观评价结果(n=30)

分组	肺动脉干			左心室			主动脉弓中部		
	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR
A	478.03±90.62	72.95±24.17	61.01±22.51	444.97±77.07	62.43±19.65	54.49±17.92	454.87±78.18	68.83±19.80	62.32±13.40
B	580.21±109.54	64.80±19.01	64.40±20.41	533.39±89.00	62.59±12.33	53.88±9.87	551.82±98.90	68.10±12.60	60.55±8.38
C	576.41±135.68	69.20±17.20	65.46±16.78	521.69±98.09	59.52±11.09	53.78±6.27	581.76±104.70	65.10±16.88	62.63±11.54
D	602.53±127.58	64.40±18.36	59.97±17.97	518.97±94.39	63.47±11.56	51.04±11.00	547.57±111.25	61.72±14.48	59.81±10.80
E	575.13±108.21	65.58±16.37	61.26±15.63	543.57±90.85	54.92±14.72	52.61±13.19	597.53±125.96	59.35±19.15	58.43±13.90
F值	6.61	1.01	1.65	6.31	1.24	1.72	10.76	2.07	3.76
P值	$P < 0.01$	0.39	0.56	$P < 0.01$	0.07	0.17	$P < 0.01$	0.17	0.10

表2 (1~3岁)组图像客观评价结果(n=30)

分组	肺动脉干			左心室			主动脉弓中部		
	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR
A	445.43±102.87	65.47±14.77	59.32±11.01	401.54±85.24	61.42±12.34	57.74±11.65	434.57±66.58	61.23±12.43	55.22±10.99
B	519.82±98.73	67.80±10.31	61.00±7.09	436.11±91.17	61.44±10.02	56.80±9.00	519.91±90.12	59.09±7.01	51.55±10.14
C	528.05±110.52	64.09±9.42	58.51±9.30	441.43±96.37	63.83±9.40	59.87±7.90	534.07±80.10	64.54±13.55	53.89±9.70
D	509.32±106.56	66.60±11.06	63.19±8.98	455.93±86.87	57.98±9.66	55.57±7.08	519.07±88.11	63.57±12.11	54.50±12.09
E	534.87±101.53	67.81±9.00	62.18±9.59	485.63±88.87	64.40±7.00	59.09±8.10	514.95±88.00	59.71±13.10	55.90±9.90
F值	10.31	2.38	1.90	12.55	1.77	1.22	15.80	2.81	1.19
P值	$P < 0.01$	0.61	0.47	$P < 0.01$	0.21	0.59	$P < 0.01$	0.17	0.09

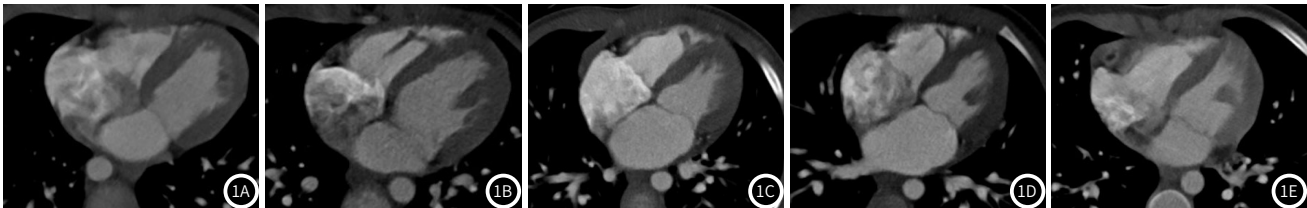
表3 (3~6岁)组图像客观评价结果(n=30)

分组	肺动脉干			左心室			主动脉弓中部		
	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR	CT值	SNR	CNR
A	449.60±113.90	61.56±9.80	54.67±9.80	396.50±62.74	57.90±10.87	52.55±9.02	424.09±65.87	57.03±9.55	53.03±11.22
B	502.09±98.09	58.01±9.08	55.04±8.03	458.01±89.37	58.92±8.22	53.06±8.91	585.08±88.19	58.00±8.19	56.01±8.11
C	505.09±121.57	65.67±8.67	57.89±9.87	467.11±78.00	54.61±7.80	51.04±8.00	494.00±70.81	57.00±11.01	54.72±8.55
D	485.90±117.01	61.12±11.61	57.67±8.09	455.00±78.90	52.00±7.01	49.92±7.10	474.51±85.58	55.54±10.55	51.01±9.05
E	495.66±112.00	60.90±9.67	53.00±8.90	433.78±76.88	61.76±8.80	57.67±7.40	430.57±75.91	53.09±8.55	49.65±8.09
F值	12.38	2.90	2.33	14.80	1.77	1.34	12.33	1.70	2.05
P值	$P < 0.01$	0.21	0.57	$P < 0.01$	0.31	0.26	$P < 0.01$	0.29	0.17

表4 患儿辐射剂量及主观评价结果

分组	0~1岁组			1~3岁组			3~6岁组		
	CTDIvol	DLP	主观评分	CTDIvol	DLP	主观评分	CTDIvol	DLP	主观评分
A	3.32±0.76	46.17±14.13	4.87±0.35	4.42±0.49	57.88±11.61	4.97±0.18	4.81±0.67	63.81±9.54	4.97±0.18
B	2.98±0.90	41.09±12.91	4.81±0.54	4.11±0.67	51.01±8.81	4.67±0.54	4.17±0.80	59.89±9.00	4.59±0.79
C	2.09±0.27	30.82±8.41	4.83±0.38	3.11±0.51	40.67±9.93	4.65±0.71	3.80±0.41	53.01±8.24	4.93±0.25
D	1.78±0.41	21.30±6.34	4.75±0.45	2.59±0.07	33.80±7.90	4.43±0.21	3.25±0.44	47.99±9.10	4.53±0.57
E	1.28±0.17	17.93±5.33	4.63±0.55	2.01±0.45	29.01±9.11	4.33±0.30	2.88±0.39	36.89±9.10	4.40±0.67
F值	107.09	56.54	2.15*	89.90	72.40	1.21*	89.11	61.12	0.92*
P值	P<0.01	P<0.01	0.34	P<0.01	P<0.01	0.55	P<0.01	P<0.01	0.63

\*: H值; 其余皆为F值。



选取(1~3)岁分组内30月龄患儿的四腔心层面图像, 其中图1A管电压为100kV, DRI=14, 图1B~图1E为80kV, DRI分别为14、12、10、8。图像显示心腔及降主动脉充盈良好, 心室、心房及降主动脉边缘锐度度较好, 无明显运动伪影, 诊断医师主观评分均在3分及以上, 4分及以上图像占比85.78%。

3 讨论

Dose Right技术是一种自动管电流曝光控制技术, 管电流输出大小与其指数大小呈正相关。DRI每增加或降低1, 其平均管电流增加或降低12%, 噪音水平降低或增加6%<sup>[10]</sup>。对比固定管电流, 能够在保证图像质量的前提下降低辐射。DRI设置越大, 其电流输出愈大, 因而图像质量越高, 也带来受检者辐射剂量的升高。胸部含气较多且幼儿先心病大多为心腔房室壁缺损及大血管结构畸形, 很少涉及到冠脉, 对于其图像信噪比的要求远远低于成年人冠脉检查, 对心腔及大血管显示方面较冠脉要求低, 因此更适用于低剂量检查<sup>[11]</sup>。

起初DRI设置由CT工程师依据其个人经验而定, 甚至是成人检查参数的简单复制, 对于婴幼儿而言有可能设置过高, 造成患儿检查辐射剂量过大<sup>[12]</sup>。本研究表明, 随着管电压及DRI的降低, CTDIvol、DLP随之大幅度降低(P<0.01), 图像的SNR、CNR却并未明显下降。这就说明在不影响图像质量的前提下, 采取合适的扫描条件可以降低患儿的辐射剂量。管电压越高, 穿过受检者的X线量越多, 因而图像的信噪比越高。降低管电压会明显影响其信噪比。卢道延等<sup>[13]</sup>研究管电压80 kV能够满足婴幼儿胸部CT检查。相较于100kV管电压, 实验组患儿虽然采用了低的80 kV管电压, 但其图像的SNR、CNR与对照组相比却未见明显统计学差异(P>0.05), 这是因为低管电压可以提高含碘对比剂的CT值<sup>[14]</sup>, 因此弥补了对信噪比的影响。先心病患儿行心脏CT检查时, 较低的DRI设置, 虽然使输出的管电流减少, 但由于胸部含气体较多, 且婴幼儿胸部前后径及左右径较小, 射线衰减较成人低, 从而可以有更多的射线穿过人体到达探测器, 提高了探测器的探测效率。iDose4迭代重建算法可以有效的在图像重建过程中将由于X线量减少而相对增加的量子噪声排除, 从而保证了图像质量。iDose4算法属于迭代重建算法, 基于投影空间和图像空间进行双模型(解剖模型和噪声模型)迭代运算, 解剖模型则可以降低重建时间, 噪声模型则可以有效提高图像质量, 能够消除由于管电流降低而致光子减少所带来的对信噪比的影响<sup>[15]</sup>。本研究表明, 在满足诊断的前提下, 采用较低的管电压及DRI可以明显降低患儿的辐射剂量。具体数据如下: E组患儿的CTDIvol、DLP较A组分别降低为: 0~1岁组: 61.45%(2.04/3.32), 61.17%(28.24/46.17); 1~3岁组: 54.52%(2.41/4.42), 49.88%(28.87/57.88); 3~6岁组: 40.86%(1.99/4.87), 42.19%(26.92/63.8)。这与赵永霞等<sup>[11]</sup>在成人肺动脉方面的研究一致, 这就说明采用较低的管电压及DRI能够有效的降低患儿的辐射剂量。

本研究不足之处: 1.CTDIvol采用机器自动生成的数据, 没有

对患儿实际的辐射剂量进行测量, 二者之间可能存在差异; 2.采取手动测量, 因而会造成对心腔、大血管及肌肉CT值的测量有影响; 3.由于诊断医师对图像质量的评价有其个人主观性, 评分结果可能有偏差; 4.先心病患儿手术年龄近年来呈现低龄化趋势, 没有对7岁以上患儿数据进行收集, 今后可进一步加大收集学龄儿童的数据支持。

尽管本研究具有一定的局限性, 但在实际工作中提供了一种有效降低辐射剂量的方法, 在80 kV的管电压下, 采取较低的DRI设置, 能够在满足诊断的前提下, 降低患儿的辐射剂量。

参考文献

[1] 范丽娟, 徐东生, 张计旺, 等. 宽体探测器低剂量CT在婴幼儿先天性心脏病中的应用价值[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33(13): 1004-1007.

[2] Buls N, Van Gompel G, Van Gauteren T, et al. Contrast agent and radiation dose reduction in abdominal CT by a combination of low tube voltage and advanced image reconstruction algorithms[J]. Eur Radio, 2015, 25(4): 1023-1031.

[3] Shen Y, Sun Z, Xu L, et al. High-pitch, low-voltage and lowiodine-concentration CT angiography of aorta: Assessment of image quality and radiation dose with iteration reconstruction[J]. PLoS One. 2015, 10(2): e0117469.

[4] 张炳权, 刘永照, 邓宇, 等. 前瞻性与回顾性MSCT在儿童先天性复杂性心脏病中的成像质量与剂量比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16(2): 94-97.

[5] 边传振, 张见, 王颖, 等. DoseRight技术条件下颈椎前凸体位在学龄前儿童颈部CT检查的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2020, 40(3): 74-79.

[6] 丰川, 钱伟亮, 周丹静, 等. 极低辐射剂量扫描结合模型迭代重建在下肢CTA中的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16(3): 117-120.

[7] 姚丽萍, 张丽, 丁茗, 等. 前瞻性心电门控心血管CTA在小儿先天性心脏病冠状动脉评估中的应用价值[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(7): 534-539.

[8] 陈博, 戴婷婷, 程建敏, 等. 双低技术联合迭代重建技术在小儿复杂性先天性心脏病CT血管成像中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(7): 547-551.

[9] 赵洁, 余建明, 雷子乔, 等. 128层螺旋CT CARE kV联合SAFIRE技术在肺动脉成像质量与辐射剂量中的应用研究[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(9): 1348-1354.

[10] Fillon M, S. Si-Mohamed, P. Coulon, et al. Reduction of patient radiation dose with a new organ based dose modulation technique for thoraco-abdominopelvic computed tomography (CT) (Liver dose right index) [J]. Diagnostic and Interventional Imaging (2018), 2018, 1, 13.

[11] 赵永霞, 左紫薇, 吴艳民, 等. 低管电压联合不同噪声指数和低浓度对比剂对肺动脉CT成像质量和辐射剂量的影响[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(6): 451-455.

[12] 唐世龙, 刘波, 刘先凡, 等. 剂量指数在成人胸部低剂量CT扫描中的应用[J]. 国际医学与放射学杂志, 2019, 42(5): 517-520.

[13] 卢道延, 金刚, 朱应礼, 等. 小儿支气管异物低剂量CT扫描条件及图像质量分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 15(6): 60-62.

[14] 吕蓉, 陈晨, 胡维娟, 等. CT值与管电流、管电压的关系以及图像噪声与辐射剂量的相关性研究[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(1): 123-127.

[15] 王梅, 边传振, 张见, 等. 剂量指数结合全模型迭代重建技术在降低儿童胸部CT扫描辐射剂量中的应用研究[J]. 医疗卫生装备, 2020, 41(7): 59-63.

(收稿日期: 2021-01-19)

(校对编辑: 何镇喜)