

论 著

体型特异性剂量估算在
学龄儿童心脏CTA中的
应用*

谢汉民 张若仙 李悦龙
刘永熙 黄育斌*
广东省妇幼保健院 (广东广州 511400)

【摘要】目的 比较容积CT剂量指数(CTDI_{vol})与体型特异性剂量估算(SSDE)两种测量方法测得的辐射剂量在学龄儿童心脏CTA检查中的差异并探讨其原因。方法 回顾性分析我院77例学龄儿童心脏CTA检查的影像资料,手工勾勒中心层面轮廓作为感兴趣区(ROI),测量ROI的平均最大左右径(LAT)、CT值(CT_{ROI})、面积(A_{ROI})。依据LAT进行分组: A组 LAT<22cm, 33例; B组22cm≤LAT<25cm, 26例; C组25cm≤LAT<30cm, 18例。记录并计算转换因子F_{DW}和SSDE_{DW},分析CTDI_{vol}与SSDE_{DW}的差异,利用多元回归分析性别、年龄、A_{ROI}和LAT与SSDE_{DW}的相关性。结果 A、B、C组SSDE_{DW}较CTDI_{vol}分别高197.37%、192.01%、187.68%,各组间CTDI_{vol}与SSDE_{DW}均存在差异(P<0.05)。LAT与SSDE_{DW}存在明显正相关关系(P<0.05),性别、年龄、A_{ROI}与SSDE_{DW}无明显相关关系(P>0.05)。结论 SSDE_{DW}相比CTDI_{vol}评估学龄儿童心脏CTA辐射剂量更为准确。LAT与SSDE_{DW}呈正线性相关关系, LAT每增加1cm, SSDE_{DW}增加0.44MGy。

【关键词】容积CT剂量指数; 心脏CTA;
学龄儿童; 体型特异性剂量估算
【中图分类号】R814.43
【文献标识码】A
【基金项目】2018年广东省医学科研基金
立项(B2018052)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.09.027

Application of Size-specific Dose Estimates
in Cardiac CTA Examination of School-age
Children*

XIE Han-min, ZHANG Ruo-xian, LI Yue-long, LIU Yong-xi, HUANG Yu-bin*.
Guangdong Women and Children Hospital, Guangzhou 511400, Guangdong Province, China

ABSTRACT
Objective To explore the differences in radiation doses in School-age children by comparing volume CT dose index (CTDI_{vol}) and body size-specific dose estimates (SSDE) in cardiac CTA examinations, and to explore the reasons. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the imaging data of 77 children's cardiac CTA examinations in our hospital. Manual outlining of the center layer contour as the region of interest (ROI) was performed, and the mean maximum lateral diameter (LAT), average CT value (CT_{ROI}), and area (A_{ROI}) of the ROI were measured. According to LAT, the subjects were divided into three groups: Group A (LAT<22cm, n=33); Group B (22cm≤LAT<25cm, n=26); Group C (25cm≤LAT<30cm, n=18). The conversion factors F_{DW} and SSDE_{DW} were calculated and recorded. The differences between CTDI_{vol} and SSDE_{DW} were analyzed, and the correlation between gender, age, A_{ROI}, and LAT with SSDE_{DW} was studied using multiple regression analysis. **Results** The SSDE_{DW} values for Groups A, B, and C were 197.37%, 192.01%, and 187.68% higher than those of CTDI_{vol}. There were significant differences between CTDI_{vol} and SSDE_{DW} among the three groups (P<0.05). A positive linear relationship was observed between LAT and SSDE_{DW} (P<0.05). Gender, age, and A_{ROI} showed no significant correlation with SSDE_{DW} (P>0.05). **Conclusion** Compared with CTDI_{vol}, SSDE_{DW} is more accurate in assessing radiation dose in children's cardiac CTA. There is a positive linear relationship between LAT and SSDE_{DW}, whereby LAT increases by 1 cm, SSDE_{DW} increases by 0.44MGy.
Keywords: Volume CT Dose Index; Cardiac CTA; School-age Children; Size-specific Dose Estimate

随着现代医学的飞速发展, CT在临床医学中的应用范围越来越广。心脏CT是一种重要的无创影像学技术, 是目前评估结构性心脏病的一线诊断策略^[1]。儿童对电离辐射较敏感, 因此辐射安全越来越成为一个令人瞩目的问题^[2]。目前用于评估CT辐射剂量的主要指标是容积CT剂量指数(CT dose index volume, CTDI_{vol})和剂量长度乘积(dose length product, DLP)^[3-4], 但是随着更多的研究表明, 这些辐射剂量指标用来评估儿童患者并不准确, 甚至有些儿童接受的辐射剂量被低估了2~3倍^[5-6]。学龄期儿童体型差异大, 如何准确评估辐射剂量, 是一个亟待解决的问题。

为了更加准确地评估辐射剂量, 美国医学物理学家协会(american association of physicists in medicine, AAPM)于2014年提出使用基于水等效直径(water equivalent diameter, DW)的体型特异性剂量估算 (size-specific dose estimate based on water equivalent diameter, SSDE), 能更准确地反映受检者的辐射剂量^[7-8]。

本研究主要基于受检者中心层面左右径(lateral diameter, LAT)分组对于学龄期儿童心脏CTA的辐射剂量进行分析, 探讨不同LAT下患儿CTDI_{vol}与SSDE_{DW}的差异, 以期准确评估学龄期儿童心脏CTA辐射剂量。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2017年1月至2023年7月间在我院行低剂量心脏CTA检查的学龄儿童共77名, 年龄6~18岁, 平均(9.12±2.93)岁。检查前所有患儿家长均签署增强造影检查知情同意书。

排除标准: 扫描体位不标准, 存在明显运动伪影, 胸廓有明显畸形, 体外存在金属异物, 体内有金属植入物。

依据LAT进行分组: A组 LAT<22cm, 33例; B组22cm≤LAT<25cm, 26例; C组 LAT≥25cm, 18例。

1.2 检查方法 采用西门子128层螺旋CT进行扫描, 患者取仰卧位。扫描范围均自胸廓入口至心脏底部。对比剂使用碘海醇(320mgI/mL), 剂量为1.5~2.0mL/kg, 注射流率1.5~3.0mL/s, 使用对比剂跟踪技术自动触发扫描, 触发阈值80HU。扫描参数: 75~110KV, 60~200MAS, 准直器128×0.625mm, 转速为0.4秒/周, 层厚0.6mm。扫描方式采用前瞻性心电门控(心率低于120次/分)和回顾性心电门控(心率高于120次/分)。前瞻性心电门控采集时间窗口为20%~45% R-R间期的自动最佳期相。重建层厚、层间距分别为3mm和3mm的纵隔窗图像。

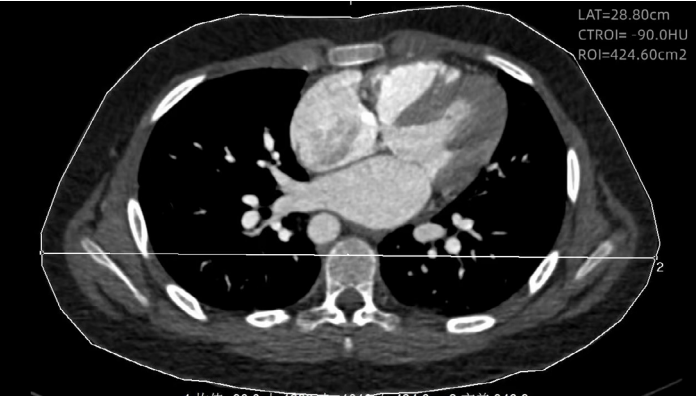
1.3 数据采集 扫描完成后所有图像及剂量报告自动传送至 PACS系统, 由同一名富有经验的主管技师在原始图像中心层轴位上勾画一个多曲线感兴趣区(region of interest, ROI), 记录其面积(A_{ROI}, cm²)及平均CT值(CT_{ROI}, HU), 如图1所示。计算D_W和转换因子F_{DW}获得SSDE_{DW}, 计算方法如公式(1)~(3) 所示, 式中a、b值分别取固定值为a=3.704, b=0.037。

【第一作者】谢汉民, 男, 主管技师, 主要研究方向: 放射技术及人工智能。E-mail: 736315638@qq.com
【通讯作者】黄育斌, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 小儿影像诊断。E-mail: kimtarm@foxmail.com

$$D_w=2\sqrt{\frac{A_{ROI}}{\pi}\left(\frac{CT_{ROI}}{1000}+1\right)}$$
 (1)

$$F_{D_w}=ae^{-b\times D_w}$$
 (2)

$$SSDE_{D_w}=F_{D_w}\times CTDI_{vol}$$
 (3)



1.4 图像质量评价 采用主观评价法，由2名拥有15年诊断经验的高年资副主任医师对原始及重组图像进行评价，2名医师评价不一致时协商决定最终评分。评价标准如下：①5分：心脏四腔室清晰显示，无运动伪影；②4分：心脏四腔室清晰显示，右心房有少量伪影；③3分：心脏四腔室显示一般，中度伪影；④2分：心脏四腔室不能清晰显示，右心房伪影严重；⑤1分：右心房室造影剂浅淡、心脏四腔室不能显示。

1.5 统计学方法 使用SPSS 25.0软件进行统计学分析。符合正态分布者以($\bar{x} \pm s$)表示，偏态分布数据以中位数(上下四分位数)表示；组间比较采用Mann-Whitney U，采用Spearman法分

析性别、年龄、 A_{ROI} 、 $CTDI_{vol}$ 、LAT与 $SSDE_{Dw}$ 的相关性，将与 $SSDE_{Dw}$ 有显著相关的自变量纳入多元回归分析。2名医师的主观评价一致性采用Kappa一致性检验评价， $Kapp \geq 0.85$ ，一致性很好； $0.6 \leq Kappa < 0.85$ ，一致性较好； $0.45 \leq Kappa < 0.6$ ，一致性一般； $Kappa < 0.45$ ，一致性较差，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组转换因子 F_{Dw} 和 D_w 结果比较 各组的LAT差异均有统计学意义($P < 0.001$)， D_w 和 F_{Dw} 差异无统计学意义($P = 0.409$ ， $P = 0.390$ ，见表1)。随着LAT的增大， D_w 逐渐增大， F_{Dw} 逐渐变小， $CTDI_{vol}$ 与 $SSDE_{Dw}$ 差异度也在逐渐变小。

2.2 $CTDI_{vol}$ 、 $SSDE_{Dw}$ 结果比较及两者的相关性分析 三组的 $CTDI_{vol}$ 与 $SSDE_{Dw}$ 组内组间比较，结果显示差异均有统计学意义，见表2。三组的 $CTDI_{vol}$ 平均剂量分别为9.14mGy、10.26mGy、11.04mGy； $SSDE_{Dw}$ 平均剂量分别18.04mGy、19.70mGy、20.72mGy。A组 $SSDE_{Dw}$ 较 $CTDI_{vol}$ 高197.37%(18.04/9.14)；B组 $SSDE_{Dw}$ 较 $CTDI_{vol}$ 高192.01%(19.70/10.26)；C组 $SSDE_{Dw}$ 较 $CTDI_{vol}$ 高187.68%(20.72/11.04)。

2.3 $SSDE_{Dw}$ 与各变量相关性分析 用Spearman分析 $SSDE_{Dw}$ 与各变量的相关性。其中年龄、性别， A_{ROI} 与 $SSDE_{Dw}$ 相关性显著不明显($P > 0.05$)， $CTDI_{vol}$ 和LAT与 $SSDE_{Dw}$ 的相关性显著非常明显($P < 0.05$)见表3。

2.4 多元回归分析 由于 $CTDI_{vol}$ 与 $SSDE_{Dw}$ 有高度相关性，容易造成共线性问题，因此 $CTDI_{vol}$ 不作为自变量加入多元回归分析。将性别、年龄、 A_{ROI} 和LAT等自变量加入多元回归分析，结果见表4。将上一步中 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素逐步回归分析中，结果见表5。

2.5 图像质量的主观评价 所有的图像质量均能满足临床诊断要求，评价分均在3分以上，2名医师对图像评价结果的一致性一般($K = 0.544$ ， $P < 0.001$)。

表1 受检者LAT、 F_{Dw} 和 D_w 差异

分组	LAT(cm)	F_{Dw}	D_w
A	21.10(20.38,21.65) ^a	2.00(1.90,2.07)	16.65(15.71,18.14)
B	23.26(22.62,24.26) ^b	1.97(1.81,2.06)	17.00(15.88,19.41)
C	26.91(26.05,29.54) ^c	1.96(1.75,2.02)	17.16(16.34,20.24)
H值	66.14	1.79	1.88
P值	<0.001	0.409	0.390

表2 $CTDI_{vol}$ 、 $SSDE_{Dw}$ 差异及相关性分析

分组	$CTDI_{vol}$ (mGy)	$SSDE_{Dw}$ (mGy)	Z值	P值	r值
A	8.63(8.24, 9.50)	17.40(16.72,18.03)	-5.021	0.000	0.919
B	9.27(8.30,12.09)	18.30(16.51,22.45)	-4.457	0.000	0.909
C	10.25(9.42,12.41)	20.71(18.22,22.17)	-3.724	0.000	0.892
P值	0.002	0.009			

表3 $SSDE_{Dw}$ 与各变量的相关性

变量	性别	年龄	$CTDI_{vol}$	A_{ROI}	LAT
r	0.038	-0.051	0.868**	0.020	0.373**
P值	0.741	0.662	0.000	0.862	0.001

注：**表示 $P < 0.01$ (双尾)，相关性非常显著。

表5 $SSDE_{Dw}$ 多因素逐步回归模型

变量	未标准化系数		t	P值	B的95.0%置信区间	
	B	标准误差			下限	上限
(常量)	8.975	3.431	2.616	0.011	2.139	15.811
LAT	0.44	0.146	3.008	0.004	0.149	0.732

表4 $SSDE_{Dw}$ 多元回归分析

变量	未标准化系数		标准化系数 t	P值	B的95.0%置信区间	
	B	标准误差			下限	上限
(常量)	8.904	3.745	2.377	0.020	1.438	16.369
性别	0.979	0.906	0.130	1.081	0.283	-0.827 2.785
年龄	-0.188	0.217	-0.149	-0.863	0.391	-0.621 0.246
A_{ROI}	0.011	0.008	0.230	1.369	0.175	-0.005 0.026
LAT	0.372	0.155	0.277	2.395	0.019	0.062 0.682

3 讨论

心脏CTA不仅可以准确评估心脏结构异常,对于气道畸形、纵隔及肺部病变均有较好诊断效能,是儿科循环及呼吸系统疾病筛查必不可少的检查手段。正因为如此,准确评估辐射剂量,对于检查决策非常重要。传统上通常采用CTDI_{vol}对辐射剂量进行评估,CTDI_{vol}由管电压、管电流、扫描时间、螺距等多种因素决定,是基于标准体模得到的参数^[9]。然而当被检查者与标准体模在大小、形状有差距的情况下,并不能真实反映其受到的辐射剂量,更多反映的是设备输出的辐射剂量水平^[10]。由于儿童在体型、结构上与体模相差很大,不同年龄段儿童的体型差异亦比较大,用CTDI_{vol}来评估辐射剂量往往会导致低估,因此亟待采用一种更准确的剂量计算方法。

AAPM学会提出了使用SSDE_{Dw}来评价其辐射剂量,既考虑了不同患者的体型和组织密度,又考虑了机器的输出剂量,尤其适用于气体含量较高的胸部,更能准确地反映患者所接受的辐射剂量^[11-13]。本研究中LAT最小的A组的辐射剂量SSDE_{Dw}较CTDI_{vol}高197.37%,说明当被检查者体型较小时,CTDI_{vol}对剂量的低估尤为严重。本研究发现随着LAT的增大,患儿的D_w增大,而F_{Dw}逐渐减少,SSDE_{Dw}与CTDI_{vol}的差异度也在逐渐减小,这与袁肖娜等^[14-15]的研究结论一致。并且A、B、C三组患儿其转换因子F_{Dw}均>1,这就说明在使用CTDI_{vol}衡量学龄儿童心脏CTA检查辐射剂量时,CTDI_{vol}低估了其辐射剂量,这个发现与既往研究结论一致^[16]。现今,大部分关于儿童心脏CTA体型特异性剂量分析都是基于年龄与D_w进行的分组。而LAT分组的研究相对较少;考虑到同龄儿童之间的体型差异也会显著,笔者使用LAT对患者进行分组,能更准确地估计同一年龄段内体型有差异的儿童SSDE_{Dw}。随着LAT的减小,辐射剂量的低估程度会更加严重。本文研究结果表明LAT不但会影响学龄儿童心脏CTA辐射剂量,还进一步发现了LAT与SSDE_{Dw}有高度相关性,呈0.44倍正相关,即LAT每增加1cm,SSDE_{Dw}增加0.44mGy。

本研究不足之处:(1)研究中的辐射剂量CTDI_{vol}来自机器的输出,未对实际剂量进行测量,存在一定的偏差;(2)本研究中所需数据经过手动勾画,难免导致结果跟实际存在一定误差;(3)每组的样本量不大,以后将收集更多样本量进一步研究。

4 结论

CTDI_{vol}对学龄儿童心脏CTA检查辐射剂量存在明显低估,LAT越小,低估程度越严重。与之对比,SSDE_{Dw}对患者受到的辐射评估更为准确。此外,LAT每增加1cm,SSDE_{Dw}增加0.44mGy,这个结果能够为临床评估、控制儿童心脏CTA辐射剂量提供参考。

参考文献

- [1]刘永熙,陈文俊,黄育斌,等.128层MSCT虚拟仿真内镜技术在婴幼儿先天性心脏病的应用[J].放射学实践,2022,37(2):248-255.
- [2]李润根,时超刚,赵静,等.欧洲儿童CT成像的诊断参考水平[J].中华放射医学与防护杂志,2020,40(4):326-332.
- [3]王卫鹏,张翼,张梦龙,等.基于CT辐射剂量结构化报告的CT辐射剂量分析[J].中华放射医学与防护杂志,2014(9):706-709.
- [4]Huda W,Mettler F A.Volume CT dose index and dose-length product displayed during CT:what good are they[J].Radiology,2011,258(1):236-242.
- [5]孙记航,段晓岷,于彤,等.儿童CT扫描辐射剂量现状调查和诊断参考水平的初步探讨[J].中华放射学杂志,2022,56(10):1135-1140.
- [6]Li B,Behrman R H,Norbash A M.Comparison of topogram-based body size indices for CT dose consideration and scan protocol optimization[J].Med Phys,2012,39(6):3456-3465.
- [7]Abuhaimeid A,Martin C J.Estimation of size-specific dose estimates (SSDE) for paediatric and adults patients based on a single slice[J].Phys Med,2020,74:30-39.
- [8]许书聪,郝文瀚,袁新宇,等.基于水当量直径体型特异性剂量估计在儿童头部CT检查中的价值[J].中华放射医学与防护杂志,2022,42(1):69-72.
- [9]Dong F,Davros W,Pozzuto J,et al.Optimization of kilovoltage and tube current-exposure time product based on abdominal circumference:an oval phantom study for pediatric abdominal CT[J].AJR Am J Roentgenol,2012,199(3):670-676.
- [10]张晓东,郭小超,王霄英.体型特异性剂量估计的最新概念及临床应用[J].中国医学影像技术,2016,32(12):1822-1826.
- [11]张见,张晓军,王颖.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[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(01):86-88.
- [12]Chen T,Kong X,Peng W,et al.Applying the AAPM 293 report to estimate the absorbed dose during head computed tomography:using head circumference for rapid dose estimation[J].Quantitative Imaging in Medicine and Surgery,2023,13(5):3140.
- [13]Gabusi M,Riccardi L,Aliberti C,et al.Radiation dose in chest CT:assessment of size-specific dose estimates based on water-equivalent correction[J].Physica Medica,2016,32(2):393-397.
- [14]张楠,边传振,王颖,等.不同体型特异性剂量估算值在儿童胸部CT的应用[J].中国医疗设备,2020,35(3):88-91,95.
- [15]袁肖娜,高知玲,马文东,等.对比分析容积CT剂量指数与体型特异性的剂量评估在估算腹部CT扫描辐射剂量中的差异[J].中华放射医学与防护杂志,2016,36(1):74-77.
- [16]张见,张晓军,刘鹏.婴幼儿心脏CTA检查不同辐射剂量衡量方法的对比分析[J].中国医疗设备,2022,37(7):72-75.

(收稿日期:2023-10-24)

(校对编辑:江丽华)