

中心层左右径在儿童胸部 CT 体型特异性剂量测量中的应用

章静, 曹建, 薛跃君

【摘要】 目的:比较容积 CT 剂量指数(CTDIvol)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儿童胸部 CT 检查中的差异。**方法:**回顾性分析 2020 年 1 月至 2021 年 8 月行胸部 CT 检查的 131 例儿童的病例资料,所有患儿图像均能满足诊断要求。根据患儿图像中心层面的左右径(LAT)进行分组:A 组 $LAT < 20$ cm, 22 例;B 组 $20 \leq LAT < 23$ cm, 20 例;C 组 $23 \leq LAT < 26$ cm, 21 例;D 组 $26 \leq LAT < 29$ cm, 25 例;E 组 $29 \leq LAT < 32$ cm, 23 例;F 组 $LAT \geq 32$ cm, 20 例。测量患儿胸部中心层 CT 图像的最大左右径,手动勾画体表最小的范围,不包括检查床床板,测量平均 CT 值、面积,记录患儿的 CTDIvol,并计算转换因子 f_{WED} 和 SSDE,比较 CTDIvol 与 SSDE 的差异。**结果:**各组的左右径(LAT)、转换因子(f_{WED})、水当量直径(WED)差异均有统计学意义(P 值均 < 0.05)。6 组 CTDIvol 与 SSDE 差异度依次为 223.06%、213.01%、203.44%、181.58%、173.58%、157.87%。各组 CTDIvol 与 SSDE 均呈正相关。**结论:**儿童胸部 CT 检查中,CTDIvol 较 SSDE 低估了患儿的辐射剂量,且患儿中心层面左右径越小,被低估的辐射剂量越大。

【关键词】 辐射剂量; 儿童; 胸部; 左右径; 体型特异性剂量估算; 容积 CT 剂量指数

【中图分类号】 R725.6; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)01-0080-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of the size-specific dose estimate based on the left-right diameter of central plane of chest CT in children ZHANG Jing, CAO Jian, XUE Yue-jun. Department of Radiology, Changzhou Second People's Hospital, Jiangsu 213000, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to compare the difference of radiation dose measured by volume CT dose index (CTDIvol) and size-specific dose estimate (SSDE) in children's chest CT. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the data of 131 children who underwent chest CT scan from January 2020 to August 2021, and all images could meet the diagnostic requirements. All subjects were divided into different groups according to the left-right (LAT) sizes at the central plane: group A, 22 cases with $LAT < 20$ cm, group B, 20 cases with $20 \leq LAT < 23$ cm, group C, 21 cases with $23 \leq LAT < 26$ cm, group D, 25 cases with $26 \leq LAT < 29$ cm, group E, 23 cases with $29 \leq LAT < 32$ cm, group F, 20 cases with $LAT \geq 32$ cm. The maximum diameter of LAT of each patient was measured on the central CT plane, and the minimum range of body surface was delineated manually, excluding the bed board. The average CT value and area were measured, and CTDIvol, f_{WED} and SSDE of each patient were recorded and calculated. The differences between CTDIvol and SSDE were compared. **Results:** There were significant differences in the LAT, f_{WED} and water equivalent diameter (WED) among all groups ($P < 0.05$). The variability between CTDIvol and SSDE of 6 groups were 223.06%, 213.01%, 203.44%, 181.58%, 173.58% and 157.87%, respectively. CTDIvol was positively correlated with SSDE in each group. **Conclusions:** In chest CT scan of children, CTDIvol underestimate the radiation dose compared with SSDE, and the smaller LAT diameters of the central plane, the greater the underestimated radiation dose.

【Key words】 Radiation dose; Children; Chest; Diameters of left-right; Size-specific dose estimate; Volume CT dose index

作者单位: 213000 江苏, 常州市第二人民医院放射科

作者简介: 章静(1991—), 女, 江苏宿迁人, 学士, 主管技师, 主要从事 CT、MRI 影像技术工作。

通讯作者: 薛跃君, E-mail: xyjxfzfsk@sina.com

CT 检查的辐射剂量一直是人们关注的问题, 由于儿童的辐射敏感度高于成人, 儿童的辐射剂量更受

关注^[1],因此在检查时合理地监测及降低儿童的辐射剂量异常重要。胸部 CT 在儿童的影像检查中比较常见,尤其对肺炎、排除支气管异物的患儿。常用 CT 扫描辐射剂量评估参数包括容积 CT 剂量指数(volume CT dose Index,CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product,DLP)^[2],表示某一扫描条件下直径为 16 cm 或 32 cm 的 CT 体模的辐射剂量,反映 CT 设备输出的辐射剂量,但不能反映患者接受的辐射剂量^[3]。2014 年美国医学物理师学会(AAPM)发布 220 号报告^[4],对体型特异性剂量估算(size specific dose estimation,SSDE)方法中患者体型的测量方法以及受检者个体化体型相关参数做了进一步修正,提出利用水当量直径(water equivalent diameter,WED)联合 CTDIvol,用相应的转换因子来估算 SSDE 的方法^[4]。本研究旨在探讨不同左右径下患儿 CTDIvol 与 SSDE 的差异。

材料与方法

1.病例资料

回顾性分析常州第二人民医院 2020 年 1 月至 2021 年 8 月行胸部 CT 检查的 131 例患儿的病例资料,其中男 78 例,女 53 例,年龄 0~18 岁,所有患儿图像均能满足诊断要求。病例排除标准:不能配合的患儿;存在运动伪影或体位不标准,或由于体外异物伪影可能造成辐射剂量估计不准。根据患儿图像中心层面的左右径(left and transverse diameter,LAT)来分组:A 组 LAT<20 cm,22 例;B 组 20≤LAT<23 cm,20 例;C 组 23≤LAT<26 cm,21 例;D 组 26≤LAT<29 cm,25 例;E 组 29≤LAT<32 cm,23 例;F 组 LAT≥32 cm,20 例。

2.检查方法

CT 检查采用 GE Revolution 256 排 CT 机,患儿取仰卧位,双手上举,扫描范围从肺尖至肺底。扫描参数:螺旋扫描,管电压 100 kV,自动 mA 控制技术(SmartmA 250~400 mA),球馆转速 0.35 s/r,探测器

宽度 80 mm,螺距 0.992,重建层厚 5 mm,层间隔 5 mm。

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,测量患儿胸部中心层 CT 图像的最大左右径(LAT),手动勾画体表最小范围,不包括检查床床板,测量平均 CT 值、面积,参照 AAPM 220 号报告,根据公式①~③进行数据测量和计算:

WED=2√(Aroi/π)(CTroi/1000+1)①

fWED=a×e-b×WED②

SSDE=fWED×CTDIvol③

上述公式中 Aroi 为中心层面面积,单位 cm²,CTroi 为中心层面的平均 CT 值,单位 HU,中心层面为肺尖至肺底扫描范围的中间层面,fWED 为转换因子,a 和 b 为常数,分别取值 4.378 和 0.043^[5],WED 为水当量直径,SSDE 为体型特异性剂量估算。本研究 CTDIvol 是在 32 cm 的聚甲基丙烯酸标准体模条件下获取的。

4.统计学分析

采用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。数据经正态性检验,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布的数据以中位数(四分位数间距)[M(Q1,Q3)]表示;符合正态分布数据的组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),各组采用 LSD 法进行两两比较;不符合正态分布数据的组间比较采用秩和检验,CTDIvol 和 SSDE 使用 Spearman 相关性分析。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

各组的左右径、转换因子、水当量直径差异均有统计学意义(P<0.05),且随着 LAT 的增大,fWED 逐渐变小,WED 逐渐增大;但 B 组与 C 组的 fWED、D 组与 E 组的 fWED 差异无统计学意义(P>0.05,表 1)。六组的 CTDIvol 与 SSDE 组间比较采用非参数检验,差异有统计学意义(P<0.05),并且每组组内的 CTDIvol 和

表 1 131 例受检者左右径、转换因子和水当量直径结果比较

分组	例数	LAT(mm)	fWED	WED(cm)
A	22	183.61±13.28	3.23±0.13	7.08±0.89
B	20	209.31±7.47 ^a	3.13±0.07 ^a	7.78±0.50
C	21	242.84±6.42 ^{ab}	3.04±0.12 ^a	8.54±0.92 ^a
D	25	277.7±8.01 ^{abc}	2.81±0.22 ^{abc}	10.40±2.19 ^{abc}
E	23	304.17±9.26 ^{abcd}	2.74±0.08 ^{abc}	10.90±0.67 ^{abc}
F	20	343.33±26.47 ^{abcde}	2.58±0.21 ^{abcde}	12.47±2.49 ^{abcde}
F 值		412.23	57.61	38.92
P 值		0.000	0.000	0.000

注:A 组 LAT<20 cm,B 组 20≤LAT<23 cm,C 组 23≤LAT<26 cm,D 组 26≤LAT<29 cm,E 组 29≤LAT<32 cm,F 组 LAT≥32 cm;LAT:受检者中心层面左右径;fWED:水当量直径转换因子;WED:水当量直径。^a 与 A 组比较,P<0.05;^b 与 B 组比较,P<0.05;^c 与 C 组比较,P<0.05;^d 与 D 组比较,P<0.05;^e 与 E 组比较,P<0.05,差异有统计学意义。

表 2 131 例受检者 CTDIvol、SSDE 结果比较及两者的相关性分析

分组	CTDIvol(mGy)	SSDE(mGy)	Z 值	P 值	r 值
A	3.69(3.69,3.69)	11.80(11.70,12.07)	-4.107	0.00	0.334
B	3.69(3.69,3.69)	11.49(11.30,11.76)	-3.724	0.00	0.431
C	3.69(3.69,3.69)	11.17(10.97,11.46)	-4.015	0.00	0.484
D	3.92(3.70,6.11)	11.10(10.54,17.45)	-4.372	0.00	0.880
E	6.30(3.78,7.03)	17.75(10.43,19.48)	-4.197	0.00	0.955
F	7.40(6.95,8.46)	19.69(18.29,21.97)	-3.920	0.00	0.967
P 值	0.00	0.00			

注: A 组 LAT<20 cm, B 组 20≤LAT<23 cm, C 组 23≤LAT<26 cm, D 组 26≤LAT<29 cm, E 组 29≤LAT<32 cm, F 组 LAT≥32 cm; CTDIvol: 容积剂量指数; SSDE: 体型特异性剂量估算

SSDE 经配对非参数检验,结果显示差异有统计学意义($Z=-4.107$ 、 -3.724 、 -4.015 、 -4.372 、 -4.197 、 -3.920 , $P<0.05$, 表 2)。6 组的 CTDIvol 平均剂量分别为 3.73 mGy、3.69 mGy、3.78 mGy、4.94 mGy、5.83 mGy、7.50 mGy; SSDE 平均剂量分别为 12.05 mGy、11.55 mGy、11.47 mGy、13.91 mGy、15.95 mGy、19.34 mGy。随着 LAT 的增大,CTDIvol 与 SSDE 之间的差异度依次为 223.06%、213.01%、203.44%、181.58%、173.58%、157.87%。各组的 CTDIvol 和 SSDE 呈正相关($P<0.01$, 表 2)。

讨 论

基于 WED 计算的 SSDE 充分考虑了患者的体型差异,计算中需要测量检查断层的平均 CT 值及该层面的体表最小面积,考虑了人体对 X 射线的衰减特征;而 CTDIvol 基于标准体模计算得到,更多反映的是设备的输出辐射剂量水平^[6],与患者体型无关,而且儿童胸部的气体在整个胸部区域中占比较小^[7],往往会大大低估患儿所接受的辐射剂量,而对于体型较大者所接受的实际辐射剂量又会被高估。

本研究中,CTDIvol 的测量是采用直径 32 cm 的体模,但所分析的数据中 LAT 超过 32 cm 的只集中在 14~18 岁的患儿中,因此使用 CTDIvol 来估算剂量是不准确的。很多研究表明,SSDE 能够评估不同体型的受检者在胸部 CT 扫描中的辐射剂量,而 CTDIvol 低估了剂量^[8],而且跟体模直径相差越大,被低估的剂量越大,本研究中最小左右径 A 组的辐射剂量 CTDIvol 相较于 SSDE 被低估了约 69%。通常儿童体型差异较大,各器官对辐射更为敏感,所以精确 SSDE 的测量计算尤为重要。本研究中,随着 LAT 的增大,患儿的 WED 增大, f_{WED} 减小,SSDE 与 CTDIvol 的差异度也在减小,这与袁肖娜等^[9]和张楠等^[10]的研究结论一致,虽然 B 组与 C 组的 f_{WED} 、D 组与 E 组的 f_{WED} 差异无统计学意义,但每组均有不符合该组平均样本年龄的样本出现;且通过观察每组 CTDIvol 和 SSDE 的四分位间距, A-E 组逐渐增大, F 组却小于 E 组,说明 LAT 小于 32 cm 的患儿,随着 LAT 的增大 SSDE 的

变异度也增大,但大于 32 cm 时变异度减小;出现这种情况的原因主要是因为 WED 接近于 32 cm,接近于成人,转换因子变小,但大于 1,但 CTDIvol 仍然小于 SSDE。本研究结果证实各组 CTDIvol 与 SSDE 呈正相关, LAT 越大相关性越高。

现在大部分体型特异性剂量分析是基于患儿的年龄来进行研究^[11],基于左右径的研究很少,但考虑到儿童发育的差异性,同一年龄患儿的体型差异可能较大,本研究采用左右径来分组,能更准确估算相同年龄段体型偏小或偏大患儿的 SSDE。相对于成人基于左右径来研究体型特异性剂量分析的研究,儿童的 f_{WED} 值均大于成人^[12],左右径越小,辐射剂量被低估越大,本研究中最高达到了 223.06%。

本研究存在以下局限性:每组的样本量不大,需要扩大样本量进一步研究;经手动勾画中心层面的体表面积,可能会有误差;计算的是中心层面的 SSDE,没有进一步计算每层面的 SSDE,本研究采用的转换因子是基于 32 cm 体模,后期会进一步对基于 16 cm 体模的数据进行对比分析。

综上所述,儿童采用左右径进行分组,计算基于 WED 的 SSDE 可以考虑儿童体型的差异性和组织对射线的衰减特性,以及儿童各器官本身对射线的敏感性,可以更加准确地估算患儿的辐射剂量。

参考文献:

[1] Khong P, Ringertz H, Donoghue V, et al. ICRP publication 121: radiological protection in pediatric diagnostic and interventional radiology[J]. Ann ICRP, 2013, 42(2): 1-63.

[2] 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]. Am J Roentgenol, 2012, 199(3): 670-676.

[3] 张晓东, 郭小超, 王霄英, 等. 体型特异性剂量估计的概念和方法[J]. 放射学实践, 2013, 28(3): 312-314.

[4] McCollough C, Bakalyar DM, Bostani M, et al. Use of water equivalent diameter for calculating patient size and size-specific dose estimates (SSDE) in CT: the Report of AAPM TG 220[R]. AAPM Rep, 2014: 6-23.

[5] American Association of Physicists in Medicine. Report of AAPM TG 204: size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult

body CT examinations[R].AAPM,2011;1-22.

[6] Leng S,Shiung M,Duan X, et al.Size-specific dose estimates for chest,abdominal,and pelvic CT;effect of inpatient variability in water-equivalent diameter[J].Radiology,2015,276(1):184-190.

[7] 郑丽丽,廖甜,彭伟,等.儿童 CT 检查中不同体型特异性辐射剂量估计的初步对比分析[J].放射学实践,2019,34(8):916-919.

[8] 王军娜,王世威,徐志超,等.两种剂量估算方法在成人胸部 CT 辐射剂量评估中的应用价值[J].中华放射医学与防护杂志,2019,39(9):711-714.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 柳怡,韩士忠,张鑫,等.基于辐射剂量结构化报告的未成年人胸部 CT 检查体型特异性剂量分析[J].中华放射医学与防护杂志,2020,40(9):707-711.

[12] 袁子龙,王国柱,张照喜,等.比较不同体型特异性剂量评估算法在估算成人胸腹部 CT 扫描中辐射剂量的差异[J].中华放射医学与防护杂志,2016,36(11):852-856.

(收稿日期:2021-12-03 修回日期:2022-04-06)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

- ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数
- ALT:丙氨酸转氨酶;AST:天冬氨酸转氨酶
- BF (blood flow):血流量
- BOLD (blood oxygenation level dependent):血氧水平依赖
- BV (blood volume):血容量
- b:扩散梯度因子
- CAG (coronary angiography):冠状动脉造影
- CPR (curve planar reformation):曲面重组
- CR(computed radiography):计算机 X 线摄影术
- CT (computed tomography):计算机体层成像
- CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像
- CTPI(CT perfusion imaging):CT 灌注成像
- DICOM (digital imaging and communication in medicine):医学数字成像和传输
- DR(digital radiography):数字化 X 线摄影术
- DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影
- DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像
- DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像
- ECG (electrocardiography):心电图
- EPI (echo planar imaging):回波平面成像
- ERCP(endoscopic retrograde cholangiopancreatography):经内镜逆行胰胆管造影术
- ETL (echo train length):回波链长度
- FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):液体衰减反转恢复
- FLASH (fast low angel shot):快速小角度激发
- FOV (field of view):视野
- FSE (fast spin echo):快速自旋回波
- fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共振成像
- IR (inversion recovery):反转恢复
- Gd-DTPA:钆喷替酸葡甲胺
- GRE (gradient echo):梯度回波
- HE 染色:苏木素-伊红染色
- HRCT(high resolution CT):高分辨率 CT
- MPR (multi-planar reformation):多平面重组

- MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影
- MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影
- MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像
- MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像
- MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学
- MRCP(magnetic resonance cholangiopancreatography):磁共振胰胆管成像
- MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT
- MTT (mean transit time):平均通过时间
- NEX (number of excitation):激励次数
- PACS (picture archiving and communication system):图像存储与传输系统
- PC (phase contrast):相位对比法
- PET (positron emission tomography):正电子发射计算机体层成像
- PS (surface permeability):表面通透性
- ROC 曲线(receiver operating characteristic curve):受试者操作特征曲线
- SPECT (single photon emission computed tomography):单光子发射计算机体层摄影术
- PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像
- ROI (region of interest):兴趣区
- SE (spin echo):自旋回波
- STIR(short time inversion recovery):短时反转恢复
- TACE(transcatheter arterial chemoembolization):经导管动脉化疗栓塞术
- T₁ WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像
- T₂ WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像
- TE (time of echo):回波时间
- TI (time of inversion):反转时间
- TR (time of repetition):重复时间
- TOF (time of flight):时间飞跃法
- TSE (turbo spin echo):快速自旋回波
- VR (volume rendering):容积再现
- WHO (World Health Organization):世界卫生组织
- NAA(N-acetylaspartate):N-乙酰天门冬氨酸
- Cho(choline):胆碱
- Cr(creatine):肌酸