

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

郑丽丽, 廖甜, 彭伟, 陈迢, 张照喜, 陈浩, 贺瑶瑶, 袁子龙

【摘要】 目的:比较基于有效直径(ED)和水等效直径(WED)的体型特异性剂量估计(SSDE)算法在评估儿童 CT 检查的辐射剂量中的差异。**方法:**回顾性分析在本院使用 Siemens Somatom Definition AS+ 64 排 128 层 CT 机进行 CT 检查的 43 例儿童患者的病例资料,其中行头部检查者 13 例、胸部 15 例、腹盆部 15 例。记录每例患儿 CT 检查中的 CT 容积指数(CTDIvol),计算有效直径(ED)和水等效直径(WED),并计算两者对应的辐射剂量(SSD_{EED}、SSD_{EWED})。采用 Bland-Altman 分析来比较两组算法间的差异。**结果:**在儿童胸部、腹盆部和头部 CT 检查中,基于 ED 计算的辐射剂量(SSD_{EED})较 WED 计算的辐射剂量(SSD_{EWED})分别低 8.75%、低 0.77%和高 4.35%;各部位 ED 与 WED 的平均百分差异依次为 10.49%、0.72%和 -7.25%,95%一致性界限(LOA)分别为 0.29%~20.70%、-21.87%~23.30%和 -10.65%~-3.86%;各部位 SSD_{EED}与 SSD_{EWED}的平均百分差异依次为 -8.75%、4.35%和 -0.77%,LOA 分别为和 -15.69%~-1.8%、2.44%~6.26%和 -17.3%~15.75%。**结论:**与基于有效直径的 SSDE 估计相比,基于水等效直径的 SSDE 能够更好地反映儿童体型和组织衰减特性,因而可以更加准确地估算儿童患者的 CT 辐射剂量。

【关键词】 儿童;有效直径;水等效直径;体型特异性剂量估计;辐射剂量

【中图分类号】 R814.42;R814.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)08-0916-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.08.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preliminary comparative analysis of the different size-specific dose estimates in CT examination for children ZHENG Li-li, LIAO Tian, PENG Wei, et al. Department of Radiology, Hubei Cancer Hospital, Wuhan 430079, China

【Abstract】 Objective: To investigate the difference between size-specific dose estimates (SSDE) based on effective diameter (ED) and water equivalent diameter (WED) in evaluating the radiation dose of CT scans in children. **Methods:** A total of 43 children who underwent CT scan at Siemens Somatom Definition AS+ 64-row 128-slice CT scanner were retrospectively enrolled in this study. Of the 43 cases, the examination position were the CT data of head in 13 cases, chest in 15 cases and abdomen-pelvis in 15 children were analyzed. The volume CT dose index (CTDIvol) in each CT scan was firstly recorded. Then, the ED, WED, and corresponding SSD_{EED} and SSD_{EWED} were calculated. And WED and SSD_{EWED} were taken as references to compare the difference with ED and SSD_{EED}. **Results:** In the chest, abdomen-pelvis and head examinations of children, due to the difference between ED and WED, SSD_{EED} was lower than SSD_{EWED} with a ratio of 8.75%, 0.77% and -4.35%, respectively; the average percentage of difference and 95% limit of agreement (LOA) between ED and WED were 10.49%, 0.72%, -7.25%, and 0.29%~20.7%, -10.65%~-3.86%, -21.87%~23.30%; the average percentage difference and 95% LOA between SSD_{EED} and SSD_{EWED} were -8.75%, 4.35%, -0.77%, and 15.69%~-1.8%, 2.44%~6.26%, -17.3%~15.75%, respectively. **Conclusion:** Compared with SSD_{EED}, SSD_{EWED} can better reflect the size and tissue attenuation characteristics of children, so it can more accurately estimate the CT radiation dose of children patients.

【Key words】 Children; Effective diameter; Water equivalent diameter; Size-specific dose estimates; Radiation dose

作者单位: 430079 武汉, 湖北省肿瘤医院放射科

作者简介: 郑丽丽(1986-), 女, 河北沧州人, 技师, 主要从事医学影像技术工作。

通讯作者: 袁子龙, E-mail: yuanzilong0213@126.com

基金项目: 科技部国家重点专项计划项目(2016YFC0103400)

CT 检查作为诊断儿童疾病的有效手段在临床中的应用越来越广泛,但其辐射安全问题也引起了人们的广泛关注^[1-2]。目前临床上评估 CT 辐射剂量的常用指标有容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积^[3-6]。但是, Li 等^[7]的研究表明,采用这些常用的辐射剂量评价指标将会导致对儿童患者接受的辐射剂量低估 2~3 倍,因此需要更准确的方法来评估儿童患者的辐射剂量。美国医学物理学家协会(American Association of Physicists in Medicine, AAPM)分别于 2011 年和 2014 年提出了基于有效直径(effective diameter, ED)和水等效直径(water equivalent diameter, WED)的体型特异性剂量估计(size-specific dose estimates, SSDE)方法^[8-9],以此来修正体型和组织衰减对于 CTDIvol 和 DLP 等参数的影响。目前国内外已有较多研究比较这两种方法在估算成人辐射剂量中的差异^[10-12],但在儿童中的应用研究相对较少^[13]。因此,本研究拟通过比较基于 WED 计算的 SSD_{EWED}与基于 ED 的 SSD_{EED}在估算儿童在 CT 检查中接受的辐射剂量的差异,来进一步探讨这两种计算方法在临床中的应用价值。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性分析 2017 年 1 月—2018 年 10 月于我院行头、胸、腹盆部 CT 平扫的 43 例儿童患者的 CT 资料。其中男 22 例,女 21 例,年龄 1~12 岁,平均 5.6 岁;行头部检查者 13 例,胸部 15 例,腹盆部 15 例。所有患者的图像满足诊断要求。

2. 扫描方案

使用 Siemens Somatom Definition AS+ 64 排 128 层 CT 机。头部扫描前适当使用约束装置,胸腹部扫描前对可配合者行呼吸训练。患者取仰卧位,头部扫描范围自颅顶至颅底,胸部扫描范围自胸廓入口至肺底,腹盆部扫描范围自膈顶至耻骨联合下缘。扫描参数:使用 CARE Dose 4D 电流调控技术,30~175 mAs,100~120 kV,重建层厚 5 mm,层间隔 5 mm,螺距 1.2,机架转速 2 r/s。

3. 数据采集与测量

将扫描图像及剂量报告传送至 PACS 系统,记录每例患者的 CTDIvol,参考 AAPM 发布的 204 及 220 号报告^[8-9],选取扫描范围中心层面的横轴面 CT 图像,勾画椭圆形 ROI 包含所有解剖结构(包含体表皮,但不含床板),测量 ROI 的前后径(anterior-posterior dimension, AP)、横径(lateral dimension, Lat),AP 为椭圆形 ROI 的最小短径,Lat 为椭圆形 ROI 的最大长径,计算 ED、转换因子(f_{ED})及 SSD_{EED}(mGy):

$$ED = (AP \times LAT)^{1/2} \quad (1)$$

$$f_{ED} = a \times e^{-b} \times ED \quad (2)$$

$$SSD_{EED} = f_{ED} \times CTDIvol \quad (3)$$

计算勾画区域 ROI 的面积 A_{ROI} 及 CT 值(CT_{ROI})、WED、转换因子(f_{WED})及 SSD_{EWED}(mGy):

$$WED = 2 \times [(CT_{ROI}/1000 + 1) \times A_{ROI}/\pi]^{1/2} \quad (4)$$

$$f_{WED} = a \times e^{-b} \times WED \quad (5)$$

$$SSD_{EWED} = f_{WED} \times CTDIvol \quad (6)$$

其中, $a=1.875$, $b=0.039$, e 为自然对数,取值为 2.71828。

4. 统计学分析

使用 GraphPad Prism 软件进行统计分析,以 WED 及 SSD_{EWED} 为参考,绘制 Bland-Altman 图来分析在儿童头、胸和腹盆部 CT 检查中两种方法估算的辐射剂量之间的差异,计算两种方法测量值的差值的均值(mean of difference, MD)、标准差(SD)及差值百分比(D%),以 $Mdiffer \pm 1.96SD$ 定义为 95% 的一致性界限(limit of agreement, LOA)。

结果

1. 各部位 ED 与 WED 的比较

各部位 ED 与 WED 的比较结果见表 1 和图 1。三个部位中,以腹盆部的 ED 与 WED 间的差异最小(0.72),胸部最大(10.49%)。而两者间 95% LOA 以头部最小,腹盆部最大,仅在腹盆部组中有 1 例患者的数据处于 95% LOA 外,其百分差异达 39.19% (图 1c)。

2. 儿童不同部位 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 比较

各部位 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 的比较结果见表 3 和图 2。三个部位中,以腹盆部的 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 由的差异最小,胸部最大。而两者间 95% LOA 以头部最小,腹盆部最大;其中腹盆部有 1 例患者的数据处于 95% LOA 外,其百分差异为一 28.79% (图 2c),头部也有 1 例患者的数据位于 95% LOA 之外,其百分差异为 6.64% (图 2a)。

讨论

目前临床上常用 CTDIvol 及 DLP 来评价患者的辐射剂量,但是大量研究结果表明这 2 项指标与患者的体型之间无显著相关性^[6,14-16],采用 CTDIvol 及 DLP 等常见剂量指标对儿童患者在 CT 检查中接受的辐射剂量进行评估时,可能导致对儿童辐射剂量的严重低估,这对于儿童来说是绝不允许的^[7]。SSDE 作为一种新的评价方法可以有效的弥补 CTDIvol 等不能反映体型差异及组织衰减等方面的不足。基于水等效直径计算 SSD_{EWED} 是在基于有效直径计算 SSD_{EED}

表 1 不同部位两种计算方法的比较

指标比较	头部		胸		腹盆	
	D%	95%LOA	D%	95%LOA	D%	95%LOA
SSD _{EED} 与 SSD _{EWED}	4.35	2.44~6.26	-8.75	-15.69~-1.80	-0.77	-17.3~15.75
ED 与 WED	-7.25	-10.65~-3.86	10.49	0.29~20.7	0.72	-21.87~23.3

之后进一步发展的新算法,已经广泛的应用于临床 CT 辐射剂量的评价中,但是对于这 2 种方法应用于儿童患者时的对比分析尚鲜见报道。因此本研究通过 Bland-Altman 分析来比较 WED 与 ED、SSD_{EWED} 与 SSD_{EED} 在评估儿童 CT 检查辐射剂量方面的差异,旨在进一步拓展其在儿童 CT 辐射剂量评价中的应用。

本组研究结果表明,在儿童胸部 CT 检查中 ED 测量值较 WED 高约 10.49%,在腹盆部高约 0.72%,而在头部约低 7.25%,从而导致了胸部的 SSD_{EED} 较 SSD_{EWED} 低估了约 8.75%,腹盆部低估约 0.77%,但在头部约高估 4.35%。由此可以看出,两种算法的结果在胸部差异最大,其次为头部,在腹部两者间差异较小。分析原因可能是由于各部位的组织结构不同所致。腹盆部软组织器官密度较胸部肺组织和头部骨组织更接近于水的密度,从而导致在腹盆部测量时勾画的 ROI 获得的 CT_{ROI} 值更趋近于 0,因此根据公式 4 计算的 WED 值接近于所勾画的椭圆形 ROI 的直径,

此时 WED 值与有效直径的差异就不大,基于两者计算的辐射剂量的值差异就不大;而由于儿童胸部含气量较大,密度远小于水,因此 CTROI 的测量值为负值,故而在胸部所计算的 WED 值明显低于 ED,进而导致 SSD_{EED} 较 SSD_{EWED} 低估了 8.75%。同理,儿童头部组合结构的密度大于水,故在头部 CTROI 值为正值,因此 WED 也就高于 ED,相应的 SSDEED 较 SSDEWED 高估了 4.35%。

国内一些学者针对成人患者对两种算法进行了对比分析。如袁等^[10]的研究结果显示,在成人 CT 检查中采用相似的方法计算的胸部和腹部的 SSD_{EED} 相较于 SSD_{EWED} 的差值百分比分别达 11.6% 和 4.8%,其差异均大于本组研究结果。分析原因可能由于相对于成人胸部,儿童胸部中的气体在整个胸部区域所占比例较小,故胸部的生理密度与水密度的差异不如成人,相应地,所计算的 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 之间的差异略小于成人。同时,儿童腹部的生理密度相比成人,可能

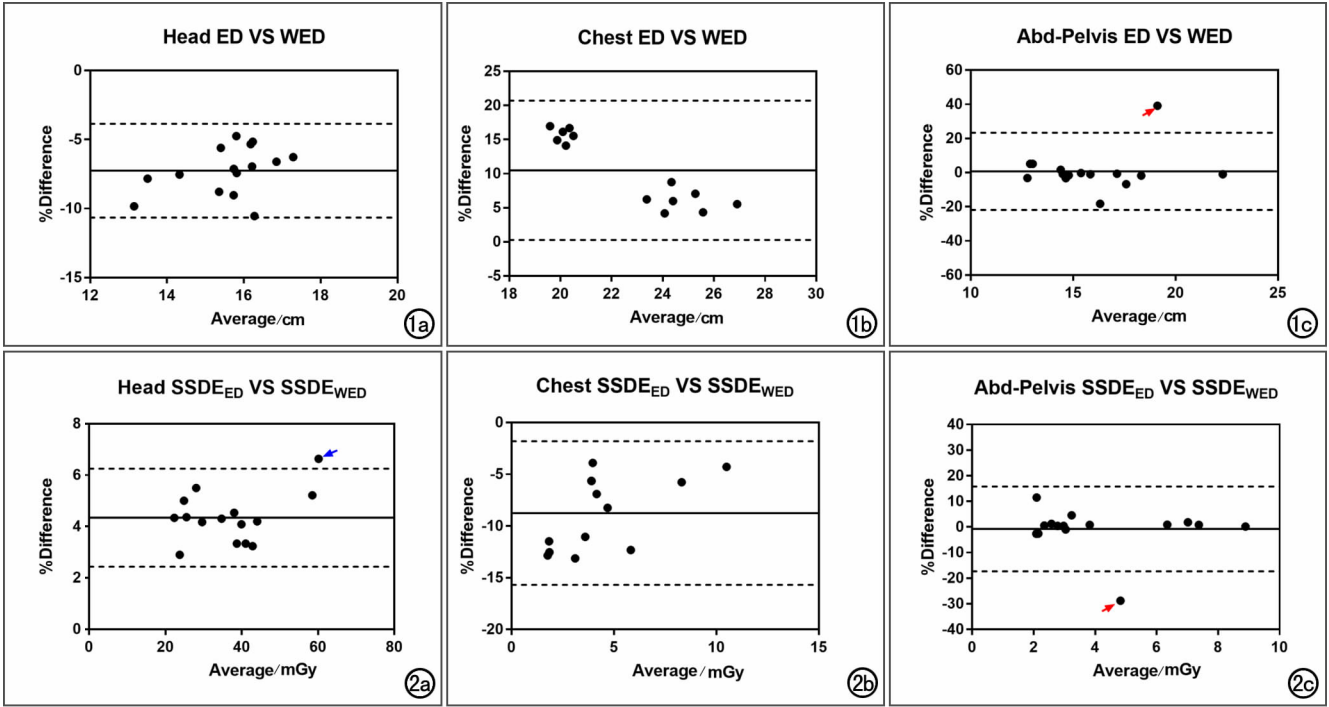


图 1 各部位 ED 与 WED 比较的 Bland-Altman 分析图。图中横坐标 Average 表示表示两种直径的平均值,纵坐标 D% 表示两种直径差值的百分比,实线代表平均百分偏差,虚线代表 95%LOA;相同颜色的箭头所指示的代表同一患者。a) 头部;b) 胸部;c) 腹盆部,其中 1 例患者的数据位于 95%LOA 之外,其百分差异为 39.19%(箭)。图 2 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 比较的 Bland-Altman 分析图。a) 头部,其中 1 例患者的数据位于 95%LOA 之外,其 D% 为 6.64%(箭);b) 胸部;c) 腹盆部,其中 1 例患者的数据处于 95%LOA 之外,其 D% 为 -28.79%(箭)。

更加接近于水的密度,因此其 WED 更接近于 ED,故而儿童腹部检查中计算的 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 的差异性相比成人更小。

本研究中腹盆部组有 1 例的测量数据位于 LOA 之外,其 WED 与 ED 及 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 的差值百分比分别达到了 39.19% 和 -28.79%。经过分析发现,数据测量时选取的中心层面上肠道积气的范围较大,导致 CT_{ROI} 值显著低于其它患者,相应的使得据此计算的 WED 和 SSD_{EWED} 显著降低,与 ED 及 SSD_{EED} 的差值较大。此外,同时在头部 SSD_{EED} 与 SSD_{EWED} 的比较中发现 1 例的数据稍稍处于 95% LOA 之外约 0.39%,可以忽略不计。

当然,本研究也存在一些不足之处:首先,尽管现有的结果已经对两种方法进行了较好的说明,但是其仍然受限与较低的样本量,后期希望能联合多家单位来进行大样本的分析;其次,在 SSDE 的计算中包含了受检者前后径、横径、转换因子等体型特异性因素,故未对样本进行年龄段及体重范围的分组,待样本量扩充后可行进一步的细化研究;第三,WED 的勾画仍然是一个大问题,一定的图像自动勾画处理将能很好的解决该问题。

总之,对儿童 CT 检查中辐射剂量进行评估时,基于 ED 和 WED 计算的辐射剂量存在一定差异,基于水等效直径计算的辐射剂量由于其计算方法中考虑了儿童体型和组织衰减特性等因素,因而在一定程度上能更加准确地估算儿童患者的 CT 辐射剂量。

利益冲突:所有参与者未因进行该研究而接受任何不正当的职务或财务利益,在此对本研究的科学性和独立性予以保证。作者贡献说明:郑丽丽负责文章初稿撰写及数据收集;廖甜、彭伟、陈迢、陈浩、贺瑶瑶负责数据采集与测量;袁子龙负责方案设计及数据分析;张照喜及袁子龙负责文章指导与审核。

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] Brink JA, Morin RL. Size-specific dose estimation for CT: how should it be used and what does it mean[J]. Radiology, 2012, 265(3): 666-668.
- [4] 侯超, 张晓东, 刘建新, 等. 59521 例 CT 检查辐射剂量分析[J]. 放射学实践, 2016, 31(12): 1155-1158.
- [5] Huda W, Mettler FA. Volume CT dose index and dose-length product displayed during CT: what good are they[J]. Radiology, 2011, 258(1): 236-242.
- [6] Anam C, Haryanto F, Widita R, et al. The impact of patient table on size-specific dose estimate (SSDE)[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2017, 40(1): 153-158.
- [7] Li B, Behrman RH, Norbash AM. Comparison of topogram-based body size indices for CT dose consideration and scan protocol optimization[J]. Med Phys, 2012, 39(6): 3456-3465.
- [8] 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 Rep, 2011: 1-22.
- [9] 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, 2014: 6-23.
- [10] 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.
- [11] Wang J, Christner JA, Duan X, et al. Attenuation-based estimation of patient size for the purpose of size specific dose estimation in CT. Part II. Implementation on abdomen and thorax phantoms using cross sectional CT images and scanned projection radiograph images[J]. Med Phys, 2012, 39(11): 6772-6778.
- [12] Wang J, Duan X, Christner JA, et al. Attenuation-based estimation of patient size for the purpose of size specific dose estimation in CT. Part I. Development and validation of methods using the CT image[J]. Med Phys, 2012, 39(11): 6764-6771.
- [13] 田忠甫, 唐立钧, 高峰, 等. 常规辐射剂量评估参数与体型特异性剂量评估在估算儿童心脏 CT 扫描辐射剂量的差异[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(12): 1854-1858.
- [14] Bauhs JA, Vrieze TJ, Primak AN, et al. CT dosimetry: comparison of measurement techniques and devices[J]. Radiographics, 2008, 28(1): 245-253.
- [15] McCollough CH, Leng S, Yu L, et al. CT dose index and patient dose: they are not the same thing[J]. Radiology, 2011, 259(2): 311-316.
- [16] 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.

(收稿日期: 2019-02-25 修回日期: 2019-06-03)