

论 著

儿童腹部CT平扫中器官剂量及其与体型相关性分析*

冯伦伦 杨楠* 高望

张欣欣 王春祥

天津市儿童医院(天津大学儿童医院)

医学影像科(天津 300314)

【摘要】目的 探究儿童腹部CT检查中器官剂量及其与体型之间的相关性。**方法** 回顾性收集3415例天津市儿童医院根据体重分组行腹部常规CT检查的患儿资料,应用Radimetrics软件计算患儿不同器官当量剂量(H)再进一步根据腹部扫描范围将其分为扫描范围内器官(IO)、周围器官(PO)、分布式器官(DO)、扫描范围外器官(OO)。非参数方差分析对组间及组内器官剂量组(ODG)进行比较,采用Kruskal-Wallis检验进行事后检验。以代表体型的水当量直径(D_w)作为自变量,IO剂量作为因变量,CT剂量指数(CTDI)、年龄、性别作为协变量构建相应线性回归模型。结果 多数组间比较中差异存在统计学意义,组内IO、PO、DO、OO剂量差异存在统计学意义,且为IO>DO>PO>OO。 D_w 与IO剂量间存在负相关($\beta=-0.242$, $R^2=0.768$, $P<0.001$)。**结论** 制定扫描协议时考虑体型因素可以降低儿童尤其是小体型儿童的辐射风险暴露。

【关键词】 儿童;腹部;

计算机断层扫描;器官剂量;体型

【中图分类号】 R814.2**【文献标识码】** A**【基金项目】** 天津市医学重点学科(专科)

建设项目资助(TJYXZDXK-040A)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.049

Analyzing the Organ Dose in Children's Abdominal Computed Tomography Scan and Its Correlation with Body Size*

FENG Lun-lun, YANG Nan*, GAO Wang, ZHANG Xin-xin, WANG Chun-xiang.

Department of Radiology, Tianjin Children's Hospital (Children's hospital, Tianjin University), Tianjin 300314, China

ABSTRACT

Objective To explore the organ dose in abdominal computed tomography(CT)examination of children and its correlation with body size. **Methods** The data of 3415 children who underwent abdominal routine CT examination in Tianjin Children's Hospital according to body weight were retrospectively collected. Radimetrics software are used to calculate different organs equivalent dose(H)and further it can be divided into inside organs(IO), peripheral organs(PO), distributed organs(DO), the outside organs(OO)according to the scope of the abdominal scan range. Organ dose groups(ODG)for among groups and intra-group were compared by non-parametric analysis of variance and post-hoc tests were performed using the Kruskal-Wallis test. A linear regression model was constructed with water equivalent diameter(D_w)representing body size as the independent variable, IO dose as the dependent variable, CT dose index(CTDI), age and gender as covariates. **Results** Comparison between the majority groups differences are statistically significant. There were significant differences in the doses of IO, PO, DO and OO among groups, which were IO>DO>PO>OO. A negative correlation was between D_w and IO dose($\beta=-0.242$, $R^2=0.768$, $P<0.001$). **Conclusion** Considering the size factor in the scanning protocol can reduce the radiation risk exposure of children, especially small size children.

Keywords: Child; Abdomen; Computed Tomography; Organ Dose; Body Size

近年来儿童计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)较20世纪80年代增长近8倍^[1],相较于成人,儿童对于电离辐射更加敏感^[2-3],因此对其进行辐射剂量评估是十分有意义的^[4]。由于不同儿童体型差异较大,目前常用的CT剂量指数(CT Dose Index, CTDI)和剂量长度乘积(Dose-length product, DLP)难以满足儿童个体特异性的辐射测量^[5]。美国医学物理学家协会(American Association of physicist in Medicine, AAPM)在第220号报告^[6]中提出体型特异性辐射剂量(size-specific dose estimate, SSDE),这一参数是根据水当量直径(water equivalent diameter, D_w)修正体型因素后得到的,其提出也说明体型因素正逐渐得到重视。

扫描协议中降低辐射剂量可采用自动曝光控制技术(automatic exposure control, AEC),但由于设备自身校正问题,AEC可能会导致辐射剂量比手动调整参数更高^[7]。目前仍缺乏特定儿科通用的AEC扫描协议^[8],不同厂家并未对AEC最佳默认设置达成一致^[9]。除此之外,根据体重进行参数设置亦可降低辐射剂量,且已在相关研究^[10-11]证实并采用。

随着对辐射风险认识的不断深入,国际放射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)于第147号文件^[12]中进一步提出组织或器官接受的剂量也许更能反映个体受到的辐射风险暴露。本研究基于此,根据体重进行分组,拟探究儿童腹部CT检查中器官剂量及其与体型之间的相关性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集2022年7月至2023年12月就诊于天津市儿童医院且经腹部常规CT检查的患儿资料,年龄1.48~17.85岁,根据体重对其进行分组^[7]: 4~9kg; 10~19kg; 20~29kg; 30~39kg; 40~49kg; 50kg以上。排除标准:存在金属伪影或呼吸伪影过重致图像质量较差无法满足诊断要求;单一体重组内纳入患儿例数<30例^[13],例如4-9kg组仅纳入23例患儿,故此组排除。本研究已经过天津市儿童医院伦理委员会批准(伦理审批号:W-2024-017)。

1.2 成像方案 采用荷兰Philips公司128排CT扫描仪Brilliance iCT对患儿进行成像。扫描体位为仰卧,头先进,两臂上举,身体尽量置于床面正中间,侧面定位线为人体腋中线^[14]。摄正位定位像,扫描基线为膈顶,扫描范围由膈顶至耻骨联合下缘,对于可以配合的患儿在扫描过程中嘱其屏气,无法配合的低龄患儿口服水合氯醛(0.5ml/kg)镇静后行扫描计划。扫描协议中,管电压和管电流基于以下设置^[7], 10~19kg: 100kV, 52mAs; 20~29kg: 120KV, 40mAs; 30~39kg: 120KV, 43mAs; 40~49kg: 120KV, 50mAs; 50kg以上: 120KV, 61mAs。应用螺旋扫描方式成像, X线球管旋转时间0.33s,螺距0.601,矩阵大小512×512,重建方法为迭代算法^[15-16],重建层厚为2mm,层间隔1mm。

1.3 数据测量 应用Radimetrics辐射剂量管理平台(Bayer Healthcare, Whippany, NJ, USA)对患儿的腹部CT平扫数据进行分析,根据定位像推导^[6],公式如下:

*【第一作者】冯伦伦,女,技师,主要研究方向:儿童辐射风险暴露。E-mail: fengll0912@163.com

【通讯作者】杨楠,男,主管技师,主要研究方向:儿童医学影像技术。E-mail: 18822000384@163.com

$$D_w = 2 \sqrt{\frac{\sum (\frac{1}{\mu_w} \int \mu_i dl)}{\pi}} \cdot S \quad \#(1)$$

其中 μ_w 为水的衰减系数， $\int \mu_i dl$ 为各组织类型的线性衰减系数(μ_i)乘以相关长度(dl)的总和，表示通过患者的总衰减； S 为决定每条射线宽度的探测器间距。CTDI作为量化辐射剂量输出的标准化剂量指标，可以代表CT设备的辐射剂量输出^[5]。而SSDE作为考虑到受检者衰减且能自动标准地估算体型的指标对辐射剂量进行估计可能更可靠^[17]。由此根据CTDI和相关转换因子 f_D ^[6,17]可计算SSDE：

$$SSDE = CTDI \times f_D \quad \#(2)$$

除此之外，利用Radimetrics软件中基于Monte Carlo模拟方式^[18]计算得到的数字化人体模型库，将患儿数据基于年龄性别等因素映射至对应人体模型中并估算不同器官的吸收剂量 D ：

$$D = \sum (\text{coeff} \times CTDI_i) \quad \#(3)$$

coeff表示人体模型中模拟器官与模拟CTDI的比值， i 表示某一具体切片。

由于X射线的辐射权重因子为1，即对于不同的器官，其器官当量剂量 H 为：

$$H_k = D_k \quad \#(4)$$

尽管有效剂量可以评价电离辐射的危险度，但当接受不均匀非全身照射时仍应用有效剂量评价可能是不妥的^[19]。即接受电离辐射时因不同器官所在位置不同，其受到的辐射风险可能也存在差异。因此，本研究将腹部扫描范围内外不同器官根据Li等研究^[20]进行分组，具体分组如下：扫描范围内器官(inside organs, IO)：肝脏、胆囊、胃、脾、胰腺、肾上腺、肾、小肠、大肠、膀胱、卵巢、子宫、睾丸；周围器官(peripheral organs, PO)：肺、乳腺、食道、心脏；分布式器官(distributed organs, DO)：红骨髓、皮肤、骨骼、肌肉；扫描范围外器官(outside organs, OO)：脑部、甲状腺、唾液腺、晶状体、胸腺。其中，不同的器官剂量组(organ dose group, ODG)^[21]对有效剂量的贡献计算为：

$$ODG = \sum w_k H_k \quad \#(5)$$

其中， w_k 代表组织权重因子。

1.4 统计学处理 应用SPSS26.0软件对人口学数据及影像学数据进行分析。对于符合正态分布的数据用平均数±标准差表示，反之则用中位数(四分位数间距)表示。应用卡方检验对五组间性别进行比较，Mann-Whitney检验比较五组内SSDE与CTDI差异。非参数方差分析分别对五组间人口学及影像学数据和组内ODG进行比较，事后检验则采用Kruskal-Wallis检验分别进行两两比较。为探究体型与IO之间的关系，将 D_w 作为自变量，IO作为因变量，CTDI、年龄、性别分别作为协变量构建多元线性回归模型进行分析。并进一步将不同体重组下的IO分别作为因变量， D_w 作为自变量，控制CTDI、年龄及性别因素构建相应的线性回归模型。本研究 $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般统计学数据 本研究共纳入五组不同体重组患儿3415例，其中，10~19kg组230例，20~29kg组673例，30~39kg组823例，40~49kg组1015例，50kg以上组674例。统计分析结果表明，五组内SSDE与CTDI之间的差异均具有统计学意义(图1)。除20~29kg组与30~39kg组在SSDE、IO、OO中差异无统计学意义外，五组体间年龄、性别、扫描长度、CTDI、DLP、SSDE、 D_w 、IO、PO、DO、OO的差异均具有统计学意义(表1及图2)，其中，大体重组均高于小体重组。五组内IO、PO、DO、OO的差异也均存在统计学意义，且都为IO>DO>PO>OO(图3)。

2.2 多元线性回归 在 D_w 作为自变量，CTDI、年龄、性别作为协变量的多元线性回归分析中，其差异具有统计学意义(表2)。

不同体重组的多元线性回归模型中，10~19kg组中 $\beta = -0.154$ ， $t = -6.972$ ， $R^2 = 0.176$ ， $P < 0.001$ ；20~29kg组中 $\beta = -0.097$ ， $t = 9.460$ ，

$R^2 = 0.118$ ， $P < 0.001$ ；30~39kg组中 $\beta = -0.214$ ， $t = -26.653$ ， $R^2 = 0.464$ ， $P < 0.001$ ；40~49kg组中 $\beta = -0.265$ ， $t = -44.932$ ， $R^2 = 0.666$ ， $P < 0.001$ ；50kg以上组中 $\beta = -0.314$ ， $t = -46.538$ ， $R^2 = 0.763$ ， $P < 0.001$ 。(见图4)

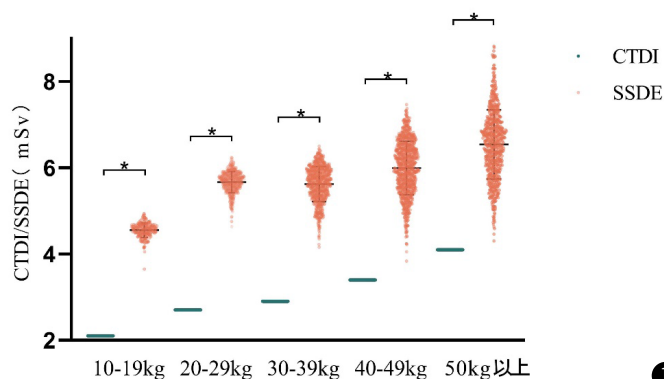


图1 五组内CTDI与SSDE。

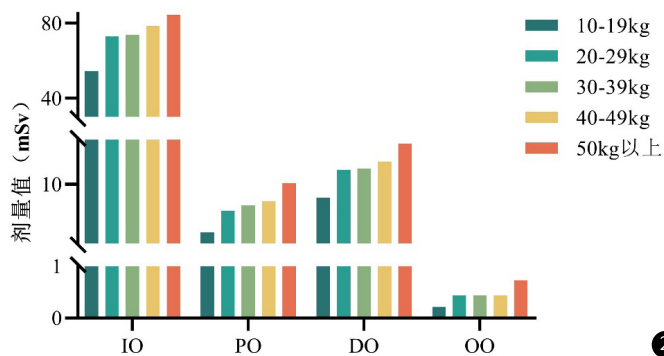


图2 五组间ODG。

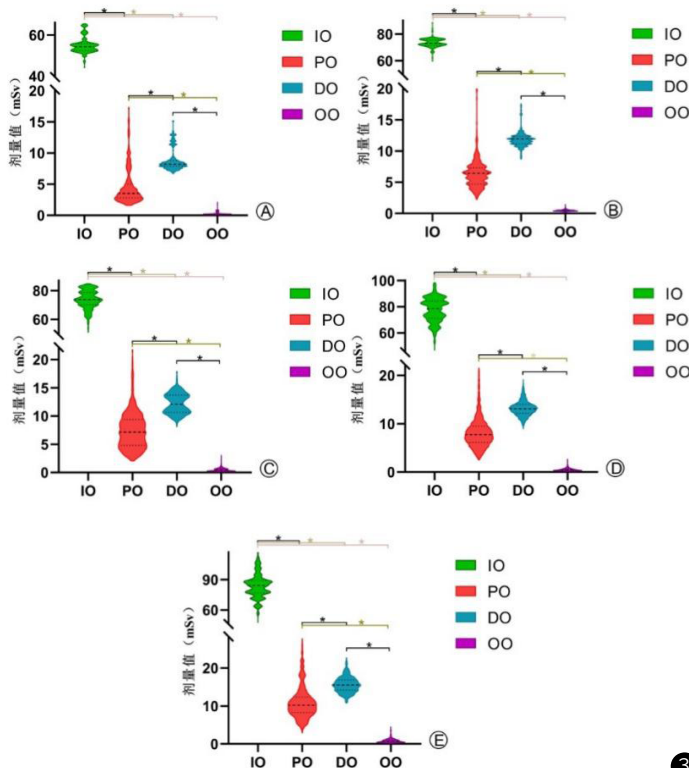


图3 五组内ODG。A: 10~19kg组ODG; B: 20~29kg组ODG; C: 30~39kg组ODG; D: 40~49kg组ODG; E: 50kg以上组ODG。

1

2

3

表1 不同体重组患儿人口及影像统计学数据

	10~19kg(n=230)	20~29kg(n=673)	30~39kg(n=823)	40~49kg(n=1015)	50kg以上(n=674)	统计分析		
						H/ χ^2 值	P值	事后检验
年龄(岁)	3.39(1.23)	4.92(1.63)	7.57(2.30)	10.21(2.87)	12.00(2.28)	2341.61	<0.001	G1<G2<G3<G4<G5
性别(男/女)	110/120	382/291	414/409	566/449	383/291	13.43	0.009	
CTDI(mGy)	2.1(0)	2.7(0)	2.9(0)	3.4(0)	4.1(0)	3295.40	<0.001	G1<G2<G3<G4<G5
DLP(mGy*cm)	58.80(6.30)	83.70(8.10)	101.50(11.60)	132.60(17.00)	180.40(20.50)	3113.97	<0.001	G1<G2<G3<G4<G5
SSDE(mGy)	4.57(0.20)	5.70(0.31)	5.67(0.58)	6.02(0.90)	6.54±0.80	1278.23	<0.001	G1<G2/G3<G4<G5
D _w (mm)	146.80(12.75)	155.85(15.19)	177.32(28.49)	205.20(38.96)	232.04(42.68)	2206.05	<0.001	G1<G2<G3<G4<G5
扫描长度(mm)	280.00(30.00)	310.00(30.00)	350.00(40.00)	390.00(50.00)	440.00(50.00)	2363.95	<0.001	G1<G2<G3<G4<G5

注: CTDI, CT剂量指数; DLP, 剂量长度乘积; SSDE, 体型特异性辐射剂量; D_w, 水当量直径; IO, 扫描范围内器官对有效剂量的贡献; PO, 扫描范围周围器官对有效剂量的贡献; DO, 分布式器官对有效剂量的贡献; OO, 扫描范围外器官对有效剂量的贡献; G1, 10~19kg组; G2, 20~29kg组; G3, 30~39kg组; G4, 40~49kg组; G5, 50kg以上组。

表2 IO的多元线性回归模型中D_w的贡献

	β值	t值	F值	R ²	P值
IO	-0.242	-63.819	2819.447	0.768	<0.001

注: SSDE, 体型特异性辐射剂量; D_w, 水当量直径; IO, 扫描范围内器官对有效剂量的贡献。

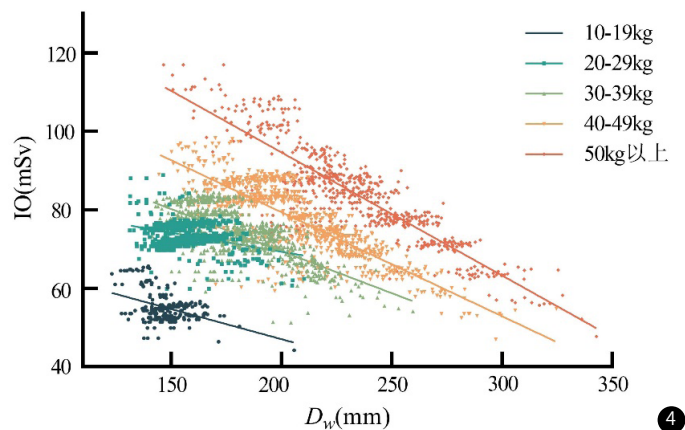


图4 不同体重组内IO剂量与D_w之间的关系。

3 讨论

腹部CT平扫是目前儿童较为常用的体部检查方式之一,但其成像方式带来的辐射风险^[22]也需要引起重视。本研究基于不同体重组患儿腹部检查中器官剂量的差异,探究患儿体型与器官剂量间的线性相关关系。不同体重组内SSDE均高于CTDI,且随体重组逐渐增大,除20~29kg与30~39kg组间IO、OO不存在统计学意义外,其余组间D_w和不同组ODG也随之增大,且任一体重组内均表现为IO>DO>PO>OO。此外,D_w同IO剂量间存在线性相关关系,提示患儿体型可能与IO剂量间存在相关性。

本研究中,所有体重组内SSDE与CTDI的差异都具有统计学意义,且均为SSDE>CTDI,这与先前研究^[23-24]一致,即与SSDE相比,CTDI有可能会低估儿童所接受的辐射剂量。此外,本研究中每个体重组的CTDI为固定值,但实际计算得到的SSDE不尽相同,这可能意味着不同体型的儿童即便进行同一输出条件下的CT腹部平扫,实际上也有可能受到不同的辐射剂量。这一结果进一步验证了修正体型对于计算儿童所接受辐射剂量的必要性^[6,13,17]。

然而,尽管SSDE可以根据CT设备的输入参数和受检者体型估计其辐射剂量,但是其对于器官剂量的描述却并不准确,而器官剂量是目前认为量化受检者辐射剂量最有意义的指标之一^[25]。本研究中,随着患儿体重不断增加,10~19kg与20~29kg、30~39kg与40~49kg、40~49kg与50kg以上组间SSDE、不同ODG也增大。这可能是由于小体重组与大体重组患儿扫描协议间存在差别,即使扫描范围内器官是近乎一致的,但是不同CTDI条件下患儿接受

的辐射剂量可能存在差异。此外,本研究中不同组间扫描长度不同,其变化趋势也是随体重组增大而增加,这可能是DLP在不同体重组间差异具有统计学意义的原因。也可能正是由于DLP的差异,导致组间患儿ODG差异具有统计学意义。除组间外,每一体重组内剂量方面IO是PO的十倍左右且高于OO两个数量级,PO与DO间尽管差异具有统计学意义但其数量级相差不大,这些结果均与Costa等研究^[21]一致。扫描范围周围器官及分布式器官虽然接受的剂量低于扫描范围内器官,但其仍不可忽视,尤其是对于部分敏感器官如心脏、乳腺等^[19]。这提示在进行儿童腹部CT扫描协议的过程中,对于扫描范围的制定应考虑到周围器官及分布式器官的辐射风险情况,尽量减少儿童接受的有效剂量以降低其辐射风险的发生概率,并应注意对扫描范围外器官的防护。

相较于成人,不同儿童其体型差异可能非常大,因此体型是计算儿童辐射剂量时需要加以考量的重要因素之一。Gao等^[26]通过成人患者SSDE与体模SSDE的比值计算器官剂量进而提出DLP标准化器官剂量随患者体型增大而减小。本研究中也发现患儿体型与IO剂量间存在负相关,且在控制体重因素下即不同体重组内这一结果仍然成立。对于同体重组中不同体型儿童,大体型者其IO更低但图像质量相对较差,而小体型者IO更高同时图像质量也相对更优。这可能是由于采用恒定管电流时,一个区域的直径越小,该区域的辐射剂量越高^[27];也有可能是由于部分患儿体型偏大,其腹部脂肪含量相较于同体重组患儿高,进而导致这一部分

患儿IO剂量更低。因此,对于小体型儿童,在保证图像诊断质量的情况下应尽量降低其扫描协议的CTDI以期得到更低的器官剂量,尽量减少其辐射风险暴露。再有,这一结果的出现提示体重分组在儿童腹部扫描方面的局限性,支持或可在制定扫描协议时需对体型因素加以考量。

除此之外,20~29kg与30~39kg组间IO差异在本研究中不存在统计学差异,一方面可能是因为这两组的扫描协议之间相差较其他邻近体重组间不大;另一方面可能是因为30~39kg组较20~29kg组CTDI增加,同时 D_w 也增大,即在增加CT输出辐射的基础上儿童体型增大可能不会增加IO剂量。这一结果推测儿童可能与成人^[28]类似,即自动管电流模式下,CTDI与体型之间可能存在正相关关系,但这一结论还需要未来进一步验证。

本研究仍然具有一定局限性。首先,本研究数据来源仅为单一中心,未来还需要多中心大样本研究进行验证。其次,本研究没有将体质量指数(body mass index, BMI)纳入,何等^[29]提出 D_w 与BMI之间存在正相关关系,本研究认为两者之间可能具有共线性没有同时纳入。最后,本研究没有对腹部疾病可能导致器官剂量的差异进行研究,未来会继续深入这一方面的研究。

总之,本研究通过器官剂量比较及探究体型对IO剂量的影响,发现儿童IO与PO、DO、OO间剂量差异具有统计学意义,且体型与IO剂量间存在负相关,认为在制定扫描协议时应将体型因素纳入以降低儿童尤其是小体型儿童的辐射风险暴露。

参考文献

- [1] Sayed I S, Mohd Y M. Techniques and Strategies to Minimize Radiation Exposure in Pediatric Computed Tomography (CT) Abdominal Examinations: A Review[J]. *Cureus*, 2024, 16 (8): e67494.
- [2] Meulepas J M, Ronckers C M, Smets A M J B, et al. Radiation Exposure From Pediatric CT Scans and Subsequent Cancer Risk in the Netherlands[J]. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 2019, 111 (3): 256-263.
- [3] Kartikeswar G A P, Parikh T B, Pandya D, et al. Ionizing Radiation Exposure in NICU[J]. *The Indian Journal of Pediatrics*, 2020, 87 (2): 158-160.
- [4] Ploussi A, Brontzoz E, Rammos S, et al. Radiation Exposure in Pediatric Interventional Procedures[J]. *CardioVascular and Interventional Radiology*, 2021, 44 (6): 857-865.
- [5] Zhao A, Fopma S, Agrawal R. Demystifying the CT Radiation Dose Sheet[J]. *Radiographics*, 2022, 42 (4): 210107-211250.
- [6] Mccollough C, Bakalyar D M, 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 Task Group 220[J]. *AAPM Rep*, 2014, 2014: 6-23.
- [7] Nievelstein R A J, van Dam I M, van der Molen A J. Multidetector CT in children: current concepts and dose reduction strategies[J]. *Pediatric Radiology*, 2010, 40 (8): 1324-1344.
- [8] Kritsaneepaiboon S, Siriwanarangsun P, Tanaanantarak P, et al. Can a revised paediatric radiation dose reduction CT protocol be applied and still maintain anatomical delineation, diagnostic confidence and overall imaging quality?[J]. *The British Journal of Radiology*, 2014, 87 (1041): 20140032.
- [9] Lee C H, Goo J M, Ye H J, et al. Radiation Dose Modulation Techniques in the Multidetector CT Era: From Basics to Practice[J]. *RadioGraphics*, 2008, 28 (5): 1451-1459.
- [10] Herts B R, Baker M E, Obuchowski N, et al. Dose reduction for abdominal and pelvic MDCT after change to graduated weight-based protocol for selecting quality reference tube current, peak kilovoltage, and slice collimation[J]. *American journal of roentgenology* (1976), 2013, 200 (6): 1298.
- [11] Niemann T, Colas L, Roser H W, et al. Estimated risk of radiation-induced cancer from paediatric chest CT: two-year cohort study[J]. *Pediatric Radiology*, 2015, 45 (3): 329-336.
- [12] Harrison J D, Balonov M, Bochud F, et al. ICRP Publication 147: Use of Dose Quantities in Radiological Protection[J]. *Annals of the ICRP*, 2021, 50 (1): 9-82.
- [13] Vano E, Miller D L, Martin C J, et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging[J]. *Ann ICRP*, 2017, 46 (1): 1-144.
- [14] 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.
- [15] 劳美新, 韦永南, 齐宋秀, 等. “双低” CT扫描结合迭代重建技术在女性盆腔囊性病诊断的应用价值分析[J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29 (7): 79-80, 109.
- [16] 郭鹭鑫, 康江河, 蔡小萍, 等. 大矩阵超高分辨CT结合iDose4算法筛查新型冠状病毒肺炎技术探讨[J]. *罕少疾病杂志*, 2021, 28 (5): 21-23, 30.
- [17] Boone J M, Strauss K J, Cody D D, et al. Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations[C]. 2011.
- [18] Andersson J, Pavlicek W, Al-Senan R, et al. Estimating Patient Organ Dose with Computed Tomography: A Review of Present Methodology and Required DICOM Information: A Joint Report of AAPM Task Group 246 and the European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP) [J]. *AAPM Rep*, 2019.
- [19] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103[J]. *Ann ICRP*, 2007, 37 (2-4): 1-332.
- [20] Li X, Segars W P, Samei E. The impact on CT dose of the variability in tube current modulation technology: a theoretical investigation[J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2014, 59 (16): 4525-4548.
- [21] Costa P R, Tomal A, de Oliveira Castro J C, et al. Diagnostic reference level quantities for adult chest and abdomen-pelvis CT examinations: correlation with organ doses[J]. *Insights into Imaging*, 2023, 14 (1).
- [22] Bosch De Basea Gomez M, Thierry-Chef I, Harbron R, et al. Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults[J]. *Nature Medicine*, 2023, 29 (12): 3111-3119.
- [23] Valeri G, Cegna S, Mari A, et al. Evaluating the appropriateness of dosimetric indices in body CT[J]. *La radiologia medica*, 2015, 120 (5): 466-473.
- [24] 谢汉民, 张若仙, 李悦龙, 等. 体型特异性剂量估算在学龄儿童心脏CTA中的应用[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22 (09): 82-84.
- [25] Damlakis J. CT Dosimetry[J]. *Investigative Radiology*, 2021, 56 (1): 62-68.
- [26] Gao Y, Mahmood U, Liu T, et al. Patient-Specific Organ and Effective Dose Estimates in Adult Oncologic CT[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2020, 214 (4): 738-746.
- [27] McDermott A, White R A, Mc-Nitt-Gray M, et al. Pediatric organ dose measurements in axial and helical multislice CT[J]. *Med Phys*, 2009, 36 (5): 1494-1499.
- [28] Kim E Y, Kim T J, Goo J M, et al. Size-Specific Dose Estimation In the Korean Lung Cancer Screening Project: Does a 32-cm Diameter Phantom Represent a Standard-Sized Patient in Korean Population?[J]. *Korean Journal of Radiology*, 2018, 19 (6): 1179.
- [29] 何小龙, 徐健, 祝峰, 等. 前置体型特异性剂量估算值优化CT冠状动脉成像的可行性[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40 (9): 717-721.

(收稿日期: 2024-11-19)

(校对编辑: 姚丽娜)