

论 著

不同体型特异性剂量评估在估算颞骨CT辐射剂量中的差异*

袁肖娜¹ 郭文涛² 邱海静³雷海涛¹ 孙琳^{1,*}

1.空军军医大学唐都医院放射科

(陕西 西安 710038)

2.空军军医大学唐都医院检验科

(陕西 西安 710038)

3.西安医学院第二附属医院放射科

(陕西 西安 710038)

【摘要】目的 比较不同体型特异性剂量评估(size-specific dose estimates, SSDE)在估算颞骨CT扫描时辐射剂量的差异。方法 使用SOMATOM Force CT对130例受检者行颞骨CT薄层扫描,按性别分为男性组、女性组。采用Syngovia工作站测量数据,在扫描中心层面约平外耳道水平测量每位受检者的前后径AP(cm)、左右径LAT(cm)、该层面的面积(A_{ROI})、平均CT值(CT(x,y)_{ROI}),计算有效直径(effective diameter, ED)及水当量直径(water equivalent diameter, Dw),记录容积CT剂量指数(volume computed tomography dose index, CTDI_{vol}),按照公式SSDE = f × CTDI_{vol}分别计算SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃。分别比较130例受检者的CTDI_{vol}、不同SSDE之间的差异及不同性别间CTDI_{vol}、三种SSDE的差异。结果 130例受检者的CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃分别为18.66 ± 1.96mGy、18.13 ± 1.64mGy、17.49 ± 1.61mGy、15.52 ± 1.42mGy,四组间差异有统计学意义(F=19.74, P<0.05),男性与女性之间差异无统计学意义(t=-0.27~0.54, P>0.05)。结论 相对于CTDI_{vol}, Dw联合头部转换因子(f_{H16})的SSDE₂₉₃更能反映颞骨CT扫描的辐射剂量,受检者所接受的辐射剂量与性别无关。

【关键词】X射线计算机断层摄影; 辐射剂量; 容积CT剂量指数; 体型特异性剂量评估

【中图分类号】R814.42; R144.1

【文献标识码】A

【基金项目】陕西省卫生健康科研项目(2022B009)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.05.012

Comparison of Different Types of Size-specific Dose Estimates in Estimating Radiation Dose in Adult Temporal Bone CT Scan*

YUAN Xiao-na¹, GUO Wen-tao², QIU Hai-jing³, LEI Hai-tao¹, SUN Lin^{1,*}.

1.Department of Radiology, Tangdu Hospital, Air Force Military Medical University, Xi'an 710038, Shaanxi Province, China

2.Department of Clinical Laboratory, Tangdu Hospital, Air Force Military Medical University, Xi'an 710038, Shaanxi Province, China

3.Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an 710038, Shaanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To compare the differences between different size-specific dose estimates (SSDE) in evaluating the radiation dose of temporal bone CT scan. **Methods** A total of 130 patients who underwent a thin-slice CT scan of the temporal bone on the SOMATOM Force CT scanner were collected, patients were divided into two groups according to gender. All data were measured in the Syngovia workstation. Anterior and posterior diameter AP (cm), left and right diameter LAT (cm), area (A_{ROI}), average CT value(CT(x,y)_{ROI}) were measured in the middle of the scan range, which is equivalent to the external auditory canal level. The effective diameter (ED) and water equivalent diameter (Dw) were calculated. Recording the Volume computed tomography dose index (CTDI_{vol}) on the scanner. SSDE = f × CTDI_{vol} (f is conversion factor), SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃ were calculated respectively. The differences between CTDI_{vol} and three types of SSDE among 130 patients and two groups were compared, respectively. **Results** The CTDI_{vol}, SSDE₂₀₄, SSDE₂₂₀ and SSDE₂₉₃ of 130 patients were 18.66 ± 1.96mGy, 18.13 ± 1.64mGy, 17.49 ± 1.61mGy, 15.52 ± 1.42mGy respectively, and the differences among the four groups were statistically significant (F=19.74, P<0.05). There was no significant differences in CTDI_{vol}, SSDE₂₀₄, SSDE₂₂₀ and SSDE₂₉₃ between male and female groups (t= -0.27~0.54, P>0.05). **Conclusion** Compared to CTDI_{vol}, SSDE₂₉₃ with Dw combined with Head Conversion Factor (f_{H16}) better reflects the radiation dose of temporal bone CT scan, and the radiation dose received by the subject is independent of gender.

Keywords: X-ray Computed Tomography; Radiation Dose; CTDI_{vol}; SSDE

CT扫描是颞骨成像的主要方式之一,但颞骨邻近眼晶状体,而晶状体对辐射较敏感,研究表明,重复头颈部CT扫描会显著增加受检者患放射性白内障的风险^[1],因此准确评估颞骨CT扫描辐射剂量尤为重要。CT扫描时受检者所接受的辐射剂量与扫描仪上的容积CT剂量指数(volume computed tomography dose index, CTDI_{vol})、剂量长度乘积(dose length product, DLP)及受检者的体型均相关。CTDI_{vol}为设备的输出值,其值与扫描参数(管电压、管电流、球管旋转时间、螺距、滤过器)有关,DLP为一次完整CT扫描总的辐射剂量,是通过CTDI_{vol}乘以扫描范围获得。CTDI_{vol}与DLP没有考虑到患者体型的因素,无法准确评估特定体型受检者的辐射剂量。2011年美国医学物理师协会(american association of physicists in medicine, AAPM)第204号报告^[2]提出基于体型的特异性剂量评估(size-specific dose estimates, SSDE),该参数通过CTDI_{vol}乘以转换因子得到,转换因子主要与受检者的体型有关。然而,X射线衰减其实是影响X射线吸收的最基本的物理参数,相对于体型,X射线衰减与受检者的辐射剂量相关性更强。因此,2014年AAPM第220号报告^[3]提出反映受检者体型及水当量直径(water equivalent diameter, Dw)的转换因子,该转换因子乘以CTDI_{vol}得到SSDE,但无论是204号还是220号报告中提出的SSDE主要适应于体部,2019年AAPM第293号报告^[4]提出了专门针对头颅CT扫描的转化因子。本研究的目的是比较不同报告中SSDE在评估颞骨CT扫描时受检者辐射剂量的差异。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性分析2023年1月至2023年11月在空军军医大学唐都医院行颞骨CT检查的130例受检者,年龄19~71岁,平均年龄 45.10 ± 13.03岁。按照性别将其分成两组:男性组,66例,年龄19~71岁;女性组,64例,年龄21~68岁。

1.2 仪器与方法 采用西门子SOMATOM ForceCT扫描仪,扫描前告知患者检查流程及相关注意事项,受检者取仰卧位,头稍仰,下颌稍内收,听眶线(外耳孔与同侧眼眶下缘连线)与床面垂直,两外耳孔与床面等距,正中矢状面与台面正中线重合,扫描范围自外耳道下缘至岩骨上缘,扫描层面平行于听眶线。扫描参数如下:管电压130kV,自动管电流调制技术(CARE Dose4D),探测器准直64 × 0.6mm,螺距0.85,球管旋转时间1.0秒,扫描最小层厚0.6mm,扫描矩阵512 × 512,使用内耳卷积核算法Ur77,重建层厚0.75mm,层间距0.7mm。

1.3 数据的采集与测量 将所有扫描图像传至Syngovia工作站,在扫描范围的中心层

【第一作者】袁肖娜,女,主治医师,主要研究方向:腹部及乳腺影像诊断。E-mail: yuanxiaona1989@163.com

【通讯作者】孙琳,男,工程师,主要研究方向:CT扫描辐射剂量及参数优化。E-mail: lynn.kk@163.com

面(约平外耳道水平)测量每位受检者的前后径AP(cm)、左右径LAT(cm),如图1,采用机器自带软件贴边勾画出同层面内的所有解剖结构,随后软件自动计算勾画的截面积 $A_{ROI}(cm^2)$ 及所有解剖结构的平均CT值 $CT(x,y)_{ROI}(Hu)$,如图2。参考16厘米的标准体模,根据公式(1)^[2]计算有效直径(effective diameter, ED),根据公式(2)^[3]计算Dw(cm)

$$ED = \sqrt{AP \times LAT}$$

$$D_w = 2 \sqrt{\left(\frac{CT(x,y)_{ROI}}{1000} + 1 \right) \cdot \frac{A_{ROI}}{\pi}}$$

记录CT剂量报告中的CTDI_{vol},参考公式(3)计算SSDE:

$$SSDE = f \times CTDI_{vol} \quad (3)$$

f代表转换因子,AAPM第204、220、293号报告^[2-4]中不同的转换因子 f_{ED} 、 f_{Dw} 、 f^{H16} 计算参考公式(4)(5)(6)

$$f_{ED} = 1.874799 \times e^{-0.03871313ED} \quad (4)$$

$$f_{Dw} = 1.874799 \times e^{-0.03871313Dw} \quad (5)$$

$$f^{H16} = 1.9852 \times e^{-0.0486Dw} \quad (6)$$

其对应的SSDE分别记为SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃。

1.4 统计学方法 采用SPSS 21.0进行统计分析。所有计量资料以均数±标准差表示。采用两个独立样本的t检验比较男性与女性受检者之间AP、LAT、ED、Dw、 A_{ROI} 、 f_{ED} 、 f_{Dw} 、 f^{H16} 、CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃CT(x,y)_{ROI}均数的差异。对于正态分布且方差齐的多个样本,采用单因素方差分析比较CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃四组之间及三个转换因子间均数的差异,组内两两比较采用LSD-t检验。采用点二列相关分析性别(二分类变量)与AP、LAT、ED、CT(x,y)_{ROI}、 A_{ROI} 、CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃(连续变量)的相关性,明确以上参数是否与性别存在相关性;P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 扫描径线、CT(x,y)_{ROI}、 A_{ROI} 测量结果 130例受检者的CT(x,y)_{ROI}、 A_{ROI} 分别为 $106.28 \pm 52.89Hu$ 、 $227.77 \pm 26.53cm^2$ 。ED、Dw之间差异有统计学意义($t = -3.30$, $P < 0.05$)。男性组与女性组的CT(x,y)_{ROI}分别为 $113.65 \pm 65.05Hu$ 、 $98.38 \pm 36.58Hu$,两者之间差异无统计学意义($t = 0.77$, $P > 0.05$);男性组与女性受检者的 A_{ROI} 分别为 $244.06 \pm 25.51cm^2$ 、 $210.32 \pm 13.44cm^2$,两者之间差异有统计学意义($t = 4.41$, $P < 0.05$),两组间AP、LAT、ED、Dw差异均有统计学意义,且男性组的所有径线均值均高于女性组,见表1。

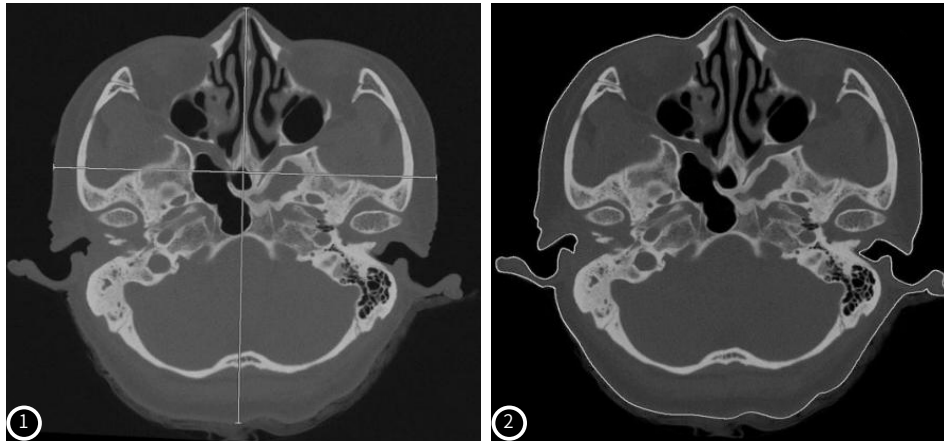


图1 前后径、左右径测量。图2 扫描层面面积及平均CT值测量。

表1 不同受检者的径线值

组别	AP	LAT	ED	Dw
全部	18.85±1.72	15.25±0.79	16.94±1.09	17.88±1.06
男性	19.97±1.56	15.67±0.79	17.68±0.99	18.57±0.96
女性	17.64±0.83	14.80±0.48	16.15±0.43	17.14±0.54
t值	4.95	3.57	5.33	4.90
P值	0.000	0.001	0.000	0.000

2.2 转换因子值 f_{ED} 、 f_{Dw} 、 f^{H16} 三组间差异有统计学意义($F = 95.05$, $P < 0.05$);组间两两比较差异均有统计学意义($P < 0.05$); f_{ED} 均值最大, f^{H16} 均值最小,相对于 f_{ED} 均值, f_{Dw} 均值降低了3.65%, f^{H16} 均值降低了14.37%;男性与女性受检者的 f_{ED} 、 f_{Dw} 、 f^{H16} 差异均无统计学

意义,见表2。

2.3 CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃值 CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃四组差异有统计学意义($F = 19.74$, $P < 0.05$);组内两两比较CTDI_{vol}与SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃差异有统计学意义($t = 0.00$, $P < 0.05$),SSDE₂₂₀与SSDE₂₉₃差异有统计学意义($t = 0.00$, $P < 0.05$),SSDE₂₀₄与SSDE₂₉₃差异有统计学意义($t = 0.01$, $P < 0.05$);相对于CTDI_{vol},SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃分别降低1.94%、5.54%、16.02%;男性与女性受检者的CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃差异均无统计学意义,见表3。

2.4 相关性 性别与AP、LAT、ED、 A_{ROI} 存在相关性($r = -0.72 \sim -0.57$, $P < 0.05$),男性的AP、LAT、ED、 A_{ROI} 均大于女性,性别与CT(x,y)_{ROI}、CTDI_{vol}、SSDE₂₀₄、SSDE₂₂₀、SSDE₂₉₃无相关性($P > 0.05$)。

表2 不同受检者的转换因子值

组别	f_{ED}	f_{Dw}	f^{H16}
全部	0.97±0.04	0.94±0.04	0.83±0.04
男性	0.97±0.04	0.93±0.04	0.83±0.04
女性	0.98±0.04	0.94±0.04	0.84±0.04
t值	-0.43	-0.78	-0.78
P值	0.67	0.44	0.44

表3 不同受检者的辐射剂量

性别	CTDI _{vol}	SSDE ₂₀₄	SSDE ₂₂₀	SSDE ₂₉₃
全部	18.66±1.96	18.13±1.64	17.49±1.61	15.52±1.42
男性	18.85±1.86	18.14±1.54	17.53±1.47	15.45±1.29
女性	18.45±2.10	18.12±1.80	17.44±1.79	15.59±1.59
t值	0.54	0.04	0.14	-0.27
P值	0.59	0.97	0.89	0.79

3 讨 论

SSDE在计算辐射剂量时考虑到受检者体型、组织衰减等因素,能更准确地反映受检者的辐射剂量。袁子龙^[5]和Hu^[6]等研究证实了这一点。有关第293号文件中SSDE的研究主要是通过比较不同类型SSDE的差异,部分学者发现,头围、年龄或体重指数与SSDE存在显著相关性,可通过年龄、头围或体重指数估算SSDE₂₉₃^[7-9]。颞骨作为面颅骨的一部分,有关不同类型SSDE在颞骨CT扫描中的应用未见报道。本研究选择以性别作为分组因素,有学者^[10-11]按照年龄进行分组比较不同年龄段儿童的头部或体部SSDE与CTDI_{vol}的差异,结果表明不同年龄阶段的SSDE与CTDI_{vol}均不同。本研究所有纳入病例均为成人,即使随着年龄的增长,沿扫描方向(Z轴)扫描长度也增长,但在7岁以后这种影响非常小^[4],因此未按照年龄进行分组。

本研究通过测量扫描范围内中心层面的ED、Dw,计算被检者的SSDE来替代整个扫描容积内的平均SSDE,结果表明,所有SSDE均小于CTDI_{vol},主要参考徐健^[12-13]等通过测量扫描中心层面的Dw替代扫描容积Dw估算头颅CT扫描辐射剂量值。本研究参考16cm的标准头模,结果表明,24例受检者的ED值略小于16cm,此时转换因子大于1,这就导致CTDI_{vol}低于SSDE₂₀₄,其余106例受检者的ED均大于16,范围在16.03~20.11cm之间,转换因子均小于1,此时CTDI_{vol}高于SSDE₂₀₄。130例受检者的Dw均大于16,转换因子小于1,因此CTDI_{vol}均高于SSDE₂₃₀、SSDE₂₉₃。由于 f^{H16} 值均小于1,且 f^{H16} 值均小于 f_{Dw} , f^{H16} 范围在0.72~0.89之间, f_{Dw} 范围在0.89~0.99之间,SSDE值均低于CTDI_{vol},且SSDE₂₉₃值最小。许书聪^[14]等研究表明Dw联合头部转换因子 f^{H16} 计算SSDE可精确评估患儿头部CT扫描辐射剂量,与本研究结论相一致,表明SSDE₂₉₃能够用来估算颞骨CT扫描受检者的辐射剂量。

本研究发现性别与辐射剂量无明显相关性,与刘小煊^[15]等关于头颅CT扫描的研究结论不一致,分析原因为,本研究结果表明性别与头颅各个径线之间存在相关性,且男性径线普遍大于女性,而转换因子与ED及Dw呈负指数关系,因此男性转换因子低于女性,同时刘^[15]等研究采用的是固定管电流扫描参数,无论扫描范围内受检者体型如何变化CTDI_{vol}均保持一致,当乘以转换因子时,男性组SSDE低于女性组,而本研究中采用管电流自动调制技术,当扫描层面内受检者体型增大时CTDI_{vol}也会增大,因此男性受检者的CTDI_{vol}会高于女性,当这种增大的程度等于或超过转换因子的缩小程度时,其SSDE就会高于女性,所以男性受检者的SSDE可高于也可低于女性,导致性别与辐射剂量之间不存在相关性。

总之,考虑到受检者体型及组织衰减的SSDE比CTDI_{vol}更能准确反映辐射剂量,其中SSDE₂₉₃在颞骨CT扫描中最具参考价值,值得推广。

本研究的不足之处:采用颞骨中心层面的ED、Dw计算SSDE替代扫描范围内的平均SSDE,由于颞骨扫描范围内每个层面的组织结构不一,其测量的结果也不一样,选择中心层面的SSDE值来代替平均SSDE可能存在一定误差。未来将纳入更多的样本通过逐层计算SSDE获取受检者的辐射剂量值,同时将继续优化SSDE计算方法,使得SSDE值更准确。

参考文献

- [1] Yuan MK, Tsai DC, Chang SC, et al. The risk of cataract associated with repeated head and neck CT studies: a nationwide population-based study[J]. AJR Am J Roentgenol, 2013, 201(3): 626-630.
- [2] Li B, Behrman RH. Comment on the "report of AAPM TG 204: size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations" [report of AAPM TG 204, 2011] [J]. Med Phys, 2012, 39(7): 4613-4614.
- [3] 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 task group 220[J]. AAPM Rep, 2014: 6-23.
- [4] John M. Boone, Keith J. Strauss, Andrew M. Hernandez, et al. Size-Specific Dose Estimate (SSDE) for head CT. The Report of AAPM Task Group 293.
- [5] 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.
- [6] Hu X, Gou J, Lin W, et al. Size-specific dose estimates of adult, chest computed tomography examinations: comparison of Chinese and updated 2017 American College of Radiology diagnostic reference levels based on the water-equivalent diameter[J]. PLoS One, 2021, 16(9): e0257294.
- [7] 彭伟, 袁子龙, 潘宁, 等. 基于AAPM 293报告的体型特异性辐射剂量估计在成人头部CT扫描中的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(8): 1655-1658.
- [8] Alikhani B, Getzin T, Kaireit TF, et al. Correlation of size-dependent conversion factor and body-mass-index using size-specific dose estimates formalism in CT examinations[J]. European Journal of Radiology, 2018, 100: 130-134.
- [9] 谭婷婷, 杨楠, 王春祥, 等. 基于年龄计算儿童头部体型特异性剂量评估值的初步研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2022, 42(11): 897-902.
- [10] Jaramillo-Garzón W, Caballero MA, Alvarez-Aldana DF. Size-specific dose estimates for pediatric non-contrast head CT scans: a retrospective patient study in Tunja, Colombia[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2021, 193(3-4): 221-227.
- [11] Özsoykal İ, Yurt A, Akgüngör K. Size-specific dose estimates in chest, abdomen, and pelvis CT examinations of pediatric patients[J]. Diagn Interv Radiol, 2018, 24(4): 243-248.
- [12] 徐健, 陈军法, 毛德旺, 等. 头颅CT扫描中心层面水当量直径估算体型特异性辐射剂量的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(7): 538-542.
- [13] 徐健, 毛德旺, 徐建国, 等. 基于有效直径和水当量直径计算头颅CT扫描体型特异性剂量估算值的对比研究[J]. 中华放射学杂志, 2018, 38(7): 535-539.
- [14] 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.
- [15] 刘小煊, 岳军艳, 谷世立, 等. 不同体型特异性剂量估算在成人头部CT扫描中差异比较[J]. 放射学实践, 2021, 36(10): 1294-1297.

(收稿日期: 2024-05-09)

(校对编辑: 江丽华)