

## 不同体型特异性剂量估算在成人头部 CT 扫描中差异比较

刘小焕, 岳军艳, 谷世立, 窦文广

**【摘要】 目的:**比较基于扫描范围中心层面有效直径 ED 和水当量直径 WD 的体型特异性剂量评估 SSDE<sub>ED</sub> 与 SSDE<sub>WD</sub> 在成人头颅 CT 扫描中辐射剂量的差异。**方法:**连续搜集东芝公司 64 排 Aquilion CT 机上的 108 例成人患者头部 CT 螺旋扫描数据,男 52 例,女 56 例,记录每个患者的容积 CT 剂量指数 CTDI<sub>vol</sub>,分别计算 ED,WD,相应的转换系数  $f_{ED}$ ,  $f_{WD}$  和体型特异性剂量指数 SSDE<sub>ED</sub>, SSDE<sub>WD</sub>。比较两种方法对应的体径,转换系数和体型特异性剂量的差异并比较男女间 ED、WD、 $f_{ED}$ 、 $f_{WD}$ 、SSDE<sub>ED</sub>、SSDE<sub>WD</sub> 的差异。**结果:**头部扫描两种体型特异性剂量算法的平均体径 WD 比 ED 增加 7.59%,平均转换系数  $f_{WD}$  比  $f_{ED}$  降低 4.89%,平均体型特异性剂量评估 SSDE<sub>WD</sub> 比 SSDE<sub>ED</sub> 降低 4.89%,差异均有统计学意义 ( $t=59.83, -61.28, -61.27, P<0.05$ )。SSDE<sub>ED</sub> 和 SSDE<sub>WD</sub> 比 CTDI<sub>vol</sub> 分别低 3.22% 和 7.95%。男女 ED、WD 男组高于女组; $f_{ED}$ 、 $f_{WD}$ 、SSDE<sub>ED</sub>、SSDE<sub>WD</sub> 男组则均低于女组,差异也都有统计学意义 ( $t=10.89, 9.44, -10.93, -9.48, -10.93, -9.48, P<0.05$ )。**结论:**SSDE<sub>ED</sub> 和 CTDI<sub>vol</sub> 都高估了成人头部 CT 扫描的辐射剂量,SSDE<sub>WD</sub> 能更加准确的评估成人头颅 CT 扫描的辐射剂量。

**【关键词】** 头部; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 体型; 方案评价

**【中图分类号】** R323.1; R814.4; R144; R194.3; R197 **【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1000-0313(2021)10-1294-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Comparison of the different size-specific dose estimates in adult head CT scanning** LIU Xiao-huan, YUE Jun-yan, GU Shi-li, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Xinxiang Medical University, Weihui 453100, China

**【Abstract】 Objective:** To compare the difference between the size specific dose estimate effective diameter (SSDE<sub>ED</sub>) and the size specific dose estimate water diameter (SSDE<sub>WD</sub>) for evaluating radiation dose based in central slice effective diameter (ED) and water equivalent diameter (WD) in adult skull CT scanning. **Methods:** The CT spiral scan data of 108 adult patients (male 52, female 56) on 64-row CT scanner (Aquilion, Toshiba Company) were collected continuously. CTDI<sub>vol</sub> value of each patient in the dose report was recorded. The ED, WD, the conversion coefficient of ED ( $f_{ED}$ ), the conversion coefficient of WD ( $f_{WD}$ ), SSDE<sub>ED</sub> and SSDE<sub>WD</sub> were calculated. The differences of body diameter, conversion coefficient and SSDE which were calculated with two methods were compared. The differences of ED, WD,  $f_{ED}$ ,  $f_{WD}$ , SSDE<sub>ED</sub> and SSDE<sub>WD</sub> in male group and female group were compared respectively. **Results:** The WD is 7.59% more than ED ( $t=59.83, P<0.05$ ). The  $f_{WD}$  is 4.89% less than  $f_{ED}$  ( $t=-61.58, P<0.05$ ). The SSDE<sub>WD</sub> is 4.89% less than SSDE<sub>ED</sub> ( $t=-61.27, P<0.05$ ). SSDE<sub>ED</sub> is 3.22% lower than CTDI<sub>vol</sub>. SSDE<sub>WD</sub> is 7.95% lower than CTDI<sub>vol</sub>. The ED and WD in male group are higher than which in female group respectively ( $t=10.89, 9.44, P<0.05$ ). The  $f_{ED}$ ,  $f_{WD}$ , SSDE<sub>ED</sub> and SSDE<sub>WD</sub> in male group are lower than which in female group respectively ( $t=-10.93, -9.48, -10.93, -9.48, P<0.05$ ). **Conclusion:** Both SSDE<sub>ED</sub> and CTDI<sub>vol</sub> may be overestimated the radiation dose of adult head CT scanning. SSDE<sub>WD</sub> may be more accurate for evaluation the radiation dose of adult head CT scanning.

**【Key words】** Head; Tomography, X-ray computed; Radiation dosage; Somatotypes; Program evaluation

作者单位: 453100 河南, 新乡医学院第一附属医院放射科

作者简介: 刘小焕(1981-), 女, 河南省舞阳县人, 硕士, 工程师, 主要从事辐射剂量优化管控研究。

通讯作者: 窦文广, E-mail: 13503435870@139.com

CT 技术的快速发展使其临床应用越来越广泛,患者由此受到的电离辐射和致癌风险受到学术界的广泛关注<sup>[1]</sup>。患者所受辐射剂量不仅与设备输出剂量有关,还与自身体型大小和组织结构衰减特性有关<sup>[2]</sup>。目前 CT 设备自带的剂量报告常用容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)与剂量长度乘积 dose length product, DLP)表示。CTDIvol 是基于直径为 16 cm 或 32 cm 的圆柱形聚甲基丙烯酸甲酯标准体模测量得到的<sup>[3-4]</sup>,反映的是 CT 设备对标准体模的辐射输出水平<sup>[5]</sup>。DLP 是由 CTDIvol 与扫描长度的乘积得到的,表示的是标准体模接受的总辐射剂量<sup>[6]</sup>。两个指标都未涉及患者任何因素,因此仅用它们来表示患者所受辐射剂量是不准确的<sup>[7-9]</sup>。美国医学物理学会(American Association of Physicists in Medicine, AAPM)2011 年提出用反映患者体型的有效直径(effective diameter, ED)对应的转换系数乘以 CTDIvol 获得体型特异性剂量估算值(size-specific dose estimate, SSDE<sub>ED</sub>)<sup>[7]</sup>;2014 年提出用反映患者 X 射线衰减和患者体型的水当量直径(water-equivalent diameter, WD)所对应的转换系数乘以 CTDIvol 获得体型特异性剂量估算值(size-specific dose estimate, SSDE<sub>WD</sub>)<sup>[8]</sup>。SSDE<sub>WD</sub>不仅考虑了患者体型,更考虑了患者组织结构衰减特性对患者所受辐射剂量的影响,能更好地评估患者所受的辐射剂量<sup>[10-11]</sup>。但关于体型特异性剂量估算的研究大多集中在体部,关于头部的研究相对较少,而头部 CT 检查又比较普遍,对其研究有现实意义。本研究旨在比较基于水当量直径和有效直径的体型特异性剂量评估在估算成人头部 CT 扫描辐射剂量的差异。

## 材料与方法

### 1. 一般资料

回顾性连续分析本院 2019 年 4—5 月在同一台 CT 机上行头部 CT 平扫的成人患者,排除图像不能满足诊断需求、有运动伪影或外伤不能配合,以及由于金属伪影可能造成辐射剂量估计不准的病例。入组 108 例,其中男 52 例,女 56 例;年龄 18~85 岁,平均年龄 53.4±1.4 岁。

### 2. 扫描方法

采用东芝公司 64 排 Aquilion CT 机行头部 CT 螺旋扫描。患者取仰卧位,头先进,仅扫描头部侧

位定位像。扫描前去除头部金属异物,避免产生伪影,以听眉线为基线,扫描范围自颅底至颅顶 25~28 层。扫描前向患者解释扫描过程,嘱咐患者不能动,选用本院头颅规范化扫描方案,螺旋扫描模式,管电压 120 kVp,管电流 150 mA,转速 1000 ms,探测器准直 0.5 mm×64,螺距 53,层厚 5 mm,层间隔 5 mm,采集矩阵 512×512。

### 3. 数据采集与测量

扫描完成后将扫描图像及剂量报告传送至图像存储与传输系统(picture archiving and communication systems, PACS)和图像后处理工作站中,在图像后处理工作站上记录每位患者的容积 CT 剂量指数 CTDIvol,对头颅扫描所有层面正中间的 CT 横断面图像调整窗宽窗位,清晰显示头皮轮廓,进行数据测量。

测量左右和前后方向的最大径线(lateral diameter, Lat)和(anteroposterior diameter, AP),并参考 AAPM204 号文件<sup>[7]</sup>,头部参照 16 cm 标准体模,据下列公式计算有效直径 ED 及基于有效直径的转换系数  $f_{ED}$ ,基于有效直径的体型特异性剂量指数 SSDE<sub>ED</sub>(图 1)。

$$ED = \sqrt{Lat \times AP} \quad (1)$$

$$f_{ED} = 1.874799 \times e^{-0.03871313 \times ED} \quad (2)$$

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

贴边勾画的近椭圆形 ROI 包含该横断面所有解剖结构,记录自动显示的 ROI 面积( $A_{ROI}$ , cm<sup>2</sup>)和该面积内的平均 CT 值( $CT_{ROI}$ , HU)并参考 AAPM220 号

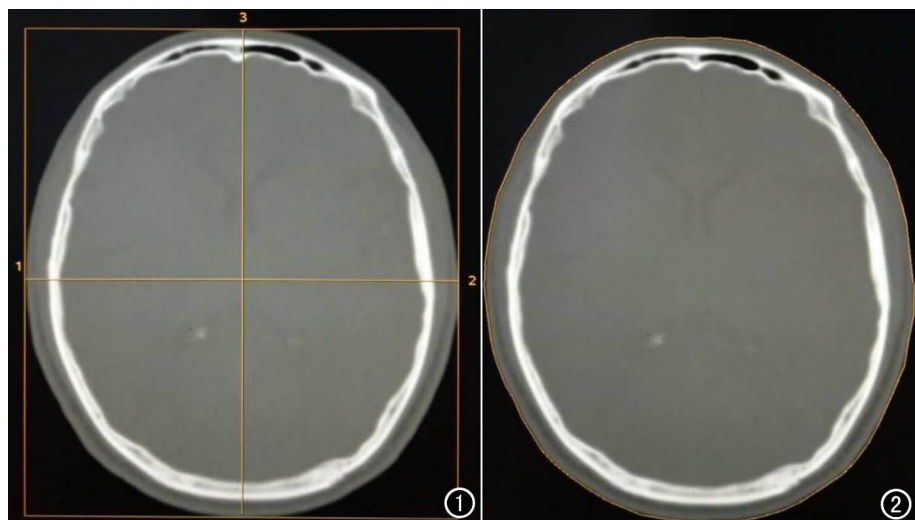


图 1 测量中心层面 AP 和 Lat 示意图。选取扫描范围中心层面图像,调整窗宽窗位清晰显示头皮轮廓,以完全包含横断面组织结构的最小矩形形式测量头颅前后径(AP)和左右径(Lat),记录自动显示的长度值。

图 2 测量中心层面 ROI 示意图。选取扫描范围中心层面图像,调整窗宽窗位清晰显示头皮轮廓,沿着头皮边缘贴边勾画近椭圆形 ROI,记录自动显示的 ROI 面积( $A_{ROI}$ )和该面积内的平均 CT 值( $CT_{ROI}$ )。

报告<sup>[8]</sup>,参照 16cm 标准体模,据下列公式计算水当量直径 WD,基于水当量直径的转换系数  $f_{WD}$  及体型特异性剂量  $SSDE_{WD}$ (图 2)。

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

(4)

$$f_{ED} = 1.874799 \times e^{-0.03871313 \times WD}$$

(5)

$$SSDE_{WD} = f_{WD} \times CTDI_{vol}$$

(6)

4. 统计学分析

计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 SPSS 17 软件进行统计分析,采用配对  $t$  检验比较所有被检者两种算法中体径,转换系数和 SSDE 的差异;采用独立样本  $t$  检验比较男女间 ED、WD、 $f_{ED}$ 、 $f_{WD}$ 、 $SSDE_{ED}$ 、 $SSDE_{WD}$  的差异, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

结 果

1. 头部扫描两种 SSDE 算法比较

平均体径  $ED < WD$ ,平均转换系数  $f_{ED} > f_{WD}$ ,平均体型特异性剂量评估  $SSDE_{ED} > SSDE_{WD}$  且差异均有统计学意义( $P < 0.001$ ,表 1)。由于 WD 比 ED 增加 7.59%,平均转换系数  $f_{WD}$  比  $f_{ED}$  降低 4.89%,而且由于采用固定扫描条件,CTDI<sub>vol</sub> 为固定值 38.80mGy,导致  $SSDE_{WD}$  比  $SSDE_{ED}$  降低 4.89%。 $SSDE_{ED}$  比 CTDI<sub>vol</sub> 低 3.22%, $SSDE_{WD}$  比 CTDI<sub>vol</sub> 低 7.95%。

表 1 两种体型特异性剂量评估方法下各参数的结果比较

| 算法        | $SSDE_{WD}$      | $SSDE_{ED}$      | $t$    | $P$      |
|-----------|------------------|------------------|--------|----------|
| 例数        | 108              | 108              |        |          |
| 体径(cm)    | $18.39 \pm 0.71$ | $17.09 \pm 0.65$ | 59.83  | $<0.001$ |
| 转换系数      | $0.92 \pm 0.03$  | $0.97 \pm 0.02$  | -61.28 | $<0.001$ |
| SSDE(mGy) | $35.71 \pm 0.97$ | $37.55 \pm 0.94$ | -61.27 | $<0.001$ |

注: $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  分别代表基于有效直径和水当量直径体型特异性的剂量评估,-表示不考虑

2. 不同性别间参数比较

平均有效直径 ED 和平均水当量直径 WD 男组均高于女组;这导致男组的平均转换系数  $f_{ED}$  和  $f_{WD}$  均低于女组,且男女两组的所有转换系数都  $< 1$ ;而由固定值 CTDI<sub>vol</sub> 乘以转换系数得到的平均辐射剂量估算值  $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$ ,均  $< CTDI_{vol}$ ,且男组均低于女组,差异均有统计学意义( $P < 0.001$ ,表 2)。

表 2 不同性别间 ED、WD、 $f_{ED}$ 、 $f_{WD}$ 、 $SSDE_{ED}$ 、 $SSDE_{WD}$  比较

|                   | 男                | 女                | $t$    | $P$      |
|-------------------|------------------|------------------|--------|----------|
| 例数                | 52               | 56               |        |          |
| ED(cm)            | $17.58 \pm 0.49$ | $16.64 \pm 0.40$ | 10.89  | $<0.001$ |
| WD(cm)            | $18.88 \pm 0.55$ | $17.93 \pm 0.49$ | 9.44   | $<0.001$ |
| $f_{ED}$          | $0.95 \pm 0.02$  | $0.98 \pm 0.02$  | -10.93 | $<0.001$ |
| $f_{WD}$          | $0.90 \pm 0.02$  | $0.94 \pm 0.02$  | -9.48  | $<0.001$ |
| $SSDE_{ED}$ (mGy) | $36.84 \pm 0.70$ | $38.21 \pm 0.60$ | -10.93 | $<0.001$ |
| $SSDE_{WD}$ (mGy) | $35.03 \pm 0.74$ | $36.35 \pm 0.69$ | -9.48  | $<0.001$ |

注:ED 代表有效直径、WD 水当量直径、 $f_{ED}$  基于有效直径的转换系数、 $f_{WD}$  基于水当量直径的转换系数、 $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  分别代表基于有效直径和水当量直径的体型特异性的剂量评估,-表示不考虑

讨 论

为了准确获取患者所接受的辐射剂量,AAPM 建议测量所有层面的有效直径和水当量直径以计算  $SSDE_{[7,8]}$ ,但在没有程序帮助的情况下手工测量过于繁琐,工作量大。研究<sup>[12]</sup>发现头部 CT 扫描时扫描范围中心层面估算辐射剂量比所有层面扫描容积辐射剂量的平均值仅低 0.47 mGy,可以忽略不计。因此可用扫描范围中心层面的辐射剂量替代扫描容积辐射剂量的平均值,表示患者接受的辐射剂量。本研究直接采用测量扫描范围中心层面的有效直径和水当量直径来估算患者所受的辐射剂量,相对简便。采用贴边勾画 ROI 的方式测量横截面面积,排除了空气对水当量直径和体型特异性剂量的影响,相对覆盖横断面所有解剖结构且不包含床板的最小椭圆勾画 ROI 更加准确。

本研究采用固定管电流模式,CTDI<sub>vol</sub> 为固定值 38.80 mGy,有效直径和水当量直径都是体型特异性剂量的唯一影响因素。所有的  $f_{WD}$  都在 1.0 以下,所以  $SSDE_{WD}$  均低于 CTDI<sub>vol</sub>,这与 Anam 等<sup>[13]</sup>研究结果一致。除了个别患者  $f_{ED}$  稍  $> 1.0$  外,其余的转换系数  $f_{ED}$  均  $< 1.0$ ,整体、男组及女组的平均转换系数  $f_{ED}$  也都在 1.0 以下,且平均  $SSDE_{ED}$  均低于 CTDI<sub>vol</sub>。可见考虑了患者体型的  $SSDE_{ED}$  与考虑了患者体型和组织结构衰减的  $SSDE_{WD}$  都比仅代表设备输出的 CTDI<sub>vol</sub> 更能准确反映患者接受的辐射剂量<sup>[10,11,14]</sup>,且  $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  与 CTDI<sub>vol</sub> 相比,变化趋势一致,均低于 CTDI<sub>vol</sub>。本研究虽采用固定毫安,但是辐射剂量  $SSDE_{WD}$  却低于徐建等研究<sup>[12]</sup>自动管电流调节方式的辐射剂量将近 18 mGy。这可能是由于该扫描条件主要用于观察脑组织病变,采用的固定电流低于徐建自动毫安调节方式的参考电流。外伤类病变或需要三维重建的头部扫描则需要适当提高毫安或球管转速以便更好地观察骨骼及细节,这更符合个性化扫描的要求。

由于头部以脑组织和颅骨为主,并且平均密度高于水,故头部的整体衰减要高于水模模拟的衰减。因此,WD 要高于 ED,从而导致  $SSDE_{ED}$  较  $SSDE_{WD}$  高估了 5.14%,这与徐健等<sup>[12]</sup>的研究结果一致。本研究发现男组的有效直径 ED 及水当量直径 WD 平均值均高于女组,这是由于男性体型普遍比女性大,头颅的前后径和左右径整体高于女性,而有效直径和水当量直径与患者的体型参数呈正相关。相应的男性转换系数  $f_{ED}$  和  $f_{WD}$  平均值低于女组, $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  平均值也低于女组。这与李刚等<sup>[15]</sup>使用自动管电流对胸部的研究结果不同, $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  并没有随着体型增大而变大。这是因为  $SSDE_{ED}$  和  $SSDE_{WD}$  由 CTDI<sub>vol</sub> 乘以转换系数  $f_{ED}$  和  $f_{WD}$  得到,自动管电流下,体型增

大、CTDI<sub>vol</sub> 会相应增大, 尽管  $f_{ED}$  和  $f_{WD}$  变小, SSDE<sub>ED</sub> 和 SSDE<sub>WD</sub> 也可能因 CTDI<sub>vol</sub> 增大得多而增大; 而固定管电流下, 无论体型如何变化, CTDI<sub>vol</sub> 都为固定值, SSDE<sub>ED</sub> 和 SSDE<sub>WD</sub> 仅随转换系数  $f_{ED}$  和  $f_{WD}$  减小而减小。

本研究也存在一定的局限性: 纳入的对象均为成年患者, 可能研究结果并不适合儿童<sup>[16]</sup>, 后期会对儿童进行研究; 其次, 因是回顾性研究, 未对大家关心的体重指标进行研究, 也未对头部轴扫模式和使用日益广泛的自动管电流条件进行研究; 第三所有测量结果均为手工测量, 不够简便。

综上所述, 本研究对 108 名患者头部 CT 样本行基于扫描范围中心层面有效直径(ED)与水当量直径(WD)计算的体型特异性剂量估算(SSDE)比较, 发现CTDI<sub>vol</sub> 和 SSDE<sub>ED</sub> 都高估了患者的辐射剂量, 且相同固定管电流下男比女实际受到的辐射剂量 SSDE<sub>WD</sub> 更低。建议使用基于水当量直径的 SSDE<sub>WD</sub> 评估患者头部 CT 扫描时的辐射剂量。

#### 参考文献:

- [1] 李克, 谷守欣, 张国福, 等. 放射检查剂量实时动态监测[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20(5): 417-419.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 张晓东, 郭小超, 王霄英. 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.
- [7] Boon JM, Strauss KJ, Cody DD, et al. Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations: the report of AAPM task group 204[R]. USA: AAPM, 2011: 1-22.
- [8] 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[R]. USA: AAPM, 2014: 1-23.
- [9] 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.
- [10] Figueira C, Di Maria S, Baptista M, et al. Paediatric CT exposures: comparison between CTDI<sub>vol</sub> and SSDE methods using measurements and monte carlo simulations[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2015, 165(1-4): 210-215.
- [11] Imai R, Miyazaki O, Horiuchi T, et al. Local diagnostic reference level based on size-specific dose estimates: assessment of pediatric abdominal/pelvic computed tomography at a Japanese national children's hospital[J]. Pediatr Radiol, 2015, 45(3): 345-353.
- [12] 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]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(7): 535-540.
- [13] Anam C, Haryanto F, Widital R, et al. A fully automated calculation of size-specific dose estimates in thoracic and head CT examination[J]. J Phys Conf Ser, 2016, 694(1): 012030.
- [14] 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.
- [15] 李刚, 金莉卿, 王轶彬, 等. 基于有效直径和水当量直径估算胸部 CT 扫描体型特异性剂量的对比研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2019, 25(4): 348-352.
- [16] 邢点金, 范晨烨, 等. 儿童 CT 检查辐射剂量最优化问题初探[J]. 泰山医学院学报, 2020, 41(1): 72-75.

(收稿日期: 2020-09-17 修回日期: 2020-11-19)