

## 体型特异性剂量估计之美国医学物理师学会第 293 号报告解读

陈迢, 彭伟, 陈浩, 郑丽丽, 贺瑶瑶, 张照喜, 袁子龙, 李翠玲

**【摘要】** 当前头部 CT 检查所受辐射剂量估算仍为设备输出剂量容积 CT 剂量指数(CTDI<sub>vol</sub>)。美国医学物理师学会(AAPM)先后发布了基于患者体型特点辐射剂量估计(SSDE)第 204 和 220 报告,但以上报告均未对头部辐射剂量估算中转换因子 f 进行单独测算。因此 AAPM 最近发布了专门针对头部 SSDE 估算第 293 号报告,通过物理测量和蒙特卡洛模拟最终得到综合拟合便于临床使用头部转换因子 f<sup>H16</sup>。本文对 AAPM 第 293 报告内容进行详细解读以供临床快速准确估算头部 CT 受检者辐射剂量。

**【关键词】** 体型; 辐射剂量; 颅脑照射; 体层摄影术, X 线计算机

**【中图分类号】** R144; R194.3; R814.42; R816.1 **【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1000-0313(2020)10-1221-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.10.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



目前 CT 扫描仪通过输出容积 CT 剂量指数(volume computed tomography dose index, CTDI<sub>vol</sub>)及相应剂量长度乘积(dose length product, DLP)来标准化计算机输出剂量水平。然而患者接受辐射剂量既与机器输出剂量有关也与患者体型有关;特别是对体型较小儿童,如果不考虑其体型特点可能导致低估 2~3 倍患者所接受辐射剂量<sup>[1]</sup>。因此为了更便捷准确估算 CT 受检者辐射剂量,美国医学物理师学会(American Association of Physicists in Medicine, AAPM)于 2011 年发布了第 204 报告,提出了基于患者几何尺寸特点体型特异性剂量估计(size-specific dose estimate, SSDE)概念,其通过测量目标区域 CT 图像前后径(AP)与左右径(Later)计算有效直径(effective diameter, ED),进而得到转换因子(f)后联合 CT 容积剂量指数(CTDI<sub>vol</sub>)来进行剂量估算 SSDE,但是患者几何尺寸并不包含 X 线衰减特点<sup>[1]</sup>,特别是针对胸部 CT 扫描无法进行准确剂量评价。因此 AAPM 于 2014 年提出更为精确基于组织等效水等效直径(water equivalent diameter, D<sub>w</sub>)体型特异性剂量估计概念,其充分考虑患者各部位 X 线吸收特点并标准化为水线性衰减便于临床实施<sup>[2,3]</sup>。但是第 204 和 220 报告中并没有针对头部转换因子进行实验计算,而脑组织是被包含在相对致密颅骨内,即使是相同 D<sub>w</sub> 值,头部与体部吸收剂量空间分布也不尽相同。特别是对于儿童患者,由于其体型偏小,颅骨在密度颅脑中所占比

重较大且颅骨结构在青少年时期和成人中差别较大<sup>[4]</sup>,而 204 报告中 f 值最初计划应用于腹部辐射剂量估算,腹部是一个包含较少骨质相对均质区域,因此使用 204 和 220 报告中所推荐 f 来估算头部辐射剂量是不准确的<sup>[5]</sup>。因此急需专门对头部转换因子进行准确测定以便更加准确估算头部 CT 检查辐射剂量,特别是对儿童头部 CT 检查辐射剂量准确估算意义重大<sup>[6]</sup>。因此 AAPM 对该部分进行了相应修正,并于 2019 年 7 月发布了其第 293 号报告<sup>[7]</sup>。本文将对第 293 报告中头部 SSDE 计算方法及转换因子变化进行阐述。

#### AAPM 第 293 号报告中头部 SSDE 转换因子(f<sup>H16</sup>)建立与修订

目前已由 AAPM 第 204 号报告证实由 CT 设备辐射剂量输出指数 CTDI<sub>vol</sub> 结合患者体型转换系数 f 来估算患者辐射剂量 SSDE 值,然而该报告主要通过 16 cm 和 32 cm PMMA 体模进行模拟估算腹盆腔和胸部转换因子,因此其转换系数主要是针对腹盆腔。虽然该转换因子可用于胸部 SSDE 的估算,但会存在 20% 以内偏差且该报告中并没有提供针对头部转换因子;同时 204 报告中 SSDE 估算采用整个扫描中间层面图像进行,因该层包含了来自中间层面相邻上、下层面散射线影响<sup>[8,9]</sup>,导致中间层面最接近整个扫描最大吸收剂量,从而会使整个扫描平均吸收剂量偏低。基于这些原因, AAPM 第 293 报告工作组为了准确评估头部 CT 检查辐射剂量专门对头部转换因子估算进行了大量而细致工作。该工作组分别在圣犹大研究医院(SJCRH)、加利福尼亚大学戴维斯分校(UCD)、加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)及梅奥医学中心

**作者单位:** 430070 武汉,湖北省肿瘤医院放射科(陈迢、彭伟、陈浩、郑丽丽、贺瑶瑶、张照喜、袁子龙);武汉职业病防治院(李翠玲)

**作者简介:** 陈迢(1988—),男,湖北荆州人,硕士,初级技师,主要从事辐射剂量防护与剂量最优化研究。

**通讯作者:** 李翠玲, E-mail: 15071051402@163.com

(Mayo)利用物理体模及蒙特卡洛模拟来建立基于头部 16 cm CTDI 体模 SSDE 转换因子  $f^{H16}$  与  $D_w$  函数。具体的研究结果如下。

### 1. 梅奥医学中心:组织等效头部体模物理测量

Mayo 使用 4 个不同尺寸组织等效体模(体模编号:007TE-21、007TE-22、007TE-23、007TE-27, CIRS Inc., Norfolk, VA)分别在西门子双源 CT(Somatom Force, Siemens Healthcare, Germany)进行数据采集,体模参数如表 1,每个组织等效体模均与 CTDI 体模

结构类似,在体模中心及外周 3,6,9,12 点钟方向均有圆形孔洞,可插入标准 CTDI 电离室,并测量不同条件下吸收剂量。使用标准准直束(192×0.6 mm)及常规头部扫描协议(旋转时间为 1 s),管电压范围 70~150 kV,以 10 kV 步进递增并采用自动管电流控制技术(auto exposure control, AEC),其中参考管电流 220 mA;随后关闭 AEC,调整有效 mAs 以获得使用 AEC 系统所得到  $CTDI_{vol}$  值。结果测得不同管电压下水等效直径  $D_w$  变异度在 1%~1.5%,说明  $D_w$  受管电压影响很小(图 1)。通过 CIRS 体模测得吸收剂量

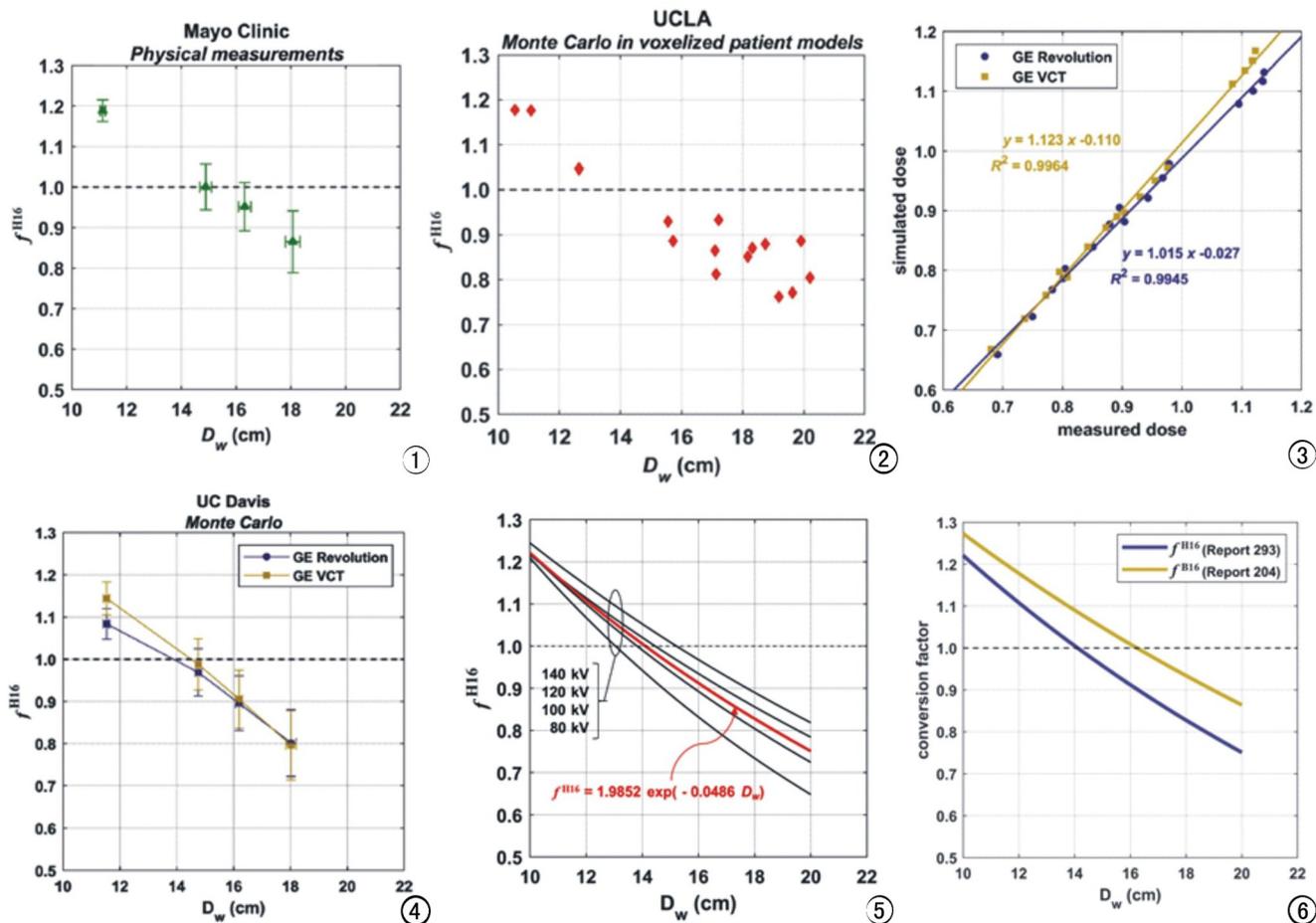


图 1 Mayo 在西门子 FORCE CT 测量新生儿、1 岁、5 岁和成人组织等效体模转换因子 ( $f^{H16}$ )。误差线示由于不同管电压(70~150kV)产生变化,水平误差线反映不同管电压对  $D_w$  造成变化。图 2 UCLA 使用 GSF、ICRP 和 5 个体素化儿童患者体模进行蒙特卡洛模拟,并在西门子 Sensation64 排 CT 上进行模拟。SS-DE 估算采用临床头部扫描中心 0.5cm 厚脑实质体素化模型行累积剂量估计。所示数据为本研究中所使用 15 个体模每一个个体蒙特卡洛测量值。图 3 UCD 使用蒙特卡洛模拟验证在 SJCRH 通过 GE VCT 和 GE Revolution 机器扫描(80、100、120 和 140kV)物理测量新生儿、1 岁、5 岁和成人头部体模获得综合剂量值。其中 GE VCT 和 GE revolution 分别使用 2.0cm 和 0.5cm 准直束。图 4 UCD 使用蒙特卡洛模拟估算 GE VCT 和 GE Revolution CT 扫描新生儿、1 岁、5 岁和成人头部体模转换因子 ( $f^{H16}$ )。大脑剂量估算以沉积在 0.5cm 厚组织等效固体水部分中心板剂量。其中误差线表示管电压范围为 80~140kV 的  $f^{H16}$  平均值一个标准偏差。图 5 显示  $f^{H16}$  与  $D_w$  最佳拟合曲线,其中黑线表示单一管电压(80、100、120 和 140kV)下拟合曲线而红线表示综合最佳拟合曲线。图 6 在同一  $D_w$  值的情况下,分别依据 AAPM 204 报告得到体部转换因子  $f_{B16}$  和 AAPM 293 报告得到头部转换因子  $f^{H16}$ 。对于同一  $CTDI_{vol,16}$  值,由于头部转换因子与体部转换因子差异,造成头部比体部 SSDE 值低约 8.7%。

除以  $CTDI_{vol,16}$ , 以计算每个体模  $CTDI_{vol,16}$  与 SSDE 转换因子  $f^{H16}$ , 结果显示新生儿、1 岁、5 岁和成人转换因子  $f^{H16}$  值 (变异系数) 分别为 1.19 (2.2%)、1.00 (5.6%)、0.95 (6.3%) 和 0.87 (8.8%) (图 1)。而成人头部体模存在最大变异度原因是在所评估管电压范围内 (70~150kV) 其光束硬化程度显著增加造成的。

表 1 组织等效头部体模各项参数

Phantom	前后径 (AP, cm)	左右径 (LAT, cm)	$D_w$ (CV)	颅骨厚度 (cm)	颅骨密度 (g/cc)
新生儿	12	9.5	11.1(1.5%)	0.25	1.41
1 岁	16	12.0	14.9(1.4%)	0.30	1.45
5 岁	17	13.5	16.3(1.4%)	0.35	1.52
21 岁	19	14.5	18.1(0.9%)	0.50	1.60

其中  $D_w$  是 70、90、110、120、130 和 150kV 值下得到平均值及其变异系数 (CV)。

## 2. 加利福尼亚大学洛杉矶分校: 体素化头部模型蒙特卡洛估计

UCLA 采用不同尺寸体素化头部体模蒙特卡洛模拟行体素水平剂量模拟<sup>[10]</sup>。所用体素化体模为 GSF 体模<sup>[11]</sup>、ICRP 体模<sup>[12]</sup> 及 5 个不同年龄儿童体素化体模<sup>[13]</sup>, 扫描协议为 AAPM 推荐西门子常规头部 CT 扫描参数 (AAPM. Adult Routine Head CT Protocols Version 2.0, 2016.), 所有测得脑组织吸收剂量除以相应  $CTDI_{vol}$  以计算  $CTDI_{vol,16}$  与 SSDE 的转换因子  $f^{H16}$ 。所得结果与梅奥医学中心测量结果接近,  $f^{H16}$  从 1.18 到 0.76 不等,  $D_w$  从 10.6cm 到 20.2cm 不等 (图 2)。

## 3. 加利福尼亚大学戴维斯分校: 虚拟头部 CT 体模蒙特卡洛估计

对 SCJRH 组织等效头部模型物理测量蒙特卡洛验证: SCJRH 使用 16cmCTDI 头部体模及 4 个不同尺寸的组织等效体模 (体模编号: 007TE-21、007TE-22、007TE-23、007TE-27, CIRS Inc., Norfolk, VA) 分别在两台 CT [Volume CT (VCT) and Revolution CT (RCT) scanners, GE Healthcare, Waukesha WI] 上进行扫描。UCD 通过组织等效头部体模的虚拟版本 (表 1) 进行蒙特卡洛模拟估计常规头部容积扫描中心吸收剂量, 测算方法与 SCJRH 类似, 结果显示蒙特卡洛模拟剂量与实际测量剂量具有很好相关性 ( $R^2 > 0.99$ ) (图 3), 其中 GE VCT 和 GE Revolution 扫描吸收剂量平均 (范围) 绝对差异分别是 1.45% (0.05~4.33) 和 0.64% (0.01~2.86)。

蒙特卡洛模拟估算组织等效头部体模转换因子与  $D_w$  关系: UCD 通过蒙特卡洛估计出转换因子  $f^{H16}$  与  $D_w$  关系 (图 4)。结果显示 GE VCT 扫描仪扫描新生儿、1 岁、5 岁和成人的  $f^{H16}$  值 (变异系数) 分别为 1.14 (3.4%)、0.99 (6.1%)、0.91 (7.6%) 和 0.80 (10.4%),

GE Revolution 扫描仪扫描新生儿、1 岁、5 岁和成人的  $f^{H16}$  值 (变异系数) 分别为 1.08 (3.3%)、0.97 (5.8%)、0.90 (7.2%) 和 0.80 (9.9%)。由此得出不同年龄头部转换因子  $f^{H16}$  与  $D_w$  关系, 最终可通过这一关系估算头部检查患者 SSDE。

## 头部 SSDE 综合评估

研究小组计算出在不同管电压下 (80、100、120 及 140kV) 转换因子 ( $f^{H16}$ ) 与  $D_w$  的关系, 并将不同管电压综合拟合出最佳曲线 (图 5)。

虽然单个不同管电压 (80、100、120 及 140kV) 下  $D_w$  与转换因子  $f^{H16}$  具有较高相关系数 ( $R^2$  分别为 0.9396、0.9432、0.9198 及 0.9551), 但如果将管电压也纳入 SSDE 计算考虑范围内, 则增加了头部 SSDE 计算复杂性, 不利于临床应用; 另外即使在给定管电压情况下, 对于不同 CT 系统转换系数  $f^{H16}$  也会有较大差异。因此为了简化运算, 便于临床使用, 293 报告仍推荐采用相关系数综合拟合转换系数  $f^{H16}$  ( $R^2 = 0.83$ )。头部转换系数  $f^{H16}$  计算如下:

$$f^{H16} = \alpha e^{-\beta D_w} \quad (1)$$

其中:  $\alpha = 1.9852$  (组织吸收剂量 (mGy) /  $CTDI_{vol,16}$  (mGy)),  $\beta = 0.0486$  ( $cm^{-1}$ ),  $D_w$  为水等效直径 (cm)。

此外由于儿科颅骨中造血组织重要性, 第 293 报告还将骨髓吸收剂量与脑组织吸收剂量分开评估。因此本次报告中也讨论了骨吸收剂量与脑吸收剂量关系。UCD 利用不同年龄 (0、1、5 和 21 岁) 体模对颅骨海绵区红骨髓和黄骨髓进行详细吸收剂量评估。结果显示当包含脑实质、表皮及红骨髓时质量加权吸收剂量与仅含脑实质质量加权平均吸收剂量差异在 0.7% 以内。尽管这些差异是可以忽略的, 但是这一差异最终也包含在等式 1 中。此外由于脑组织被包裹在一层相对致密的颅骨中, 因而即使是同一  $D_w$ , 但大脑吸收剂量沉积空间分布也与体部吸收剂量沉积空间分布大不相同。比较 AAPM 第 204 报告中体部 16 cm 体模转换系数  $f_{B16}$  与 AAPM 293 报告头部 16 cm 体模转换系数  $f^{H16}$  二者曲线形态非常相似, 且头部 CT 转换系数始终偏低。可能是因为头部扫描采用了更有效波束成形滤栅 (如蝶形滤栅), 造成同一  $CTDI_{vol,16}$  大脑平均吸收剂量要比体部低约 9% (图 6)。

## 术语的变化

现阶段不管是成人还是儿童头部  $CTDI_{vol}$  测量均未使用 32cm 的 CTDI 体模, 同时国际标准 (IEC 60601-2-44 Edition 3.2, 2016) 要求使用 16cm PMMA CTDI 体模。AAPM 第 204 报告中介绍了体型特异性剂量估计 (SSDE) 概念, 但第 204 报告中并没有预期会

有头部 SSDE 转换因子  $f^{H16}$  存在。这使得第 204 报告(第 18 页)中  $f_{32X}$  引入“X”概念过时。该“X”是指 AAPM 第 204 报告中用于反映患者几何尺寸指标即躯干左右径和前后径线性尺寸之和、单独左右径、单独前后径以及有效直径。第 293 报告中建议用下列术语取代第 204 报告中建议术语:

对于体部 CT 扫描(AAPM 第 204 报告),当 32cm PMMA CTDI 体模用于体部 CTDI<sub>vol</sub> 测量时,应在转换系数  $f$  上标中使用“B32”,并在 CTDI<sub>vol</sub> 下标中添加“32”:

$$SSDE = f^{B32} \times CTDI_{vol,32} \quad (2)$$

对于体部 CT 扫描(AAPM 第 204 报告),当 16cm PMMA CTDI 体模用于体部 CTDI<sub>vol</sub> 测量时(通常是儿科体部测量),应在转换因子  $f$  上标中使用“B16”,并在 CTDI<sub>vol</sub> 下标中添加“16”:

$$SSDE = f^{B16} \times CTDI_{vol,16} \quad (3)$$

对于头部 CT 扫描(AAPM 第 293 报告),当 16cm PMMA CTDI 体模用于头部 CTDI<sub>vol</sub> 时,应在转换因子  $f$  上标中使用“H16”,并在 CTDI<sub>vol</sub> 下标中添加“16”:

$$SSDE = f^{H16} \times CTDI_{vol,16} \quad (4)$$

## 总 结

AAPM 第 293 号报告提供了头部 CTDI<sub>vol</sub> 到 SSDE 转换因子  $f^{H16}$  用于计算头部 CT 检查 SSDE。该报告中转换因子  $f^{H16}$  是 4 个单位提供数据综合拟合,其中两组进行了物理测量,两组根据蒙特卡洛模型进行剂量计算。单独测量骨髓吸收剂量时发现骨髓吸收剂量相对于整个大脑平均吸收剂量可以忽略不计(1%)。因此将骨髓剂量也计入颅脑整体剂量之中。需要注意的是在计算头部 SSDE 转换因子  $f^{H16}$  时是依据常规头部 CT 检查扫描体积中心部分( $z$  轴方向)对大脑平均吸收剂量。虽然实际扫描中会使用多种管电压,但是建议使用从所有管电压值组合数据中推导出等式(等式 1)用于临床头部 SSDE 计算。需要指出的是目前还没有足够数据来证明 SSDE 概念能应用到有效剂量估计合理性且 SSDE 估计值与真实辐射剂量仍具有一定差别。

## AAPM 293 报告临床应用和展望

自从 SSDE 概念被提出后,已经广泛应用于 CT 检查辐射剂量估算与研究<sup>[14,15]</sup>,293 报告公布使头部 CT 检查辐射剂量估算更为准确,特别是对儿童患者而言辐射剂量准确估算能更好评价电离辐射对其潜在的危害<sup>[16]</sup>。AAPM 293 报告对头部转换因子进行模拟与验证扩大了其临床应用范围。如果将受检者其他

体型参数(如头围、年龄和 BMI)纳入研究可能更准确估算患者所受辐射剂量,更好指导临床检查剂量最优化<sup>[17-19]</sup>。也可根据 293 报告建立我国头部 CT 检查的诊断参考水平(diagnostic reference level, DRL)<sup>[20]</sup>。但 293 报告体模试验及蒙特卡洛模拟是基于欧美人群进行的,不能完全代表中国人群正常头部尺寸,其在中国人群中应用还需要进一步研究及论证<sup>[21]</sup>。

## 参考文献:

- [1] Boone 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Cristy M. Active bone marrow distribution as a function of age in humans[J]. Physics in Med Biology, 1981, 26(3): 389-400.
- [5] Hardy AJBM, Hernandez AM, et al. Estimating a size-specific dose for helical head CT examinations using monte carlo simulation methods[J]. Medical Physics, 2019, 46(2): 902-912.
- [6] Samei ETX, Paul Segars W, et al. Radiation risk index for pediatric CT: a patient-derived metric [J]. Pediatric Radiology, 2017, 47(13): 1737-1744.
- [7] Boone JM SKJ, Hernandez AM, et al. Size-specific dose estimate (SSDE) for head CT: the report of AAPM Task Group 293[R]. USA: AAPM, 2019: 1-24.
- [8] Boone JM. The trouble with CTDI<sub>100</sub>[J]. Medical Physics, 2007, 34(4): 1364-1371.
- [9] Dixon RL, Anderson JA, Bakalyar DM, et al. Comprehensive methodology for the evaluation of radiation dose in X-ray computed tomography: the report of AAPM Task Group, 111[R]. USA: AAPM, 2011: 1-23.
- [10] Demarco JJ, Cagnon CH, Cody DD, et al. A monte carlo based method to estimate radiation dose from multidetector CT (MDCT): cylindrical and anthropomorphic phantoms[J]. Physics in Medicine & Biology, 2005, 50(17): 3989.
- [11] Petoussi-Hens N, Zankl M, Fill U, et al. The GSF family of voxel phantoms[J]. Physics in Medicine & Biology, 2002, 47(1): 89-106.
- [12] Zankl M, Eckerman KF, Bolch WE. Voxel-based models representing the male and female ICRP reference adult-the skeleton [J]. Radiation Protection Dosimetry, 2007, 127(1-4): 174.
- [13] Demarco JJ, Solberg TD, Smathers JB. A CT-based Monte Carlo simulation tool for dosimetry planning and analysis[J]. Medical Physics, 1998, 25(1): 1-11.
- [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] Burton CS STP. Evaluation of AAPM reports 204 and 220: estimation of effective diameter, water-equivalent diameter, and ellipticity ratios for chest, abdomen, pelvis, and head CT scans[J]. J Applied Clinical Medical Physics, 2018, 19(1): 228-238.

- [16] Brody AS FDP, Huda W, et al. Radiation risk to children from computed tomography[J]. Pediatrics, 2007, 120(3): 677-682.
- [17] Nagayama Y OS, Nakaura T, et al. Radiation dose reduction at pediatric CT: use of low tube voltage and iterative reconstruction [J]. Radiographics, 2018, 38(5): 1421-1440.
- [18] Kritsaneeapaiboon SE-cS, Yoykaew S. Can Patient's body weight represent body diameter for pediatric size-specific dose estimate in thoracic and abdominal computed tomography[J]. J Clinical Imaging Science, 2019, 9(24): 1-8.
- [19] Alikhani BGT, Kaireit TF, et al. Correlation of size-dependent conversion factor and body-mass-index using size-specific dose estimates formalism in CT examinations[J]. Eur J Radiology, 2018, 100(1): 130-134.
- [20] Imai RMO, 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]. Pediatric Radiology, 2015, 45(3): 345-353.
- [21] Kim EY, Kim TJ, Goo JM, et al. Size-specific dose estimation in the Korean lung cancer screening project: does a 32cm diameter phantom represent a standard-sized patient in Korean population? [J]. Korean J Radiology, 2018, 19(6): 1179-1186.

(收稿日期: 2019-10-17 修回日期: 2020-01-17)

## 《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序,《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。2018 年 9 月,《放射学实践》杂志入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999 年之后的第 5 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!