

基于体型特性估算儿童躯干CT检查的器官剂量

梁保辉¹, 陈志², 徐榭²

1. 蚌埠医学院医学影像学系, 安徽 蚌埠 233030; 2. 中国科学技术大学核科学技术学院, 安徽 合肥 233000

【摘要】目的:基于未成年人的体型特征,估算躯干CT检查的器官剂量。**方法:**利用VirtualDose™软件计算未成年人躯干CT检查的器官剂量,利用美国医学物理学会的204报告计算体型特异性辐射剂量(SSDE),研究基于SSDE估算CT检查的器官剂量。**结果:**基于未成年人的年龄、体质量和腰围估算的SSDE,与躯干CT检查的主要器官(肺、胃、结肠、肝、心脏、乳腺和皮肤)剂量存在显著相关性,可计算获得SSDE与器官剂量的转换系数。**结论:**利用SSDE能够快速准确估算未成年人躯干CT检查个体化的器官剂量。

【关键词】儿童患者;CT检查;器官剂量;体型特异性剂量评估

【中图分类号】R814.2;R445.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)06-0550-05

Size-specific organ dose estimation of body CT examination in pediatric patients

LIANG Baohui¹, CHEN Zhi², XU Xie²

1. Department of Medical Imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, China; 2. School of Nuclear Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 233000, China

Abstract: Objective To estimate the organ dose in the CT examination for pediatric patients based on the body size. **Methods** The VirtualDose™ software was used to calculate the organ dose in pediatric patients during CT examination. Based on the size-specific dose estimates (SSDE) calculated with the use of American Association Physicists Medicine (AAPM) Task Group 204, the organ doses in pediatric patients during CT examination were estimated. **Results** The estimated SSDE based on the age, weight and abdominal circumference of pediatric patients were significantly correlated with the dose of the main organs, such as the lung, stomach, liver, heart, breast and skin. The conversion factor of SSDE with organ dose was deduced from these data. **Conclusion** The SSDE can be used to accurately and rapidly estimate personalized organ doses in pediatric patients during CT examination.

Keywords: pediatric patient; CT examination; organ dose; size-specific dose estimation

前言

在CT检查中,由于儿童预期生存时间长并对辐射敏感,儿童CT检查的辐射剂量一直是辐射防护人员关注的焦点。有文献报道:CT诊断增加了受检者的癌症发生率,少年或儿童时期经历CT检查其癌症发病率将增加24%^[1]。儿童CT检查时辐射剂量达到50和60 mGy时,分别使白血病和脑癌发生概率增加3倍^[2]。统计结果显示日本儿童CT检查占总CT检查

的3%,美国儿童CT检查占6%,英国儿童CT检查占11%^[3]。而我国部分地区儿童CT检查统计表明,儿童CT检查有较高的频次,其中头部CT检查数量平均占到51%,部分医院达到67%^[4]。在我国儿童CT检查数量较多,有必要开展儿童CT辐射剂量研究。通常利用CTDI_{vol}与其相应的转换系数估算CT检查的器官剂量,但未考虑体型差异对器官剂量的影响。Miyazaki等^[5]基于儿童检查断层图像的CT值推导与体质量的关系,修正CT机显示值CTDI_{vol}的方法,CTDI_{vol}的显示值低估实际受检者的辐射剂量,需要将CTDI_{vol}根据受检者体型修正后再用于估算受检者的辐射剂量。Tian等^[6]研究基于CT机显示值CTDI_{vol}估算未成年人胸腹部CT检查的器官剂量,利用蒙特卡洛方法模拟了42名不同体型受检者的器官剂量,推导出体型相关的器官剂量转换系数,但仅能够

【收稿日期】2017-01-17

【基金项目】国家自然科学基金(11375181);安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2017A239);蚌埠医学院自然科学基金(BYKY1639)

【作者简介】梁保辉,讲师,博士,研究方向:CT辐射防护,E-mail: yx-wlx@126.com

用于估算胸腹的器官剂量。2011年AAPM(American Association of Physicists in Medicine)工作组的204号报告介绍了基于体型特异性剂量评估(Size-Specific Dose Estimates, SSDE)的方法^[7]。SSDE相对于CTDI_{vol}来讲,在估算受检者体型特异性相关辐射剂量方面具有一定优势,是与受检者体型相关的辐射剂量^[8-10]。本文研究SSDE与未成年人CT检查的器官剂量器官的关系,基于个体特征估算未成年人CT检查的器官剂量,以降低估算躯干CT检查的器官剂量的不确定度。

1 材料与方法

1.1 VirtualDose™软件

VirtualDose™是伦斯勒理工学院放射测量与剂量小组基于精确的三维解剖数字人体模型和蒙特卡罗方法开发而成,专门用于模拟计算CT扫描所致受检者器官剂量与有效剂量的应用软件。该软件中数字人体模型涵盖了不同肥胖类型的男、女成年人,不同年龄段的男、女未成年人以及3个妊娠阶段的孕妇模型共计25种,其中未成年人体模为佛罗里达大学的新生儿、1岁、5岁、10岁、15岁男性和女性儿童系列体模,在计算儿童CT剂量方面具有一定的优势,被用于计算儿童CT检查的器官剂量。

利用VirtualDose™软件分别选择新生儿、1岁、5

岁、10岁、15岁男性和女性未成年人体模躯干CT检查的器官剂量,选择GE LightSpeed 16排CT机,未成年人躯干CT检查选择应用头部蝴蝶结过滤器,管电压100 kVp,管电流100 mAs,螺距为1,射束准直宽度为20 mm,CTDI_{vol}=11.62 mGy,主要器官包括肺、胃、结肠、肝、乳腺和皮肤。

1.2 体型特异性辐射剂量方法

2011年AAPM公布了204号报告,阐述了儿童和成年人CT检查估算体型特异性辐射剂量的方法,根据受检者年龄、前后径(Anteroposterior Dimension, APD)、横径(Lateral Dimension, LD)、等效直径(Effective Dimension, ED),结合CTDI_{vol}剂量模体直径为16或32 cm,查表得相应的体型特异性转换系数 f ,计算体型特异性辐射剂量(SSDE)^[7],如公式(1):

$$SSDE = CTDI_{vol} \times f^{16 \text{ or } 32} \quad (1)$$

张晓东等^[11]针对204号报告中SSDE估算方法和使用进行了介绍。VirtualDose™软件中包括:新生儿、1岁、5岁、10岁和15岁未成年人的男性和女性共10个体模数据,体模身高和体质量如表1所示,根据身高和体质量计算BMI指数。利用受检者的年龄、体质量和腰围描述个体特征,根据AAPM 204报告中介绍的计算SSDE方法,首先估算不同年龄受检者躯干CT检查的等效直径,如表2所示,再根据等效直径计算SSDE。

表1 VirtualDose™软件中未成年人体模的体型参数
Tab.1 Body parameters of pediatric phantoms in VirtualDose™ software

Item	Height/cm	Weight/kg	Abdominal circumference/cm	BMI/kg·m ⁻²
Newborn	47.8	3.27	37	14.3
One-year	76.6	9.39	53	16.0
Five-year	110.4	16.45	58	13.5
Ten-year	140.1	30.16	71	15.4
Fifteen-year male	166.5	52.24	88	18.8
Fifteen-year female	161.7	53.13	83	20.4

BMI: Body mass index

计算受检者躯干CT检查等效直径的3种方法:(1)利用Khawaja等^[12]对未成年人躯干CT检查的体质量与等效直径关系的研究结果,结合本研究所用数字人体模型的体质量,估算不同年龄未成年人躯干CT检查受检者等效直径;(2)利用AAPM 204号报告中受检者年龄估算等效直径方法,估算不同年龄未成年人躯干CT检查的等效直径;(3)参考不规则

形状物体的周长与等效圆的等效直径关系, W 为腰围, D 为等效直径,计算公式 $D = \frac{W}{\pi}$,根据数字模拟人的腰围估算躯干CT检查的等效直径。

2 结果与讨论

2.1 SSDE与未成年人躯干CT检查器官剂量的关系

根据受检者年龄、体质量或腰围估算等效直径,

表 2 根据体质量、年龄、腰围分别计算等效直径(cm)
Tab.2 Estimated effective diameter based on weight, age, abdominal circumference of patients (cm)

Item	Newborn	One-year	Five-year	Ten-year	Fifteen-year male	Fifteen-year female
Method 1	11.1	14.4	17.9	18.8	24.7	24.7
Method 2	11.2	15.1	18.5	21.6	26.0	26.0
Method 3	11.8	16.8	18.5	22.6	28.0	26.4
Mean	11.3	15.7	18.3	21.0	26.2	25.7

Method 1: Estimated effective diameter based on weight; Method 2: Estimated effective diameter based on age; Method 3: Estimated effective diameter based on abdominal circumference

根据等效直径的大小从AAPM 204 报告中查表获得体型特异性转换系数 f ,乘以相应的 $CTDI_{vol}$ 计算不同年龄组未成年人的SSDE,如表3所示。3种方法计算的SSDE与 $CTDI_{vol}$ 的关系如图1所示。由于随着未成年人年龄增加而体型增加,在扫描参数一定情况下, $CTDI_{vol}$ 的值不变,SSDE随体型增加而减少。根据年龄、体质量和腰围3种方法分别计算受检者的SSDE和VirtualDose™软件计算不同年龄受检者的器官剂量,研究未成年人躯干CT检查主要器官剂量与SSDE的关系,并与 $CTDI_{vol}$ 值比较,结果如图2~7所

示。肺、胃、结肠、肝、乳腺和皮肤剂量与SSDE之间的关系, $CTDI_{vol}$ 保持恒定,随着体型变化,器官剂量和SSDE均减少,SSDE和器官剂量随体型变化的趋势相似,尤其是肺、皮肤、女性乳腺和肝剂量与SSDE存在较高的相关度,说明SSDE值能够反映不同体型受检者的器官剂量。由 $CTDI_{vol}$ 与器官剂量的关系可知,若直接利用 $CTDI_{vol}$ 估算不同体型受检者器官剂量时,将出现低估和高估器官剂量的现象。相对于 $CTDI_{vol}$,SSDE考虑了受检者体型大小对器官剂量的影响,更适合用于估算不同体型受检者的器官剂量。

表 3 未成年人躯干CT检查的SSDE(mGy)
Tab.1 SSDE of pediatric patients in CAP examination (mGy)

Item	Newborn	One-year	Five-year	Ten-year	Fifteen-year male	Fifteen-year female
Method 1	14.18	12.43	11.16	10.57	8.37	8.37
Method 2	14.18	12.20	10.69	9.41	8.02	8.02
Method 3	13.83	11.27	10.69	9.06	7.44	7.90
Mean	14.06	11.85	10.69	9.64	7.90	8.13

SSDE: Size-specific dose estimates; CAP: Chest-abdomen-pelvis

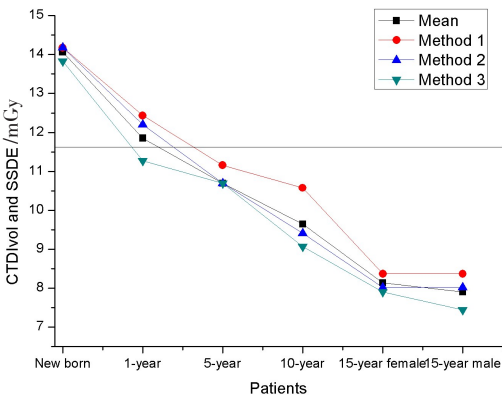


图 1 未成年人躯干CT检查3种方法计算的SSDE与 $CTDI_{vol}$ 的关系
Fig.1 Relationship of $CTDI_{vol}$ and SSDE based on three methods in pediatric CAP CT examination

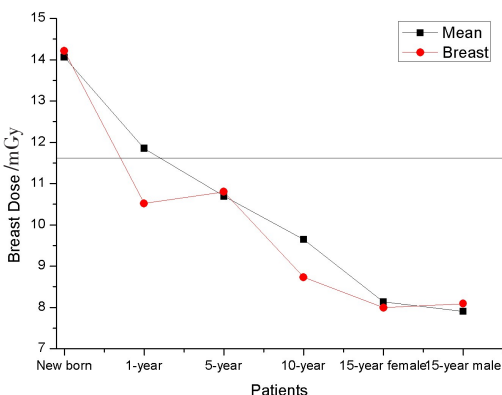


图 2 未成年人躯干CT检查乳腺剂量与SSDE的关系
Fig.2 Relationship of breast dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

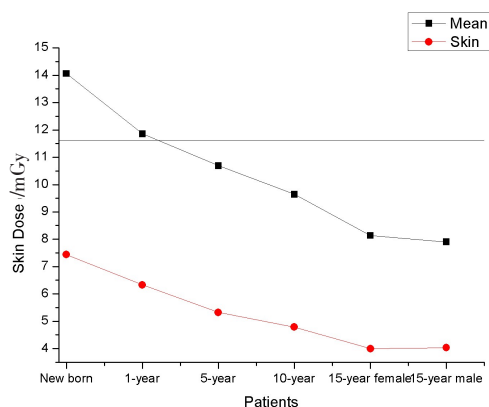


图3 未成年人躯干CT检查皮肤剂量与SSDE的关系
Fig.3 Relationship of skin dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

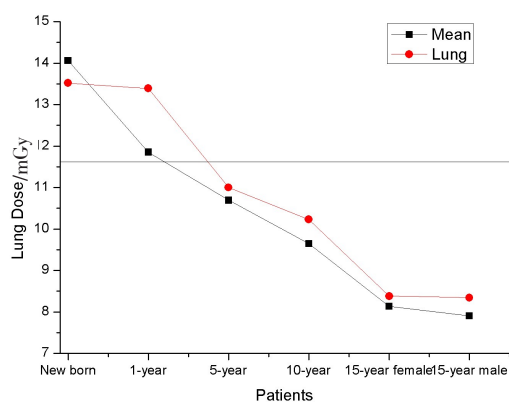


图4 未成年人躯干CT检查肺剂量与SSDE的关系
Fig.4 Relationship of lung dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

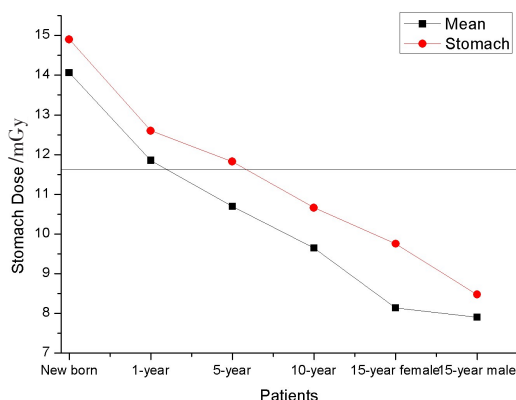


图5 未成年人躯干CT检查胃剂量与SSDE的关系
Fig.5 Relationship of stomach dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

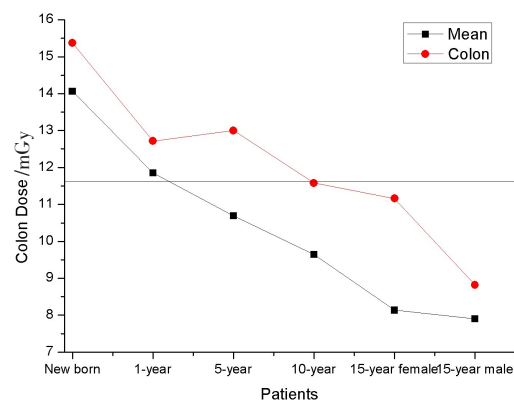


图6 未成年人躯干CT检查结肠剂量与SSDE的关系
Fig.6 Relationship of colon dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

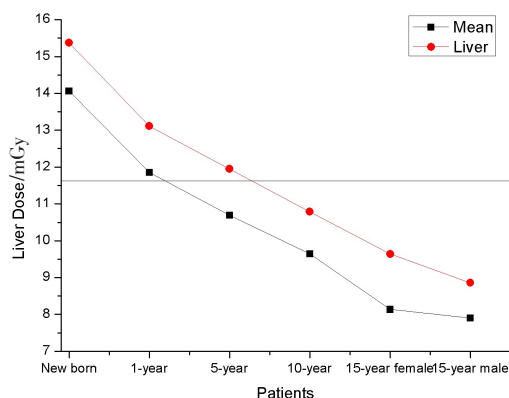


图7 未成年人躯干CT检查肝剂量与SSDE的关系
Fig.7 Relationship of liver dose and SSDE in pediatric CAP CT examination

根据受检者的年龄、体质量和腰围计算SSDE的均值作为受检者体型特异性辐射剂量,可更好地反映上述几种器官剂量随体型变化的趋势。利用器官剂量与SSDE的比值,计算SSDE与器官剂量的转换

系数,如公式(2):

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{\text{SSDE}} \quad (2)$$

其中, h 为SSDE与器官剂量的转换系数, i 为检查者。利用公式(2)计算不同年龄受检者器官剂量与SSDE的比值,取其均值作为估算不同器官剂量的转换系数,如表4所示。Moore等^[13]利用金属氧化物半导体场效应管和4个未成年人ATOM物理模体测量躯干CT检查的器官剂量,研究基于SSDE估算未成年人躯干CT检查的器官剂量,计算器官剂量与SSDE的转换系数,本研究结果与其基本一致,如图8所示。由于结肠的解剖位置分布范围较广且实验测量所用物理模体和VirtualDose™软件所用数字人模体的差异,使得结肠剂量的转换系数与本文结果差别较大。利用此转换系数可根据受检者个体特征估算完全处于扫描区域的器官剂量,对于部分处于扫描区域的器官剂量的估算结果误差较大,与Moore等^[13]的研究结果一致。

表 4 基于体型特异性估算器官剂量的转换系数
Tab.4 Conversion factors of SSDE and organ dose

Item	Lung	Stomach	Colon	Breast	Skin	Liver
Conversion factor	1.04	1.10	1.18	0.97	0.51	1.12
Standard deviation	0.055	0.052	0.110	0.059	0.018	0.032

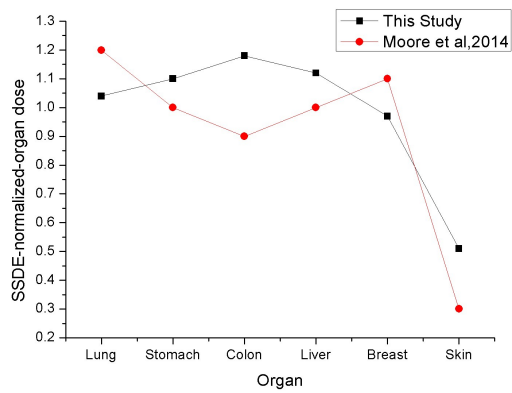


图 8 本文方法计算未成年人躯干 CT 检查的 SSDE 转换系数与 Moore 等方法的比较

Fig.8 SSDE conversion factors in this study compared with that calculated by Moore in pediatric CAP CT examination

3 结 论

AAPM 在 2011 年发布的 204 号报告提出基于体型特异性估算受检者辐射剂量方法,即 SSDE,利用 204 报告的方法计算 6 名未成年人数字模体的 SSDE,研究 SSDE 与 VirtualDose™ 软件计算的躯干 CT 检查器官剂量的关系,结果表明 SSDE 与未成年人躯干 CT 检查的器官剂量之间存在显著相关性,可根据 SSDE 估算 CT 检查个体化的器官剂量,计算的未成年人躯干 CT 检查的器官剂量转换系数,可用于快速估算未成年人个体体型相关的器官剂量。本文在基于个体特征估算躯干 CT 检查器官剂量虽取得一定的进步,但仍有不足之处,如在 2014 年 AAPM 公布 220 报告中考虑到不同部位射线衰减程度的差异,利用水当量直径能够更准确估算 SSDE,降低基于 SSDE 估算躯干 CT 检查器官剂量的不确定度。

【参考文献】

[1] MATHEWS J D, FORSYTHE A V, BRADY Z, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians[J]. Br

Med J, 2013, 346(10): f2360.
[2] PEARCE M S, SALOTTI J A, LITTLE M P, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study[J]. Lancet, 2012, 380(6): 499-505.
[3] SCHLATT L H, ZANKL M, BECKER J, et al. Dose conversion coefficients for paediatric CT examinations with automatic tube current modulation[J]. Phys Med Biol, 2013, 57(20): 6309-6326.
[4] 苏垠平. 部分地区 X 射线诊断照射频度调查及 CT 所致癌症风险的研究[C]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2014.
SU Y P. Research on the frequency of X-ray diagnostic radiation in some areas and the radiation cancer risk induced by CT [C]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2014.
[5] MIYAZAKI O, HORIUCHI T, MASAKI H, et al. Estimation of adaptive computed tomography dose index based on body weight in pediatric patients[J]. Radiat Med, 2008, 26(2): 98-103.
[6] TIAN X, LI X, SEGARS W P, et al. Pediatric chest and abdominopelvic CT: organ dose estimation based on 42 patient models[J]. Radiology, 2014, 270(2): 535-547.
[7] BOONE J M, STRAUSS K J, CODY D D, et al. Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations[R]. AAPM Report 204, 2011.
[8] DING A, GAO Y, LIU H, et al. VirtualDose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(14): 5601-5625.
[9] LEE C, KIM K P, LONG D J, et al. Organ doses for reference pediatric and adolescent patients undergoing computed tomography estimated by Monte Carlo simulation[J]. Med Phys, 2012, 39(4): 2129-2146.
[10] 刘海宽, 丁爱平, 徐榭. VirtualDose: 一个新的计算 CT 扫描所致器官剂量的软件工具[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(10): 1-5.
LIU H K, DING A P, XU X. VirtualDose: a new software used for reporting patient organ dose from CT scan[J]. China Medical Devices, 2013, 28(10): 1-5.
[11] 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.
ZHANG X D, GUO X C, WANG X Y, et al. The concepts and method of size-specific radiation dose estimates[J]. Radiology Practice, 2013, 28(3): 312-314.
[12] KHAWAJA P D, SINGH S, VETTIYL B, et al. Simplifying size-specific radiation dose estimates in pediatric CT [J]. AJR Am J Roentgenol, 2015, 204(1): 167-176.
[13] MOORE B M, BRADY S L, MIRRO A E, et al. Size-specific dose estimate (SSDE) provides a simple method to calculate organ dose for pediatric CT examinations[J]. Med Phys, 2014, 41(7): 071917.

(编辑:黄开颜)