

腹部CT扫描中各因素对受检者有效剂量的影响

朱学俊, 霍万里, 梁保辉, 陈志, 徐榭
中国科学技术大学核科学技术学院, 安徽 合肥 230027

【摘要】目的:使用 VirtualDose CT 软件分析模拟不同体型的患者在接受腹部 CT 检查时有效剂量的变化。**方法:**VirtualDose CT 是一款基于蒙特卡洛方法和三维计算数字人体模型并且专门用于计算 CT 扫描中患者主要器官的器官剂量和有效剂量的 CT 剂量计算软件。本次研究利用 VirtualDose CT 计算使用 GE LightSpeed 16 CT 对患者腹部进行扫描时, 正常体质量、超重、肥胖一型、肥胖二型和病态肥胖这 5 种体型的成年男女患者在不同螺距、管电压和射线准直宽度的扫描条件下患者的有效剂量。**结果:**患者的有效剂量与螺距大小成反比, 与管电压大小成正比, 并且随着射线准直宽度的增加而减小。当螺距为 0.6 时, 患者的有效剂量是 1.6 螺距时的 2.3 倍; 当螺距为 1 时, 140 kVp 管电压下的患者有效剂量是 80 kVp 时的 6.1 倍; 当射线准直宽度由 20 mm 变为 5 mm 时, 患者的有效剂量增加了 1 倍; 在相同扫描条件下, 肥胖患者受到的有效剂量要小于体型瘦小患者的有效剂量。**结论:**在不同体型的患者身上使用同一套 CT 扫描方案, 患者的有效剂量会有较大差异。影像工作人员应该根据患者的具体情况来合理优化 CT 扫描方案, 从而在获得满意的 CT 图像时尽量降低患者的有效剂量。

【关键词】 VirtualDose; 腹部; CT 检查; 肥胖; 有效剂量

【中图分类号】 R144; TL72

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2016)03-0252-06

Impacts of various factors on effective dose of patients undergoing abdomen computed tomography scan

ZHU Xue-jun, HUO Wan-li, LIANG Bao-hui, CHEN Zhi, XU Xie

School of Nuclear Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China

Abstract: Objective To simulate and analyze the changes of the effective dose for patients of different body sizes during the abdomen computed tomography (CT) scan by using VirtualDose CT software. **Methods** VirtualDose CT was a CT dose calculation software based on Monte Carlo method and three-dimensional computational phantom for specially calculating the organ dose and effective dose of patients' major organs during the CT scan. The adult male and female patients of normal weight, overweight, obese I, obese II and morbidly obese were scanned by GE LightSpeed 16 CT, and their effective doses under different scan conditions, including different pitches, beam collimation widths and tube voltages, were calculated by VirtualDose CT. **Results** The effective dose of patient was inversely proportional to pitch and proportional to tube voltage. And the effective dose decreased with the increase of beam collimation width. The effective doses of pitch 0.6 were 2.3 times of those of pitch 1.6; the effective doses of 140 kVp were 6.1 times of those of 80 kVp; the effective doses of 5 mm beam collimation were 2 times of those of 20 mm beam collimation; based on the same scan condition, obese patients received less effective doses than patients of smaller body sizes. **Conclusion** The effective doses vary considerably when the same CT scanning project is applied for patients of different body sizes. Clinical image worker need to reasonably optimize CT scanning project for the patient's specific conditions, which aims to obtain satisfactory CT images and reduce patient's effective doses to the greatest extent.

Key words: VirtualDose; abdomen; computed tomography scan; obese; effective dose

【收稿日期】 2015-11-10

【基金项目】 国家自然科学基金(11375181, 11375182)

【作者简介】 朱学俊(1979-), 男, 江苏扬州人, 硕士, 工程师。E-mail: zhuxj@mail.ustc.edu.cn。

【通信作者】 徐榭, 男(汉族), 教授(千人计划)。E-mail: xgxu@ustc.edu.cn。

前言

随着医学影像在现代医学临床诊断中的广泛应用以及CT技术的迅速发展,我国CT机器数量在逐年增加^[1]。CT机型从最初的单排、双排、4排、16排到64排、320排,CT技术的发展已经成为医学成像进步的突出代表之一,高质量的CT影像给临床诊断、疾病治疗以及术后复查带来了巨大帮助,但是与此同时大范围的临床CT应用也给患者带来了越来越多的X射线伤害^[2-5]。根据联合国原子辐射效应科学委员会和国际辐射防护委员会的统计结果,全球CT临床使用的数量在过去20年增加了800%。根据资料显示美国人2006年受到的医疗电离辐射是20世纪80年代初的7倍以上,1993年至2006年,美国接受CT检查的人数每年增加10%^[6-8]。在美国CT检查仅占有X射线成像应用的11%,但是给患者带来的辐射剂量却占有X射线检查辐射剂量的2/3以上^[9]。随着我国经济的飞速发展,我国接受CT检查的人数也在逐年增加。据统计显示上海市2007年的CT检查年频率较1996年增长了2.9倍^[10]。医用X射线CT所致受检者辐射剂量的迅速增加和罹患癌症的潜在概率已成为国际放射医学、辐射防护与剂量学等相关学科领域共同关注的热点之一。

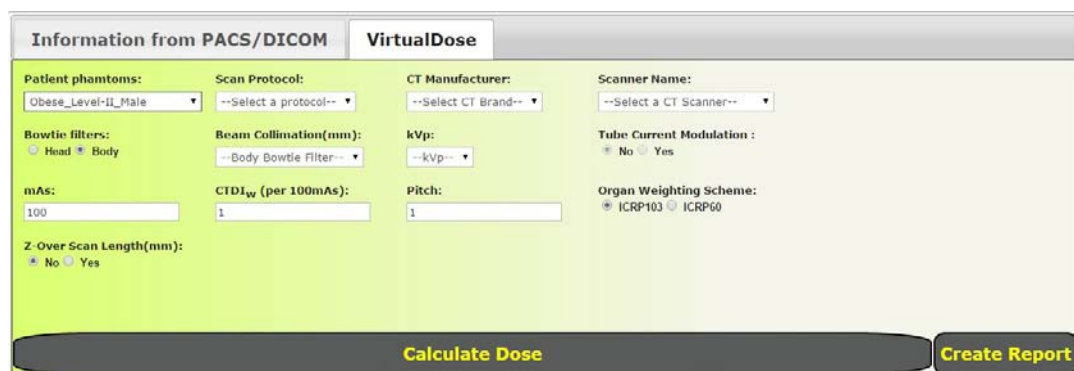
根据2002年中国居民营养状况调查,全国18岁以上成人超重率为22.8%,肥胖率为7.1%。与1992年相比,中国的超重率上升了38.6%,肥胖率上升了80.6%^[11]。2014年中国居民营养状况调查显示,全国18岁及以上成人超重率为30.1%,肥胖率为11.9%,比2002年上升了7.3%和4.8%。6~17岁儿童青少年超重率为9.6%,肥胖率为6.4%,比2002年上升了5.1%和4.3%^[12]。比较中国3次居民营养调查可知,

成年人群超重率和肥胖率都在逐年增加,占成年人比例较高。研究表明患者的体质量和身高会显著地影响其在CT检查中受到的剂量和CT影像质量^[13]。如何在为临床诊断提供最满意的CT影像的同时使患者受到的辐射剂量降到最低,即CT检查的最优化跃升为当今CT技术研究的焦点。随着中国人肥胖和超重率的增加,对肥胖群体在CT检查中所受到的剂量进行研究变得日益重要。研究不同体质量患者在CT检查中所受到的剂量也是完成CT检查优化的前提。本文使用VirtualDose软件研究在不同扫描参数(射线准直宽度、管电压、螺距)的情况下不同体型成年患者在CT扫描过程中剂量的变化。

1 材料与方法

1.1 VirtualDoseCT

VirtualDose CT是一款基于Web计算CT扫描中患者的器官剂量和有效剂量的CT剂量计算软件^[14-15]。该软件基于蒙特卡洛方法和三维体素数字人体模型,用户可根据患者的CT检查参数、CT机型和患者体型计算患者的受照剂量。VirtualDose的数据库使用Microsoft SQL Sever 2008进行构建,软件可选择的管电压有80、100、120、140 kVp,以及头部和体部两种蝶形过滤器,软件具有百余种CT机型以及相应射束准直宽度可供选择,用于计算不同扫描范围以及不同患者的主要器官剂量和有效剂量^[16-19]。该软件能够使临床医护人员方便快速地精确计算出不同体型患者在不同的CT扫描范围,在不同的CT机型和扫描参数情况下,可利用ICRP 60、103报告组织权重因子计算患者的有效剂量。VirtualDoseCT的软件用户使用界面如图1所示。



The screenshot shows the VirtualDose software interface. It has a header bar with 'Information from PACS/DICOM' and 'VirtualDose'. Below this, there are several sections for inputting patient and scan data. The 'Patient phantoms' section has a dropdown menu showing 'Obese_Level-II_Male'. The 'Scan Protocol' section has a dropdown menu showing '--Select a protocol--'. The 'CT Manufacturer' section has a dropdown menu showing '--Select CT Brand--'. The 'Scanner Name' section has a dropdown menu showing '--Select a CT Scanner--'. The 'Bowtie filters' section has radio buttons for 'Head' and 'Body'. The 'Beam Collimation(mm)' section has a dropdown menu showing '--Body Bowtie Filter--'. The 'kVp' section has a dropdown menu showing '--kVp--'. The 'Tube Current Modulation' section has radio buttons for 'No' and 'Yes'. The 'mAs' section has a text input field showing '100'. The 'CTDI_w (per 100mAs)' section has a text input field showing '1'. The 'Pitch' section has a text input field showing '1'. The 'Organ Weighting Scheme' section has radio buttons for 'ICRP103' and 'ICRP60'. At the bottom, there are two buttons: 'Calculate Dose' and 'Create Report'.

图1 VirtualDose 用户使用界面

Fig.1 User interface for VirtualDose

VirtualDose软件具有不同体质量的成年男女,不同年龄段的未成年人和孕期分别为3、6和9个月的孕妇共计25种体素化人体模型。这些模型涵盖了生活中常见的不同类型病患者的体型,是目前世界上最全的一套体素模型。其中不同体质量的成年男女人体模型包括正常体质量、超重、一级肥胖、二级肥胖以及病态肥胖共10种成年男女计算人体模型。按照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的划分标准,基于体质指数(Body Mass Index, BMI)的体型划分见表1^[13,20]。VirtualDose CT所使用的不同体型的成年男女体模的身高、体质量以及BMI参数见表2。不同BMI的成年男性体模的三维示意图见图2。

表1 基于BMI的体型划分表(WHO 2011)
Tab.1 Weight classification based on BMI (WHO 2011)

BMI (kg·m ⁻²)	Weight classification
<18.5	Underweight
18.5-24.9	Normal weight
24.9-29.9	Overweight
29.9-34.9	Obese I
34.9-39.9	Obese II
>39.9	Morbidly obese

WHO: World health organization; BMI: Body mass index

表2 成年男女体模的身高、体质量和BMI参数
Tab.2 Height, weight and BMI of male and female phantoms

Phantom	Male (height 176 cm)		Female (height 163 cm)	
	Weight (kg)	BMI (kg·m ⁻²)	Weight (kg)	BMI (kg·m ⁻²)
Normal weight	72.7	23.5	63.5	23.9
Overweight	85.7	27.7	75.3	28.3
Obese I	103.1	33.3	90.6	34.1
Obese II	117.0	37.8	102.4	38.5
Morbidly obese	139.4	45.0	123.3	46.4



图2 不同BMI的成年男性体模三维示意图
Fig.2 Three-dimensional diagrams of adult male phantom with different BMI

1.2 方法

使用 VirtualDose 软件计算不同体质量患者在不同腹部 CT 扫描方案情况下所受到的照射剂量。本次研究模拟了 GE 公司的 LightSpeed16 型号 CT 对患者腹部进行扫描的剂量,比较在不同管电压、螺距、射束准直宽度情况下,不同体质量病人所受到辐射剂量的变化。

2 结果

在获取满足临床诊断的前提下,为降低受检者的辐射剂量需根据患者的体型差异优化 CT 扫描参数。在 CT 检查中影响患者辐射剂量的主要因素有:管电流与扫描时间的乘积、管电压、X 射线准直宽度、患者体型、螺距等。影像技术人员需要根据具体的扫描部位、患者的个体特征来选择合适的扫描参数,

使得在确保CT图像质量能够满足诊断要求的前提下,尽可能降低患者所受到的辐射剂量。

2.1 螺距对患者剂量的影响

螺距是在一个扫描机架旋转一周期间检查床运行的距离与透过探测器的X射线的比值,它是一个无量纲的量,是检查床的运动距离与层面曝光的百分比^[21]。螺距对患者的辐射剂量以及CT图像的空间分辨率和密度分辨率都会产生影响。本文用VirtualDose CT计算正常体质量成年男性患者腹部CT扫描时不同螺距对患者有效剂量的影响。扫描中所使用的管电流与时间乘积为100 mAs,结果如图3所示。从图中的数据可知在管电压和X射线准直宽度分别为:100 kVp, 20 mm; 120 kVp, 20 mm; 140 kVp, 20 mm; 100 kVp, 10 mm; 120 kVp, 10 mm; 140 kVp, 10 mm的情况下,患者在CT检查中受到的有效剂量都随着螺距的增大而减小。因此在图像质量满足临床诊断要求的前提下,在临床CT检查中放射技术人员可以根据剂量随着螺距的增大而减小的情况,增大使用的螺距,减少患者在CT扫描中接受的辐射剂量,优化CT扫描方案,降低患者所受到的辐射风险。

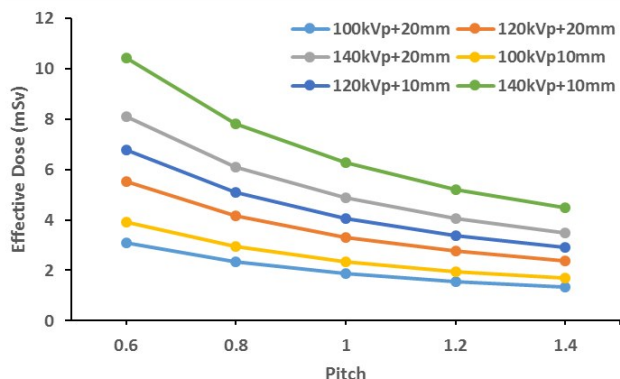


图3 螺距对患者有效剂量的影响

Fig.3 Effects of pitch on patients' effective doses

2.2 患者体型对剂量的影响

在计算CT检查患者的辐射剂量时,其中体型大小是影响患者有效剂量的主要因素^[22-24]。本研究用VirtualDose CT计算了成年男女正常体质量、超重、一级肥胖、二级肥胖以及病态肥胖共10种体型在接受腹部CT检查下的有效剂量。扫描参数为:管电流100 mAs, 5 mm射束准直宽度,螺距为1,管电压为80、100、120、140 kVp,计算不同体型患者的有效剂量见图4。在螺距为1,管电流与时间乘积等于100

mAs,管电压为140 kVp的条件下,使用不同射线准直宽度时不同体型患者的有效剂量模拟结果见图5。从图4、图5中的结果可以看出不管是男性还是女性,在相同CT扫描条件(电流mAs)下,患者所接受的有效剂量都随着BMI指数的增加而显著降低。这是因为躯干部位脂肪厚度越厚,对腹部重要器官的射线屏蔽作用就越明显。但是需要注意的是脂肪厚度对CT图像质量产生一定的影响,BMI指数高的患者在临床上可能需要使用更高的扫描条件来获得满意的图像。为了获得满意的图像,BMI指数高的患者往往需要增加电流(mAs),因而会增加辐射剂量。

2.3 管电压对患者剂量的影响

在肥胖人群腹部CT检查中,由于体型较大增加了射线衰减程度,往往选择增加管电压以获取满足临床诊断的图像^[10,22]。根据患者的体型大小选择相应的管电压,从图4的结果可以看出在不同体型患者上的CT扫描模拟结果都得到了一个相同的趋势,即患者有效剂量随着管电压的升高而显著增加。放射技术人员可在不影响诊断的前提下,降低CT扫描的管电压使患者所接受的有效剂量大大降低。由于低能射线经过肥胖程度较高的患者衰减较严重,需要增加管电流以获取满足临床诊断的图像质量。对于体型较瘦的患者,由于躯体对X射线的阻挡作用较弱,CT图像的噪声往往低于诊断所需的噪声值,可以考虑降低CT检查所使用的管电压。考虑到儿童对辐射剂量更加敏感,在对儿童进行CT扫描时更要注意管电压的使用是否得当。

2.4 射线准直宽度对患者剂量的影响

射线准直宽度也是一个对CT图像质量和患者的辐射剂量有较大影响的参数。根据图5的数据,在所有体型的患者身上都可以看到随着射线准直宽度的增加,患者的有效剂量会有所降低。并且5和10 mm射线准直宽度下患者的有效剂量要明显高出10和15 mm射线准直宽度下的有效剂量。射线准直宽度较小时患者的有效剂量较大是由于非成像线束造成的辐射剂量较大,使得射线的使用效率降低造成的^[22]。因此在获得满足临床诊断图像的前提下,在实际操作中放射技术人员应该尽量使用较宽的射线准直宽度来降低患者所受到的辐射剂量。

3 结论

随着科技的迅速发展以及医学影像在临床诊断

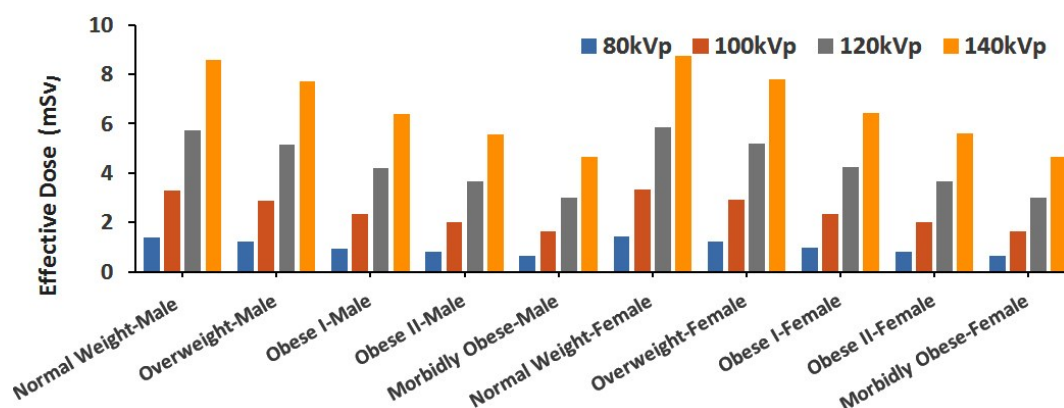


图4 不同管电压下患者的有效剂量

Fig.4 Patients' effective doses of different tube voltages

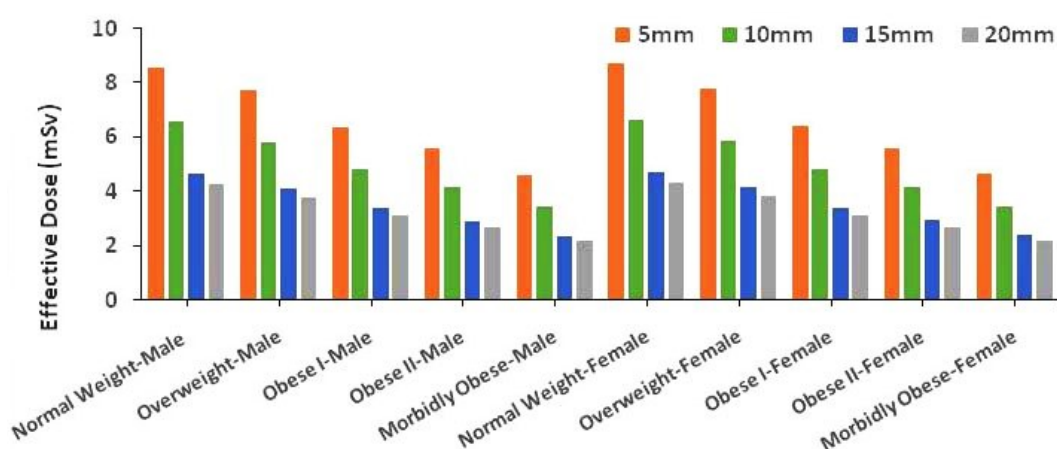


图5 不同射线准直宽度下患者的有效剂量

Fig.5 Patients' effective doses of different beam collimation widths

中发挥着越来越重要的作用,CT检查的使用频率正在逐年增加,本次研究的结果表明腹部CT检查给患者带来的辐射剂量不可忽视。因此对CT检查方案的优化势在必行,临床影像技术人员有责任在获得满意的CT影像的情况下,使患者受到的辐射剂量尽可能地降低。螺距、管电压、射线准直宽度以及患者的体型对CT图像质量和患者的有效剂量都会产生较大影响。

螺距的增加会降低CT图像的空间分辨率与密度分辨率,但同时也能大大减少患者的有效剂量,即螺距与患者的有效剂量成反比^[22]。这是因为螺距的增加会缩短扫描Z轴上每一点的受照时间。因此在临床应用中,在使CT图像质量满足诊断要求的前提下,应该尽可能使用大螺距扫描以减少患者所受到的辐射损伤。

较宽的射线准直宽度会限制较薄层面图像的重建,但是使用窄的射线准直宽度会大大增加患者在

CT检查中的受照剂量。但是当射线准直宽度大于15 mm以后,继续增加射线准直宽度,患者的有效剂量却并不会降低太多。因此临床影像工作人员可以根据这一特性,尽量避免使用非常小的射线准直宽度,在保证CT图像能够满足诊断需要的情况下选择一个合适的CT扫描方案,以免患者受到的辐射剂量过高。

患者的体型也会对CT图像质量和患者的有效剂量产生影响。同样的CT扫描方案应用于不同体型的患者之间的有效剂量会有较大的差别,使用相同的腹部CT扫描方案,体型瘦小的患者的有效剂量要明显高于体型肥胖的患者的有效剂量。因此临床上应该根据患者和扫描部位的具体情况选择最佳的扫描方案,从而在获取最佳CT图像时令患者的受照剂量降到最低。当遇到儿童或者体型偏瘦的患者时,应该考虑降低扫描条件比如降低管电压,从而使患者受到的辐射剂量降低。而肥胖患者由于脂肪对

体内重要器官能起到屏蔽保护的作用,并且会使通过身体的X射线减少,因此可以适当考虑增加扫描条件来获取更加满意的图像。

随着我国经济的发展和生活条件的提高,中国的肥胖率和超重率较过去都有了明显的增加,因此在临床CT扫描中必须考虑到上述人群与常规体质量人群的差异,根据患者体型设置不同的扫描条件以降低辐射剂量,不宜在所有患者CT检查中应用统一的CT扫描方案。因此在CT检查过程中,需要进行扫描方案的优化,即根据不同患者的体型以及不同的扫描部位,在保证能够获得满足临床影像诊断CT图像的情况下使患者所受到的辐射剂量最小。

【参考文献】

- [1] 中国医学装备协会. 2010 中国 CT 市场发展趋势报告[R]. 北京, 2011.
China Association of Medical Equipment. The trend report of 2010 China CT market [R]. Beijing, 2011.
- [2] 徐新, 李国华, 李云卿, 等. 低剂量 CT 扫描临床应用的可行性[J]. 医学综述, 2011, 17(4): 610-612.
XU X, LI G H, LI Y Q. Feasibility of clinical application of low-dose CT [J]. Medical Recapitulate, 2011, 17(4): 610-612.
- [3] DAVID J B, RICHARD D, DUDLEY T G, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, 100(25): 13761-13766.
- [4] METTLER F A, WIEST P W, LOCKEN J A, et al. CT scanning: patterns of use and dose [J]. J Radiol Prot, 2000, 20(4): 353-359.
- [5] BRENNER D J, HALL E J. Computed tomography: an increasing source of radiation exposure [J]. N Engl J Med, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [6] ICRP. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT) [M]. Oxford: Pergamon Press, 2007.
- [7] SCHAUER D A, LINTON O W. NCRP report No. 160, ionizing radiation exposure of the population of the United States, medical exposure-are we doing less with more, and is there a role for health physicists?[J]. Health Phys, 2009, 97(1): 1-5.
- [8] METTLER F A, THOMADSEN B R, BHARGAVAN M, et al. Medical radiation exposure in the US in 2006: preliminary results [J]. Health Phys, 2008, 95(5): 502-507.
- [9] KALRA M K, MAHER M M, TOTH T L, et al. Strategies for CT radiation dose optimization [J]. Radiology, 2004, 230(3): 619-628.
- [10] 路鹤晴, 卓维海, 高峰林, 等. 上海市“十五”和“十一五”期间 X 射线 CT 医疗照射水平调查[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(2): 129-131.
LU H Q, ZHUO W H, GAO L F, et al. Investigation on medical exposure of X-ray computed tomography during the tenth and the eleventh five-year plan in shanghai [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2010, 19(2): 129-131.
- [11] 杨晓光, 翟凤英, 朴建华, 等. 中国居民营养状况调查[J]. 中国预防医学杂志, 2010, 11(1): 5-7.
YANG X G, QU F Y, PU J H, et al. China national nutrition survey [J]. China Preventive Medicine, 2010, 11(1): 5-7.
- [12] 林晓斐. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015 年)[J]. 中医药管理杂志, 2015, 23(13): 89-89.
LIN X F. China national nutrition and chronic disease survey (2015) [J]. Journal of Traditional Chinese Medicine Management, 2015, 23(13): 89-89.
- [13] DING A P, MILLE M M, LIU T Y, et al. Extension of RPI-adult male and female computational phantoms to obese patients and a Monte Carlo study of the effect on CT imaging dose [J]. Phys Med Biol, 2012, 57(9): 2441-2459.
- [14] DING A P, GAO Y M, LIU H, et al. VirtualDose: a new CT dose reporting software for adult and pediatric patients [J]. Phys Med Biol, 2015, 60(14): 5601-5625.
- [15] 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 Equipment, 2013, 28(10): 1-5.
- [16] DING A P, GAO Y M, CARACAPPA P, et al. Design and testing of the VirtualDose software under the software as a service (SaaS) platform for tracking and reporting CT doses [J]. Med Phys, 2012, 39(6): 3876-3877.
- [17] DING A P, GAO Y M, CARACAPPA P, et al. An update of the development and clinical testing of VirtualDose software used for reporting CT doses [J]. Trans Am Nucl Soc, 2013, 108: 31.
- [18] DING A P, GAO Y M, CARACAPPA P, et al. Clinical evaluation of VirtualDose - a software for tracking and reporting CTDI, DLP, organ and effective dose for adult and pediatric patient [J]. Med Phys, 2013, 40(6): 458.
- [19] DING A P, GAO Y M, LIU H K, 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.
- [20] HASLAM D W, JAMES W P. Obesity [J]. Lancet, 2005, 366: 1197-2009.
- [21] 王鸣鹏. 医学影像技术学-CT 检查技术卷[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011.
WANG M P. Medical imaging technology-CT examination technology [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2011.
- [22] DEAK P D, SMAL Y, KALENDER W A, et al. CT protocols: sex-and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product [J]. Radiology, 2010, 257(1): 158-166.
- [23] LI X, SAMEI E, SEGARS W P, et al. Patient-specific radiation dose and cancer risk for pediatric chest CT [J]. Radiology, 2011, 259(3): 862-875.
- [24] 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): 535-528.