

文章编号:1673-0062(2011)02-0006-04

肺介质中光子剂量算法在不同能量下的计算精度差异

宾石珍¹, 邱小平¹, 杨 振², 吕知平²

(1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 中南大学湘雅医院 肿瘤科物理室, 湖南 长沙 410008)

摘 要:建立一包含肺介质的水模体, 分别用笔形束(Pencil Beam, PB)算法、卷积叠加(Convolution-superposition, CS)算法和蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)模拟计算 1 cm × 1 cm 到 7 cm × 7 cm 射野条件下, 6 MV 和 15 MV 光子在该模体中的百分深度剂量和离轴比, 并以 MC 模拟为标准比较其计算误差. 结果表明肺介质中, 笔形束算法计算精度总体上随能量的增加降低, 卷积叠加算法计算精度受能量影响不大.

关键词:笔形束算法; 卷积叠加算法; 蒙特卡罗模拟; 计算精度

中图分类号:TL84; R815 **文献标识码:**A

Difference of the Calculation Accuracy by Various Photon Dose Algorithms Under Different Energy in Lung Density Media

BIN Shi-zhen¹, QIU Xiao-ping¹, YANG Zhen², LV Zhi-ping²

(1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. Department of Oncology, Xiangya Hospital of Central-south University, Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: A water phantom with a lung density slab was built, in which the depth dose (DD) and off-axis ratio (OAR) of field 1 cm × 1 cm to field 7 cm × 7 cm were calculated by PB algorithms, CS algorithms and Monte Carlo (MC) simulation under 6 MV and 15 MV photon, and their calculation error were evaluated by the standard of MC simulated results. The results show that in lung density media, the calculation accuracy of PB algorithms increases with the energy reduction as a whole in lung density media. The CS algorithm accuracy has little effect by the energy.

Key words: pencil beam algorithm; convolution-superposition algorithm; monte carlo simulation; calculation accuracy

0 引 言

计算精度是评价算法优劣的重要指标之一.

临床上在胸部较深肿瘤的放射治疗中, 为了获得更好的靶区均匀度和皮肤保护, 常选择具有更强穿透能力的高能 X 射线, 但高能 X 射线在穿过低

收稿日期: 2011-04-22

作者简介: 宾石珍(1981-), 女, 湖南湘潭人, 南华大学核科学技术学院硕士研究生. 主要研究方向: 医学剂量.

密度的肺组织时,侧向电子失衡现象非常明显,不仅影响射野边缘的剂量分布,还影响射野内剂量算法的计算精度^[1-2].本研究通过分析肺介质中,1 cm×1 cm到7 cm×7 cm射野条件下,商业治疗计划系统普遍采用PB算法和CS算法以及剂量计算的金标准^[3]——MC算法计算6 MV光子和15 MV光子的百分深度剂量和离轴比,并用MC算法评估其他两种算法在两种能量下的计算精度差异.

1 材料与方法

1.1 用于计算的模体、射野参数和计算的物理量

用于计算的模体为50 cm×50 cm×50 cm立方水模体(图1),在4 cm深度处,设计一厚度为5 cm的平板肺介质,平板的宽度为30 cm×30 cm,水和肺组织由ICRU19号报告定义,密度分别为1.0 g/cm³和0.26×10⁻³ g/cm³,三种算法用于剂量计算的体积元大小0.25 cm×0.25 cm×0.25 cm.三种算法的计算均在该体模内进行.加速器为Varian 2100CD,X射线能量选择6 MV和15 MV,源皮距为100 cm,参与比较的射野为方形射野,边长分别为1、3、5和7 cm,射野置于模体中心.计算的物理量为射野中心轴的深度剂量和6.5 cm(肺介质的中心层面)深度处的离轴比.

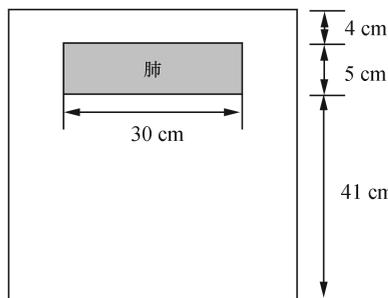


图1 计算用到的体模,其中含有肺介质(内含肺组织)

Fig. 1 The phantom with air cavity used for dose calculation

1.2 PB算法和CS算法剂量计算

PB算法利用了VARIAN Eclipse治疗计划系统(6.7版本)内含的剂量算法,计算时采用等效组织空气比法修正介质不均匀性.CS剂量计算利用PHILIPS Pinnacle治疗计划系统(版本7.6)内含的剂量算法.两种算法的配置数据来自于同一套测量数据.

1.3 MC模拟

MC模拟利用了加拿大国家研究院(NRCC)开发的BEAMnrc和DOSXYZnrc代码.

1.3.1 模拟步骤

第一步用BEAMnrc模拟Varian2100C/D加速器的6 MV射野,模拟从初始电子打靶开始,经过靶、一级准直器、真空窗、均整器、监测电离室、灯光野反光镜和二级准直器,最后到达相空间(phase space)平面,并在该平面记录每个粒子的相空间数据.第二步以相空间数据作为输入,用DOSXYZ计算体模中的吸收剂量.

1.3.2 初始电子的能谱和强度分布调整

模拟之前,按照Daryoush^[4]的方法调整初始电子的平均能量、能量展宽百分比和强度分布半高宽,即用MC计算的中心轴深度剂量及离轴分布和测量比对,改变初始电子的特性参数,直到差异在1%以内.经多次试验,确定了该加速器6 MV X射线初始电子的平均能量、能量展宽百分比和强度分布半高宽分别为6.3 MeV、7%和2 mm;15 MV X射线为15 MeV、3%和2 mm.

1.3.3 主要模拟参数设置

全局电子截止能量ECUT设为0.7 MeV,全局光子截止能量PCUT设为0.01 MeV;用到的减少方差技术有直接韧致辐射分裂和电子射程截断,前者参数设置根据Kawrakow等^[5]的建议做了适当调整;对本研究所涉及的所有射野,分裂野半径都等于10 cm,韧致辐射分裂数等于1 000,为了消除大权重的电子对剂量的干扰,在均整器中应用了电子分裂技术和电子射程截断技术.全局电子射程截断阈值能量设为1 MeV.第一步的模拟计算中,历史数目为10⁹量级.

1.3.4 计算精度比较

计算精度通过计算误差定量给出,计算误差越大,精度越低.计算误差自定义为其他算法相对于MC计算的差异

$$\Delta CE_i = (P_i - P_{mc}) / P_{mc} \times 100\%$$

其中 ΔCE_i 为第*i*种算法计算剂量和MC计算剂量的差异的百分数. P_i 为第*i*种算法计算的参数值; P_{mc} 为MC计算的相应参数值.比较参数为深度剂量和离轴比.深度曲线6 MV归一在1.625 cm深度,15 MV归一在3.125 cm深度处.

2 结果与分析

2.1 深度剂量比较

从图2中可以看出,肺介质中,PB算法对

15 MV光子的深度剂量计算误差比6 MV光子明显增大,随着深度的增加而增加,且能量越高,射野越小越显著,在15 MV的肺介质后缘达到最大115%,这样将会导致靶区中心剂量严重高估,且15 MV光子6 MV光子高估的程度越严重,造成实际剂量严重不足,可能影响肿瘤的局部控制率.

CS算法在两种能量下变化不明显.

在肺介质后区,当射野小于 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 时,PB算法的计算误差随能量增加反而减小,CS算法的误差随能量变化不明显.当射野大于 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 时,两种算法的计算精度变化均不明显,都相当准确.

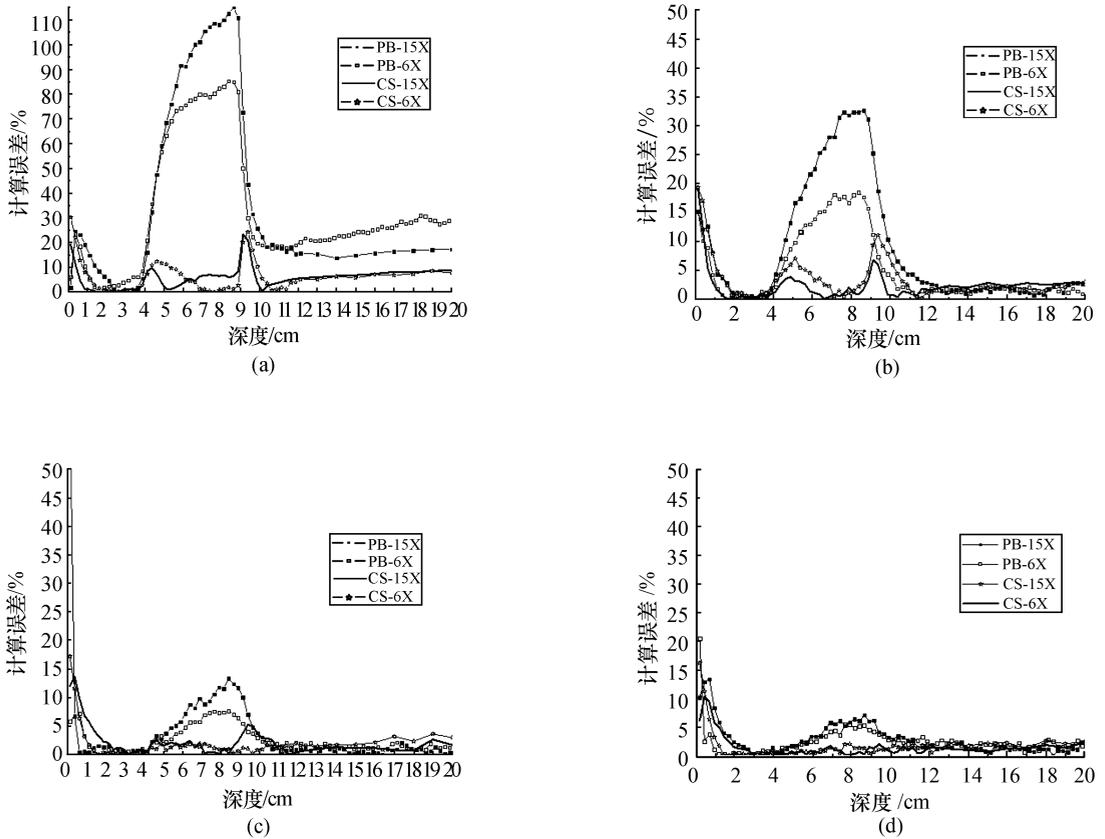


图2 射野为(a) $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$, (b) $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$, (c) $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, (d) $7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ 时笔形束算法、卷积叠加算法计算的深度剂量与蒙特卡罗模拟结果的计算误差

Fig. 2 Calculation accuracy of Depth Dose curves by Pencil Beam (PB) algorithm and Convolution-superposition (CS) algorithm compared to Monte Carlo (MC) simulation in the fields of (a) $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$, (b) $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$, (c) $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, (d) $7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$

2.2 离轴比比较

射野内,PB算法和CS算法在两种能量下的离轴比计算精度变化均不明显,都很准确.但在射野边缘半影区,CS算法的15 MV光子的计算精度较6 MV光子降低,PB算法的计算精度变化不大.在射野外缘,PB算法的15 MV光子的计算精度较6 MV光子降低,且总体上随离轴距离的增加而提高;CS算法的15 MV光子的计算精度较6 MV光子反而提高,且总体上随离轴距离的增加

而减小.详见图3.

由此可见,对于临床治疗的射野,CS算法可以较准确的估计这种剂量发散现象,但随着能量的增加,其射野边缘剂量的计算误差增大,发散更明显,从而使射野边缘剂量降低,射野外低剂量增加,因此即使计划上肺受量符合临床要求,也可能使肺实际受量超过预期,受较低剂量照射的实际肺体积比计划的要大,这可能影响射性肺炎的发生概率^[2].

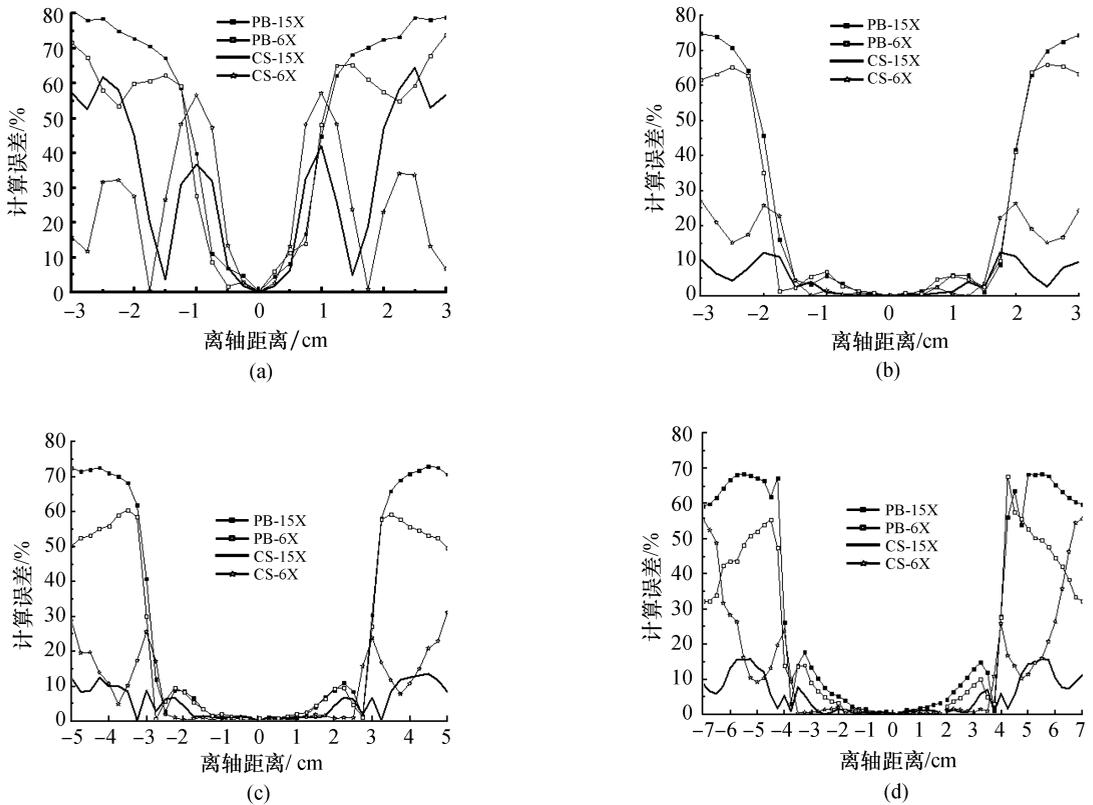


图3 射野为(a)1 cm×1 cm,(b)3 cm×3 cm,(c)5 cm×5 cm,(d)7 cm×7 cm时笔形束算法、卷积叠加算法计算的离轴比与蒙特卡罗模拟结果的计算误差比较

Fig. 3 Calculation accuracy of Off-axis Ratio curves by Pencil Beam (PB) algorithm and Convolution-superposition (CS) algorithm compared to Monte Carlo (MC) simulation in the fields of (a) 1 cm×1 cm, (b) 3 cm×3 cm, (c) 5 cm×5 cm, (d) 7 cm×7 cm

3 结论

在肺介质中,相对于蒙特卡洛模拟,笔形束算法的百分深度剂量计算精度随能量的增加、射野的减小和深度的增加明显降低,离轴比计算精度受能量影响不大;卷积叠加算法的百分深度剂量计算精度受能量影响不大,仅随射野的减小而稍微降低,但射野边缘的离轴剂量计算精度随能量的增加有所降低。因此,对于较小体积的肺部肿瘤的放射治疗,不管是采用PB算法还是CS算法,在能量可以选择的情况下尽量避免选择过高能量的光子。

参考文献:

[1] Madani I, Vanderstraeten B, Bral S, et al. Comparison of

6 MV and 18 MV photons for IMRT treatment of lung cancer[J]. Radiother Oncol, 2007, 82: 63-69.

[2] Wang L, Yorke E, Desobry G, et al. Dosimetric advantage of using 6 MV over 15 MV photons in conformal therapy of lung cancer: Monte Carlo studies in patient geometries[J]. Appl Clin Med Phys., 2002, 3(1): 51-59.

[3] Daryoush S B, Rogers D W O. Sensitivity of megavoltage photon beam Monte Carlo simulations to electron beam and other parameters[J]. Med Phys., 2002, 29(3): 379-390.

[4] Kawrakow I, Rogers D W O, Walters B R B. Large efficiency improvements in BEAMnrc using directional bremsstrahlung splitting[J]. Med Phys, 2004, 31(10): 2883-2898.

[5] Jone A O, Das I J. Comparison of inhomogeneity correction algorithms in small photon fields[J]. Med Phys, 2005, 32(3): 766-776.