

用蒙特卡罗方法模拟实验体内金属植入物对放疗剂量分布影响

倪昕晔 汤晓斌 张志明 顾卫东 耿长冉 林涛 宋浩磊 刘茜 孙苏平 陈达

【摘要】 目的 用蒙特卡罗(MC)模拟实验体内植入金属物后的百分深度剂量变化。方法 用 6 MV X 线照射水下 5 cm 处 0.4 cm 厚金属植入物,对有无金属植入物百分深度剂量变化进行 MC 方法模拟实验并比较结果。结果 6 MV X 线照射置入不锈钢板、钛合金板比不用植入物时入射面剂量分别增加 19.6%、15.7%,不锈钢板、钛合金板入射面 0.3 cm 以外影响 <1.5%。不锈钢板、钛合金板出射面剂量分别减少 8.6%、8.2%,剂量影响 <1.5% 时距离出射面 1.2、0.9 cm。不锈钢板比钛合金板入射面剂量大 3.9%,出射面剂量相似。结论 MC 方法是一种能快捷、准确的计算方式,金属植入物对放疗剂量影响明显,相同条件下不锈钢对入射面剂量影响大于钛合金钢板。

【关键词】 蒙特卡罗; 放射剂量; 金属植入物

Impact of implanted metal plates on radiation dose distribution *in vivo* by Monte Carlo code NI Xin-ye*, Tang Xiao-bing, ZHANG Zhi-ming, GU Wei-dong, GENG Chang-ran, LIN Tao, SONG Hao-lei, LIU Xi, SUN Su-ping, CHEN Da. *Department of Radiation Oncology, Changzhou NO.2 People's Hospital, Affiliated Nanjing Medical University, Changzhou 213003, China

【Abstract】 Objective To investigate the impact of metal plate on radiation dose distribution by Monte Carlo (MC) code. **Methods** The metal plates with 0.4 thick were placed in water at 5 cm, all the plate irradiated with 6 MV X-ray were simulated by MC code, SSD = 100 cm. The percentage depth dose with or without metal implants were compared. **Results** The surface absorbed doses on incident plane of stainless steel plate and titanium plate were increased by 19.6% and 15.7% respectively as compared water, the dose influence was less than 1.5% more than 0.3 cm outside the incidence plane. The doses on the exit surface of stainless steel plate and titanium plate were lowered by 8.6% and 8.2% when compared with water, the dose impacts of this places where were from the exit surface of stainless steel plate, titanium plate more than 1.2 cm, 0.9 cm were less than 1.5%. The surface absorbed doses on incident plane of stainless steel plate were increased by 3.9% respectively as titanium plate, the dose of the exit surface of stainless steel plate and titanium plate was similar. **Conclusions** MC method is a fast and accurate calculation method. The influence of metal plate on the radiotherapy dose distribution is significant. Under the such condition, the impact of stainless steel plate is much more than that of titanium alloy plate.

【Key words】 Monte Carlo; Radiation dose; Metal implants

放疗时应考虑骨科植入物对放疗剂量影响,刘明等^[1]认为商用治疗计划系统计算结果与实测结果比较,不锈钢板、钛合金入射面比测量值分别偏低 13%、12%,出射面分别增加 6%、5%,而放射剂量实测会带来工作量增加,测量设备精度和测量方法带来偏差,对人体有伤害甚至不能完成,因此有必要引进一种能快捷、准确、无伤害的新计算方式。目前

加速器输出剂量最精确模拟方法是蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)方法^[2-3],而模拟加速器治疗头最强大软件工具之一是 EGS4。在此基础上由加拿大国家研究院与美国威斯康辛大学联合开发了 OMEGA/BEAMnrc 软件^[4-5],通过编写加速器机头靶、电离室、准直器等部件材料种类、尺寸大小、调整仿真参数可模拟加速器光子束和电子束。BEAMnrc 模拟从源到模体间粒子输运过程,获得记录粒子输运信息的相空间文件,模体内剂量分布由 DOSXYZnrc 程序模拟^[6-7]。

材料与方法

1. MC 模拟实验的加速器设置:在 BEAMnrc 中

DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2011.05.020

基金项目:江苏省常州市社会发展项目(CS20102019)

作者单位:213003 南京医科大学附属常州第二人民医院(倪昕晔、张志明、顾卫东、林涛、宋浩磊、刘茜、孙苏平);南京航空航天大学核科学与工程系(倪昕晔、汤晓斌、耿长冉、陈达)

初级准直器内是不能单独设置元器件的,而在西门子加速器中均准块大部分在初级准直器中。为解决这个问题用 FLATFILT 组建同时描述初级准直器和均准块;用 CHAMBER 组建来描述电离室;用 MIRROR 组建描述反射镜;用 JAWS 组建来描述 y 轴方向一对准直器;用多叶准直器组建来描述 x 轴方向多叶光栅,由 27 对在离源 100 cm 处投影为 1 cm 宽和 2 对 6.5 cm 宽的准直器组成,x、y 轴方向两对对直器组成最大射野为 40 cm × 40 cm,y 轴方向准直器离源较近;用 SLABS 组建描述空气。

2. MC 模拟实验的条件:MC 模拟源为 0 号源,源半径为 0.5 mm,电子截止能量为 0.7 MeV,光子截止能量为 0.01 MeV,模拟粒子数为 1×10^8 ,以确保统计误差在 2% 以内。由 BEAMnrc 生成相空间文件,大小为 2~4GB 左右,再由 DOSXYZnrc 程序得到 3ddose 文件从而生成百分深度剂量,部份数据用插值的方法得到,采用了上下两层数据平均的方法获得。BEAMnrc 用的截面数据库是 700icru. pgs4.dat,最大输运步长是 5 cm,计算网格大小为 0.1 cm × 0.1 cm × 0.1 cm。百分深度剂量定义为沿射线的中心轴、深度 d 处吸收剂量与束轴上参考深度 d0 处吸收剂量之比。百分深度剂量由 CRS 三维水箱测量。主电离室为德国 PTW 公司的 Semiflex 型 0.125 cm³ 电离室(型号 31010),参考电离室为德国 PTW 公司的 Farmer 型 0.600 cm³ 电离室(型号为 30013)通过模拟与实际测量数据对比,在 6 MV X 线建成深度 1.5 cm 处以下满足百分深度剂量相对偏差 < 2% 且满足与最大剂量点深度一致;入射电子束能量为 6.8 MeV 时可满足以上要求。加速器模拟结果与实际测量结果比较如图 1。采用加速器 6 MV X 线,源皮距 100 cm,机头角度和机架角度为 0°,射野大小为 10 cm × 10 cm。金属植入物(不锈钢板、钛合金钢板)中心处置于水下 5 cm 处,不锈钢板和钛合金钢板宽度为 1.3 cm、长度为 8 cm、厚度为 0.4 cm。不锈钢板主要成分为铁(65%)、铬(19%)、镍(14%);钛合金钢板主要成分为钛,含有少量铝和钒。水模体长、宽、高分别为 30、30、50 cm。

结 果

图 2 为使用不锈钢板、钛合金板与未使用植入物时照射的百分深度剂量比较。图 3 为不锈钢板和钛合金板与水模体的深度剂量曲线相对偏差。从上述 2 个图中不难发现使用不锈钢板比钛合金板入射面剂量大 3.9%,不锈钢板、钛合金板比不用植入物

万方数据

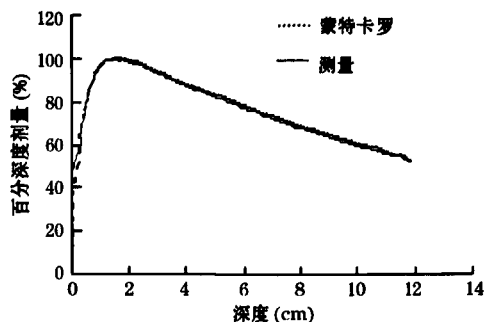


图 1 加速器 6 MV X 线照射蒙特卡罗模拟计算与实际测量的深度剂量曲线

时入面剂量分别增加 19.6%、15.7%,入射面 0.3 cm 以外影响 < 1.5%,0.4 cm 以外影响 < 1%;出射面剂量分别减少 8.6%、8.2%,剂量影响 < 1.5% 时距离出射面 1.2、0.9 cm,剂量影响 < 1.0% 距离出射面 1.3、1.1 cm。不锈钢板、钛合金板出射面剂量相似。在不锈钢板、钛合金板的前面有明显剂量上升区,且使用不锈钢板的最高剂量大于使用钛合金板的最高剂量;在其后面有明显的剂量跌落效应,且有二次建成效应存在,随距离增加剂量增加,剂量在 6.5 cm 深度以下趋于平滑并开始下降,且与水模体的偏差 < 0.5%。

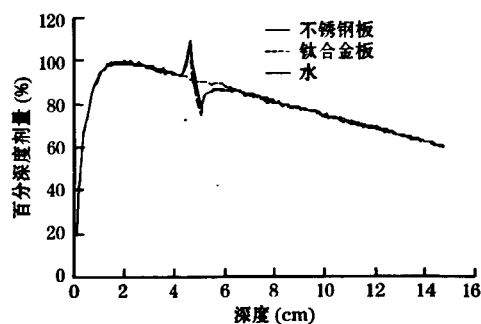


图 2 加速器 6 MV X 线照射不锈钢板和钛合金板与水模体的深度剂量曲线

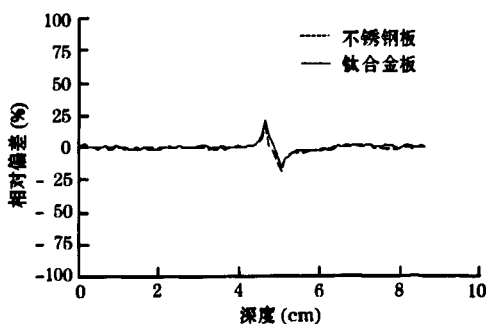


图 3 加速器 6 MV X 线照射不锈钢板和钛合金板与水模体的深度剂量曲线相对偏差

讨 论

刘明等^[1]的实验结果显示不锈钢板及钛合金板的

背向散射导致吸收剂量较肌肉组织分别增加了 21.65% 和 15.46%，不锈钢板和钛合金板表面较条状肌肉组织相应部位剂量分别多衰减了 8.42% 和 5.26%。本组结果为不锈钢板、钛合金板比不用植入物时入射面剂量分别增加 19.6%、15.7%，出射面剂量分别减少 8.6%、8.2%。两者结果相似，也说明了 MC 方法模拟的准确性，并与 Mian 等^[8]用 MC 方法模拟植入脑部钢板引起入射面剂量增加 15% 相接近。金属植入物入射面表面剂量增加主要原因是金属材料的背向散射引起，不锈钢板出射面剂量比钛合金板出射面剂量高的原因可能是不锈钢密度和原子序数高于钛合金；出射面表面剂量跌落的主要原因一是原射线因金属植入物阻挡而衰减，二是金属植入物入射表面前的散射光子和次级电子因金属植入物衰减而不能或部分进入金属植入物出射面区域。金属植入物出射面二次建成效应原因是原射线穿过金属植入物后产生了散射光子和次级电子，随深度增加剂量逐步增大，一定距离后因原射线衰减、散射光子和次级电子超过最大射程后作用减弱引起剂量再减少，形成二次建成效应。

一般情况下，不锈钢植入物对出射面剂量影响比钛合金大的主要原因是钛合金密度大，对射线衰减大，射线穿过钛合金后剂量比不锈钢植入物高，但在本模拟中两者厚度较薄，故出射面剂量两者差异不是太大。临床上由于金属植入物的引入使沿射线入射方向剂量增加和减低，易形成剂量热点和冷点，可能造成正常组织剂量增加、肿瘤组织剂量偏低，从而造成辐射损伤加大、肿瘤未控或复发。临床研究证明 $\pm 5\%$ 剂量变化就会引起无并发症的肿瘤控制概率的显著改变，肿瘤治疗剂量若有近 10% 增加，则肿瘤控制概率几乎 5 倍增加^[9]。因此在实际放疗中一定要知道肿瘤和肿瘤附近组织实际接收剂量大小，采取相应措施减少正常组织受量、提高肿瘤组织剂量。

MC 方法是加速器输出剂量最精确的模拟方法，是开展放疗研究的一个强大工具，比真实实验方法快捷、准确、无伤害并能取代之。可对临床骨科实

际应用金属植入物进行个体化剂量模拟来提高剂量计算的精度，同时也解决了普通计划系统对金属植入物剂量计算不准问题^[11]。EGS4MC 程序不受材料、几何结构限制，并且全面考虑光子和电子的多次散射、二次电子产生等物理过程，对光子和电子的研究可以给出全面、精确的解，是研究光子和电子的良好、方便的理论工具。同时植入金属植入物时考虑原子序数较低的材料、碳及碳复合材料在骨科领域特别是放射医学领域有较好的应用前景^[10-11]。

总之，MC 方法是一种能快捷、准确、无伤害的新计算方式，金属植入物对放疗剂量影响明显，相同条件下不锈钢对入射面剂量影响大于钛合金钢板。致谢 德国西门子医疗器械有限公司提供了加速器机头参数

参 考 文 献

- [1] 刘明, 李兴德, 牛庆国, 等. 体内金属植入物对放疗剂量分布影响. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19: 459-462.
- [2] Juste B, Miro R, Gallardo S, et al. Considerations of MCNP Monte Carlo code to be used as a radiotherapy treatment planning tool//IEEE. Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, 2005. Shanghai: IEEE Engn Med& Biol Soc, 2005: 2828-2831.
- [3] Verhaegen F, Seuntjens J. Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams. Phys Med Biol, 2003, 48: 107-164.
- [4] Rogers DWO, Walters B, Kawrakow I. BEAMnrc users manual [NRC report PIRS 0509a]. 2005.
- [5] Rogers DWO, Faddegon BA, Ding GX, et al. BEAM: a Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units. Med Phys, 1995, 22: 503-524.
- [6] Asghar M, Michael F, Mahmoud A, et al. Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam characteristics; a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements. Appl Radiat Isot, 2005, 62: 469-477.
- [7] Deng J, Jiang SB, Kapur A, et al. Photon beam characterization and modeling for Monte Carlo treatment planning. Phys Med Biol, 2000, 45: 411-427.
- [8] Mian TA, van Putten MC Jr, Kramer DC, et al. Backscatter radiation at bone-titanium interface from high-energy X and gamma rays. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1987, 13: 1943-1947.
- [9] ICRU. ICRU Report No. 24. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or γ rays in radiotherapy procedures. Washington: ICRU, 1976.
- [10] 王尧, 胡明, 陈明钊, 等. 碳-钛组合式人工股骨头的应用前景. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 22: 4309-4312.
- [11] Shimmin A, Beaulé PE, Campbell P. Metal-on-metal hip resurfacing arthroplasty. J Bone Joint Surg, 2008, 90: 637-654.

(收稿日期: 2010-11-22)

作者: 倪昕晔, 汤晓斌, 张志明, 顾卫东, 耿长冉, 林涛, 宋浩磊, 刘茜, 孙苏平, 陈达, NI Xin-ye, Tang Xiao-bing, ZHANG Zhi-ming, GU Wei-dong, GENG Chang-ran, LIN Tao, SONG Hao-lei, LIU Xi, SUN Su-ping, CHEN Da

作者单位: 倪昕晔, NI Xin-ye (213003 南京医科大学附属常州第二人民医院; 南京航空航天大学核科学与工程系), 汤晓斌, 耿长冉, 陈达, Tang Xiao-bing, GENG Chang-ran, CHEN Da (南京航空航天大学核科学与工程系), 张志明, 顾卫东, 林涛, 宋浩磊, 刘茜, 孙苏平, ZHANG Zhi-ming, GU Wei-dong, LIN Tao, SONG Hao-lei, LIU Xi, SUN Su-ping (213003, 南京医科大学附属常州第二人民医院)

刊名: 中华放射肿瘤学杂志 **ISTIC PKU**

英文刊名: Chinese Journal of Radiation Oncology

年, 卷(期): 2011, 20(5)

参考文献(11条)

1. 王亮;胡明;陈明钊 碳-钛组合式人工股骨头的应用前景 2009
2. 刘明;李兴德;牛庆国 体内金属植入物对放疗剂量分布影响[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志 2010(5)
3. ICRU;ICRU Report No;2A Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or γ rays in radiotherapy procedures 1976
4. Mian TA;van Putten MC Jr;Kramer DC Backscatter radiation at bone-titanium interface from high-energy X and gamma rays 1987
5. Deng J;Jiang SB;Kapur A Photon beam characterization and modeling for Monte Carlo treatment planning 2000
6. Asghar M;Michael F;Mahmoud A Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam characteristics:a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements 2005
7. Rogers DWO;Faddegon BA;Ding GX BEAM:a Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units 1995
8. Rogers DWO;Walters B;Kawrakow I BEAMnrc users manual[NRCC report PIRS 0509a] 2005
9. Verhaegen F;Seuntjens J Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams 2003
10. Juste B;Miro R;Gallardo S Considerations of MCNP Monte Carlo code to be used as a radiotherapy treatment planning tool 2005
11. Shimmin A;Beaule PE;Campbell p Metal-on-metal hip resurfacing arthroplasty 2008

本文读者也读过(10条)

1. 杨梦广 瓦里安加速器多叶准直器故障检修二例[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
2. 毛睿. 齐洪志. 尚革. 张月芬. 肖蕾. 包永星. MAO Rui. Hong-zhi. SHANG Ge. ZHANG Yue-fen. XIAO Lei. BAO Yong-xing II期和III期直肠癌术后盆腔调强放疗两种计划比较研究[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
3. 程金建. 杨华. 夏云飞. 陈忠平 人脑胶质瘤细胞系MGR2和T98G的生物学特性比较[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
4. 王素贞. 李建彬 乳腺癌保乳术后大分割全乳照射研究现状[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
5. 张英杰. 李建彬. 田世禹. 李奉祥. 范廷勇. 邵倩. 徐敏. 卢洁. ZHANG Ying-jie. LI Jian-bin. TIAN Shi-yu. LI Feng-xiang. FAN Ting-yong. SHAO Qian. XU Min. LU Jie 基于四维CT对肺癌原发灶位移和体积变化相关性研究[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(6)
6. 冯丽娜. 白彦灵. 陈林. 云惟康. 谷安鑫. 刘莉莉. FENG Li-na. BAI Yan-ling. CHEN Lin. YUN Wei-kang. GU An-xin. LIU Li-li 射线能量选择对逆向调强放疗计划影响的研究[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
7. 毛新建 西门子加速器CHECK#2故障浅析[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
8. 王利利. 涂戔. 周菊英. 陆晔. 徐晓婷. 李莉. 秦颂兵. WANG Li-Li. TU Yu. ZHOU Ju-ying. LU Ye. XU Xiao-ting. LI Li. QIN Song-bing 用MOSFET探测器进行乳腺癌放疗剂量的实时检测[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
9. 尚东平. 李明焕. 李建彬. 尹勇. 于金明. 杜君. SHANG Dong-ping. LI Ming-huan. LI Jian-bin. YIN Yong. YU Jin-ming. DU Jun. 四维CT技术确定肺内孤立性病灶靶体积应用[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(5)
10. 鞠潇. 周宗玫 四维CT在肺癌放疗中的临床应用现状[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志2011, 20(6)