

肿瘤患者体内金属植入物对放射治疗的剂量影响

汤晓斌 耿长冉 韩 卫 舒迪昀 侯笑笑 陈 达

(南京航空航天大学材料科学与技术学院, 南京, 210016)

摘要:现代医学适应诸多医疗需要,常在患者体内植入各种医用金属材料。而此类患者又需要施行放射治疗时,金属植入物对放疗照射剂量的计划与实施产生不良影响,成为高精度肿瘤放疗的障碍和安全隐患。以一前期进行过股骨置换手术的前列腺癌患者接受放射治疗为例,构建带有特定金属植入物和特定肿瘤信息的患者人体仿真计算模型,采用蒙特卡罗计算程序 MCNP 研究和分析外照射条件下金属植入物材料对人体体内辐射剂量的影响程度。研究表明,肿瘤放射治疗过程中金属植入物的剂量影响是客观存在的,而且导致相当程度的剂量偏差,包括植入物后端的剂量衰减和前端的剂量增强,由此产生的危害风险也应予以重视。

关键词:辐射防护;金属植入物;放射治疗;蒙特卡罗方法

中图分类号:R815 文献标志码:A 文章编号:1005-2615(2013)06-0819-05

Dosimetry Effects of Metal Implants in Patient Body During Radiation Therapy

Tang Xiaobin, Geng Changran, Han Wei, Shu Diyun, Hou Xiaoxiao, Chen Da

(College of Material Science and Technology, Nanjing University of
Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: In order to meet the needs of medical treatment, biomedical metallic materials are implanted into patients' body in modern medicine. Assuming that the patients need to receive radiation treatment, the implants must have a negative effect on the plan of medical radiation dose and must still be interfered with the implementation. Furthermore, this means an obstacle and huge potential security problem for the high precision tumor radiotherapy. For instance, a prostate cancer patient, who received a femoral replacement surgery, now needs to receive radiation therapy. A human simulation model is built with a particular metal implant and specific tumor information, then Monte Carlo code MCNP is employed to research the influence of the radiation dose in human body with metallic implant materials under the condition of external exposure. Research results show that effect on radiation dose of metal implants during radiotherapy is not only existent, but also leads to a considerable degree of dose deviation which includes dose attenuation at the back-end of implant and dose enhancements at its front-end, thus the risks caused by the dose deviation should also be taken into account.

Key words: radiation protection; metal implants; radiation therapy; Monte Carlo method

随着现代外科修复重建技术的发展,通过植入医用固定器等外科手术对人体组织、器官的缺损、畸形、功能丧失进行修复和治疗已屡见不鲜。这些医用人体植入物大多使用的是具有生物相容性好、

抗腐蚀等优点的金属材料,为恢复患者肢体、组织和器官功能提供了可能。但是,当这些进行过外科修复重建手术的病人需要进行肿瘤放射治疗时,各种金属植入物的存在将会对患者的放射治疗过程

基金项目:南京航空航天大学基本科研业务费专项科研基金资助项目。

收稿日期:2013-08-15;修订日期:2013-10-15

通信作者:汤晓斌,男,副教授,1978年出生,E-mail:tangxiaobin@nuaa.edu.cn。

造成不同程度的剂量影响和危害风险。其主要原因有:(1)当放疗射线穿过金属植入物时,由于金属物的高原子序数、高密度等特性会引起放射线散射,造成前端组织剂量增强、后端组织剂量减弱等剂量严重偏差,对金属植入物周围的人体组织器官增加了额外照射剂量^[1];(2)现有制定肿瘤放射治疗计划的 TPS 系统由于自身技术缺陷(包括组织建模困难、剂量算法限制、所使用的 CT 图像存在金属伪影),无法对金属植入物的存在进行有效识别和精确剂量估算,导致对肿瘤区的照射剂量计算无法达到精确的程度^[2]。这就会造成一方面植入物后端剂量减小可能造成靶区给量不足,另一方面植入物周围组织剂量增强,相当程度上影响了患者的放疗效果,并增加了人体受辐照的危害风险。

外科置入患者体内的金属植入物主要分为:(1)金属植入物,如人工金属骨、金属假牙、心脏起搏器、金属内固定材料、金属吻合器等,这类材料的主要物理特点是体积大,且一般为实质材料;(2)金属支架,如食道金属支架、心血管支架等,这类材料一般为薄型金属网状结构,且往往和上皮组织紧密接触。表 1 列出了常见的金属植入物以及放射治疗效果受其影响的癌症类型。这些金属植入物的存在对放疗计划的制定、执行以及放射治疗效果造成了困难和偏差^[3-5]。本文以一前期进行过股骨置换手术的前列腺癌患者接受放射治疗为例,对外照射条件下金属植入物材料对人体体内辐射剂量的影响程度进行了深入分析和研究。

表 1 常见植入物类型及其影响放疗效果的癌症类型

金属植入物类型	影响放疗效果的癌症类型
假牙	鼻咽癌,口腔癌,舌癌,喉癌,全脑放疗,等
气管/食管支架	喉癌,食管癌,胸腺癌,甲状腺癌,肺癌,等
钛夹	血管类,尿路,等
节育环	宫颈癌,卵巢癌,膀胱癌,等
心脏起搏器	食管癌,肺癌,胸腺癌,等
面骨膜	鼻咽癌,口腔癌,舌癌,喉癌,全脑放疗,等

1 几何建模及计算方法

本文将 3-D 人体臀腹部模型先转化为多边形网格模型,使用三维建模软件 Rhino 建立 Co-Cr-Mo 合金材质的患者植入物股骨模型并植入模型内部,采用 BINVOX 程序和 READVOX 程序进行体模体素化,最终得到可应用于本研究的混合体素模型。这种混合体素人体模型既具有数学体模的灵活性特点,又具有体素体模的真实性优点,较以往单独使用的人体数学体模和体素体模更具有优势。在模型中人体组织材料的元素构成和密度来

自 ICRP89 号报告,Co-Cr-Mo 合金股骨材料的成分如表 2 所示,所建立的含有金属植入物和肿瘤的人体计算模型如图 1 所示。

表 2 Co-Cr-Mo 合金股骨材料成分(密度为 7.8 g/cm³)

元素	Co-Cr-Mo 合金
Ni	2.50
Co	57.4%~65%
Cr	27~30
Mo	5~7
Fe	0.75

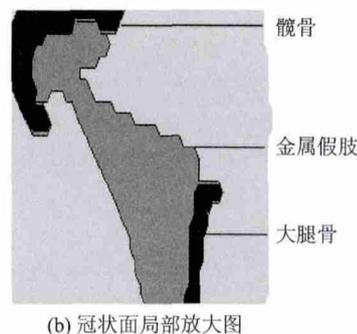
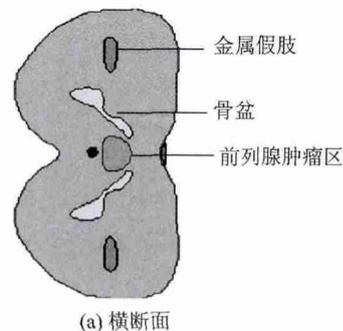


图 1 含金属植入物和肿瘤信息的人体计算模型截面图

剂量计算工作主要通过蒙特卡罗方法程序(Monte Carlo N-particle transport code, MCNP)进行。MCNP 是由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室编制的一个大型多功能蒙特卡罗计算通用程序,可用于计算中子、光子、电子以及粒子耦合输运问题。将得到的体素化模型由 MCNP 程序中的 U 卡、Fill 卡读入,在计算过程中,观察因金属假肢对射线的衰减导致靶区剂量差异的程度,以及因金属假肢对射线的反散射使周围正常组织器官剂量增强的程度。选取穿过前列腺中心点的横断面和穿过金属假肢的冠状面作为计数平面(见图 1)。由于 MCNP 程序模拟电子输耗时较长,当 X 射线到达在靶区时产生的电子的能量射程很低,远远小于 MCNP 程序中 Lat1 晶格的大小(0.2 cm×0.2 cm×0.4 cm),可以认为射线产生的电子就地沉积,因此计算靶区剂量分布的计数卡选用 F6 卡,形式为 f6:p(32<199[-62:63 -78:78 0:0]),其中

32 为前列腺所代表的栅元号。而金属假肢周围器官的剂量增强效应相当程度上是由于反射电子引起的,所以需要严格模拟电子的输运过程。因此,在计算金属假肢周围剂量分布时选用 *F8 计数卡,形式为 *f8 : p(21<199[-4 : -4 25 : 78 -12 : 14]),其中 21 为周围器官所在的栅元。F6 和 *F8 的混合使用能很大程度上提高计算效率。放射源选用 6 MV X 射线进行前后野和两侧四野照射。MCNP 程序中,分别使用 SI 和 SP 卡实现能谱和 4 个射野通量的分布。因金属假肢的存在,调整照射野的照射角度分别观察照射野穿过金属假肢、与金属假肢相交、相离时剂量的分布情况。MCNP 程序中使用 *tr 卡实现源所在面的旋转,例如 *tr1 0 0 0 5 95 90 85 5 90 90 0 实现将面旋转 5°。为了达到定量分析目的,同时建立一具不含金属假肢的患者模型,分别计算相同条件下靶区截面的剂量分布和金属假肢冠状面的剂量分布,进行对比定量分析计算。

2 计算结果及分析

在常规前列腺放射治疗中,前后左右四野照射为常用治疗手段^[6]。本研究以此治疗方法为基础,计算了四野照射下的剂量分布。图 2 (a,b)分别表示无金属假肢和有金属假肢的情况下,前后、两侧四野正向照射靶区,穿过前列腺中心点横截面的

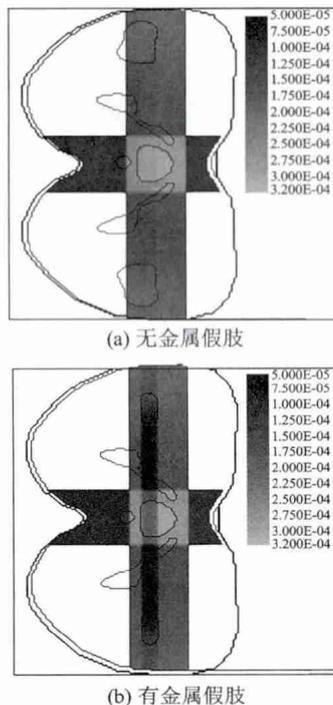


图 2 前后、两侧四野正向照射靶区横截面剂量分布图

剂量分布图。计算所得的前列腺肿瘤靶区照射剂量和中心点处剂量如表 3 所示,表中剂量数据均为归一化结果。计算结果显示,由于金属假肢的存在,前列腺靶区照射剂量显著减少,差异达到 15%,并且造成靶区剂量分布极其不均匀,基本无法满足临床所需的治疗要求。

表 3 前后、两侧四野正向照射条件下肿瘤区剂量计算结果

位置	有金属假肢	无金属假肢	差异比例/%
前列腺靶区	1.7106×10^{-1}	2.0207×10^{-1}	-15.35
前列腺中心点	2.2941×10^{-4}	2.9175×10^{-4}	-21.37

为研究调整射野角度对靶区剂量以及周围器官的剂量影响,分别计算了左右照射野旋转 5°和 15°的剂量分布。图 3 (a,b)分别表示无金属假肢和有金属假肢的情况下,前后、两侧四野旋转 5°照射靶区,穿过前列腺中心点横截面的剂量分布图。计算所得的前列腺肿瘤靶区照射剂量和中心点处剂量如表 4 所示。此情况下的金属股骨仍然在外照射射线束的照射范围内。

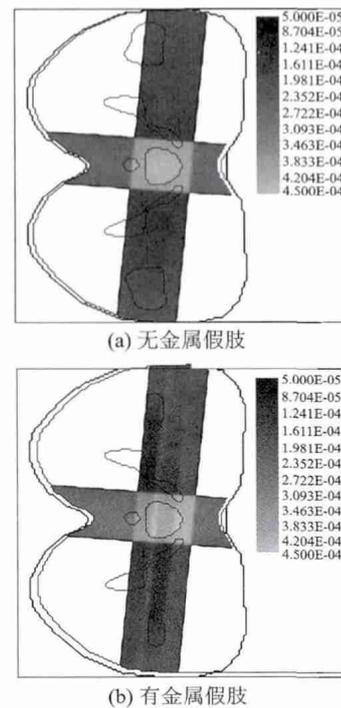


图 3 前后、两侧四野旋转 5°照射靶区横截面剂量分布图

表 4 前后、两侧四野旋转 5°照射条件下肿瘤区剂量计算结果

位置	有金属假肢	无金属假肢	差异比例/%
前列腺靶区	2.7664×10^{-1}	2.9494×10^{-1}	-6.20
前列腺中心点	3.9163×10^{-4}	4.3895×10^{-4}	-10.78

图 4 (a,b)分别表示无金属假肢和有金属假肢的情况下,前后、两侧四射野旋转 15°照射靶区,穿过前列腺中心点横截面的剂量分布图。计算所得的前列腺肿瘤靶区照射剂量和中心点处剂量如表 5 所示。此情况下的金属股骨少量在外照射射线束的照射范围内,因此造成的剂量影响差异不大。

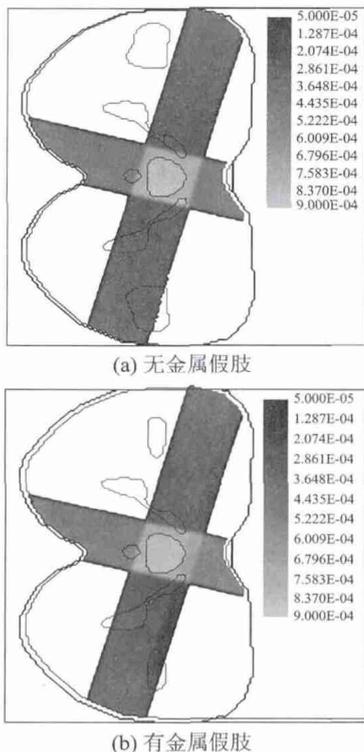


图 4 前后、两侧四射野旋转 15°照射靶区横截面剂量分布图

表 5 前后、两侧四射野旋转 15°照射条件下肿瘤区剂量计算结果

位置	有金属假肢	无金属假肢	差异比例/%
前列腺靶区	2.0875×10^{-1}	2.1255×10^{-1}	-1.79
前列腺中心点	8.4491×10^{-4}	8.4544×10^{-4}	-0.06

前后、两侧四射野正向照射靶区时,穿过金属假肢冠状面的剂量分布如图 5 所示。为了详细对比金属植入物对放疗剂量的影响程度,本文还计算了上述前后、两侧四射野正向照射靶区条件下的金属假肢入射面处剂量增强比例(金属假肢入射面处剂量增强比例=(有金属假肢剂量-无金属假肢剂量)/无金属假肢剂量),计算结果如图 6 所示。由图 6 可知,在金属假肢的前部有很明显的剂量增强效应,且剂量增强的尺度范围大约在几个毫米范围内。分别选取 10 个测量点(图 6 中各圆点处)评估剂量增强变化程度,计算结果如表 6 所示。

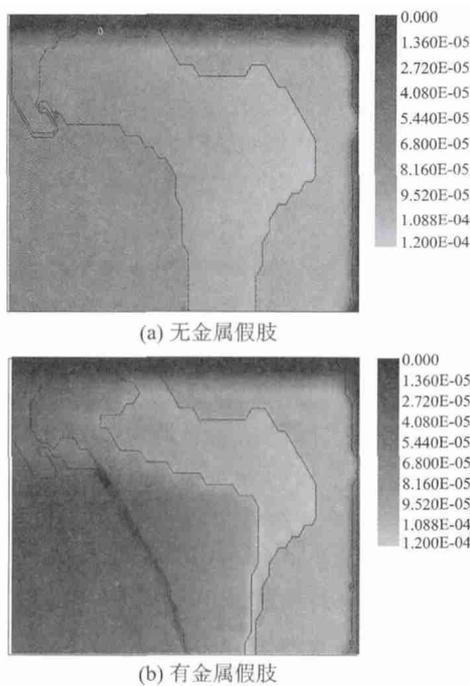


图 5 前后、两侧四射野正向照射靶区冠状面剂量分布图

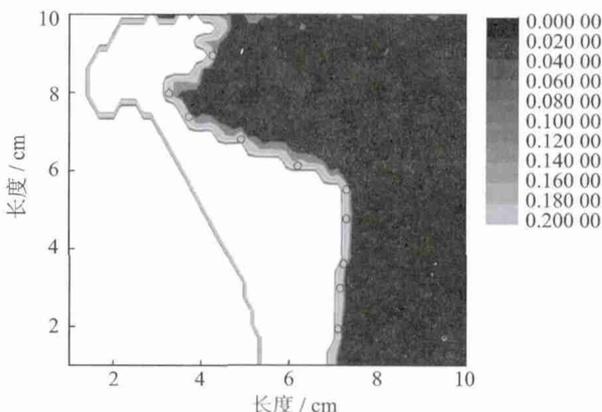


图 6 前后、两侧四射野正向照射靶区金属假肢入射面处剂量增强值

表 6 前后、两侧四射野正向照射条件下金属假肢入射面处剂量增强值

测量点(从上至下)	剂量增强值/%
1	9.14
2	13.00
3	11.00
4	6.28
5	5.56
6	7.95
7	8.72
8	6.24
9	8.26
10	8.64
平均值	8.47

3 结束语

研究表明,对于植有金属股骨的前列腺癌进行放射治疗,射线束通过金属植入物时产生的剂量偏差影响较大,肿瘤中心点的差异程度高达20%以上;而在金属股骨表面引起的剂量增强也可达到10%以上。虽然在本文中采用的照射方法为普通放射治疗,不能完全代表现有的适形以及三维调强放射治疗,但是由于现有放射治疗计划系统固有的障碍(无法考虑金属,忽略前端剂量增强),这种现象依然存在。因此,肿瘤放射治疗过程中金属植入物的剂量影响是客观存在的,而且导致相当程度的剂量偏差,这些偏差在现有的治疗计划系统中通常无法准确评估,由此产生的危害风险也应予以重视和研究。

在实际的放射治疗过程中,放疗物理师多数情况下并没有重视金属植入物的影响,通常选择射野路径刻意避开金属植入物。但是,这种处理方法并不适用于金属植入物处于肿瘤所在区域的患者(如食管癌患者植入食管支架等);同时,刻意地选择避开金属植入物所在区域,也会造成其他“本应免于照射或受照射剂量较少”的正常组织器官受到照射,增加二次放射性癌的发生几率,必然不是最直接有效的理想治疗方案。本文通过基于蒙特卡罗方法的模拟计算对放射治疗患者(前列腺癌患者)体内金属植入物(金属股骨头)对医疗照射的剂量影响进行了分析研究,希望有助于国内外放射治疗

和辐射防护业界对该问题的重视和关注。

参考文献:

- [1] Wieslander E, Knoos T. Dose perturbation in the presence of metallic implants: Treatment planning system versus Monte Carlo simulations[J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2003, 48(20): 3295.
- [2] Roberts R. How accurate is a CT-based dose calculation on a pencil beam TPS for a patient with a metallic prosthesis? [J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2001, 46(9): N227.
- [3] Reft C, Alecu R, Das I J, et al. Dosimetric considerations for patients with HIP prostheses undergoing pelvic irradiation. Report of the AAPM radiation therapy committee task group 63[J]. *Medical Physics*, 2003, 30(6): 1162.
- [4] Buffard E, Gschwind R, Makovicka L, et al. Study of the impact of artificial articulations on the dose distribution under medical irradiation[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2005, 229(1): 78-84.
- [5] Ihde S, Kopp S, Gundlach K, et al. Effects of radiation therapy on craniofacial and dental implants: A review of the literature[J]. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 2009, 107(1): 56-65.
- [6] 殷蔚伯,谷昶之,刘泰福,等. 肿瘤放射治疗学[M]. 第3版. 北京:中国协和医科大学出版社,2002. Yin Weibo, Gu Xianzhi, Liu Taifu, et al. *Radiation oncology* [M]. Third Edition, Beijing: China Union Medical University Press, 2002.