

## 用蒙特卡罗方法模拟食管镍钛支架对放疗剂量分布的影响

倪昕晔 汤晓斌 耿长冉 林涛 刘茜 孙苏平 翁学军 陈达

晚期食管癌患者,特别是食管气管瘘和纵隔瘘的患者置入食管支架维持进食,再配合放射治疗,可降低再狭窄的发生率,其疗效已得到认可<sup>[14]</sup>。目前,常用的镍钛记忆合金食管支架受温度控制,4℃以下柔软易变形,在正常体温时可变硬恢复支撑力<sup>[5]</sup>。由于镍钛合金支架是由金属制成,与正常组织密度相差较大,射线穿过金属支架时会造成支架周围的剂量不均匀<sup>[6-8]</sup>。刘明等<sup>[9]</sup>认为商用治疗计划系统(TPS)计算结果与实测值比较,不锈钢板、钛合金入射面比测量值分别偏低 13% 及 12%,出射面分别增加 6% 及 5%。目前,国内研究镍钛支架对放射治疗剂量的影响,用的都是在模体上测量,而实测会有设备精度和测量方法带来的偏差及对人体有伤害甚至是不能完成。因此,本研究引进了一种快捷、准确的计算方式,报道如下。

### 一、材料与方 法

1. 加速器模型的建立:模拟的是德国西门子生产的 SIEMENS-PRIMUMS 直线加速器,根据加速器的实际情况,由 FLATFILT 组建来描述靶和初级准直器,在 BEAMnrc 中初级准直器内是不能单独设置元器件的,而在 SIEMENS 加速器中均准块大部分在初级准直器中,为了解决这个问题,用 FLATFILT 组建描述初级准直器和均准块;CHAMBER 组建描述电离室;MIRROR 组建描述反射镜;JAWS 组建描述  $y$  方向的 1 对 准直器;MLC 组建描述  $x$  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, $x, y$  2 对 准直器组成最大射野为 40 cm × 40 cm,  $y$  方向准直器离源较近;SLABS 组建描述空气。蒙特卡罗模拟源为 0 号源,源的半径为 0.5 mm,电子的截止能量为 0.7 MeV,光子的截止能量为 0.01 MeV,模拟的粒子数为  $1 \times 10^8$ ,以确保统计误差在 2% 以内,由 BEAMnrc 生成相空间文件(egsphsp),文件为 2~4 GB,再由 DOSXYZnrc 程序得到 3ddose 文件从而生成百分深度剂量(PDD),BEAMnrc 用的截面数据库是 700icru. peps4dat,最大输运步长是 5 cm,计算网格为 0.1 cm × 0.1 cm × 0.1 cm。百分深度剂量测量水箱为美国 CRS 公司生产的三维水箱,主电离室和参考电离室分别为德国 PTW 公司生产的标称测量体积为 0.125 和 0.6 cm<sup>3</sup> 的电

离室。0.125 cm<sup>3</sup> 电离室为 Semiflex 型电离室,型号 31010;0.6 cm<sup>3</sup> 电离室为 Farmer 型电离室,型号为 30013。通过模拟与实际测量的数据相对比,在 6 MV X 射线建成深度即 1.5 cm 处以下满足 PDD 相对偏差 < 2%,且满足最大剂量点深度一致,发现入射电子束能量为 6.8 MeV 时可满足以上要求,完成了加速器的建模。

2. 模拟条件:本工作模拟直线加速器的能量为 6 MV 的 X 射线,模拟条件参考文献[10]。镍钛支架的中心处置于水下 6 cm 处。分为支架内充满水和充满空气 2 种情况计算,支架内充满水模拟食管堵塞、食管内留有食物的情况;支架内充满空气模拟食管内食物排空、食管支架内是空气的情况。水模体为 30 cm × 30 cm × 50 cm。

3. 模拟用的镍钛食管支架:由常州智业医疗仪器研究所提供,镍、钛的含量占整个支架的 54.5% 及 45.5%,密度为 6.92 g/cm<sup>3</sup>,支架为圆筒型,长为 8 cm、直径为 2 cm、金属单丝直径为 0.02 cm。由于食管镍钛支架是由金属丝构成,对射线的剂量分布有影响的是金属丝,故模拟计算的百分深度剂量结果为射野中心轴上射线穿过支架上表面的一根金属丝和下表面的一根金属丝的剂量分布。

4. 模拟方法:目前加速器输出剂量最精确的模拟方法是蒙特卡罗方法(Monte Carlo)<sup>[11-12]</sup>,而模拟加速器治疗头最强大的软件工具之一是 EGS4,在此基础上由加拿大国家研究院(NRCC)与美国威斯康辛大学联合开发了 OMEGA/BEAMnrc(2005)软件<sup>[13-14]</sup>,通过编写加速器机头靶、电离室、准直器等部件的材料种类、尺寸及调整仿真参数,可以模拟加速器光子束和电子束。BEAMnrc 模拟从源到模体之间的粒子输运过程,获得记录粒子输运信息的相空间文件,模体内的剂量分布由 DOSXYZnrc 程序模拟<sup>[15-16]</sup>。

### 二、结果

1. 支架内充满水的计算结果:在水下 5.0 cm 处,即支架上表面处的剂量比不用支架增加 6.81%。水下 4.9、4.8、4.7 及 4.6 cm 处的剂量,用支架比不用支架分别增加 2.59%、2.24%、1.19% 及 1.08%。< 4.5 cm 处的剂量增加不明显。在水下 7.0 cm 处,即支架下表面处的剂量比不用支架减少 6.90%, > 7.1 cm 处的剂量无明显变化(图 1)。

2. 支架内充满空气的计算结果:即模拟实际食管空腔,在水下 5.0 cm 处,即支架上表面处的剂量,比不用支架增加 6.18%。水下 4.9、4.8 及 4.7 cm 处的剂量,用支架比不用支架分别增加 2.38%、1.22% 及 1.08%。在水下深度 >

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2011.05.030

基金项目:江苏省常州市社会发展项目(CS20102019)

作者单位:210016 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);南京医科大学附属常州第二人民医院(林涛、刘茜、孙苏平);西门子(中国)有限公司上海分公司(翁学军)

通信作者:孙苏平,Email:ssp56@163.com

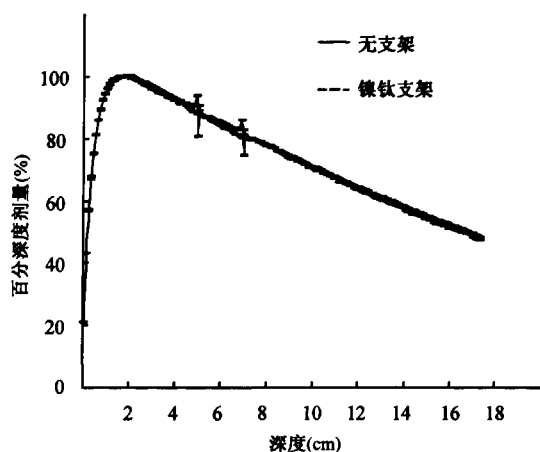


图 1 无支架及镍钛食管支架在支架内充满水时的百分深度剂量

7.0 cm 处(即支架的下表面)的剂量比不用支架的变化 < 1%; 在空腔内离水面 6.5 ~ 6.9 cm 处的剂量,用支架比不用支架增加 1.56% ~ 3.49%; < 6.5 cm 处,用支架与不用支架的剂量相比无明显变化(图 2)。

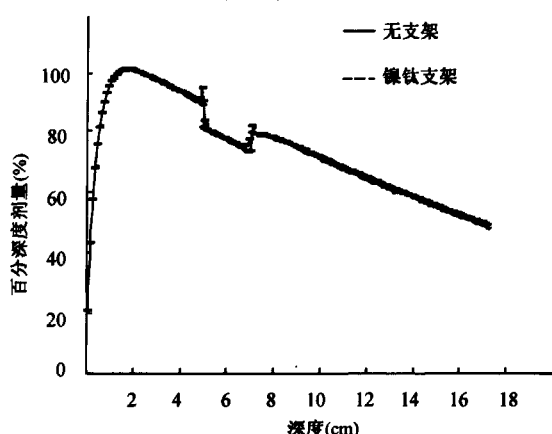


图 2 无支架及镍钛食管支架在支架内充满空气时的百分深度剂量

### 三、讨论

过去对镍钛食管支架对放射治疗剂量的影响多以实际测量为主。程惠华等<sup>[17]</sup>单野照射剂量为 2.0 Gy 时,实际测量支架前方吸收剂量较无支架时增加 2.54%, 后方减少 1.12%。吴迪等<sup>[7]</sup>发现单野照射量为 1.0 Gy 时,支架中央前表面的吸收剂量比同一部位无支架时的吸收剂量增加 9.02%, 支架后表面剂量无变化。邓小武等<sup>[6]</sup>报道单野单纯支架在前点造成的散射为 1.7%, 支架后点剂量由于是否有空腔、空腔大小不同会有所不同,空腔所造成的二次建成现象,使支架后方的剂量分布在单野照射的情况下改变最大,可达 7.6%。高黎等<sup>[8]</sup>通过体外实验认为金属支架对射线的衰减均不超过 1.2%, 对金属支架置入后患者的外照射或支架内近距离治疗的剂量不会造成有临床意义的影响。本研究结果与吴迪等<sup>[7]</sup>的测量结果相似。

有学者认为射线穿过较厚的金属植入物出射表面会出现较明显的二次建成效应<sup>[18]</sup>, 产生二次建成效应的原因是

原射线穿过金属植入物后产生了散射光子和次级电子,随着深度的增加,剂量逐步增大,一定距离后由于原射线的衰减、散射光子的强度随深度的增加而减少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。由于镍钛支架金属丝较薄,对射线阻挡作用较小,因此,二次建成效应不明显,且建成区距离短,特别是在食管充满空气时二次建成更不明显,因为在空气中剂量本身较低的缘故。

临床上由于镍钛支架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,剂量  $\pm 5\%$  的变化就会引起无并发症的肿瘤控制概率的显著改变<sup>[19]</sup>。因此,在实际放射治疗中一定要知道肿瘤和肿瘤附近组织实际接受射线剂量大小,采取相对应的措施减少正常组织受量、提高肿瘤组织剂量,如采用 2 野对穿照射或多野同中心照射来提高支架周围剂量的均匀度<sup>[20]</sup>。

蒙特卡罗方法是加速器输出剂量最精确的模拟方法,是开展放射治疗研究的一个强大工具,与实验方法相比具有快捷、准确、无伤害的优点。本方法对加速器建模过程中的实际测量结果与计算结果进行比较,其结果是符合临床要求的,对实际应用的食管镍钛支架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计算金属植入物剂量计算不准的问题<sup>[9]</sup>。EGS4 蒙特卡罗程序能准确模拟的前提条件是要有整套的加速器机头数据,包括几何尺寸、材料等,能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。

志谢 感谢德国西门子医疗器械有限公司提供了加速器机头参数,使模拟工作得以实现

### 参 考 文 献

- [1] 傅剑华,戎铁华,李小东,等. 晚期食管癌支架置入术后放疗和化疗的价值. 中华肿瘤杂志, 2004, 26(2): 109-111.
- [2] 孔令玲,张帆,秦年科. 食管癌内支架治疗的价值和并发症. 中华放射肿瘤学杂志, 2001, 10(4): 271-272.
- [3] 鍾燕,吴艳环,叶震世,等. 外放射对中晚期食管癌支架治疗的影响. 中华消化内镜杂志, 2001, 18(4): 216-218.
- [4] 庞晨光,孙剑锋,王铁林,等. 金属内支架治疗食管癌性狭窄临床应用. 中原医刊, 2004, 31(14): 7-8.
- [5] 孙兴旺,王秀英,崔进国,等. 自膨式金属内支架治疗食管良性恶性狭窄. 临床放射学杂志, 1999, 18(8): 488-490.
- [6] 邓小武,傅剑华,陈立新,等. 金属食管支架对放射治疗剂量分布的影响. 中华放射肿瘤学杂志, 2003, 12(3): 192-195.
- [7] 吴迪,许锡元,涂琦. 镍钛合金支架对放射治疗剂量的影响. 江苏大学学报(医学版), 2007, 17(1): 66-68.
- [8] 高黎,冯宁远,翟仁友,等. 金属内支架对放射治疗影响的体外研究. 中华放射学杂志, 2001, 35(1): 75-76.

(下转第 622 页)

家难以望其项背。第三,钱老将自己对杂志的挚爱融入点滴的日常行动中。为了提高《中华内科杂志》发表论文的英文摘要水平,钱老几十年如一日地帮助每一位作者修改即将发表论文的英文摘要,用细细的铅笔在非常狭窄的字里行间修改每一处错误。每当收到经钱老修改后的文稿,编辑们无不为此种敬业精神所感动。他的所作所为正如国家副主席董必武赞扬雷锋的诗句:只做平凡事,皆成巨丽珍。

在钱老的大声疾呼和亲力亲为下,《中华医学杂志英文版》的质量逐年提高,长期被科学引文索引(SCI)等国际知名检索工具收录,也获得了越来越多的读者和作者的认可。《中华医学杂志英文版》和《中华内科杂志》多次获得国家期刊奖、科技部“中国百种杰出学术期刊”等称号,获得国家自然科学基金、中国科协专项基金等经费资助,钱贻简教授功不可没。由于钱老对中华医学会系列杂志的杰出贡献,2008 年钱贻简教授荣膺中华医学会系列杂志“突出贡献总编奖”。

钱贻简教授严谨的治学态度、崇高的敬业精神和高尚的医德医风,热爱期刊、甘为人梯的总编风格,以及自己年逾耄耋的人生实践,无愧于医者典范、总编楷模的称号。

在今年的新春联谊会上,钱老最后一次抱病出席。看到他重病在身,与会者甚为担忧。为了缓解会场的凝重气氛,幽默风趣的钱老安慰大家说:廉颇老矣,但我眼明心亮,四肢灵活,对期刊还有余热可用,请各位赶快使用,过期不候。当时我们就与钱老约定,要为他共庆米寿。

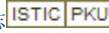
故人已去,风范犹在。尊敬的钱老,虽然你已独步青云,但我们的约定不会改变,待到您米寿之日,我们一定会共饮美酒,举杯同庆。

愿中华医学会系列杂志永远的总编辑钱贻简教授一路走好!

(上接第 605 页)

- [9] 刘明,李兴德,牛庆国,等. 体内金属植入物对放疗剂量分布的影响. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(5):459-462.
- [10] 胡逸民. 肿瘤放射物理学. 北京:原子能出版社, 1999:64-65.
- [11] Juste B, Miro R, Gallardo S, et al. Considerations of MCNP Monte Carlo code to be used as a radiotherapy treatment planning tool//Proceedings of the 2005 IEEE. Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. Shanghai; IEEE Engn Med & Biol Soc, 2005:2828-2831.
- [12] Verhaegen F, Seuntjens J. Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams. Phys Med Biol, 2003, 48(21): 107-164.
- [13] Sheikh-Bagheri D, Rogers DWO, Ross CK, et al. Comparison of measured and Monte Carlo calculated dose distributions from the NRC linac. Med Phys, 2000, 27(10):2256-2266.
- [14] Rogers DWO, Faddegon BA, Ding GX, et al. BEAM: A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units. Med Phys, 1995, 22(5):503-524.
- [15] Mesbahi A, Fix M, Allahverdi M, 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(3):469-477.
- [16] Deng J, Jiang SB, Kapur A, et al. Photon beam characterization and modelling for Monte Carlo treatment planning. Phys Med Biol, 2000, 45(2):411-427.
- [17] 程惠华,原锦,林贵山,等. 镍钛合金支架对食管癌放射治疗的影响. 中华放射肿瘤学杂志, 2001, 10(3):214.
- [18] Mesbahi A, Nejad FS. Dose attenuation effect of hip prostheses in a 9-MV photon beam: commercial treatment planning system versus Monte Carlo calculations. Radiat Med, 2007, 25(10): 529-535.
- [19] ICRU. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or  $\gamma$  rays in radiotherapy procedures. ICRU Report No. 24. Washington DC: ICRU, 1976.
- [20] Li XA, Chibani O, Greenwald B, et al. Radiotherapy dose perturbation of metallic esophageal stents. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 54(4):1276-1285.

(收稿日期:2010-02-16)

作者: 倪昕晔, 汤晓斌, 耿长冉, 林涛, 刘茜, 孙苏平, 翁学军, 陈达  
作者单位: 倪昕晔, 汤晓斌, 耿长冉(210016, 南京航空航天大学核科学与工程系), 林涛, 刘茜, 孙苏平(南京医科大学附属常州第二人民医院), 翁学军, 陈达(西门子(中国)有限公司上海分公司)  
刊名: 中华放射医学与防护杂志   
英文刊名: Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection  
年, 卷(期): 2011, 31(5)

## 参考文献(20条)

1. 鍾燕; 吴艳环; 叶震世 外放射对中晚期食管癌支架治疗的影响[期刊论文]-中华消化内镜杂志 2001(04)
2. 孙兴旺; 王秀英; 崔进国 自膨式金属内支架治疗食管良恶性狭窄 1999(08)
3. 庞晨光; 孙剑锋; 王铁林 金属内支架治疗食管癌性狭窄临床应用[期刊论文]-中原医刊 2004(14)
4. Juste B; Miro R; Gallardo S Considerations of MCNP Monte Carlo code to be used as a radiotherapy treatment planning tool 2005
5. 胡逸民 肿瘤放射物理学 1999
6. 傅剑华; 戎铁华; 李小东 晚期食管癌支架置入术后放疗和化疗的价值[期刊论文]-中华肿瘤杂志 2004(02)
7. 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(05)
8. 高黎; 冯宁远; 翟仁友 金属内支架对放射治疗影响的体外研究[期刊论文]-中华放射学杂志 2001(01)
9. 吴迪; 许锡元; 涂彧 镍钛合金支架对放射治疗剂量的影响[期刊论文]-江苏大学学报(医学版) 2007(01)
10. 邓小武; 傅剑华; 陈立新 金属食管支架对放射治疗剂量分布的影响[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志 2003(03)
11. Li XA; Chibani O; Greenwald B Radiotherapy dose perturbation of metallic esophageal stents[外文期刊] 2002(04)
12. 孔令玲; 张帆; 秦年科 食管癌内支架治疗的价值和并发症[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志 2001(04)
13. ICRU Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or  $\gamma$  rays in radiotherapy procedures. ICRU Report No. 24 1976
14. Mesbahi A; Nejad FS Dose attenuation effect of hip prostheses in a 9-MV photon beam: commercial treatment planning system versus Monte Carlo calculations[外文期刊] 2007(10)
15. 程惠华; 原锦; 林贵山 镍钛合金支架对食管癌放射治疗的影响[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志 2001(03)
16. Deng J; Jiang SB; Kapur A Photon beam characterization and modelling for Monte Carlo treatment planning[外文期刊] 2000(02)
17. Mesbahi A; Fix M; Allahverdi M Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam characteristics: a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements[外文期刊] 2005(03)
18. Rogers DW0; Faddegon BA; Ding GX BEAM: A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units 1995(05)
19. Sheikh-Bagheri D; Rogers DW0; Ross CK Comparison of measured and Monte Carlo calculated dose distributions from the NRC linac[外文期刊] 2000(10)
20. Verhaegen F; Seuntjens J Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams 2003(21)

## 本文读者也读过(10条)

1. 蔡伟荣, 赵镜, 蔡巍 自制术中放疗限光筒装置的物理学特点[期刊论文]-中国医学物理学杂志 2000, 17(3)
2. 王进, 杨春勇, 许翠珍, WANG Jin, YANG Chun-yong, XU Cui-zhen 11台近距离治疗机<sup>192</sup>Ir源外观活度质量控制检测[期刊论文]-中国辐射卫生 2007, 16(2)
3. 李智华 电子线斜入射对剂量分布影响的分析[期刊论文]-中华放射肿瘤学杂志 2004, 13(1)
4. 张森, 王(易), 余杰, 张帆 食管癌支架植入术后三维适形放疗疗效分析[期刊论文]-中国医药科学 2011, 01(17)
5. 张建文, 杨波, 罗惠群, 庞皓文 金属节育环对外照射剂量分布影响的体外研究[期刊论文]-中华放射医学与防护杂志 2009, 29(5)
6. 李立恒, 肖承江, 韦佩莹, 陈亚辉, LI Li-heng, XIAO Cheng-jiang, WEI Pei-ying, CHEN Ya-hui 胆道支架置入联合适形放疗治疗恶性胆道梗阻的疗效观察[期刊论文]-当代医学 2010, 16(17)

7. [余宁乐, 钟文平, 张兵](#) TLD在术中放疗剂量监测中的应用[期刊论文]-[中国辐射卫生](#)2003, 12(4)
8. [李鹏, 徐利明, LI Peng, XU Li-ming](#) ELEKTA iViewGT配合Auto Cal软件验证MLC精度[期刊论文]-[医疗装备](#)2008, 21(7)
9. [王国庆, 刘孜, 罗伟, 陈熹, 李明众, WANG Guo-qing, LIU Zi, LUO Wei, CHEN Xi, LI Ming-zhong](#) IORT在宫颈癌治疗中的应用体会[期刊论文]-[临床肿瘤学杂志](#)2007, 12(3)
10. [路懿, 严森祥, 陆中杰, 周进淇](#) 固定准直器技术在左侧乳腺调强计划中的应用[期刊论文]-[中华放射医学与防护杂志](#)2011, 31(3)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zhfsyxyfhzz98201105030.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zhfsyxyfhzz98201105030.aspx)