

医科达 APEX 外置微型多叶准直器射野相对输出因子的测量与蒙特卡罗计算

张富利, 王雅棣, 许卫东, 蒋华勇, 高军茂, 刘清智, 王 平, 陈建平, 赵一虹, 何合良
北京军区总医院放疗科, 北京 100700

【摘要】目的:应用三种探测器测量外置微型多叶准直器的射野相对输出因子(Relative Output Factor, ROF), 并与蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)方法的计算结果进行比较, 对结果予以分析评估。**方法:**在 6 MV、15 MV X 线条件下, 采用 cc01、cc13、SFD 三种探测器在 IBA 第二代蓝水箱中测量医科达 APEX 外置微型多叶准直器 0.49 cm×0.49 cm~11.3 cm×11.3 cm 照射野的 ROF 值; 采用商业化的蒙特卡罗 XVMC(X-Ray Voxel Monte Carlo, XVMC)源程序计算上述几何条件下的 ROF, 并与测量值进行比较。**结果:**对于 cc01 探测器, 0.49 cm×0.49 cm 照射野条件下, ROF 测量值与 MC 计算值相对偏差较大, 射线能量 6 MV 时为 21.11%, 射线能量 15 MV 时为 11.34%。对于 cc13 探测器, 照射野面积为 0.49 cm×0.49 cm、0.98 cm×0.98 cm 时, 测量值与 MC 计算值偏差很大, 射线能量 6 MV 时分别达到 53.17% 和 15.03%, 射线能量 15 MV 时分别达到 49.66% 和 15.85%。对于 SFD 探测器, 由于其内径仅为 0.6 mm, 各个射野面积条件下测量结果基本不受空腔尺寸的影响, 各个射野面积条件下其测量值与 MC 计算值吻合均较好。**结论:**测量外置微型多叶准直器小照射野 ROF 值时, 由于缺侧向电子平衡和边缘剂量梯度多大, 需要谨慎选择探测器。本研究证实, 不同的探测器对 ROF 值的准确性存在较大的影响。选择灵敏区体积小且极小的半导体探测器并注意测量的几何条件, 可以准确地测量小照射野的 ROF 值。

【关键词】微型多叶准直器; 相对输出因子; 剂量学; 蒙特卡罗方法

【中图分类号】R851

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2015)03-0306-04

Measurement and Monte Carlo calculations of relative output factors of APEX external micro multi-leaf collimator of Elekta

ZHANG Fu-li, WANG Ya-di, XU Wei-dong, JIANG Hua-yong, GAO Jun-mao, LIU Qing-zhi, WANG Ping, CHEN Jian-ping, ZHAO Yi-hong, HE He-liang

Department of Radiotherapy, The Military General Hospital of Beijing PLA, Beijing 100700, China

Abstract: Objective To compare the relative output factors (ROF) of external micro multi-leaf collimator measured by three kinds of detectors with those calculated by Monte Carlo (MC). **Methods** Three types of detectors (cc01, cc13, SFD) were applied to measure the ROF values under 6/15 MV X-rays in the 2nd blue water tank of IBA, and the beam sizes ranged from 0.49 cm×0.49 cm to 11.3 cm×11.3 cm. Commercially available X-ray Voxel Monte Carlo (XVMC) was used to calculate ROF values at the same beam size, compared with those measured values. **Results** When cc01 detector was applied, for the field size of 0.49 cm×0.49 cm, the relative errors between measured and calculated ROF values were fairly large, 21.11% for 6 MV X-ray and 11.34% for 15 MV X-ray. When cc13 detector was applied, for the field size of 0.49 cm×0.49 cm and 0.98 cm×0.98 cm, the relative errors were also very large, 53.17% and 15.03% for 6 MV X-ray respectively, while 49.66% and 15.85% for 15 MV X-ray respectively. When SFD detector was applied, the measurement results had good consistence with those calculated by MC simulation for any field size, and the measured results were not affected by the cavity size for its inner diameter was only 0.6 mm. **Conclusion** Due to the absence of lateral electron equilibrium and high dose gradients at the beam edge for the smaller fields, a suitable detector is very important for measuring ROF values of external micro multi-leaf collimator. Different detectors have significantly different influences on the measurement accuracy of ROF values. When the geometrical conditions are considered, silicon diode with tiny sensitive volume is the best choice for the measurement of ROF values in x-ray stereotactic radiotherapy.

Key words: micro multi-leaf collimator; relative output factor; dosimetry; Monte Carlo method

【收稿日期】2015-01-26

【基金项目】全军医学计量专项课题(2011-JL2-005)

【作者简介】张富利(1974-), 男, 山东青岛人, 2007 年于军事医学科学院放射与辐射医学研究所获博士学位, 主要从事肿瘤放射物理学和设备质控方面的工作, Tel: 13641255703, E-mail: radiozfl@163.com。

前言

APEX 外置微型多叶准直器是近年来推出的一种多元限束装置, 安装在直线加速器上, 可开展立体定向放疗 (Stereotactic Radiotherapy, SRT)。一般来说, SRT 的照射野较常规放射治疗的照射野要小得多, 射野边长一般为几个 mm 至几个 cm 之间。这样使用常规电离室做剂量测量有一定困难。原因主要有: (1) 电离室位于照射野中心轴, 测量中心轴深度剂量和输出因子时缺乏侧方向的电子平衡, 使得具有一定几何尺寸的探测器, 其中心到周边剂量有明显的跌落; (2) 测量照射野的离轴比时, 小照射野内有较大梯度的剂量变化^[1-3]。本文主要论述采用 3 种不同型号的探测器测试 APEX 外置微型多叶准直器射野相对输出因子 (ROF), 并将测试结果分别与采用蒙特卡罗方法计算获得的结果进行比较, 以进一步明确适合测量小照射野的探测器和方法。

1 材料与方法

1.1 APEX 外置多叶准直器

由 56 对超薄多叶准直器构成, 叶片在等中心处的宽度为 2.5 mm, 见图 1。可形成的最大照射野为 12 cm×14 cm。

1.2 射束扫描装置

应用 IBA 公司的第 2 代蓝水箱, 三维尺寸为: 48 cm×48 cm×41 cm, 分别选用 0.13 cm³ (cc13, IBA 公司)、0.01 cm³ (cc01, IBA 公司) 气体探测器和 10⁻⁵ cm³ (SFD, IBA 公司) 半导体探测器进行测试 (几何参数见表 1)。测试条件为源皮距 SSD=100 cm, 水下 10 cm 深度处, 照射野边长分别为 0.49 cm×0.49 cm、0.98 cm×0.98 cm、1.47 cm×1.47 cm、1.96 cm×1.96 cm、2.94 cm×2.94 cm、4.90 cm×4.90 cm、6.86 cm×6.86 cm、9.80 cm×9.80 cm、11.3 cm×11.3 cm。



图 1 APEX 外置微型多叶准直器外观示意图

Fig.1 Sketch of APEX external micro-MLC

表 1 测量所用探测器及其几何参数

Tab.1 Geometric parameters of measurement detectors

Detector	Cavity volume (cm ³)	Inner diameter (mm)	Cavity length (mm)	Outer length (mm)
cc01	0.01	2.0	2.6	3.0
cc13	0.13	6.0	5.8	6.8
SFD	10 ⁻⁵	0.6	0.04	4.0

1.3 蒙特卡罗方法计算

根据 APEX 各个部件的几何尺寸和特定剂量学参数应用商业化的 XVMC (X-Ray Voxel Monte Carlo, XVMC) 源程序进行建模和模拟计算, 建模时的体模尺寸为: 32.2 cm×32.2 cm×34.8 cm, 栅格尺寸为 2 mm, 求出各个射野条件下的 ROF 并归一到 9.80 cm×9.80 cm 射野的 ROF 值, 然后分别与上述应用 3 种探测器获得的测量结果进行比较。

2 结果

对于 6 MV、15 MV X 射线, 3 种探测器的 ROF 测量值和 MC 计算值及其相对偏差见表 2。

照射野面积大于或等于 1.96 cm×1.96 cm 时, 水下 10 cm 深度处照射面积约大于 2.16 cm×2.16 cm, 3 种探测器吸收剂量测量结果受空腔尺寸的影响较小, 与 MC 计算结果吻合较好。由表 2 可看出, 对于 cc13 探测器, 照射野面积小于 1.96 cm×1.96 cm 时, 其

表 2 三种型号探测器在 6 MV/15 MV 条件下测量的 ROF 值及与 MC 计算值的相对偏差(%)
Tab.2 Relative output factors of measurement and Monte Carlo simulation for 6 MV/15 MV x-ray and relative error(%)

Field size(cm)	Energy													
	6 MV							15 MV						
	MC	cc01	Relative error(%)	cc13	Relative error(%)	SFD	Relative error(%)	MC	cc01	Relative error(%)	cc13	Relative error(%)	SFD	Relative error(%)
0.49	0.521	0.411	21.11	0.244	53.17	0.530	-1.73	0.441	0.391	11.34	0.222	49.66	0.453	-2.72
0.98	0.712	0.691	2.95	0.605	15.03	0.692	2.81	0.650	0.635	2.31	0.547	15.85	0.642	1.23
1.47	0.781	0.766	1.92	0.750	3.97	0.758	2.94	0.763	0.743	2.62	0.707	7.34	0.743	2.62
1.96	0.814	0.806	0.98	0.806	0.98	0.795	2.33	0.825	0.809	1.94	0.792	4.00	0.806	2.30
2.94	0.862	0.854	0.93	0.860	0.23	0.842	2.32	0.901	0.884	1.89	0.879	2.44	0.877	2.66
4.90	0.925	0.917	0.86	0.923	0.22	0.907	1.95	0.961	0.943	1.87	0.949	1.25	0.940	2.19
6.86	0.962	0.956	0.62	0.957	0.52	0.952	1.04	0.983	0.969	1.42	0.975	0.81	0.969	1.42
9.80	1.000	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00
11.30	1.011	1.025	-1.38	1.010	0.10	1.025	-1.38	1.010	1.009	0.10	1.005	0.50	1.014	-0.40
	0.84	0.83	3.11	0.80	8.25	0.83	1.14	0.84	0.82	2.61	0.79	9.09	0.83	1.03
	0.16	0.19	6.86	0.24	17.53	0.16	1.78	0.19	0.20	3.40	0.26	16.01	0.19	1.79

Note: relative error=(MC value-measurement value)/MC value

内径的 2 倍数值为 1.2 cm, 大于 0.49 cm×0.49 cm 和 0.98 cm×0.98 cm 照射野的射野边长, 测量结果与计算结果偏差很大, 射线能量 6 MV 时分别达到 53.17% 和 15.03%, 射线能量 15 MV 时分别达到 49.66% 和 15.85%。对于 cc01 探测器, 其内径的 2 倍数值为 0.4 cm, 与 0.49 cm×0.49 cm 照射野的射野边长相差不大, 故其相对偏差也较大, 射线能量 6 MV 时为 21.11%, 射线能量 15 MV 时为 11.34%。对于 SFD 探测器, 由于其内径仅为 0.6 mm, 各个射野面积条件下测量结果基本不受空腔尺寸的影响, 各个射野面积条件下其测量结果与 MC 计算结果吻合均较好, 如图 2 所示。

3 讨论

ROF 是 SRT 系统必测的物理剂量学参数, 选择合适的探测器和有效的测量方法至关重要。由于照射时采用的照射野较小, 常规用的探测器往往体积相对较大, 因缺乏侧向电子平衡和射野边缘剂量梯度过大而不能用于较小照射野的测量, 否则将增加测量的不确定性。本研究中, 对于较大(≥1.96 cm×1.96 cm)的照射野, 所使用的 3 种探测器测量结果差别不大。但对于小照射野测量, 尤其是<1 cm×1 cm 的照射野, 由于电子平衡无法建立, 即使是 cc01 和 cc13 两种较小体积的气体探测器, 测量 ROF 也存在较大的差别。本研究表明, cc01、cc13 探测器对于 6 MV 光子线侧向电子平衡能够建立的最小照射野分

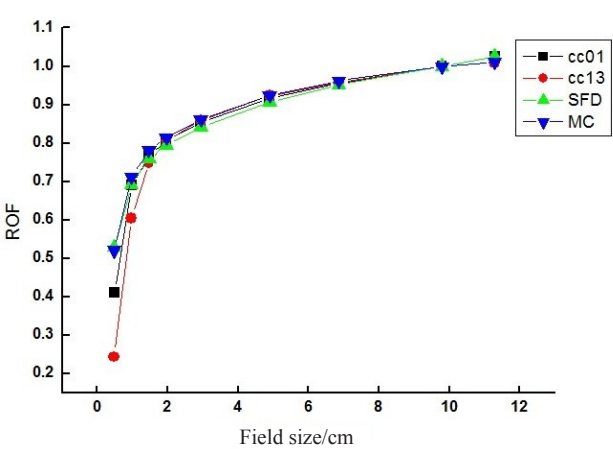


图 2 不同探测器测量结果和 MC 模拟计算结果示意图
Fig.2 ROF of measurement and Monte Carlo simulation

别约为 1 cm 和 2 cm, 与 Bjarngard^[4]、Li^[5]等采用蒙特卡罗计算方法的研究结果一致。而 SFD 半导体探测器, 由于空腔尺寸小(仅为 10⁻⁵ cm³)及其特有的物理特性, 辐射测量的灵敏度远高于 cc01 和 cc13 及其他探测器。我们的实践证实, 选择灵敏体积直径约 1 mm 的半导体探测器, 并注意测量的几何条件, 可以获得准确有效的 SRT 系统的 ROF 数值。

总之, 测量小照野的物理数据需要谨慎处理, 包括摆位和探测器的选择^[6-10]。在探测器选择上, 除了要考 虑如方向性、稳定性、能量响应等特性外, 还要考虑测量探测器形状和体积都能与其匹配。小照射野的物理数据的测量还需要大量的工作。我们将在本研究的基础上, 继续采用合适探测器和蒙特卡罗

方法对小照野物理数据的测量和计算进行进一步的研究,期望能对SRT治疗提供更准确的剂量学参考数据。

【参考文献】

- [1] 张红志, 胡逸民, 张春利, 等. X线立体定向治疗系统的剂量测量—小野剂量分布测量方法[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 1996, 5: 102-106.
Zhang HZ, Hu YM, Zhang CL, et al. Dosimetric measurements for small beams in X-ray stereotatic irradiation[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 1996, 5: 102-106.
- [2] 陈利, 陈立新, 孙洪强, 等. 直线加速器小照野物理数据的测量和比较[J]. 癌症, 2009, 28: 328-332.
Chen L, Chen LX, Sun HQ, et al. Measurements and comparisons for data of small beams of linear accelerators [J]. Chinese Journal of Cancer, 2009, 28: 328-332.
- [3] 蔡汉飞, 裴元吉, 沈学明, 等. 高能光子相对输出因子的测量与分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2009, 26: 1273-1290.
Cai HF, Pei YJ, Shen XM, et al. Measurement and analysis of relative output factor for high energy photons[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2009, 26: 1273-1290.
- [4] Bjarngard BE, Tsai JS, Rice RK. Doses on the central axes of narrow 6 MV X-ray beams[J]. Med Phys, 1990, 17: 794-799.
- [5] Li XA, Soubra M, Szanto J, et al. Lateral electron equilibrium and electron contamination in measurements of head- scatter factors using mini-phantoms and brass caps[J]. Med Phys, 1995, 22: 1167-1170.
- [6] Rice RK, Hansen JL, Svensson GK, et al. Measurements of dose distributions in small beams of 6 MV X-rays[J]. Phys Med Biol, 1987, 32: 1087-1099.
- [7] Francescon P, Cora S, Cavedon C, et al. Use of a new type of radiochromic film, a new parallel-plate micro-chamber, MOSFETs, and TLD 800 microcubes in the dosimetry of small beams[J]. Med Phys, 1998, 25: 503-511.
- [8] Cheng CW, Cho SH, Taylor M, et al. Determination of zero-field size percent depth doses and tissue maximum ratios for stereotactic radiosurgery and IMRT dosimetry: comparison between experimental measurements and Monte Carlo simulation[J]. Med Phys, 2007, 34: 3149-3157.
- [9] Sibata CH, Mota CH, Beddar AS, et al. Influence of detector size in photon beam profile measurements[J]. Phys Med Biol, 1991, 36: 621-631.
- [10] Serago CF, Houdek PV, Hartmann GH, et al. Tissue maximum ratios (and other parameters) of small circular 4, 6, 10, 15 and 24 MV X-ray beams for radiosurgery[J]. Phys Med Biol, 1992, 37: 1943-1956.

参考文献序号的标注方法

参考文献序号在正文引文处标注的位置比较复杂,可简单分为如下几种情形(本刊要求):

①文献[1]指出……; 本研究方法参见文献[2]。——这是最简单的情况,即“[1]”“[2]”作为语句的组成部分(能读出来),只有紧跟着“文献”2字并不排成上标。

②王xx^[3]报道……; Brown等^[4]认为……。——“[3]”“[4]”放在所引作者姓名后,且用上标。

③心肺复苏术一直是医学界关注的重要课题^[5]。——如果未提及作者,参考文献序号则标在句末(句号前),且用上标。