

· 调强放疗多叶光栅小野输出因子测量方法专题 ·

河南省医用加速器多叶光栅小野输出因子
验证测量方法研究

程晓军 胡传朋 贾陈志 罗素明 吴昊

【摘要】 目的 调查放射治疗计划系统(TPS)计算的多叶光栅(MLC)小野输出因子,研究用 0.015 cc 电离室验证小野输出因子的测量方法。方法 在河南省选择 8 台可开展调强放射治疗的医用加速器,调查 TPS 计算的小野输出因子并与国际原子能机构(IAEA)推荐的出版值进行比较。如果 2 cm×2 cm 照射野相对偏差超出 IAEA 要求的 ±3%,3 cm×3 cm、4 cm×4 cm、6 cm×6 cm 照射野相对偏差超出 IAEA 要求的 ±2%,则用 0.015 cc 电离室和 Unidos 剂量仪进行测量验证。结果 8 台医用加速器的 TPS 计算小野输出因子与出版值比较,5 台相对偏差符合 IAEA 要求,占调查总台数的 62.5%,3 台相对偏差超过 IAEA 要求,占调查总台数的 37.5%。用针尖电离室测量验证,3 台测量结果均符合 IAEA 要求。结论 河南省部分医用加速器 TPS 计算的 MLC 小野输出因子,需要现场实施小电离室测量修正,测量值作为制定放射治疗计划的依据。

【关键词】 调强放射治疗; 小野输出因子; 多叶光栅; 治疗计划系统

Methods of verification and measurement of MLC-defined small field output factors for eight medical accelerators in Henan province Cheng Xiaojun*, Hu Chuanpeng, Jia Chenzhi, Luo Suming, Wu Hao. *Henan Institute of Occupational Medicine, Zhengzhou 450052, China

Corresponding author: Luo Suming, Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, China CDC, National Institute for Radiological Protection, Chinese Centre for Disease Control and Prevention, Beijing 100088, China, Email: sumingluo@163.com

【Abstract】 **Objective** To investigate multi-leaf collimator (MLC)-defined small field output factors calculated by the treatment planning system (TPS), and to study the measuring method of small field output factors verified by 0.015 cc PinPoint ionization chamber. **Methods** Eight medical accelerators for intensity-modulated radiation therapy (IMRT) were investigated in Henan province, and TPS-calculated output factors for various small fields (6 cm×6 cm, 4 cm×4 cm, 3 cm×3 cm and 2 cm×2 cm) were compared with published values recommended by IAEA. If the relative deviation was more than ±3% for the 2 cm×2 cm field size and ±2% for the fields of 6 cm×6 cm, 4 cm×4 cm and 3 cm×3 cm, which was beyond the scope of IAEA allowed, the output factors will be measured and verified using 0.015 cc PinPoint ionization chamber and Unidos electrometer. **Results** TPS-calculated small field output factors for eight medical accelerators were compared with published values. The relative deviation of small field output factors for five pieces of equipment, which accounted for 62.5% of the total, met the IAEA's requirement, while the other three, which accounted for 37.5% of the total, did not. After measuring with PinPoint ionization chamber, the results from only three pieces of equipment met minimum IAEA's requirement. **Conclusions** MLC-defined small field output factors calculated by TPS for some medical accelerators in Henan need to be measured and corrected using micro-ionization chamber, and the measured values could be taken as the basis of radiation treatment planning.

【Key words】 IMRT; Small field output factors; Multi-leaf collimator (MLC); Treatment planning system (TPS)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.10.015

基金项目: IAEA 基金资助项目(17821/CRP)

作者单位: 450052 郑州,河南省职业病防治研究院(程晓军、胡传朋、贾陈志);中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室(罗素明);北京肿瘤医院(吴昊)

通信作者: 罗素明,Email: sumingluo@163.com

调强放射治疗(IMRT)是目前国内外最先进的肿瘤治疗技术,其多叶光栅(MLC)输出因子需预先输入治疗计划系统(TPS),是制定放射治疗计划的重要剂量学参数,反映了放疗剂量随 MLC 叶片形成的照射野大小变化的特性。不同加速器厂家因设备类型不同,MLC 输出因子各不相同。2012 年,美

国放射物理中心(Radiological Physics Center, RPC)测量了瓦里安、医科达和西门子不同能量加速器的MLC小野输出因子,并在美国临床医学物理杂志上发表^[1]。2013年,国际原子能机构(IAEA)将该出版值(published data)推荐为参考值。目前,对调强放射治疗小野输出因子测量,小野吸收剂量二维和三维分布测量等前沿学科研究,是国际放射防护委员会(ICRP)和世界各国学术界关注的焦点。2013年,IAEA联合世界范围内18个发达和发展中国家共同协作研究该课题,并在中国选择河南、江苏、四川、湖北4个省份进行方法学验证研究。河南省选择了6家医院中的8台6 MV加速器进行MLC小野输出因子的调查,并用0.015 cc针尖电离室对其进行验证测量,现将验证测量结果报道如下。

材料与方 法

1. 材料:为方便与RPC出版值比较,采用非概率抽样方法,抽取8台6 MV进口加速器,包括美国瓦里安5台、瑞典医科达2台和德国西门子1台,均可使用MLC开展调强放射治疗。8台加速器型号、MLC型号、使用的TPS型号和计算方法等基本特性列于表1。UNIDOSE T10002型剂量仪、TW31014型0.015 cc针尖电离室(德国PTW公司),30 cm × 30 cm有机玻璃水模体(河北固安县双玉仪器设备有限公司)。剂量仪和电离室均在国家二级标准剂量学实验室(SSDL)刻度和校准,校正因子在有效期内。

2. 方法

(1)TPS计算MLC小野输出因子:用TPS模拟出30 cm × 30 cm × 30 cm的水模体,6 MV X射线束,SSD 100 cm,水下10 cm的中心点计划剂量为10 Gy。用MLC叶片形成参考野10 cm × 10 cm和不同小野6 cm × 6 cm、4 cm × 4 cm、3 cm × 3 cm和2 cm × 2 cm,TPS给出不同照射野所需照射MU数,

计算出MLC小野输出因子(归一到10 cm × 10 cm照射野),并与RPC出版值作比较。对医科达、西门子加速器,次级准直器跟随MLC变化;而瓦里安加速器的次级准直器(铅门)始终保持10 cm × 10 cm不变,MLC叶片形成小野。RPC的MLC小野输出因子出版值见表2^[1]。由表2可见,不同厂家6 MV加速器相同照射野的MLC小野输出因子比较接近但略有不同。

MLC小野输出因子计算公式:

$$F = R/R_0 \tag{1}$$

式中, R为TPS计划中小野剂量率, Gy/MU; R₀为TPS计划中参考野(10 cm × 10 cm)剂量率, Gy/MU。

(2)0.015 cc电离室测量MLC小野输出因子:将30 cm × 30 cm × 30 cm有机玻璃模体装满水摆放在治疗床上,0.015 cc针尖电离室放入水下10 cm深度,分别对10 cm × 10 cm、6 cm × 6 cm、4 cm × 4 cm、3 cm × 3 cm、2 cm × 2 cm照射野测量,照射250 MU,每个野测量3次求平均值。所有小野输出因子读数归一到10 cm × 10 cm照射野,测量的小野输出因子与RPC出版值^[1]作比较。对于瓦里安加速器,测量2 cm × 2 cm照射野时,为了减少电离室杆效应影响,机架角度转动90°,电离室放置方向见图1A。对于医科达、西门子加速器,测量2 cm × 2 cm照射野时,电离室放置方向见图1B。

0.015 cc电离室测量MLC小野输出因子计算公式:

$$F = D/D_0 \tag{2}$$

式中, D为测量野剂量读数, Gy; D₀为参考野(10 cm × 10 cm)剂量读数, Gy。

计算相对偏差公式:

$$Dev(\%) = \frac{F_{Institution} - F_{RPC}}{F_{RPC}} \times 100\% \tag{3}$$

表1 8台加速器及其TPS特性

序号	加速器型号	序列号	生产年份	MLC型号	TPS型号	TPS算法	计算网格(mm)
1	Varian True Beam	1403	2012	Millennium 120 leaf	Eclipse	自适应卷积	2.5
2	Varian True Beam	1352	2012	Millennium 120 leaf	Eclipse	AAA	2.5
3	Varian Clinac 6EX	1138	2008	Millennium 80 leaf	Eclipse	AAA	2.5
4	Varian 23EX	5616	2012	Millennium 120 leaf	Pinnacle	自适应卷积	2.0
5	Varian 23CX	4837	2010	Millennium 80 leaf	Pinnacle	自适应卷积	4.0
6	Elekta Synergy	2588	2008	MLCi2	Oncentra	CC卷积迭加算法	3.0
7	Elekta Precise	152150	2011	Beam Modulator	Precise	CC卷积迭加算法	4.0
8	Siemens Primus	M5411	2008	MLC 82 leaf	CMS XIO	FFT	4.0

注:TPS.放射治疗计划系统;MLC.多叶光栅;AAA.非各向同性解析(Varian卷积迭加算法);FFT.快速傅立叶变换

式中, $F_{\text{Institution}}$ 为输出因子实测值; F_{RPC} 为输出因子 RPC 出版值。

表 2 MLC 小野输出因子 RPC 出版值^[1]

照射野 (cm × cm)	瓦里安 6 MV	医科达 6 MV	西门子 6 MV
10 × 10	1.000	1.000	1.000
6 × 6	0.938	0.930	0.914
4 × 4	0.886	0.878	0.855
3 × 3	0.851	0.842	0.820
2 × 2	0.804	0.790	0.764

注:MLC. 多叶光栅;RPC. 美国放射物理中心

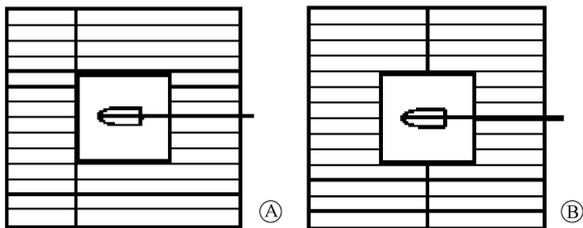


图 1 0.015 cc 电离室放置方向 A. 瓦里安;B. 医科达和西门子

(3) 剂量仪电离电荷饱和校正测量:为研究由于加速器脉冲不稳定而导致电离室读数饱和对小野输出因子产生的影响,选取西门子 ONCOR Impression 6 MV 加速器,剂量率 300 cGy/min,测量电离电荷饱和校正。测量条件:SSD = 100 cm,照射野 10 cm × 10 cm,电离室位于水下 10 cm,射线束中心对准电离室中心,照射 250 MU。

剂量仪电离电荷饱和校正因子 (N_s) 公式:

$$N_s = 4/3 - (1/3 \times Q_1/Q_2) \quad (4)$$

式中, Q_1 与 Q_2 分别为剂量仪高压(400 V)与半压时(200 V)测量的读数, Gy。

(4) 结果评价标准:按照 IAEA 要求,对于 6 cm × 6 cm、4 cm × 4 cm、3 cm × 3 cm, TPS 计算输出因子与 RPC 出版值的相对偏差不超过 ± 2%;对于 2 cm × 2 cm, TPS 计算输出因子与 RPC 出版值的相对偏差不超过 ± 3%^[1]。

结 果

1. 8 台加速器的 TPS 计算 MLC 小野输出因子:结果见表 3。由表 3 可见,8 台加速器中,不同厂家 6 MV 加速器,不同 TPS 计算相同照射野的 MLC 小野输出因子,对于 2 cm × 2 cm 和 3 cm × 3 cm ~ 6 cm × 6 cm 照射野,与 RPC 出版值相比,有的厂家计算的输出因子相对偏差超过 ± 3% 和 ± 2%,不符合 IAEA 的要求。

表 3 8 台加速器 TPS 计算 MLC 小野输出因子与出版值比较

序号 ^a	照射野 (cm × cm)	出版值	TPS 计算值	相对偏差 (%)
1	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.936	-0.2
	4 × 4	0.886	0.878	-0.9
	3 × 3	0.851	0.835	-1.9
	2 × 2	0.804	0.781	-2.9
2	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.942	0.4
	4 × 4	0.886	0.898	1.4
	3 × 3	0.851	0.869	2.2
	2 × 2	0.804	0.830	3.2
3	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.946	0.8
	4 × 4	0.886	0.899	1.4
	3 × 3	0.851	0.870	2.2
4	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.951	1.4
	4 × 4	0.886	0.906	2.3
	3 × 3	0.851	0.873	2.6
5	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.948	1.1
	4 × 4	0.886	0.904	2.0
	3 × 3	0.851	0.864	1.5
6	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.930	0.926	-0.4
	4 × 4	0.878	0.880	0.2
	3 × 3	0.842	0.852	1.1
7	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.930	0.920	-1.0
	4 × 4	0.878	0.871	-0.8
	3 × 3	0.842	0.839	-0.4
8	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.914	0.918	0.4
	4 × 4	0.855	0.864	1.0
	3 × 3	0.820	0.832	1.5
	2 × 2	0.764	0.778	1.9

注:^a加速器序号与表 1 中序号相对应。TPS. 放射治疗计划系统;MLC. 多叶光栅

2. 0.015 cc 电离室测量 MLC 小野输出因子:结果列于表 4。由表 4 可知,经针尖电离室测量验证,与 RPC 出版值相比,3 台加速器所有小野的输出因子均符合 IAEA 要求。

3. 剂量仪电离电荷饱和校正结果:Unidos 剂量

仪连接 31014 型 0.015 cc 针尖电离室, 电离电荷饱和和校正结果见表 5。表 5 结果显示, 剂量仪电离电荷饱和和校正因子为 0.999, 对小野输出因子影响很小, 因此, 小野输出因子读数不做校正。

表 4 0.015 cc 电离室测量 MLC 小野输出因子结果与出版值比较

序号 ^a	照射野 (cm × cm)	出版值	测量值	相对偏差 (%)
2	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.945	0.8
	4 × 4	0.886	0.898	1.4
	3 × 3	0.851	0.864	1.5
	2 × 2	0.804	0.820	2.0
3	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.943	0.5
	4 × 4	0.886	0.897	1.3
	3 × 3	0.851	0.861	1.2
	2 × 2	0.804	0.822	2.2
4	10 × 10	1.000	1.000	0.0
	6 × 6	0.938	0.945	0.7
	4 × 4	0.886	0.896	1.1
	3 × 3	0.851	0.863	1.4
	2 × 2	0.804	0.818	1.8

注: ^a 加速器序号与表 1 中序号相对应。MLC. 多叶光栅

表 5 剂量仪电离电荷饱和和校正结果

测量序号	Q_1 (Gy)		Q_2 (Gy)		N_s
	读数	均值	读数	均值	
1	1.650		1.646		
2	1.651	1.650 7	1.647	1.647 0	0.999
3	1.651		1.648		

讨 论

MLC 小野输出因子是制定调强放疗计划必不可少的剂量学参数, 其影响因素很多且需要精确测量^[2-4]。2012 年, RPC 的研究表明, 测量相同厂家、相同能量的加速器, 小野输出因子标准差为 0.1% ~ 1.5%, 而医疗机构 TPS 计算值的标准差则大很多, 最高可达 7.9% (修正后)^[1]。医疗机构加速器 TPS 计算小野输出因子与 IAEA 推荐的 RPC 出版值进行比较, 根据差异大小, 可用小电离室测量, 并修正 TPS 的小野输出因子剂量学参数。电离室方法是 IAEA 推荐的测量调强放射治疗剂量的首选方法, 在 IAEA-TECDOC-1585 号技术文件给出的例子中, 电离室方法测量 ⁶⁰Co γ 射线束水吸收剂量的扩展不确定度仅为 1.0% ($k=2$)^[5]。

本次调查结果显示, 河南省 8 台加速器中有 3 台 TPS 小野输出因子偏差超出 IAEA 要求, 这将影响计划剂量的准确性, 因此, 需对 TPS 中小野输出

因子定期进行核查和验证, 如果偏差超过 IAEA 的要求, 则应用小电离室 (如本次调查用的 PTW 31014 针尖电离室) 现场测量^[6], 并将修正后的小野输出因子输入 TPS, 以提高 TPS 的剂量计算精度^[7-8]。

调查中还发现, 用于同一台加速器, 不同的 TPS 软件计算小野输出因子也不完全相同, 与 RPC 出版值相比, 甚至得出截然不同的结果。所以, 选择合适的 TPS 计算方法对于计划剂量的准确性也是十分必要的^[9]。

本次调查仅涉及瓦里安、医科达、西门子等 3 个进口加速器厂商的 8 台设备, 河南省现有各种类型加速器 140 余台^[10], 其中近 1/3 的加速器有内置 MLC, 可开展 IMRT。今后应对其 TPS 计算小野输出因子进行验证, 以提高全省肿瘤的放射治疗质量。

参 考 文 献

- [1] Followill DS, Kry SF, Qin L, et al. The Radiological Physics Center's standard dataset for small field size output factors[J]. J Appl Clin Med Phys, 2012, 13(5):282-289.
- [2] Charles PH, Cranmer-Sargison G, Thwaites DI, et al. A practical and theoretical definition of very small field size for radiotherapy output factor measurements [J]. Med Phys, 2014, 41(4):041707.
- [3] Benmakhlof H, Sempau J, Andreo P. Output correction factors for nine small field detectors in 6 MV radiation therapy photon beams: a PENELOPE Monte Carlo study[J]. Med Phys, 2014, 41(4):041711.
- [4] Azimi R, Alaei P, Higgins P. The effect of small field output factor measurements on IMRT dosimetry[J]. Med Phys, 2012, 39(8):4691-4694.
- [5] International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1585. Measurement uncertainty: A practical guide for secondary standards dosimetry laboratories [R]. Vienna:IAEA, 2008.
- [6] Agostinelli S, Garelli S, Piergentili M, et al. Response to high-energy photons of PTW31014 PinPoint ion chamber with a central aluminum electrode[J]. Med Phys, 2008, 35(7):3293-3301.
- [7] 陶建民, 胡杰, 张莹, 等. 直线加速器电子束输出因子的影响因素和修正方法[J]. 上海医学, 2008, 31(6):434-437.
- [8] 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(4):1273-1276, 1290.
- [9] Kron T, Clivio A, Vanetti E, et al. Small field segments surrounded by large areas only shielded by a multileaf collimator: Comparison of experiments and dose calculation[J]. Med Phys, 2012, 39(12):7480-7489.
- [10] 程晓军, 胡传朋, 戴富友, 等. 河南省部分放射治疗设备调查与质量控制检测结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(1):44-46.

(收稿日期: 2014-12-09)