

超声影像学

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.000319

Detector729在放射治疗剂量学中的应用研究

翟贺争¹, 刘 辉², 丁艳秋², 李卫星³, 李明生², 陈 雪¹, 王小春¹

(1. 中国医学科学院放射医学研究所辐射防护中心, 天津市放射医学与分子核医学重点实验室, 天津 300192;

2. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所二级标准剂量学实验室, 北京 100088;

3. 山西省太原市疾病预防控制中心射线防护科, 太原 030012)

【摘要】目的:探讨二维电离室矩阵探测器 Detector729 剂量测量的准确性及其在放射治疗质量控制中的应用。**方法:**采用 0.6 cm³ 的参考电离室在 X 射线对 Detector729 进行剂量刻度, 然后两者进行剂量和输出因子测量比对, 最后应用 Detector729 对调强放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)治疗计划进行实际机架角剂量验证。**结果:**参考电离室对 Detector729 电离室的刻度因子是 0.991, 两者测量结果比对相对测量偏差 ≤ 0.57%, 在 4 cm × 4 cm~20 cm × 20 cm 不同方形野下输出因子测量结果基本一致, 应用 Detector729 对 IMRT 剂量验证的 γ 通过率均 >90%。**结论:**应用 Detector729 进行放疗剂量测量和质量控制工作, 结果具有较高的准确度和可信度, 可为规范我国放疗剂量测量工具的使用提供理论依据。

【关键词】Detector729; 剂量验证; 剂量比对; 输出因子**【中图分类号】**R144**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2014-03-12

Application of Detector729 in radiotherapy dosimetry

Zhai Hezheng¹, Liu Hui², Ding Yanqiu², Li Weixing³, Li Mingsheng², Chen Xue¹, Wang Xiaochun¹

(1. Radiation Protection Center, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Tianjin

Key Laboratory of Radiation Medicine and Molecular Nuclear Medicine; 2. Secondary Standard Dosimetry

Laboratory, National Institute for Radiological Protection, China CDC; 3. Department of Radiation Protection,

Taiyuan Center for Disease Control and Prevention, Shanxi Province)

【Abstract】Objective: To study accuracy of 2-D matrix Detector729 in dosimetric measurement and its application in radiotherapy quality control. **Methods:** Tests and output factor measurement were performed to evaluate and compare the accuracy of Detector729 taking 0.6 cm³ ion chamber under the X-ray as reference. Detector729 was used as a tool to verify dosimetric distribution for intensity modulated radiation therapy(IMRT). **Results:** The scale factor of Detector729 from the reference ionization chamber was 0.991, and the comparison results showed the maximum deviation of measuring point dose was 0.57%. Meanwhile, under the square fields of 4 cm × 4 cm~20 cm × 20 cm, the estimated output factor matched very well with the reference ion chamber measurements. **Conclusion:** With high accuracy and reliability, Detector729 can be used in dosimetric measurement and quality control of radiotherapy and provide theoretical basis for the standard use of radiation dosimetric measurement instruments.

【Key words】Detector729; dosimetric verification; dosimetric comparison; output factor

随着放疗技术的飞速发展,应用于放疗剂量学

作者介绍: 翟贺争, Email: hongluobozhai@126.com,

研究方向: 辐射防护与剂量学。

通信作者: 王小春, Email: wx3188@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目(编号: 81272511); 协和青年教师基金资助项目(编号: 2012Y03 中央高校基本科研业务费); 中国医学科学院放射医学研究所基金资助项目(编号: 所开 1427)。

优先出版: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13406/j.cnki.cyx.000319.html>

的设备也更新换代。近些年发展起来的二维电离室矩阵探测器和半导体矩阵探测器作为先进的放疗相对剂量测量工具, 能够进行点剂量和平面剂量测量, 并且具有携带方便、使用高效等优点, 未来在我国放疗机构中应用将越来越广^[1-2]。有研究表明, 二维矩阵探测器具有良好的剂量学特性, 并且具有可能取代胶片的优势, 而且一次性剂量测量可以得到辐射野的对称性、均整度等数据信息, 是放疗剂量

学的实用工具^[3-5]。国家质监总局等相关机构对放疗剂量仪等剂量测量工具制订了检定规程^[6],但未对二维矩阵探测器做出强制性校准要求。本文初步探讨二维电离室矩阵探测器 Detector729 在放疗剂量测量的准确性,并应用其进行放疗质量控制剂量验证工作,从而为完善我国放疗剂量测量工具规范的制定,提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

Detector729 及八角模体(图 1):二维电离室矩阵探测器 Detector729,由矩阵面板、数据处理器、八角模体及数据分析系统组成。矩阵面板有 729 个灵敏体积为 0.125 cm^3 的立方柱型电离室,相邻电离室中心间距为 10 mm ,面板有效测量面积为 $27.0\text{ cm} \times 27.0\text{ cm}$ 。电离室有效测量中心距矩阵面板表面 0.75 cm ,数据采集、分析系统包括 VeriSoft、Multicheck 等模块,其具有点剂量和二维剂量分布实时在线测量的能力,并且面板内部电离室的测量值即为吸收剂量值,其最大优势在于放疗剂量测量效率较高。

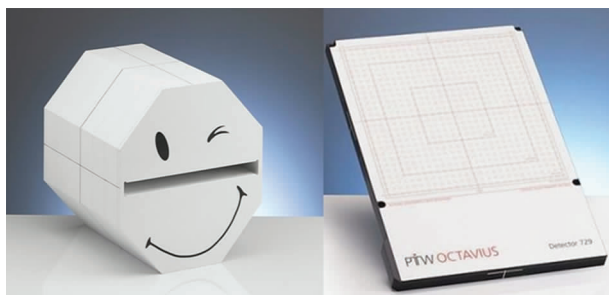


图 1 Detector729 及八角模体

Fig.1 Detector729 and octavius phantom

选用经中国疾控中心辐射安全所刻度过的 PTW 放疗剂量仪及 TW30013 0.6 cm^3 电离室作为参考电离室,模拟定位机为 GE 公司的 Discovery 螺旋 CT(扫描层厚 2.5 mm),检测模体为 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 的薄板组成的 RW3 固体水和 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 32\text{ cm}$ 的标准水模等。

采用 Varian 23EX 医用电子直线加速器(6 mV 档位的 X 射线,剂量率为 300 MU/min ,机头内置 60 对多叶准直器)及 Philips Pinnacle 8.0m 三维治疗计划系统,2 例经病理证实的体部和头颈部肿瘤调强放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)治疗患者作为研究对象。

1.2 实验方法

1.2.1 加速器的出束校准 对 Varian 23EX 剂量出束校准,确保输出剂量准确、可靠。在源皮距 100 cm ,射野 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的条件下,将 0.6 cm^3 电离室放置标准水模电离室插孔内,使

电离室的有效测量中心位于参考测量深度处,根据 23EX 的 6 MV X 射线对应百分深度剂量(percentage depth dose, PDD)曲线,将加速器在最大剂量点处校准为 $100\text{ MU}=100\text{ cGy}$ 。

1.2.2 Detector729 的剂量测量校准 将 Detector729 放在 5.0 cm 固体水上,使其中心电离室有效测量中心点放置在固体水下 5.0 cm 射野中心轴上,源皮距 100 cm 、射野 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、出束 200 MU 的条件下,经过温度、气压修正后测量 5 次,得到测量值的平均值为 871.85 mGy ;将 0.6 cm^3 参考电离室有效测量点放置在固体水下 5.0 cm 处,同样条件下测量 5 次,得到吸收剂量的平均值为 86.4 cGy 。根据两者的测量值计算出参考电离室对矩阵中心电离室的校准因子为 0.991 ,将此系数输入到 Detector729 的测量软件中,则以后矩阵的测量值即为校准过的吸收剂量。

1.2.3 Detector729 与参考电离室的剂量测量比对 采用 6 MV X 射线、源皮距 100 cm 、射野 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、剂量率为 300 MU/min 和加速器出束 100 MU 的条件,选取距中心电离室 3 cm 处(治疗床 AB 方向左右分别为 A、B 点,GT 方向分别为 G、T 点)4 个电离室和 O 点的中心电离室分别放置在 1.5 、 5.0 cm 和 10.0 cm 的固体水下剂量测量,与在同样的条件下 0.6 cm^3 参考电离室的剂量测量值进行比对。

1.2.4 照射野输出因子测量 射野输出因子为水模体中该野与参考野(通常是 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$)在 PDD 归一深度处射束中心轴线上的剂量率之比。采用 6 MV X 射线、源皮距 100 cm 、剂量率 300 MU/min 和出束 100 MU 的条件,将 Detector729 中心电离室和参考电离室的有效测量中心分别放置在固体水下 5.0 cm 处,射野从 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 、 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 、 $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、 $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ 、 $14\text{ cm} \times 14\text{ cm}$ 、 $16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ 及 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 逐一进行测量。

1.2.5 Detector729 在放疗中的剂量验证 应用 Detector729 及配套八角模体进行实际机架角放疗验证,分析 Detector729 在放射治疗剂量验证中的可行性。选取 2 例实验对象的治疗计划(图 2)。

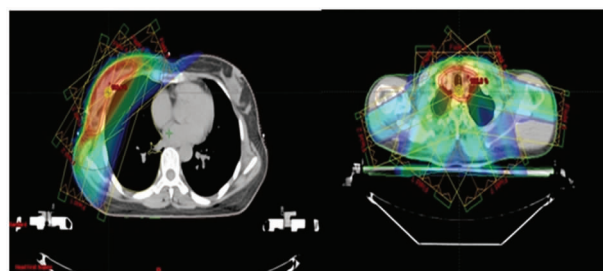


图 2 患者治疗计划图(体部和颈部)

Fig.2 Patients' treatment planning (body and neck)

将 Detector729 及其配套八角模体在 CT 下扫描,将 2 例患者的 IMRT 计划移植到二维矩阵扫描图上,做出验证计划(图 3),采用逆向算法计算出 Detector729 有效测量点所在面的平面剂量分布。

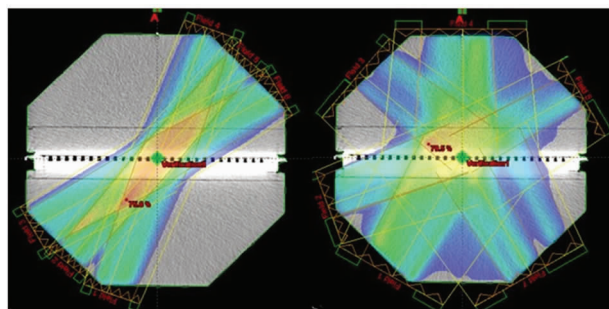


图 3 患者验证计划图 (体部和颈部)

Fig.3 Patients' verification planning (body and neck)

将 2 个患者的验证计划移植到 23EX 加速器的治疗系统中进行照射,用数据分析系统对每个验证点的剂量值进行剂量偏差(dose difference,DD)和位置偏差(distance to agreement,DTA)设定,剂量验证通过与否采用 γ 分析方法^[7]判断。在平面剂量分布区,如果所有验证点的通过率>90%,说明计划验证通过。

2 结果

2.1 剂量测量比对

通过比对可以得到二维矩阵探测器 Detector729 的剂量测量结果的准确性,比对结果见表 1。

表 1 矩阵电离室与参考电离室的测量比对

Tab.1 Comparison of results of Detector729 and the reference ionization chamber

测量位置	测量深度 (cm)	矩阵测量值 (Gy)	电离室测量值 (Gy)	相对测量 偏差 ^a
矩阵 O 点	1.5	1.009 0	1.006 7	0.23%
矩阵 A 点	1.5	1.001 0	1.006 7	-0.56%
矩阵 B 点	1.5	1.002 7	1.006 7	-0.40%
矩阵 G 点	1.5	1.001 0	1.006 7	-0.57%
矩阵 T 点	1.5	1.003 0	1.006 7	-0.37%
矩阵 O 点	5	0.864 7	0.863 6	0.13%
矩阵 A 点	5	0.862 0	0.863 6	-0.19%
矩阵 B 点	5	0.861 0	0.863 6	-0.30%
矩阵 G 点	5	0.861 0	0.863 6	-0.30%
矩阵 T 点	5	0.862 3	0.863 6	-0.15%
矩阵 O 点	10	0.664 3	0.663 0	-0.20%
矩阵 A 点	10	0.661 0	0.663 0	-0.30%
矩阵 B 点	10	0.662 3	0.663 0	-0.11%
矩阵 G 点	10	0.661 0	0.663 0	-0.30%
矩阵 T 点	10	0.663 0	0.663 0	0.01%

注:a,相对测量偏差=(矩阵测量值-参考电离室测量值)/参考电离室测量值 $\times 100\%$

从表 1 看出,在不同深度的固体水下,Detector729 不同位置的电离室与参考电离室测量测量结果基本一致,最大相对测量偏差为 0.57%。

2.2 照射野输出因子测量

Detector729 中心电离室与参考电离室在同样的条件下测量不同射野的剂量值,采用 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 标准野归一之后得出两者的输出因子(图 4)。由图示两者的输出因子拟合曲线基本一致,在射野 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 测量偏差为 1.2%。

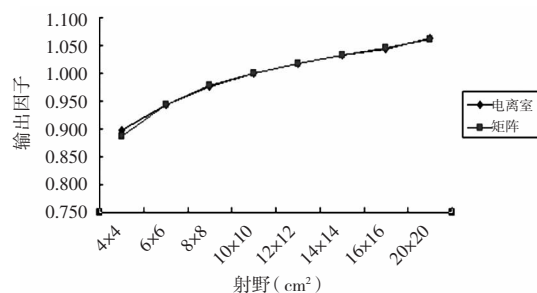


图 4 矩阵电离室与参考电离室测量输出因子

Fig.4 Output factor of Detector729 and the reference ionization chamber

2.3 IMRT 剂量验证

根据美国医学物理学家协会报告^[8],实验选取了 DD 3%(DTA 3 mm)、DD 3%(DTA 4 mm)和 DD 4%(DTA 4 mm)3 种剂量偏差和距离偏差的验证通过率,结果见表 2。从表 2 看出,实际机架角计划验证方法通过率都在 90%以上,满足临床实施治疗的要求。

表 2 不同 DD 和 DTA 的验证通过率 (%)

Tab.2 Passing rate of different DD and DTA (%)

编号	3% (3 mm)	3% (4 mm)	4% (4 mm)
1	91.9	95.5	98.3
2	91.3	93.0	96.2

3 讨论

IMRT 作为先进的放疗技术之一,在临床肿瘤治疗中广泛应用。作为 IMRT 质量控制剂量验证新型工具的二维矩阵探测器未来可能在我国放疗机构中普及应用。本实验研究的二维矩阵探测器 Detector729 平板重量不到 3 kg,从摆位、连接及软件设置等过程不超过 6 min,具有携带和使用方便的优点。由于矩阵有 729 个电离室,一次测量可以得到多点剂量值,这是矩阵较单个电离室的优点。以往的电离室、胶片组合的剂量验证方法,步骤繁琐且影响因素多,而二维矩阵的数据采集和分析全部由计算机控制、操作简便快捷,进而减小了人为操作误差和提高了剂量验证效率。

为了确保 Detector729 电离室之间测量结果的一致性,厂家统一用 ^{60}Co γ 线对 729 个电离室进行

了刻度,刻度因子以文档的形式存在分析软件中。因此,采用 0.6 cm^3 参考电离室仅对 Detector729 中心电离室进行校准,即可实现对整个矩阵面板的所有电离室的校准,此方法简单、实用。需要注意的是,参考电离室与矩阵中心电离室的有效测量中心均应在同样深度的固体水下进行剂量测量。二维矩阵探测器中的电离室测量准确与否,直接关系到其能否应用到剂量测量工作中来。实验仍采用参考电离室校准矩阵电离室的射野 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 作为剂量测量比对的射野尺寸,分别在固体水下 1.5、5.0 cm 和 10.0 cm 深度处将 Detector729 不同电离室(5 个电离室)与参考电离室进行剂量测量比对研究,从比对结果来看,Detector729 与参考电离室测量结果基本一致,最大相对测量偏差为 0.57%,说明矩阵电离室测量剂量结果准确、可靠。

Detector729 中相邻两个电离室距离为 10 mm,灵敏体积只有 0.125 cm^3 ,在不同方形野条件下,发现矩阵电离室与参考电离室的射野输出因子基本一致。因此,矩阵中单个电离室在剂量测量时基本不受临近电离室的信号干扰或者单个电离室在不同射野下具有独立的剂量响应,不但表明了矩阵电离室能够应用到射野输出因子的测量工作,也表明了矩阵电离室剂量测量的准确性。而两者的输出因子在射野 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 时,测量偏差为 1.2%,可能是参考电离室的灵敏体积较大、电离室杆较长影响了测量结果。IMRT 具有较多不规则野、小野等复杂性技术,要求治疗前进行剂量验证^[9]。国外有研究表明点剂量验证应该采用体积小灵敏电离室进行验证^[10],同时国内有学者采用 0.13 cm^3 电离室进行点剂量验证工作^[11]。因此,Detector729 在 IMRT 质量控制剂量验证中应用具有较大的优势。IMRT 实施治疗的时候,机架角基本上都是非 0° 的照射,由于多叶准直器受重力影响,导致射线束的一些性质发生变化,这就要求剂量验证应采取实际机架角的验证方法。学者 Van Esch 等^[12]和 Syamkumar 等^[13]采用实际机架角剂量验证方法,均取得了良好的效果。本实验应用 Detector729 及八角模体对 2 例 IMRT 治疗计划进行实际机架角剂量验证,在 3 种复合判定标准下,验证计划通过率均在 90 % 以上,说明 Detector729 应用于 IMRT 剂量验证工作具有可行性。笔者所在的实验组计划使用 Detector729 做大量的放射治疗剂量验证等临床实践工作,以便在放射治疗中更好地实现其应用价值。

综上所述,Detector729 剂量测量准确,面板中小电离室适合小野测量,对 IMRT 剂量验证的剂量分布与治疗计划剂量分布基本一致,可以应用到放疗质量控制工作。另外,规范、合理地应用二维矩阵探测器,为完善我国放疗剂量测量工具检定规程的制定,具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] Low DA, Moran JM, Dempsey JF, et al. AAPM TG-120: Dosimetry tools and techniques for IMRT[J]. Med Phys, 2011, 38(3): 1313-1338.
- [2] 翟贺争, 程金生. 二维矩阵探测器在 IMRT 剂量验证中的研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33(2): 215-217.
- [3] Spezi E, Angelini AL, Romani F, et al. Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(14): 3361-3373.
- [4] Hussein M, Adams EJ, Jordan TJ, et al. A critical evaluation of the PTW 2D-ARRAY seven29 and OCTAVIUS II phantom for IMRT and VMAT verification[J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(6): 274-292.
- [5] Saminathan S, Manickan R, Chandraraj V, et al. Dosimetric study of 2D ion chamber array matrix for the modern radiotherapy treatment verification[J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(2): 116-127.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 912-2010 治疗水平电离室剂量计检定规程[S]. 北京, 2010.
- [7] Low DA, James FD. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method[J]. Med Phys, 2003, 30(9): 2455-2464.
- [8] Fraass B, Doppke K, Hunt M, et al. AAPM TG-53: Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning[J]. Med Phys, 1998(25): 1773-1829.
- [9] Agazaryan N, Solberg TD, DeMarco JJ. Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy[J]. J Applied Clinical Med Phys, 2003, 4(1): 40-50.
- [10] Ieybovich LB, Sethi A, Dogan N. Comparison of ionization chambers of various volumes for IMRT absolute dose verification[J]. Med Phys, 2003, 30(2): 119-123.
- [11] 张晓军, 楚建军, 张福正, 等. 利用 0.13 cc 电离室对头颈部肿瘤调强放疗计划的剂量学验证[J]. 现代肿瘤医学, 2012, 20(7): 1445-1447.
- [12] Van Esch A, Clermont C, Devillers M, et al. On-line quality assurance of rotational radiotherapy treatment delivery by means of a 2D ion chamber array and the Octavius phantom[J]. Med Phys, 2007, 34(10): 3825-3837.
- [13] Syamkumar SA, Padmanabhan S, Sukumar P, et al. Characterization of responses of 2d array seven29 detector and its combined use with octavius phantom for the patient-specific quality assurance in rapidarc treatment delivery[J]. Med Dosim, 2012, 37(1): 53-60.

(责任编辑: 关蕴良)