

## 二维电离室矩阵在鼻咽癌调强适形放射治疗相对剂量验证中的应用

张晓军 许锡元 王建华 涂彧 江振龙 方明明

**【摘要】** 目的 利用二维电离室矩阵(matrixx)对鼻咽癌调强适形放射治疗(IMRT)计划进行相对剂量验证。方法 将30例鼻咽癌患者的IMRT计划移植到matrixx验证模型,生成验证计划。对二维电离室矩阵按验证计划进行实际机架角度下照射,将测得的平面剂量分布与验证计划中相同平面剂量分布分别输入到omniPro-IMRT软件,依次进行验证计划与实测剖面图分析、验证计划与实测等剂量曲线分析,并用gamma分析量化。gamma值 $[\gamma(rm)] \leq 1$ 的通过点,大于90%时表示患者IMRT计划通过。结果 30例患者的IMRT计划有27例患者计划通过点大于90%;有3例患者通过点分别为85.89%、86.56%、80.53%,经修正IMRT计划后,亦获得通过。结论 二维电离室矩阵可以作为IMRT计划平面剂量分布验证的工具,且使用简捷、方便。应用matrixx进行IMRT计划相对剂量验证的方法,可保证IMRT计划实施的准确性。

**【关键词】** 放射治疗计划,计算机辅助;鼻咽肿瘤,二维电离室矩阵;相对剂量验证

### The application of two-dimensional ionization chamber array for relative dosimetric verification of intensity-modulated radiation therapy in nasopharyngeal carcinoma

ZHANG Xiao-jun<sup>1</sup>, XU Xi-yuan<sup>2</sup>, WANG Jian-hua<sup>2</sup>, TU Yu<sup>1</sup>, JIANG Zhen-long<sup>2</sup>, FANG Ming-ming<sup>2</sup>

(1. Department of Radiation Hygiene, College of Radiation Medicine and Public Health, Soochow University, Suzhou 210056, China; 2. Department of Radiation Oncology, Changzhou Tumor Hospital Affiliated to Soochow University, Jiangsu Changzhou 213001, China)

**【Abstract】 Objective** Use two-dimensional ionization chamber array(matrixx)for relative dosimetry verification of intensity modulated radiation therapy (IMRT) nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods** Thirty patients were treated with IMRT, used theirs IMRT plans transferred to verification of matrixx model, then generated quality assurance (QA) plane in therapy plan system (TPS). According to QA plan treat for two-dimensional ionization chamber array with an actual gantry angle, and then output the measured plane dose distribution and identical plan dose distribution to omniPro-IMRT software. Afterwards carry out QA plan and measured sectional image analysis, QA plan and measured isodose curve analysis by turns, and gamma analysis quantization. The gamma value $[\gamma(rm)]$  of the measurement point,  $[\gamma(rm)] \leq 1$  demonstrate point calculation passes, the passes point more than 90% indicate that QA plan passes for relative dosimetric verification. **Results** Thirty patients IMRT plans have twenty-seven plans calculation passes, the other three patients' passed point are 85.89%, 86.56%, 80.53%, which means the calculation fails. The pass rate is 90%. According to adjust therapy plan, theirs plan passed. **Conclusion** Two-dimensional ionization chamber array is easy and convenient to apply, which can be used as a tool for plane dose distribution verification of IMRT. It ensure that plan accuracy, which use a method of relative dosimetric verification for patients treated with intensity modulated radiation therapy.

**【Key word】** Radiotherapy planning, computer-assisted; Nasopharyngeal neoplasms; Two-dimensional ionization chamber array; Relative dosimetric verification

鼻咽癌是我国最常见的恶性肿瘤之一,调强适

形放射治疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)在鼻咽癌放疗中的应用越来越多。IMRT计划的实施是一个很复杂的过程,治疗计划的准确性、重复性与稳定性等方面的任何微小误差,都可

作者单位:1. 210056, 苏州大学放射医学与公共卫生学院放射卫生教研室(张晓军,涂彧); 2. 213001, 苏州大学附属常州肿瘤医院放疗科(许锡元,王建华,江振龙,方明明)

通讯作者:涂彧(E-mail: tuyu@suda.edu.cn)

能导致最终的剂量分布有很大的误差,由于其技术上的复杂性,治疗前必须对每例患者的治疗计划进行严格的剂量学验证,以确保肿瘤剂量能够准确地传递到肿瘤靶区<sup>[1,2]</sup>。Matrixx 是以二维电离室矩阵为基础的平面剂量分布检测仪,本研究探讨用 matrixx 来验证 IMRT 计划的相对剂量分布。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

(1) Matrixx: 德国 Ion Beam Applications (IBA) 公司生产,其包括电离室面板、接口电路、数据输出系统和数据采集软件等部分,数据采集软件 omniPro-IMRT 主要用于分析吸收剂量的分布(剖面图和等剂量曲线)。电离室面板由 1020 个空腔电离室不规则排列而成,有效测量面积为 24.4 cm×24.4 cm,电离室体积为 0.07 cm<sup>3</sup>,室壁材料为等效水材料,有效测量点为平板下 3 mm 深度,平行板电离室间距离为 7.62 mm,剂量分辨率为 0.5 mGy/min。

(2) 照射条件:采用西门子公司 PRIMUS M 型加速器。

(3) 有机玻璃板:北京中康联公司生产,厚度为 2~5 cm,放置在电离室面板上(电离室矩阵有效测量点在矩阵表面下 3 mm 处),使其测量深度超过 1.5 cm (6 MV X 射线建成区为 1~5 cm)。

(4) 治疗计划系统:由美国希迈仕(computerized medical system, CMS) 公司生产,版本为 XIO 4.3.1。

(5) 西门子公司 SENSATION40 型 CT。

### 1.2 实验方法

(1) IMRT 计划的设计:选取在本院治疗的 30 例经病理确诊的鼻咽癌患者,其中,男性 20 例、女性 10 例,年龄为 48~68 岁(平均 54 岁)。使用头颈肩固定器,按治疗体位固定,在 CT 下进行定位,扫描图像传输到 CMS 治疗计划系统,由两名经验丰富的医生进行靶区及关键器官的勾画,给出剂量的限制、照射野的设置,做出治疗计划。

(2) Matrixx 验证模型的建立:在 matrixx 上加 2~5 cm 有机玻璃板,激光线对准电离室矩阵平板表面的中心线与侧面的标记线,确定参考平面,然后做好标记,在 CT 下扫描,横断面的图像传输至 CMS 公司的治疗计划系统中,在系统中融合成含有 matrixx 面板的电离室矩阵平面,将要验证患者

的 IMRT 计划移植到扫描图像上。转移时照射野所有参数均保持不变,重新计算 IMRT 计划在 matrixx 图像中的剂量分布,生成验证计划。注意移动同中心位置,使平行板下电离室矩阵处于高剂量且剂量梯度变化较小的区域,记录电离室矩阵面板所在平面,导出剂量分布文件。

(3) Matrixx 剂量学特性的分析:① 测量计数的重复性:在标准测量条件下(野面积为 10 cm×10 cm,源皮距为 100 cm),用 6 MV X 射线,加速器每次预置 100 MU,测量计数,多次重复测量,观察测量数值的重复性。② 剂量线性:在标准测量条件下,加速器预置 3~100 MU,用二维电离室矩阵测量计数(cGy),观察剂量线性符合程度。

(4) 按验证计划对 matrixx 进行实际照射:matrixx 放置在加速器下,按在 CT 扫描时的相同体位进行摆位,激光线对准侧面的标记线和平板电离室的中心线,将装有 omniPro-IMRT 软件的计算机与二维电离室矩阵连接,在 omniPro-IMRT 软件中设置相关测量时的参数(如测量本底及相关系数),对验证计划进行实际机架角度下模拟照射,测量得到平面剂量分布,把测得的平面剂量分布信息传递到 omniPro-IMRT 软件。

(5) 验证计划与 matrixx 实测平面剂量分布比较:把 matrixx 测得的平面剂量分布和验证计划平面剂量分布分别输入到 omniPro-IMRT 软件中的比较窗口,调整对比区域的大小,进行最大剂量归一、位置点归一。依次进行验证计划与实测剂量剖面图分析、验证计划与实测等剂量曲线分析、gamma 分析,显示计划和实测的剂量区域差异。

(6) 误差分析:采用 gamma 分析<sup>[3]</sup>,它是软件中自动分析的工具。采用复合判断标准,由剂量误差(标准为 4%)和距离差异(标准为 4mm)配对组成,对于一个测量点(rm)测得的 gamma 值 [ $\gamma$ (rm)]按操作说明书, $\gamma$ (rm) ≤ 1 为通过, $\gamma$ (rm) > 1 为失败。对通过点少于 90%的,IMRT 计划需重新修正,以达到允许范围。

## 2 结果

### 2.1 测量计数的重复性

从图 1 可以看出,二维电离室矩阵测量结果的重复性很好,最大偏差 < 4%,标准偏差为 0.87%。

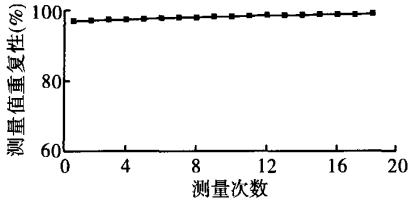


图1 二维电离室矩阵测量值的重复性

### 2.2 剂量线性

从图2测量结果可看出,二维电离室矩阵有很好一致性,能满足不同的测量条件。

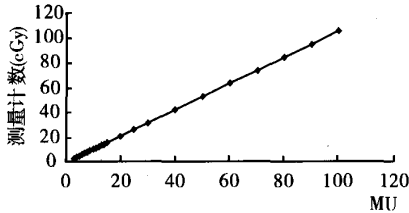


图2 二维电离室矩阵测量的剂量线性

### 2.3 验证计划与实测剂量剖面图分析

图3、图4分别为电离室矩阵实测的剂量分布和验证计划中剂量分布在相同平面减切得到的剖面图,图5为二者比较,比较的结果可以看出两条曲线的符合程度,曲线的最高点代表高剂量区域。实测整183层面剂量剖面相对应验证计划中5mm层面的剖面图。

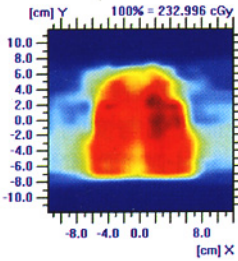


图3 电离室矩阵实测剂量剖面图 (实测整183层面剂量剖面)

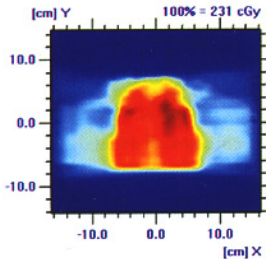


图4 治疗计划系统中验证计划剂量剖面图 (计划中5mm层面剂量剖面图)

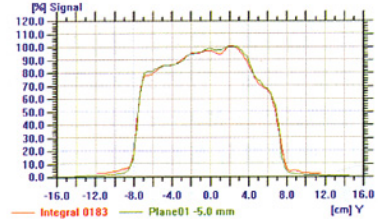


图5 电离室矩阵实测与验证计划剂量剖面图的比较 (红线代表实测的剂量剖面图,蓝线代表计划的剂量剖面图)

### 2.4 验证计划与实测等剂量曲线分析

图6、图7分别为验证计划与实测的等剂量曲线,图8为二者比较的结果。从图8可以看出,验证计划与实际测量的等剂量曲线有较好的一致性。

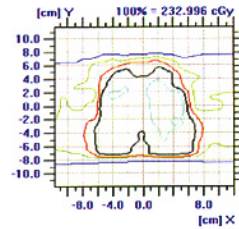


图6 电离室矩阵实测等剂量曲线

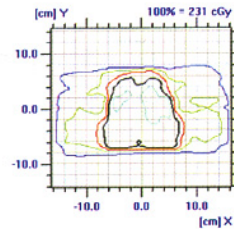


图7 治疗计划系统中验证计划等剂量曲线

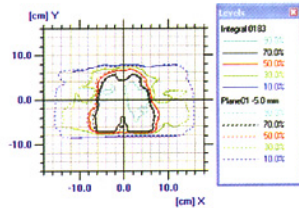


图8 电离室矩阵实测与验证计划等剂量曲线的比较 (实线代表实测的等剂量曲线,虚线代表计划等剂量曲线)

### 2.5 Gamma分析

30例患者gamma分析结果为 $\gamma(rm) \leq 1$ 的通过点的最小值为80.53%,最大值为99.37%,平均(93.78±4.23)%。对 $\gamma(rm) > 1$ 的未通过点的最小值为0.63%,最大值为19.47%,平均(6.27±4.21)%。

经 ominiPro-IMRT 软件分析, 对于相对剂量偏差 <4%、距离偏差 <4 mm 的约束限制, 有 3 例患者的  $\gamma(\text{rm}) \leq 1$  的通过点小于 90%, 分别为 85.89%、86.56%、80.53%, 需要对 IMRT 计划进行修正。经修正后重新验证, 计划亦获得通过。

### 3 讨论

判断 IMRT 计划在实践中是否能够实施, 需要对其剂量分布进行全面验证。相对剂量的验证是剂量验证很重要的一部分内容, 它反映治疗计划平面剂量分布与实际照射时剂量分布的误差, 以保证 IMRT 计划实施的准确性<sup>[4]</sup>。国内外使用胶片剂量仪进行相对剂量的验证较多, 但胶片在测量后需要洗片等一系列繁琐的步骤, 效率低<sup>[5,6]</sup>。在向 matrixx 验证模型中移入患者的 IMRT 计划进行剂量验证时, 实际上是移入一套照射方法, 即患者治疗计划的所有参数, 包括照射野个数和大小、机架角度以及子野跳数等, 这样可以真实地模拟患者治疗计划, 验证后得到可以接受的结果才能认为计划是可以实施的<sup>[7]</sup>。有的医院利用二维电离室矩阵时, 把机架角度调整到零度时测量, 但 IMRT 计划一般都有不同角度的几个照射野组成, 加速器在不同机架角度时射野的平坦度、对称性, 甚至剂量率、输出剂量都有可能发生变化, 这些变化在机架角度调整为零度时是测量不到的, 所以应尽可能在射野的实际机架角度进行测量。

一般而言, 只有计划与实测剂量的绝对差别和位置差别都满足一定的误差允许值的情况下才能认为该计划可以实施。误差分析中采用的 gamma 分析所设置的误差标准, 有的学者采用 Low 等<sup>[8]</sup> 建议, 指定剂量偏差  $\leq 5\%$ 、距离偏差  $\leq 3 \text{ mm}$  的误差允许值, 但很多学者推荐使用 Van Dyke 标准<sup>[9]</sup>, 即剂量偏差  $\leq 4\%$ 、距离偏差  $\leq 4 \text{ mm}$ , 本实验沿用后一种标准。当然, 对有的放疗中心在质量保证和质量控制能严格要求的条件下, 可以把距离误差与剂量误差下调。我们采用对通过点大于 90%, 则计划的相对剂量验证通过并可以实施于临床。

Gamma 分析能提供量化的指标。30 例患者中有 3 例患者 IMRT 计划  $\gamma(\text{rm}) \leq 1$  通过的点分别为 85.89%、86.56%、80.53%, 按设置的约束限制, 相对剂量验证未通过, 通过率为 90%, 略高于肖锋等<sup>[10]</sup> 的报道。对 3 例 IMRT 计划未获通过的剖面图分析看出, 剂量梯度变化大的区域的误差较

大。这是由于二维电离室矩阵 (matrixx) 由 1020 个  $0.07 \text{ cm}^3$  的像素电离室 (pixel ionization chamber) 组成, 相邻电离室的几何中心距离为 7.62 mm, 在剂量梯度比较大的区域是二维电离室矩阵某个像素电离室测得的有效测量体积平均剂量, 电离室灵敏体积的平均效应可能是导致剂量梯度变化较大区域验证后误差较大的原因。如果患者 IMRT 计划中出现靶区剂量梯度变化的区域较多, 则该计划验证通过率低, 即计划通过率与靶区剂量的均匀性存在一定关系。因此, 在设计 IMRT 计划时, 应尽量减少剂量梯度变化较大区域。在  $\gamma(\text{rm}) > 1$  失败的点, 考虑可能的误差来源包括转移验证计划过程中产生的系统误差、剂量仪本身的局限性、测量过程中每次对 matrixx 进行摆位的误差等。

总之, 通过对鼻咽癌 IMRT 计划的相对剂量验证, 认为二维电离室矩阵可以在实际机架角度下对剂量分布进行测量, 方法可靠、简捷, 有利于验证工作的常规化。当然, 相对剂量验证只是整个 IMRT 质量保证的一个部分, 在实际治疗的各个环节中, 需要针对本单位条件, 建立相应的质量保证措施。

### 参 考 文 献

- [1] Agazaryan N, Solberg TD, DeMarco JJ. Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2003, 4(1): 40-50.
- [2] Dong L, Antolak J, Salehpour M, et al. Patient-specific point dose measurement for IMRT monitor unit verification [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56 (3): 867-877.
- [3] 邹华伟, 贾明轩, 吴荣. 调强适形放射治疗计划剂量学的验证[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(3): 256-258.
- [4] Dogan N, Leybovich LB, Sethi A. Comparative evaluation of Kodak EDR2 and XV2 films for verification of intensity modulated radiation therapy [J]. Phys Med Biol, 2002, 47(22): 4121-4130.
- [5] 马金利, 蒋国梁. 调强适形放射治疗剂量学验证体系的建立[J]. 中国肿瘤, 2004, 13(8): 485-489.
- [6] Stock M, kroupa B, Georg D. Interpretation and evaluation of the gamma index and gamma Index angle for the verification of IMRT hybrid plans[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(3): 399-411.
- [7] Zhu XR, Jursinic PA, Grimm DF, et al. Evaluation of Kodak EDR2 film for dose verification of intensity modulated radiation therapy delivered by a static multileaf collimator[J]. Med Phys, 2002, 29 (8): 1687-1692.
- [8] Low DA, Dempsey JF. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method [J]. Med Phys, 2003, 30(9): 2455-2464.
- [9] Van Dyk J, Barnett RB, Cygler JE, et al. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1993, 26(2): 261-273.
- [10] 肖锋, 孙朝阳, 石梅, 等. 鼻咽癌动态调强放疗计划的剂量学验证[J]. 现代肿瘤学, 2007, 15(2): 178-180.

(收稿日期: 2007-07-10)