

## 6 MV 与 10 MV-X 线在非小细胞肺癌中的计量学比较

刘旭红<sup>1,2)</sup>, 李承文<sup>1)</sup>, 王丽<sup>3)</sup>, 陈晓<sup>1,2)</sup>

(1) 云南省肿瘤医院, 云南昆明 650118; 2) 昆明医科大学第三附属医院放射治疗中心, 云南昆明 650118; 3) 昆明医科大学, 云南昆明 650500)

**[摘要]** **目的** 比较非小细胞肺癌 (NSCLC) 调强放射治疗计划中采用 6 MV 与 10 MV-X 射线治疗的计量学差异. **方法** 随机选取 20 例 NSCLC 患者, 分别采用 6 MV 与 10 MV-X 射线对每例 NSCLC 进行 IMRT 的计划设计, 应用 ADAC Pinnacle8.0f 治疗计划系统提供的卷积/迭代算法, 对相同的靶区运用 2 种能量进行 IMRT 计划设计, 通过比较剂量体积直方图 (DVH)、PTV 参数 (Dmean、Dmin、Dmax)、适形指数 (CI) 及均匀性指数 (HI), 分析计量学参数. **结果** 6 MV 与 10 MV 放疗计划的 DVH、PTV 参数、CI、HI 及等剂量线相近, 并无明显统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 6 MV 计划的靶区剂量均匀性及高剂量覆盖靶区程度略优于 10 MV 计划, 正常肺组织、食管、心脏、脊髓等危及器官 (OAR) 的受量基本相同. **结论** 对于 NSCLC 的放射治疗建议优先 6MV-X 线.

**[关键词]** 非小细胞肺癌; 调强治疗计划; 计量均匀性; 适形指数

**[中图分类号]** R734.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095 - 610X (2014) 02 - 0096 - 04

## Dosimetric Comparison of 6MV and 10MV Photons for Intensity-modulated Radiotherapy treatment (IMRT) of Non-Small Cell Lung Cancer

LIU Xu-hong<sup>1,2)</sup>, LI Cheng-wen<sup>1)</sup>, WANG Li<sup>3)</sup>, CHEN Xiao<sup>1,2)</sup>

(1) Yunnan Provincial Tumor Hospital, Kunming Yunnan 650118; 2) Dept. of Radiotherapy, The Third Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650118; 3) Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650500, China)

**[Abstract]** **Objective** To compare the effects of 6MV and 10MV-X-ray intensity modulated radiotherapy (IMRT) on non-small-cell lung cancer (NSCLC). **Methods** We randomly selected 20 patients with NSCLC, 6MV and 10MV X-ray were used respectively for each NSCLC patient with IMRT plan design, the ADAC Pinnacle 8.0f treatment planning system was applied to provide the convolution/iteration algorithm, for the same target IMRT plan design with two kinds of energy. By comparing the dose volume histogram (DVH), PTV parameter (Dmean, Dmin and Dmax), conformal index (CI) and homogeneity index (HI), we analyzed the metrology parameters. **Results** 6MV and 10MV radiation therapy plan DVH, PTV parameters, CI, HI and isodose line was similar, no statistically significant differences. But target dose homogeneity and the degree of target coverage in high dose of 6MV plan was better than that in 10MV plan. Endanger organs (OAR) such as normal lung tissue, heart, esophagus and spinal cord had basically same dose amount. **Conclusion** 6MV X-ray plan may be the better choice of radiotherapy on NSCLC.

**[Key words]** Non small-cell lung cancer; Intensity modulated radiotherapy; Dose homogeneity; Conformity index

---

**[作者简介]** 刘旭红 (1972~), 女, 安徽六安市人, 医学学士, 主管技师, 主要从事放射肿瘤物理方面的研究和临床应用工作.

**[通讯作者]** 陈晓. Email: cqxlxh@sina.com.

肺癌是世界范围内最为常见的恶性肿瘤之一, 国内肺癌的发病率和死亡率占城市恶性肿瘤之首位, 其中非小细胞肺癌占全部肺癌病例的 80%<sup>[1]</sup>, 肺癌的治疗需要采用综合手段, 而放射治疗是肺癌治疗的重要手段之一. 调强放射治疗 (intensity modulated radiotherapy, IMRT) 具有较高的靶区精确性、剂量均匀性、能更好的保护周围正常组织器官, 进一步提高靶区剂量, 提高了治疗增益比, 因而迅速被运用于非小细胞肺癌的治疗. 目前, 非小细胞肺癌的 IMRT 一般采用低能量的 X 射线, 因为射野通常要穿过肺组织, 高能 X 射线与低密度肺组织发生作用时, 产生的高能反冲电子的侧向散射造成高能光子在肺组织中的路径延长, 导致电子失衡, 半影增宽, 降低了射束中心轴的剂量, 影响了高剂量覆盖靶区的程度. 因而美国放射治疗协作组 (radiation therapy oncology group, RTOG) 0412 也推荐采用低能 X 射线<sup>[2,3]</sup>. 为了进一步探讨低能 X 射线 (4 ~ 10 MV) 在 IMRT 计划中对靶区剂量分布差异性的影响, 本研究分别采用 6 MV 和 10 MV-X 线来设计 IMRT 计划, 系统的分析、比较 2 种治疗计划的靶区均匀性、适形度、危及器官受照体积和剂量分布方面的差异, 为临床治疗提供依据.

## 1 资料与方法

### 1.1 病例选择

选取自 2011 年 10 月至 2013 年 6 月昆明医科大学第三附属医院确诊为非小细胞肺癌 (on small-cell lung cancer, NSCLC) 患者, 共 22 例, 男性 13 例, 女性 9 例, 年龄 44 ~ 75 岁, 平均 65 岁, 位于右肺下叶 2 例, 右肺中叶 4 例, 右肺上叶 11 例, 左肺下叶 5 例. 分别采用 6MV 和 10MV-X 线来设计 IMRT 计划.

### 1.2 体位固定及 CT 扫描

采用仰卧位, 双臂上抬交叉置额顶, 以患者放疗体位制作热塑体模, 并用体部固定器固定, 扫描时层厚 5 mm, 层间距 5 mm. 扫描范围上界至环状软骨, 下界至肾上腺.

### 1.3 靶区的制定及危及器官的勾画

CT 扫描后图像由网络传输至 ADAC Pinnacle3 8.0f 工作站, 由 2 位专业放疗医生共同参考 ICRU 第 50、62 号报告<sup>[4]</sup>, 应用三维治疗计划系统在窗宽 1 600 Hu、窗位 -600 Hu; 纵隔窗窗宽 400 Hu, 窗位 20 Hu 条件下勾画出大体肿瘤区 (GTV)、临床靶区 (CTV)、内靶区 (ITV)、计划靶区 (PTV)

及危及器官 (OARS): 包括心脏、脊髓、食管、GTV 外的肺组织, 将脊髓外放 5 mm 得到脊髓的计划靶区 (PRV-cord). GTV 包括临床和影像学所见肿瘤范围, CTV 由 GTV 外放得到 (向肺部方向外放 8 mm, 向转移淋巴结一侧外放 5 mm), 通过在模拟定位机下测量患者三维方向的呼吸动度来确定内靶区 (ITV) 补偿范围, PTV 包括 ITV 及摆位误差, 由 ITV 外放 5 mm 形成.

### 1.4 处方剂量的要求

处方剂量为 60 Gy (注: 处方剂量是指 95% 的 PTV 所受到的最低剂量), 分割次数为 30 次.

### 1.5 调强放射治疗 (IMRT) 计划设计

所有计划都在 ADAC Pinnacle3 8.0 f 工作站完成. 对每位患者设计 2 种放疗计划, 分别采用 6 MV 和 10MV-X 线来设计 IMRT 计划, 小细胞肺癌的射野方向选择较为复杂, 原则上是要求在横截面上沿靶区的长轴和段轴都要有射野通过, 另外射野尽量集中在患侧, 为了不使靶区欠量, 一定要有射野略偏向健侧. 计划采用 5 个共面射野, 角度围绕 PTV 优化分布, 每个计划均采用简单调强放疗技术 (simplified IMRT, SIMRT) 进行设计, 根据中科院肿瘤医院的定义, 指射野总数  $\leq 5$ 、单个射野的子野数目平均  $\leq 5$  个, 子野面积  $\geq 10 \text{ cm}^2$ , 子野照射机器跳数  $\geq 10 \text{ MU}$  的调强技术. 给定优化条件, 进行调强优化, 计划的结果用截面图及 DVH 图进行评价, 调整优化条件, 直到满足临床的要求, 并使用美国 Varian-IX 直线加速器治疗.

### 1.6 计划比较

(1) 比较 2 种计划的 PTV 靶区剂量分布: ① 最大剂量 (Dmax) 是指  $\leq 1\%$  PTV 的体积所接受的剂量; ② 最小剂量 (Dmin) 是指  $\geq 99\%$  PTV 的体积所接受的剂量; ③ 平均剂量 (Dmean); ④ 适形度指数 (conformity index, CI) 是指 GTV 的体积 / 95% 等剂量曲线包绕的体积 (VGTV/V95), CI 值越接近 1, 说明适形度越好; ⑤ 均匀性指数 (heterogeneity index, HI) 是指 5% 的 PTV 接受的最低剂量 / 95% 的 PTV 接受的最低剂量 (D5/D95), HI 值越低 (接近 1), 表示靶区均匀性越好. (2) 比较 2 种计划的危及器官剂量体积直方图 (DVH): ① 正常肺组织 (全肺体积减去 GTV 体积) 的 V5、V10、V20、V30 和 Dmean; ② 食管的 V35、V55 和 Dmean; ③ 心脏的 V30、V40 和 Dmean; ④ 脊髓的 Dmax.

### 1.7 统计学处理

应用 SPSS 统计软件, 数据以均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 采用配对 *t* 检验进行数据统计与分

析,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义.

## 2 结果

### 2.1 2 种能量放疗计划的 PTV 靶区剂量学分布

PTV 的最大剂量 (Dmax)、最小剂量 (Dmin)、平均剂量 (Dmean)、适形度指数 (CI) 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), PTV 靶区均匀性指数 (HI) 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 1.

### 2.2 2 种能量计划设计的危及器官的剂量学比较

(1) 正常肺组织 V5、V10、V20、V30 和 Dmean 的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); (2) 食管 V35、V55 和 Dmean 的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); (3) 心脏 V30、V40 和 Dmean 的差异

均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); (4) 脊髓 Dmax 的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 2.

表 1 非小细胞肺癌的 6MV 与 10MV 计划中的 PTV 剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Tab. 1 Comparison of PTV dose in plans between NSCLC 6MV&10MV ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	6 MV	10 MV
最大剂量	7092.9 ± 402.1	7065.5 ± 308.8
最小剂量	4466.7 ± 975.9	4454.4 ± 936.4
平均剂量	6492.9 ± 118.2	6469.8 ± 197.87
适形度指数	0.53 ± 0.07	0.54 ± 0.08
均匀性指数	1.13 ± 0.04	1.16 ± 0.05*

与 6MV 比较, \* $P < 0.05$ .

表 2 非小细胞肺癌的 6MV 与 10MV 计划中的危及器官剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Tab. 2 Comparison of the PTV dose endanger organs in plans between NSCLC 6MV&10MV ( $\bar{x} \pm s$ )

危及器官	结构名称	6 MV	10 MV
肺	MLD(cGy)	1041.9 ± 550.8	1028.8 ± 534.6
	V5(%)	39.12 ± 23.2	39.9 ± 22.3
	V10(%)	28.99 ± 19.20	29.71 ± 19.0
	V20(%)	18.80 ± 10.69	18.56 ± 10.3
	V30(%)	11.99 ± 6.55	11.77 ± 6.31
食管	Dmean(cGy)	1602.91 ± 1063.0	1597.09 ± 1046.25
	V35(%)	16.85 ± 18.0	17.03 ± 18.20
	V55(%)	6.86 ± 9.01	6.59 ± 8.60
心脏	Dmean(cGy)	1225.01 ± 1139.8	1207.63 ± 1139.25
	V30(%)	14.69 ± 18.80	14.72 ± 17.54
	V40(%)	7.99 ± 10.99	7.59 ± 10.65
脊髓	Dmax(cGy)	3279.1 ± 941.1	3317.76 ± 902.4

## 3 讨论

非小细胞肺癌的调强放疗作为一种局部治疗手段, 和手术治疗一样要求彻底, 既要提高肿瘤靶区的剂量, 又要降低周围正常组织的受量, 这样可以提高局控率和控制远地转移的发生, 即最大限度地提高治疗增益比, 将剂量集中到病变 (靶区) 内, 杀灭肿瘤细胞, 而使周围正常组织和器官少受或者免受不必要的照射, 从而提高肿瘤的治愈率及患者的生活质量, 要求在照射方向上, 照射野的形状必须与病变 (靶区) 的形状一致, 而且要使靶区内及靶区表面的剂量处处相等, 必须每一个射野内诸点的输出剂量率能按要求的方式进行调整<sup>[9]</sup>.

对于能量的选择, 一般体内较深位置的肿瘤, 选择高能光子线提高剂量输出的均匀性, 降低表面

组织的受照剂量, 但对于肺这样的低密度组织, 电子失衡将会影响靶区的剂量覆盖 (射线穿过低密度肺组织时, 高能 X 射线与物质相互作用产生的高能反冲电子在低密度介质中具有较长的射程, 侧向散射增大导致侧向电子失衡, 半影增宽, 射野边缘剂量下降, 使高剂量覆盖靶区程度下降). 肺密度越低、射野越小及 X 线能量越高, 电子失衡越严重<sup>[9]</sup>, 美国 RTOG 91-05 号临床试验推荐采用 4 ~ 12 MV 的射线进行非小细胞肺癌的放疗, 减少侧向电子失衡, 增加靶区高剂量覆盖, 减少正常组织的受照体积, 提高治疗效果, 哈尔滨医科大学附属第三医院放疗科的冯丽娜、白彦灵等进行了“射线能量选择对逆向调强放疗计划影响”的研究, 证明 IMRT 计划设计中低能量 X 线 (6、8MV) 完全满足临床要求, 而高能 X 线并

不具有明显剂量分布优势<sup>[7]</sup>。国外学者 Madani 等对 10 例肺癌患者进行了 6MV、18MV-X 线 IMRT 计划设计比较,发现 6MV-X 线是 IMRT 治疗较好的选择<sup>[8,9]</sup>。本研究中,笔者比较了分别采用 6MV-X 线和 10MV-X 线非小细胞肺癌 (NSCLC) 的简易调强计划 (sIMRT),发现 2 种计划的 PTV 的最大剂量 (Dmax)、最小剂量 (Dmin)、平均剂量 (Dmean)、适形度指数 (CI) 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),而 PTV 靶区均匀性指数 (HI) 差异有较明显的统计学意义 ( $P < 0.05$ ),6MV-X 线明显比 10MV-X 线剂量分布更均匀,而且提高了高剂量靶区的覆盖范围,这与上述研究结果一致。另外本研究还比较分析了危及器官 (正常肺、心脏、食管、脊髓) 的受照剂量和体积 (DVH) 的关系,结果差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

本研究在随机选择病例时,对非小细胞肺癌的肿瘤位置及肿瘤大小没有限制,也未考虑到肿瘤所处位置及肿瘤大小对试验结果的影响,此外,体位固定、靶区勾画、计划设计是由不同医生及物理师完成,势将对本研究的精确性产生一定的影响,因此对于临床中非小细胞肺癌选择射线能量的课题还需进一步探讨。

通过对 6MV-X 线和 10MV-X 线在非小细胞肺癌中的剂量学比较,笔者认为 10MV-X 线比 6MV-X 线有更强的穿透力,但当射线穿过肺组织时,射程延长、侧向散射增大、半影增宽、产生了电子失衡,高剂量收缩,至使高剂量靶区覆盖面下降,而两者计划的危及器官受量没有多大区别,基本不受射线能量的影响。另外,国内使用的计划系统 (包括 ADAC Pinnacle3) 还没有提供有效修正侧向电子失衡的解决方案。所以笔者认

为对非小细胞肺癌的调强放射治疗最好采用能量降低的 6MV-X 线。

#### [参考文献]

- [1] DETTERBECK F C,BOFFA D J,TANOUE L T,et al.The new lung cancer staging system [J]. Chest,2009,136(1): 260 - 271.
- [2] MORGENSZTERN D,NG S H,GAO F,et al. Trends in stage distribution for patients with non-small cell lung cancer: anational cancer database survey [J]. J Thorac Oncol,2010,5(1):29 - 33.
- [3] 王绿化,张红星,陈东福,等. 肿瘤放疗治疗学[M]. 第 4 版. 北京:中国协和医科大学出版社,2008:578 - 600.
- [4] 梁军,冯勤付,张可,等. 肺癌三维适形放疗与常规放疗剂量学优势的比较 [J]. 临床肿瘤学杂志,2006,11 (11):815 - 816.
- [5] 于金明,郑爱青,于甬华,等. 大分割立体适形放疗非小细胞肺癌的临床分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2005,14(5):415 - 418.
- [6] 仇桂龙,王研,邢国林,等. 三维适形放疗技术治疗晚期非小细胞肺癌的临床研究 [J]. 吉林医学,2008,29 (17):1 415 - 1 416.
- [7] 冯丽娜,白彦灵,陈林,等. 射线能量选择对逆向调强放疗计划影响的研究 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2011,20(5):428 - 431.
- [8] MADANI I,VANDERSTRAETEN B,BRALA S,et al. C-omparison of 6mv and 18mv photons for IMRT treatment of lung cancer [J]. Radiother Oncol,2007,82(1):63 - 69.
- [9] 曾自力,刘兵. 肺癌肺内肿瘤不同能量三维适形放疗的比较[J].中国医学物理学杂志,2011,28(3):2 603 - 2 605.

(2013 - 01 - 12 收稿)