

·临床研究·

同一射野角度不同优化方式对中央型肺癌调强适形放射治疗计划的影响

刘凌湘 陈照辉 黄贤海 易兰

广州市番禺区中心医院肿瘤科 511400

通信作者: 刘凌湘, Email: 740599037@qq.com

【摘要】目的 探讨中央型肺癌调强适形放射治疗(IMRT)同一射野角度、不同优化方式对靶区和危及器官剂量分布的影响。**方法** 回顾性分析2017年11月至2019年10月在广州市番禺区中心医院接受IMRT的6例中央型肺癌患者的临床资料,其中男性5例、女性1例,中位年龄64(53~73)岁。6例患者分别制定2种治疗计划:F-plan和B-plan。2种治疗计划均采用相同的射野方向,根据靶区边缘到皮肤表面的距离,遵循射野穿过肺部最小的原则对所给定的射野方向进行优化,其中,F-plan为部分射野进行锁铅门设计,B-plan为部分射野入射路径处添加虚拟的“Block”设计。评估2种治疗计划的患者的靶区覆盖情况、危及器官受照剂量和机器跳数,差异的比较采用配对 t 检验。**结果** 2种治疗计划均能满足临床要求,计划临床靶体积和计划大体肿瘤体积(PGTV)的剂量分布基本一致,PGTV的适形度指数、均匀性指数以及2种计划下的机器跳数等各参数之间的差异均无统计学意义($t=-1.383\sim 1.863$,均 $P>0.05$)。B-plan的双肺的肺平均剂量(MLD)[(1572.13±148.08) cGy]、 V_5 [(62.58±5.91)%]、 V_{25} [(24.33±1.83)%]、 V_{30} [(20.14±2.43)%]、 V_{40} [(13.38±2.78)%](V_x 指接受 x Gy剂量照射的体积占总体积的百分比)和正常组织的平均剂量(D_{mean})[(1246.63±485.12) cGy]、 V_5 [(58.46±24.31)%]、 V_{40} [(6.38±2.67)%]普遍高于F-plan的受照剂量[双肺的MLD:(1546.45±152.98) cGy、 V_5 :(60.66±5.34)%、 V_{25} :(23.79±2.20)%、 V_{30} :(19.59±2.71)%、 V_{40} :(12.70±2.79)%;正常组织的 D_{mean} :(1209.37±466.66) cGy、 V_5 :(54.87±22.60)%、 V_{40} :(5.89±2.63)%],且差异均有统计学意义($t=-6.370\sim -2.601$,均 $P<0.05$);对于心脏和脊髓的受照剂量,2种治疗计划之间的差异均无统计学意义($t=-1.120\sim 0.377$,均 $P>0.05$),但B-plan的心脏的 V_{30} [(17.21±10.42)%]、 V_{40} [(11.70±8.04)%]高于F-plan [V_{30} :(14.67±5.82)%、 V_{40} :(9.42±4.19)%],而脊髓的最大剂量[(4112.12±304.66) cGy]却略低于F-plan[(4128.73±254.72) cGy]。**结论** 2种治疗计划均能得到满意的靶区剂量学分布,在危及器官保护方面也各有优缺点,临床应用中可根据个体差异、靶区分布有选择性地使用或结合使用。

【关键词】 肺肿瘤;放射疗法,调强适形;放射治疗计划,计算机辅助;射野角度优化

基金项目: 番禺区科技计划项目(2018-Z04-29)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202001016-00002

Effect of different optimization methods for the same beam angles on IMRT plan of central lung cancer

Liu Lingxiang, Chen Zhaohui, Huang Xianhai, Yi Lan

Department of Oncology, Guangzhou Panyu Central Hospital, Guangzhou 511400, China

Corresponding author: Liu Lingxiang, Email: 740599037@qq.com

【Abstract】Objective To investigate the effect of different optimization methods in the same beam angles on the dose distribution of the target area and organ at risk (OAR) in intensity modulated radiotherapy (IMRT) for central lung cancer. **Methods** Six patients with central lung cancer and received IMRT in Panyu Central Hospital of Guangzhou from November 2017 to October 2019 were retrospectively analyzed, including 5 males and 1 female; the median age was 64 (53–73) years old. Six patients were treated with two plans, namely, F-plan and B-plan. Both plans adopted the same beam

angles, and the given beam angle was optimized in accordance with the distance between the edge of the target area to the surface of the skin and the principle of the minimum penetration of field into lung. The F-plan was that part of the beam angles was designed to fix the jaw, and the B-plan was that part of the beam angles was designed to add a block in the incident path of the view. The target area coverage, OAR distribution, and monitor unit (MU) with two treatment plans were receptivity evaluated. Paired *t*-test was used to compare the differences. **Results** The two treatment plans could satisfy the clinical requirements, the dose distributions of the planning clinical target volume and the planning gross target volume (PGTV) were basically the same, and no significant difference was found between the parameters such as the conformal index and uniformity index of PGTV, machine MU under the two plans ($t=-1.383-1.863$, all $P>0.05$). The mean lung dose (MLD) ((1572.13±148.08) cGy)/V₅ ((62.58±5.91)%)/V₂₅ ((24.33±1.83)%)/V₃₀ ((20.14±2.43)% and V₄₀ ((13.38±2.78)% of the double lung (where V_x refers to the percentage of the volume exposed to x-Gy dose to the total volume) and the mean dose (D_{mean}) ((1246.63±485.12) cGy)/V₅ ((58.46±24.31)% and V₄₀ ((6.38±2.67)% of normal tissue (NT) in the B-plan were generally higher than in the F-plan (MLD ((1546.45±152.98) cGy)/V₅ ((60.66±5.34)%)/V₂₅ ((23.79±2.20)%)/V₃₀ ((19.59±2.71)% and V₄₀ ((12.70±2.79)% of the double lung and the D_{mean} ((1209.37±466.66) cGy)/V₅ ((54.87±22.60)% and V₄₀ ((5.89±2.63)% of NT). Their difference was statistically significant ($t=-6.370$ to -2.601 , all $P<0.05$). For the heart and spinal cord, no significant differences were found between the two plans ($t=-1.120-0.377$, all $P>0.05$). However, B-plan cardiac V₃₀ ((17.21±10.42)% and V₄₀ ((11.70±8.04)% were higher than F-plan cardiac V₃₀ ((14.67±5.82)% and V₄₀ ((9.42±4.19)%). In addition, spinal cord maximum dose (D_{max}) ((4112.12±304.66) cGy) was slightly lower than F-plan spinal cord D_{max} ((4128.73±254.72) cGy). **Conclusions** Both treatment plans can obtain satisfactory target dosimetric distribution, and each plan has its own advantages and disadvantages in the protection of OARs. In clinical application, they can be used selectively or in combination according to individual differences and target distribution.

【Key words】 Lung neoplasms; Radiotherapy, intensity-modulated; Radiotherapy planning, computer-assisted; Beam angle optimization

Fund program: Science and Technology Planning Project in Panyu District (2018-Z04-29)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202001016-00002](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202001016-00002)

放疗是肺癌治疗的常见手段,其中,调强适形放射治疗(intensity modulated radiotherapy, IMRT)是目前常用的一种放疗技术,其采用一系列不同射野从不同方向照射靶区,通过调整射野内强度分布,使高剂量区适形于靶区,并在一定程度上避开靶区周围的正常组织。对于中央型肺癌,由于其主要发生在段支气管至主支气管^[1],靶区趋近纵隔而使周围正常组织如脊髓、食管、心脏等不可避免地受到照射,进行IMRT计划设计时,需要选择合适的射野方向和射野数目,其中射野方向的选择是关键。目前,临床上普遍仍采用物理师根据经验给出的射野方向,射野大小也普遍采用铅门自动跟随适形于整个靶区。这样对部分中央型肺癌来说,可能某一个或某几个射野有部分位置需穿过较多的正常肺组织才能到达靶区,增加了正常肺组织的照射剂量。为了达到更好地保护正常肺组织的目的,我们

在参考相关文献[2~5]的基础上,选取6例中央型肺癌患者,根据靶区分布情况和靶区边缘到皮肤表面的距离,遵循射野以最短路径到达靶区(即穿过肺部最小)的原则,采用锁铅门^[2-3]和添加虚拟“Block”^[4-5]的方法对所给定的射野方向进行一定的优化处理,探讨给定射野方向进一步优化对肿瘤靶区和危及器官剂量分布的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2017年11月至2019年10月在广州市番禺区中心医院接受IMRT的6例中央型肺癌患者的临床资料,其中,男性5例、女性1例,中位年龄64(53~73)岁。6例患者中,小细胞肺癌1例(局限期)、非小细胞肺癌5例(鳞癌3例:2例IIIb期、1例IV期;腺癌2例:均为IV期)。纳入标

准：①靶区分布处于居中偏右位置；②可顺利完成整个放疗计划。排除标准：①靶区分布处于居中偏左或其他位置；②由于各种原因未能完成放疗计划。所有患者治疗前均签署了知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

1.2 靶区和危及器官的勾画

患者取仰卧位，手臂上举抱头，用真空袋固定，采用荷兰 Philips 公司 Brilliance Big Bore CT 于平静呼吸状态下行 CT 平扫与增强扫描，扫描层厚、层间距均为 5 mm，范围从环状软骨至肾上腺水平。扫描后的图像传至美国 Varian 公司 Eclipse 10.0 三维治疗计划系统。由主治及副主任职称的放疗医师在 CT 图像上勾画靶区和危及器官，其中，大体肿瘤体积 (gross tumor volume, GTV) 为影像学可见肺部病灶和纵隔肿大淋巴结；临床靶体积 (clinical target volume, CTV) 为 GTV 外一定范围和区域的淋巴结，包括肿瘤潜在侵犯的范围；计划靶体积 (planning target volume, PTV) 包括计划大体肿瘤体积 (planning gross target volume, PGTV) 和计划临床靶体积 (planning clinical target volume, PCTV)，PGTV 基于 GTV 向各方向均匀外扩 5 mm，PCTV 则基于 CTV 向各方向均匀外扩 5 mm；危及器官包括肺、脊髓、心脏、食管。

1.3 治疗计划的设计

采用 Eclipse 10.0 三维治疗计划系统进行 IMRT 计划设计。采用 9 野均分、去掉穿健侧肺 (左肺) 的 2 个射野的布野方法 (射野方向为 200°、240°、280°、320°、0°、40°、160°)，对所给定的射野方向，部分射野根据靶区分布和靶区边缘到皮肤表面的距离，遵循穿过肺部最小的原则分别进行锁铅门设计 (F-plan) 和添加虚拟的“Block” (B-plan) 设计 (图 1)，其余射野铅门自动跟随适形于整个靶区。其中，F-plan 主要进行 240°、280°、40° 3 个角度的锁铅门设计，图 1A 为 40° 射野方向的锁铅门设计，该处靶区分布倾向于右侧，与右侧相比，靶区边缘距左侧皮肤表面距离较远，该射野在此处如果采用铅门自动跟随，则入射路径长，需穿过左肺才能到达靶区，因此设计时对该部分采用了锁铅门设计，缩回 Y1 方向处的部分铅门。同理，240° 和 280° 射野方向也是如此设计，在靶区上半段缩回 Y2 方向处的部分铅门，这样，靶区上半段参与照射的射野方向包括 200°、320°、0°、40°、160°，

下半段参与照射的射野方向包括 200°、240°、280°、320°、0°、160°。B-plan 所添加虚拟的“Block”的射野方向与 F-plan 相同，在接近皮肤表面射野入射路径处添加虚拟的“Block” (图 1B)。肿瘤靶区和危及器官剂量优化的优先顺序依次为靶区、脊髓、肺、食管、心脏；B-plan 中所添加虚拟的“Block”的优化权重仅次于靶区，限量“Block” $\leq 5\sim 10$ Gy。

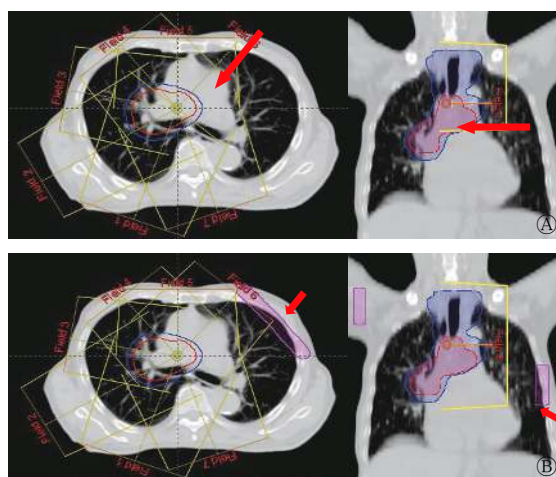


图 1 中央型肺癌调强适形放疗治疗的 2 种治疗计划中 40° 射野方向的优化方式 A 为锁铅门设计 (F-plan)，红色箭头标记处示 40° 射野方向的锁铅门设计；B 为添加虚拟的“Block”设计 (B-plan)，红色箭头标记处的紫色条纹框示 40° 射野方向的“Block”添加情况。A 和 B 的左图为 CT 横断面、右图为 CT 冠状面，冠状面图中黄色部分对应铅门大小，上侧对应 Y2 铅门，下侧对应 Y1 铅门。CT 为计算机体层摄影术

Figure 1 Optimization of 40° field direction in two plan types of intensity modulated radiotherapy in central lung cancer

1.4 处方剂量的要求

PGTV 的处方剂量为 6020 cGy /28 次 (215 cGy/次)，PCTV 的处方剂量为 5040 cGy /28 次 (180 cGy/次)。要求至少 95% 的 PTV 接受处方剂量以上的剂量，PTV 内大于处方剂量 110% 的体积不超过 1%。危及器官的剂量约束条件：双肺的 $V_5 \leq 60\% \sim 65\%$ 、 $V_{10} \leq 50\%$ 、 $V_{20} \leq 25\% \sim 35\%$ 、 $V_{30} \leq 20\%$ 、双肺的肺平均剂量 (mean lung dose, MLD) ≤ 20 Gy (其中， V_x 指接受 x Gy 剂量照射的体积占总体积的百分比)；脊髓的最大剂量 (maximum dose, D_{max}) < 45 Gy；食管的 $D_{max} < 60$ Gy；心脏的 $V_{30} \leq 40\%$ 、 $V_{40} \leq 30\%$ 。

1.5 计划评估

观察剂量-体积直方图 (dose-volume histogram,

DVH)和CT各层面的剂量分布可直观地得出靶区和危及器官的剂量体积分布情况。靶区的评估参数包括 $V_{95\%}$ 、 $V_{100\%}$ 、 $V_{105\%}$ ($V_{x\%}$ 指接受 $x\%$ 处方剂量照射的体积占总体积的百分比)、 D_{50} 、 D_{95} (D_x 指 $x\%$ 的靶区体积所接受的照射剂量)、平均剂量 (mean dose, D_{mean})、靶区均匀性指数 (homogeneity index, HI)、适形度指数 (conformity index, CI)^[6]和总的机器跳数。 $HI=(D_2-D_{98})/D_{处方}$, 其中 D_2 指DVH上2%的靶区体积所接受的照射剂量, 近似于“最大剂量”; D_{98} 指DVH上98%的靶区体积所接受的照射剂量, 近似于“最小剂量”。HI越小, 剂量均匀性越好。 $CI=(V_{T,ref}/V_T) \times (V_{T,ref}/V_{ref})$, 其中, V_T 为靶体积; $V_{T,ref}$ 为参考等剂量线所包绕的靶体积; V_{ref} 为参考等剂量线所包绕的所有区域体积。CI范围为0~1 (数值越接近1, 表示适形度越好)。

危及器官的评估参数包括双肺的 V_5 、 V_{10} 、 V_{13} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{40} 和MLD; 心脏的 V_{30} 、 V_{40} ; 脊髓的 D_{max} ; 正常组织 (指靶区所在层面、外轮廓减去靶区外扩1mm的所有正常组织)的 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 。食管由于严格限制其 $D_{max}<60$ Gy 或 $V_{60}\leq 1\%$, 这里不作评估。

1.6 统计学方法

采用SPSS20.0软件进行统计学分析。经Shapiro-Wilk检验, 符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 经Levene's方差齐性检验, 方差齐的条件下, 2种治疗计划之间的剂量学差异比较采用配对t检验。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 2种治疗计划的靶区剂量比较

6例患者的PGTV和PCTV分别为 (241.84 ± 148.21) cm^3 和 (581.79 ± 233.47) cm^3 。图2、3为其中1例患者的靶区剂量分布图和DVH。结合图3和表1可知, 2种治疗计划

的靶区覆盖率基本符合临床要求 ($V_{95\%}$ 均 $>99\%$, $V_{100\%}$ 均在95%左右), 且均具有较好的靶区适形度和剂量均匀性 (CI接近0.78, HI接近0.09)。由表1可知, 2种治疗计划的PGTV和PCTV的各参数的差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$), 但B-plan的PGTV的高剂量区 (D_2 、 D_{50})略低于F-plan, 低剂量区 (D_{95} 、 D_{98})略高于F-plan; 另外, 2种治疗计划的总的机器跳数相近, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.2 2种治疗计划的危及器官受照剂量比较

6例患者双肺的体积为 (3374.70 ± 990.20) cm^3 、

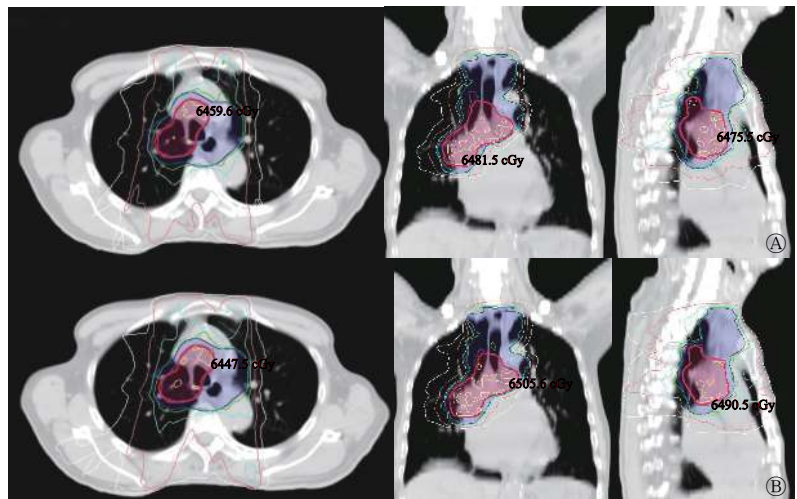


图2 中央型肺癌患者 (男性, 73岁) 调强适形放射治疗的靶区剂量分布图 A为锁铅门设计 (F-plan); B为添加虚拟的“Block”设计 (B-plan)。A和B从左至右依次为CT的横断面、冠状面、矢状面; 红色区域表示计划大体肿瘤体积, 蓝色区域表示计划临床靶体积。CT为计算机断层摄影术

Figure 2 Target dose distribution graph of intensity modulated radiotherapy in patients with central lung cancer (male, 73 years old)

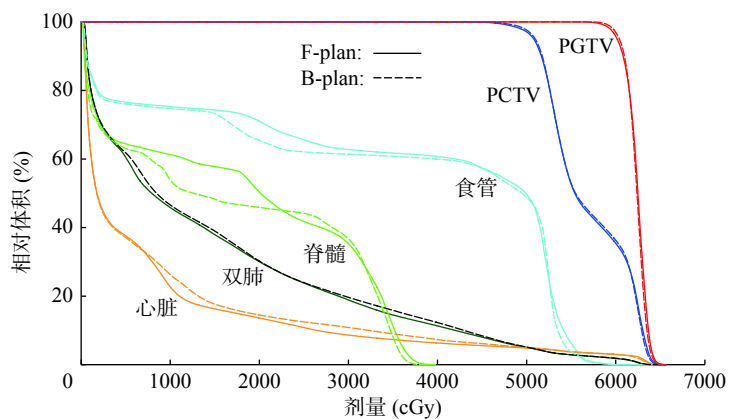


图3 中央型肺癌患者 (男性, 73岁) 调强适形放射治疗的剂量-体积直方图 F-plan为锁铅门设计; B-plan为添加虚拟的“Block”设计; PCTV为计划临床靶体积; PGTV为计划大体肿瘤体积

Figure 3 Dose-volume histogram of intensity modulated radiotherapy in patients with central lung cancer (male, 73 years old)

表1 中央型肺癌调强适形放射治疗中2种治疗计划的靶区覆盖结果的比较(n=6, $\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of target coverage between the two plan types of intensity modulated radiotherapy in central lung cancer (n=6, $\bar{x} \pm s$)

评估参数	F-plan	B-plan	t值	P值
PGTV				
D _{mean} (cGy)	6245.55±27.55	6244.48±32.84	0.244	0.817
D ₂ (cGy)	6464.21±46.10	6458.18±53.75	1.228	0.274
D ₅₀ (cGy)	6258.60±28.25	6255.79±33.04	0.427	0.687
D ₉₅ (cGy)	6023.78±21.96	6028.10±27.41	-0.738	0.494
D ₉₈ (cGy)	5939.17±39.43	5944.32±43.07	-0.603	0.573
V _{95%} (%)	99.84±0.23	99.78±0.42	0.745	0.490
V _{100%} (%)	95.21±1.04	95.38±1.37	-0.503	0.636
V _{105%} (%)	28.04±11.22	27.72±11.79	0.151	0.886
CI	0.780±0.045	0.778±0.048	0.237	0.822
HI	0.087±0.010	0.088±0.008	-1.000	0.363
PCTV				
D _{mean} (cGy)	5784.35±173.08	5784.60±171.99	-0.049	0.963
V _{95%} (%)	99.35±0.33	99.29±0.30	0.626	0.559
V _{100%} (%)	96.05±0.98	95.45±1.27	1.863	0.122
V _{105%} (%)	78.46±14.42	78.62±12.83	-0.204	0.846
机器跳数	1106.67±111.28	1142.50±71.88	-1.383	0.225

注: F-plan 为锁铅门设计; B-plan 为添加虚拟的“Block”设计; PGTV 为计划大体肿瘤体积; D_{mean} 为平均剂量; D_x 为 x% 的靶区体积所接受的照射剂量; V_{x%} 为接受 x% 处方剂量照射的体积占总体积的百分比; CI 为适形度指数; HI 为均匀性指数; PCTV 为计划临床靶体积

脊髓在三维方向上距靶区的最近距离为(1.45±0.61)cm。由表2可知,2种治疗计划的危及器官受照剂量基本满足临床的限量要求,其中,B-plan的双肺的MLD、V₅、V₂₅、V₃₀、V₄₀和正常组织的D_{mean}、V₅、V₄₀普遍高于F-plan,且差异均有统计学意义(均P<0.05);对于心脏和脊髓的受照剂量,2种治疗计划的差异均无统计学意义(均P>0.05),但B-plan的心脏受照剂量(V₃₀、V₄₀)高于F-plan,脊髓的受照剂量(D_{max})却低于F-plan。

3 讨论

在肺癌的放疗中,限制剂量的正常组织包括肺、脊髓、食管和心脏。其中,放射性肺损伤是肺癌患者放疗时最主要的剂量限制因素^[7],发生功能性肺损伤的概率取决于所受到照射的体积。现有研究结果显示,全肺V₂₀为放射性肺损伤最佳的独立

表2 中央型肺癌调强适形放射治疗中2种治疗计划的危及器官受照剂量的比较(n=6, $\bar{x} \pm s$)

Table 2 Dosimetric comparison of organs at risk between the two treatment plans types of intensity modulated radiotherapy in central lung cancer (n=6, $\bar{x} \pm s$)

评估参数	F-plan	B-plan	t值	P值
双肺				
MLD(cGy)	1546.45±152.98	1572.13±148.08	-5.951	0.002
V ₅ (%)	60.66±5.34	62.58±5.91	-6.370	0.001
V ₁₀ (%)	44.79±3.14	44.73±2.82	0.129	0.902
V ₁₃ (%)	39.12±2.93	38.87±2.76	0.527	0.621
V ₁₅ (%)	35.89±2.79	35.91±2.62	-0.069	0.948
V ₂₀ (%)	29.12±2.15	29.46±1.76	-1.835	0.126
V ₂₅ (%)	23.79±2.20	24.33±1.83	-2.601	0.048
V ₃₀ (%)	19.59±2.71	20.14±2.43	-2.912	0.033
V ₄₀ (%)	12.70±2.79	13.38±2.78	-5.949	0.002
心脏				
V ₃₀ (%)	14.67±5.82	17.21±10.42	-0.937	0.392
V ₄₀ (%)	9.42±4.19	11.70±8.04	-1.120	0.314
脊髓				
D _{max} (cGy)	4128.73±254.72	4112.12±304.66	0.377	0.722
正常组织				
D _{mean} (cGy)	1209.37±466.66	1246.63±485.12	-3.363	0.020
V ₅ (%)	54.87±22.60	58.46±24.31	-4.584	0.006
V ₁₀ (%)	40.61±17.30	40.95±17.99	-0.383	0.717
V ₂₀ (%)	24.42±10.44	24.45±10.43	-0.112	0.915
V ₃₀ (%)	13.84±5.46	14.04±5.43	-0.977	0.374
V ₄₀ (%)	5.89±2.63	6.38±2.67	-3.300	0.021

注: F-plan 为锁铅门设计; B-plan 为添加虚拟的“Block”设计; MLD 为肺平均剂量; V_x 为接受 x Gy 剂量照射的体积占总体积的百分比; D_{max} 为最大剂量; D_{mean} 为平均剂量

预测因子^[7-11]、V₃₀为独立预测因子^[7];全肺低剂量受照体积(V₅、V₁₀、V₁₃)^[8,11-12]、全肺MLD^[10]和全肺体积^[13]是有效预测因子。其次,脊髓是仅次于肺的主要危及器官,是肺癌患者放疗时主要的剂量限制因素,放疗后不良反应主要与患者接受的最大剂量有关,常规照射时脊髓受照剂量不应>45 Gy。食管、心脏位于身体中线附近,对于中央型肺癌,在给定射野方向时很难将它们完全避开,因此,放射性食管损伤^[14]和心脏损伤^[1]同样是其放疗的并发症之一。其中,放射性食管损伤的发生概率与最大受照剂量的关系密切,最大受照剂量(≥60 Gy)及最大受照剂量体积所处的解剖位置对食管3~5级毒性反应具有较大的预测价值^[14]。而放射性心脏

损伤的发生率及程度则与受照总剂量、受照体积相关^[1,15]：受照总剂量<30 Gy时，极少引起心脏损伤，受照总剂量>40 Gy时，随受照剂量的增加，放射性心脏损伤的发生率增高；同时，受照心脏体积越大，放射性心脏损伤的发生率越高，>65%的心脏体积受照时，放射性心脏损伤的发生率明显升高。

综上，设计中央型肺癌的IMRT计划时，不仅需要考虑到肺和脊髓的受量，还必须兼顾食管和心脏的受量^[8]。目前临床上常用的布野方法倾向于射野集中于前后方向，强调双肺的受量，忽略靶区的适形度和均匀性及其他危及器官的受量。喻冰琪等^[16]提出了平衡参数控制下的IMRT的概念，既强调靶区剂量和靶区剂量适形度，又平衡了各主要危及器官的受照剂量，在这种情况下，可以考虑增加一个斜野(近似水平野)^[17]来分担中央型肺癌前后方向射野的调制压力。射野方向和射野数目作为IMRT计划的主要参数，二者相辅相成，郝龙英等^[18]比较了5野、7野、9野动态调强的肺癌剂量分布，得出5野就可以满足临床剂量要求，但对于脊髓、食管、心脏的保护而言，7野或9野更有优势。本研究选取的6例中央型肺癌患者，依据上述布野原则，在给定射野的基础上，部分射野经过锁铅门或添加虚拟的“Block”设计优化处理后，靶区同一部位至少有5个方向的射野进行照射，保证了靶区的适形度，改善了脊髓和心脏的受照剂量。2种治疗计划所得到的靶区剂量覆盖率高、适形度好(CI接近0.78)，同时由于各射野方向间距较大，靶区剂量均匀性好(HI接近0.09)。在保证双肺限量符合临床要求的情况下，脊髓 D_{max} 均控制在<45 Gy，心脏受量也远低于临床限量要求。这样就很好地达到了“平衡参数控制下的IMRT的概念”的要求。本研究中2种治疗计划下所得到的靶区剂量分布大同小异，HI、CI和总的机器跳数相近，各参数的差异无统计学意义，但B-plan的PGTV的高剂量区(D_2 、 D_{50})略低于F-plan，低剂量区(D_{95} 、 D_{98})略高于F-plan。这可能是由于B-plan靶区每一部位参与照射的射野数多于F-plan，增加了计划的调控能力。2种治疗计划下双肺的 V_5 、 V_{30} 基本符合临床要求，MLD、 V_{10} 、 V_{20} 完全符合临床要求，但B-plan的MLD、 V_5 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{40} 普遍高于F-plan，且差异有统计学意义。这可能是由于尽管B-plan进行了“Block”的剂量限制，但所有射野仍

穿过肺部照射至靶区，同一部位参与照射的射野数多于F-plan，导致低剂量区分布广、高剂量区向靶区集中。同时B-plan有更多的射野穿过心脏，在限制肺和脊髓受量的情况下，照射剂量向纵隔前后方向集中，导致心脏受照剂量高于F-plan；脊髓则由于有更多的射野分担照射，极易达到临床高剂量限量要求，2种治疗计划下的脊髓 D_{max} 均<45 Gy。

锁铅门和添加虚拟的“Block”的方法是放射治疗计划设计时的一种辅助手段，在降低正常肺组织受照剂量特别是低剂量方面具有很大优势^[2-5]。本研究从射野方向的确定出发，采用锁铅门和添加虚拟“Block”的2种优化处理方法来探讨部分射野方向优化对中央型肺癌IMRT剂量学分布的影响，发现二者均能获得较好地靶区剂量学分布，在危及器官保护方面二者各有优缺点；在实际临床应用中可以根据个体差异、靶区分布有选择地使用这2种优化方法，对于分布不太明显的靶区，可以二者结合使用。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展，不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 刘凌湘负责研究方案的设计、部分调强计划的设计、数据的统计、论文的撰写与修订；陈照辉、黄贤海、易兰负责部分调强计划的设计、数据的采集。

参 考 文 献

- [1] 陈智琴, 李思涵, 李光. 肺癌调强放疗引起放射性心脏损伤的相关因素[J]. 肿瘤学杂志, 2018, 24(10): 981-986. DOI: 10.11735/j.issn.1671-170X.2018.10.B009.
Chen ZQ, Li SH, Li G. Related factors for radiation-induced heart damage after intensity modulated radiation therapy in patients with lung cancer[J]. J Chin Oncol, 2018, 24(10): 981-986. DOI: 10.11735/j.issn.1671-170X.2018.10.B009.
- [2] Wang H, Chen H, Gu HL, et al. A novel IMRT planning study by using the fixed-jaw method in the treatment of peripheral lung cancer with mediastinal lymph node metastasis[J]. Med Dosim, 2018, 43(1): 46-54. DOI: 10.1016/j.meddos.2017.08.002.
- [3] Song W, Lu H, Liu J, et al. Fixed-jaw technique to improve IMRT plan quality for the treatment of cervical and upper thoracic esophageal cancer[J/OL]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(10): 24-32[2020-01-11]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6806698>. DOI: 10.1002/acm2.12704.
- [4] Ito M, Shimizu H, Aoyama T, et al. Efficacy of virtual block objects in reducing the lung dose in helical tomotherapy planning for cervical oesophageal cancer: a planning study[J/OL]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 62[2020-01-11]. <https://>

- ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13014-018-1012-3. DOI: 10.1186/s13014-018-1012-3.
- [5] Shimizu H, Sasaki K, Ito M, et al. Impact of treatment planning using a structure block function on the target and organ doses related to patient movement in cervical esophageal cancer: a phantom study[J/OL]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(5): 75–83[2020-01-11]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6523256>. DOI: 10.1002/acm2.12582.
- [6] 邵琰, 王昊, 陈华, 等. 适形指数和均匀性指数的临床应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, 37(9): 717–721. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.09.016.
- Shao Y, Wang H, Chen H, et al. Clinical applications of conformity index and homogeneity index[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2017, 37(9): 717–721. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.09.016.
- [7] 颜博, 庞青松, 陈玉龙, 等. 非小细胞肺癌 IMRT 放疗引起急性重症放射性肺损伤相关因素分析[J]. *中国肿瘤临床*, 2016, 43(3): 116–119. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8179.2016.03.390.
- Yan B, Pang QS, Chen YL, et al. Factors related to severe acute radiation-induced lung injury caused by IMRT for non-small cell lung cancer[J]. *Chin J Clin Oncol*, 2016, 43(3): 116–119. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8179.2016.03.390.
- [8] Bezjak A, Rumble RB, Rodrigues G, et al. Intensity-modulated radiotherapy in the treatment of lung cancer[J]. *Clin Oncol*, 2012, 24(7): 508–520. DOI: 10.1016/j.clon.2012.05.007.
- [9] 王强, 石健. 肺癌三维适形及调强放疗诱导肺损伤与剂量体积直方图参数的相关性[J]. *临床肿瘤学杂志*, 2014, 19(8): 734–738. DOI: CNKI:SUN:LCZL.0.2014-08-012.
- Wang Q, Shi J. Correlations between dose-volume histogram parameters and radiation-induced lung injury for lung cancer patients treated with three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy[J]. *Chin Clin Oncol*, 2014, 19(8): 734–738. DOI: CNKI:SUN:LCZL.0.2014-08-012.
- [10] Wang WL, Xu YP, Schipper M, et al. Effect of normal lung definition on lung dosimetry and lung toxicity prediction in radiation therapy treatment planning[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013, 86(5): 956–963. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2013.05.003.
- [11] 马建光, 司小三, 程长海. 肺癌调强或适形放疗后放射性肺炎发生及计量学预测因素研究[J]. *实用癌症杂志*, 2018, 33(9): 1436–1438, 1457. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5930.2018.09.014.
- Ma JG, Si XS, Cheng CH, et al. Study on the occurrence and metrological predictors of radiation pneumonia in patients with lung cancer after intensity modulation or conformal radiotherapy[J]. *Pract J Cancer*, 2018, 33(9): 1436–1438, 1457. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5930.2018.09.014.
- [12] 李景涛, 邓垒, 张文珏, 等. 广泛期小细胞肺癌胸部 IMRT 后发生放射性肺炎的危险因素分析[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2016, 40(2): 100–105. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.02.003.
- Li JT, Deng L, Zhang WJ, et al. Risk factor analysis for predicting radiation pneumonitis in extensive stage small cell lung cancer patients receiving IMRT thoracic radiotherapy[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2016, 40(2): 100–105. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.02.003.
- [13] 陈绍芳, 陈华江, 凌昕. 全肺体积预测肺鳞癌急性放射性肺炎的价值[J]. *浙江临床医学*, 2019, 21(2): 147–149.
- Chen SF, Chen HJ, Ling X. The value of whole lung volume in predicting acute radiation pneumonia in lung squamous cell carcinoma[J]. *Zhejiang Clin Med J*, 2019, 21(2): 147–149.
- [14] Huang J, He TY, Yang RH, et al. Clinical, dosimetric, and position factors for radiation-induced acute esophagitis in intensity-modulated (chemo) radiotherapy for locally advanced non-small-cell lung cancer[J/OL]. *Onco Targets Ther*, 2018, 11: 6167–6175[2020-01-11]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6160279>. DOI: 10.2147/OTT.S174561.
- [15] 刘阳, 高世乐, 胡宗涛. 放射性心脏损伤机制及其防治的研究进展[J]. *安徽医药*, 2016, 20(10): 1813–1817. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2016.10.001.
- Liu Y, Gao SL, Hu ZT. Research progress in mechanism and treatment of radiation-induced heart disease[J]. *Anhui Med Pharm J*, 2016, 20(10): 1813–1817. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2016.10.001.
- [16] 喻冰琪, 王谨, 徐裕金, 等. 放疗技术与放射性肺损伤: 高剂量小体积还是低剂量大体积?[J]. *中国肺癌杂志*, 2015, 18(12): 752–757. DOI: 10.3779/j.issn.1009-3419.2015.12.07.
- Yu BQ, Wang J, Xu YJ, et al. Radiotherapy techniques and radiation pneumonitis: a lot to a little or a little to a lot?[J]. *Chin J Lung Cancer*, 2015, 18(12): 752–757. DOI: 10.3779/j.issn.1009-3419.2015.12.07.
- [17] 杨金磊, 卜明伟, 黄巍, 等. 水平射野对肺癌调强计划结果的影响研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, 35(5): 353–355, 359. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.05.008.
- Yang JL, Bu MW, Huang W, et al. Effects of horizontal beam on IMRT plan for lung cancer[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2015, 35(5): 353–355, 359. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.05.008.
- [18] 郝龙英, 王德林, 曹玉娟, 等. 多野动态调强治疗非小细胞肺癌剂量学差异分析[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(19): 1526–1529. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.19.021.
- Hao LY, Wang DL, Cao YJ, et al. Dosimetric comparison of non-small cell lung cancer treatment with multi fields dynamic-MLC IMRT[J]. *Natl Med J China*, 2015, 95(19): 1526–1529. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.19.021.

(收稿日期: 2020-01-12)