

胸中段食管癌 3 种调强放疗计划及心肺保护比较研究

张洪波¹, 闫冰¹, 薛旭东¹, 汪琳¹, 张朋², 沈琦¹, 钱立庭¹

摘要 目的 比较并探讨胸中段食管癌 3 种调强放疗计划及心肺保护比较研究。方法 选取 24 例胸中段食管癌的患者, 分别设计常规固定野调强放疗(IMRT)、容积旋转调强(VMAT)、螺旋断层放疗(TOMO)计划, 比较 3 种计划的计划靶区适形度指数(CI)、均匀性指数(HI)、危及器官的剂量学参数以及平均治疗时间和机器跳数(MU)的差异。结果 相比 VMAT 和 IMRT 计划, TOMO 计划拥有较优的 HI ($P = 0.01$), CI 在 3 种计划之间差异无统计学意义 ($P = 0.34$), TOMO 计划比 VMAT、IMRT 计划能更好降低双肺的 V_{30} 、 V_{20} ($P < 0.05$); TOMO 和 VMAT 计划之间双肺的 V_{10} 、 V_5 、 D_{mean} 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), VMAT 相比于 IMRT 计划在 V_{20} 和 V_5 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 3 种计划在心脏 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 和脊髓最大量 D_{max} 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); TOMO 计划时间最长, 机器跳数最多, VMAT 计划的执行速度最快, 相比 TOMO 时间平均缩短 66%。结论 在中段食管癌放疗中, TOMO 计划比 VMAT 和 IMRT 计划在均匀性和双肺保护方面都更有优势, 在靶区适形度和心脏、脊髓差异无统计学意义。TOMO 需要较长的治疗时间和较多的机器跳数; VMAT 时间最短, 计划质量也优于普通 IMRT, 因而是性价比最高的治疗方式。

关键词 食管癌; 调强放射治疗; 容积旋转调强放疗; 螺旋断层放射治疗

中图分类号 R 735.1

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2020)08-1232-05
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2020.08.016

中国每年新发食管癌数约占全球的 42.5%, 死亡数占全球的 36.9%。食管癌在全球和中国的发病率排名分别为第 7 位和第 6 位, 死亡率排名分别为第 6 位和第 4 位, 2015 年我国食管癌发病率和死亡率较 2014 年呈现下降趋势^[1-3]。我国是食管癌高发区且患者的 5 年生存率低于 20%, 放射治疗是局部晚期食管癌的主要手段之一^[4-5]。常规固定野

调强放射治疗(intensity modulated radiotherapy, IM-RT)是当前使用最广泛的技术, 容积旋转调强(volumetric modulated arc therapy, VMAT)技术虽能显著减少治疗时间, 但会增加危及器官低剂量区的照射体积^[6]。螺旋断层放射治疗(tomotherapy, TOMO)是目前世界尖端的肿瘤放射治疗设备, 360 度螺旋照射技术比 IMRT 技术具有更好的靶区覆盖适形度及剂量均匀性^[7]。该研究比较并探讨中段食管癌 TOMO、分段弧 VMAT 和 IMRT 放疗计划的剂量学差异和临床应用价值。

1 材料与方法

1.1 病例资料 随机选取 2016 年 1 月~2017 年 6 月间中国科学技术大学附属第一医院收治的 24 例行放射治疗的中段食管癌患者(按照 AJCC 癌症分期第六版, $cT_{1-4}N_{0-1}M_0$)进行回顾性分析, 其中 15 例男性, 9 例女性, 年龄 53~97(73.33 ± 10.84)岁, 肿瘤靶体积(gross tumor volume, GTV)长度均值为 7(4.13~7.23)cm, GTV 体积均值为 25(12.08~49.80)cm³, 计划靶体积(plan target volume, PTV)体积均值为 236.75(178.55~296.48)cm³。纳入标准: ①全部患者均有细胞学或组织学证实的食管中段鳞癌, 按照 AJCC 第六版分期定义的胸中段; ②按照美国东部肿瘤协作组(Eastern Cooperative Oncology Group, ECOG)体力状态评分为 0~1 分, 可进半流质; ③既往无胸部放疗史; ④无其它部位食管病变、多中心病变。

1.2 方法

1.2.1 CT 模拟定位 患者均使用真空负压垫固定, 仰卧位双臂上举抱头, 自由平静呼吸, 美国 GE 公司 CT 模拟定位机行动脉增强螺旋扫描, 层厚 2.5 mm, 扫描范围从颈部至腹部, 获得的 CT 图像传输至 Pinnacle v9.10 放疗计划系统。

1.2.2 靶区和危及器官定义及勾画 在纵隔窗宽 250~350 HU、窗位 30~50 HU 由主管医生按照 IC-RU82 号文件执行靶区勾画及命名(international commission on radiation unit and measurements, IC-RU)。在 Pinnacle 计划系统上勾画 GTV、临床靶区

2020-04-22 接收

基金项目: 国家癌症中心攀登基金(编号: NCC201812B034)

作者单位: ¹中国科学技术大学附属第一医院放疗科, 合肥 230001

²安徽医科大学生命科学院生物医学工程系, 合肥 230032

作者简介: 张洪波, 男, 博士, 副主任医师;

钱立庭, 男, 博士, 主任医师, 责任作者, E-mail: money2004@sina.com

(clinic target volume, CTV)、PTV 以及肺、脊髓和心脏等危及器官。GTV 的确定通过食道造影、胸部增强 CT、食道超声内镜、颈部 B 超、PET-CT 等影像、功能学检查发现的原发病灶及转移淋巴结。CTV 是由 GTV 前后左右均有外扩 6~8 mm, 上下外扩 3 cm, 对于解剖屏障予以适当调整。CTV 包括淋巴结高转移率的纵隔引流区, 高龄患者不包淋巴引流区。PTV 是由 CTV 基础上三维均匀外放 0.5 cm。

1.2.3 处方剂量及危及器官限量 4 种计划均需满足 95% 的 PTV 体积接受 100% 的处方剂量 60 Gy, 分割模式为 2 Gy/次, 共 30 次。危及器官限量: ①双肺接受 20 Gy 剂量照射的肺体积占全肺总体积的百分比 (V_{20}) < 25%, V_5 < 60%; ②心脏: 接受 40 Gy 剂量照射的心脏体积占总体积的百分比 (V_{40}) < 30%, V_{30} < 40%; ③脊髓: 脊髓最大量 ($\max$ dose, $D_{\max}$) < 45 Gy。

1.2.4 治疗计划设计 IMRT 和 VMAT 计划均在 Pinnacle 放疗计划系统上完成, 治疗时使用医科达 Synergy 加速器 6MV-X 射线, MLCi2 的加速器机头; TOMO 计划是由 Pinnacle 计划系统将 CT 图像和勾画好的感兴趣区传输至 TomoHDTM Version 2.1.0 治疗计划系统上完成。①固定野 IMRT 采用 step and shoot 出束方式, 射野角度分别为 150°、120°、40°、0°、320°和 210°六个方向, 最大子野数目 60, 最小子野面积 5 cm², 最小子野跳数 5 MU (monitor unit); ②VMAT 采用 6 个分段弧的投照方式, 具体是: 先逆时针旋转照射的 3 段分立弧为 179°~120°、50°~310°和 230°~181°, 然后再顺时针重复这 3 段弧进行照射。逆时针准直器角度 10°, 顺时针准直器角度 350°, 控制点间隔为 4°; ③TOMO 采用部分遮挡方式, 使射线尽量沿纵隔方向照射。铅门宽度 (field width) 2.5 cm, 调制因子 (MF) 2.2, 螺距 (pitch) 0.287。

1.2.5 剂量学参数评估 确保 95% 的 PTV 满足处方剂量的前提下, 评价不同计划的靶区适形度指数 (conformity index, CI)、均匀性指数 (homogeneity index, HI), 双肺 V_{30} 、 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 和平均剂量 (dose mean, D_{mean}), 心脏 V_{40} 、 V_{30} 、 D_{mean} , 脊髓 $D_{\max}$, 以及 3 种计划的出束时间 (time, T)、机器治疗跳数 MU。CI 的计算公式为:

$$CI = \frac{V_{T, \text{ref}}}{V_T} \times \frac{V_{T, \text{ref}}}{V_{\text{ref}}}$$

其中, $V_{T, \text{ref}}$ 为处方剂量所覆盖的 PTV 体积; V_T 为 PTV 的体积; V_{ref} 为处方等剂量线所覆盖的总体积。

CI 越接近 1 表明靶区适形度越好。

HI 的计算公式为:

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}}$$

其中, $D_{2\%}$ 和 $D_{98\%}$ 分别是 2% 和 98% PTV 体积的受照剂量, 可认为是近似“最大”和“最小”剂量; $D_{50\%}$ 是中位剂量。HI 值越接近 0, 表明靶区均匀性越好。

1.3 统计学处理 采用 SPSS 19.0 统计软件进行分析。对实验数据采用 Kolmogorov-Smirnov test 进行正态性检验和采用 Levene test 进行方差齐性检验, 符合正态分布的实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不符合的以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。单变量两组资料之间的比较采用两独立样本 t 检验; 多组资料之间的比较采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 时, 组间采用 LSD 法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量参数比较 24 例患者 TOMO、VMAT 和 IMRT 3 种计划的计划结果和剂量分布均能达到临床处方剂量要求。图 1、2 分别是其中一例患者的不同计划的剂量体积直方图以及相应的剂量分布图。由表 1 可知, TOMO 计划相比于 VMAT 和 IMRT 剂量 HI 方面差异有统计学意义 ($P = 0.04, 0.01$), IMRT 和 VMAT 间 HI 差异无统计学意义 ($P = 0.22$)。靶区 CI 3 种不同计划之间差异无统计学意义。HT 计划的近似“最大”剂量 $D_{2\%}$ 低于其他 3 种计划且差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

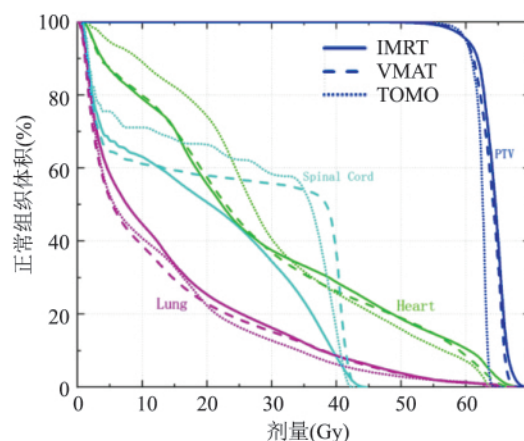


图 1 3 种不同调强放疗计划剂量体积直方图

2.2 肺组织剂量学参数比较 3 种计划的双肺剂量-体积关系均能满足临床要求, 3 种不同计划双肺的 V_{30} 、 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 和 D_{mean} 值差异有统计学意义, 利用 LSD 多重比较分析显示, TOMO 相比于 IMRT

表1 3种放疗计划靶区剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

靶区 参数	IMRT	VMAT	TOMO	F 值	P 值	LSD 多重比较 P 值		
						IMRT vs VMAT	IMRT vs TOMO	VMAT vs TOMO
HI	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.03	0.08 ± 0.02	5.58	0.01	0.22	0.01	0.04
CI	0.82 ± 0.11	0.81 ± 0.08	0.85 ± 0.06	1.11	0.34			

表2 3种放疗计划肺组织剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

双肺	IMRT	VMAT	TOMO	F 值	P 值	LSD 多重比较 P 值		
						IMRT vs VMAT	IMRT vs TOMO	VMAT vs TOMO
V ₃₀	10.72 ± 4.61	9.72 ± 3.63	6.82 ± 3.78	6.07	0.01	0.40	0.010	0.02
V ₂₀	21.53 ± 2.94	19.04 ± 3.56	16.37 ± 5.19	9.94	0.001	0.04	0.001	0.02
V ₁₀	39.73 ± 3.83	37.41 ± 4.41	35.21 ± 6.15	5.11	0.01	0.11	0.010	0.13
V ₅	54.00 ± 5.09	50.19 ± 5.21	47.77 ± 6.73	7.22	0.01	0.02	0.001	0.15
D _{mean}	11.80 ± 1.79	11.06 ± 1.67	10.14 ± 2.00	5.00	0.01	0.16	0.010	0.09

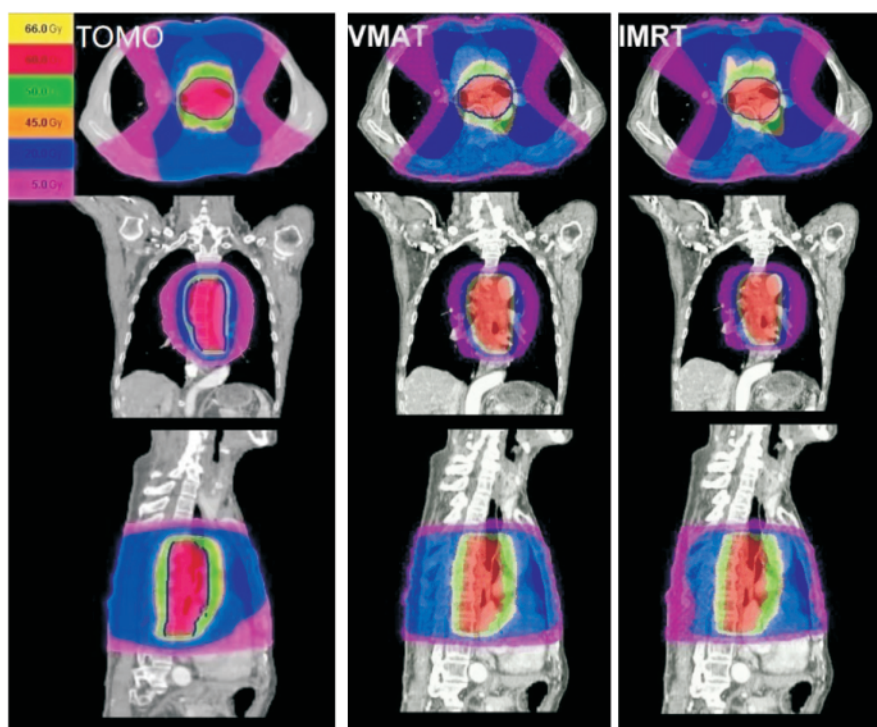


图2 3种不同调强计划的剂量分布比较

在 V₃₀、V₂₀、V₁₀、V₅ 和 D_{mean} 值差异有统计学意义, TOMO 相比于 VMAT 在 V₃₀、V₂₀ 差异有统计学意义。

2.3 心脏、脊髓组织剂量学参数比较 3种计划均能满足临床危及器官限量要求,3种计划无论是心脏的 V₄₀、V₃₀、D_{mean}, 还是脊髓 D_{max} 值在剂量学上差异无统计学意义。

表3 3种放疗计划心脏脊髓组织剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

组织	IMRT	VMAT	TOMO	F 值	P 值
心脏 V ₄₀	18.58 ± 9.32	16.77 ± 7.78	14.58 ± 7.47	1.42	0.25
心脏 V ₃₀	29.95 ± 11.72	28.43 ± 11.48	27.03 ± 12.16	0.37	0.69
心脏 D _{mean}	22.21 ± 7.97	21.81 ± 7.80	22.42 ± 8.16	0.03	0.97
脊髓 D _{max}	42.92 ± 2.53	42.68 ± 2.03	42.01 ± 1.96	1.12	0.33

2.4 MU 和照射时间比较 IMRT 治疗计划的平均

跳数为(542.38 ± 134.96), VMAT 治疗计划的平均跳数为(442.96 ± 69.35), TOMO 治疗计划的平均跳数为(6951.63 ± 1842.15), 3种放疗计划平均跳数差异有统计学意义($F = 286.75, P < 0.05$)。采用 LSD 多重比较分析显示平均跳数: IMRT 治疗计划与 TOMO 治疗计划差异有统计学意义($P < 0.05$); VMAT 治疗计划与 TOMO 治疗计划差异有统计学意义($P < 0.05$); IMRT 治疗计划与 VMAT 治疗计划差异无统计学意义($P = 0.75$)。VMAT 相比 TOMO 机器跳数平均缩短 93.7%, IMRT 相比 TOMO 机器跳数平均缩短 93.3%。VMAT 出束时间为(167.96 ± 23.28) s, 与 TOMO 的出束时间(483.19 ± 125.98) s 比较, VMAT 计划的执行速度较快, 仅需 TOMO 治疗

时间 1/3, 差异有统计学意义 ($t = 11.80, P < 0.05$)。

3 讨论

食管癌是中国最常见的恶性肿瘤之一, 确诊时超过 80% 的患者需要进行放射治疗^[6]。研究表明放疗剂量 ≥ 60 Gy 时可以提高患者的 5 年生存率、无局部复发生存率和无远处转移生存率, 且未增加放射性损伤^[8]。近年来, 随着三维适形放疗 (3D-CRT), 特别是 IMRT、VMAT、TOMO 等新技术的出现, 为食管癌实现肿瘤靶区的局部加量、减少正常组织和危及器官的受照剂量以及降低放疗的晚期毒副反应提供了条件。

目前临床上对中段食管癌放疗多采用 IMRT 技术, 考虑到双侧肺的受量, 通常采用沿纵隔方向交错布野, 通过多叶准直器 (multi-leaf collimator, MLC) 调节射线强度。与 3D-CRT 相比, IMRT 能够提高食管癌照射靶区的剂量和均匀性, 降低双肺的平均受量以及脊髓等的最大剂量, 临床中接受 IMRT 技术放疗的患者 3 年和 5 年生存率均提高了 10%^[9]。VMAT 作为一种新的调强技术, 其能根据靶区的形状, 调整机架旋转速度、剂量率和 MLC 的运动速度, 来获得理想的三维剂量分布, 且具有缩短治疗时间和减少机器跳数等优点^[9-11]。Ma et al^[9] 利用 VMAT 技术研究了上段食管癌, 结果表明相比 IMRT, VMAT 计划能降低双肺 V_{20} 和 D_{mean} 以及心脏 V_{30} 体积, CI 和 HI 也有提高。但两个全弧 VMAT 计划在机架旋转过程中使更多的正常组织受到了低剂量照射, 增加了诱发二次肿瘤的可能性^[11]。本研究采用 6 分段弧的 VMAT 照射方式, 减少在人体左右方向的出束, 主要沿纵隔方向布野, 降低双肺的受量。

TOMO 系统是将 6 MV 加速器安装在 CT 的滑环机上, 窄扇形射线经二元气动多叶准直器调制输出, 其机架做 360° 旋转, 同时治疗床做步进运动。赖霄晶等^[9] 认为 HT 计划对比 IMRT 计划具有更好的靶区覆盖适形度及剂量均匀性, 同时能减少双肺、心脏及脊髓的受照剂量。刘志强等^[12] 认为 TOMO 技术比 IMRT 技术具有更好的靶区适形度和均匀性, 双肺的 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} 更低, 为食管癌的放疗提供了新的治疗手段。

本研究结果表明 3 种计划的靶区剂量分布和危及器官限量都能满足临床治疗要求。TOMO 计划在剂量均匀性方面差异有统计学意义, 在靶区适形性方面优势差异无统计学意义。这一结论同 Lin et

al^[13] 研究一致。同时分段弧 VMAT 与 6 野 IMRT 计划差异无统计学意义。本结果不同于 Ma et al^[9] 的研究, 分析原因是后者使用的 2 个全弧 VMAT, 具有更多的射束投照角度, 从而形成更多的调制强度。与 Hua et al^[14] 研究结论不一的原因可能与研究的食管部位不一致。双肺 V_{20} 是预测急性放射性肺炎的重要指标, 当 $V_{20} < 20\%$, 无放射性肺炎; V_{20} 在 22% ~ 31% 时, 8% 的患者发生 2 级放射性肺炎。因此对食管癌患者切实减少双肺的受照剂量和体积是预防放射性肺损伤的有效途径。本研究的 TOMO、VMAT 和 IMRT 计划的平均 V_{20} 体积均低于 22%, 因而对患者双肺有较好的保护作用。TOMO 计划在 V_{30} 、 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 和 D_{mean} 均优于 IMRT 计划, TOMO 相比于 VMAT 在 V_{30} 、 V_{20} 差异有统计学意义, VMAT 相比于 IMRT 在 V_{20} 、 V_5 差异有统计学意义。本研究结论在肺组织保护方面同徐裕金等^[15] 结论高度一致。因而对复杂的食管计划, TOMO 计划拥有更多调制强度, 也更容易达保护双肺的目的。TOMO 和 VMAT 计划的低剂量 V_{10} 、 V_5 、 D_{mean} 上差异无统计学意义, 但均优于 IMRT 计划, 这主要得益于 TOMO 计划进行了两侧双肺遮挡技术, VMAT 计划进行了分段弧的出束, 使靶区最大照射范围沿纵隔方向有关。

研究^[14] 表明如果心脏接受超过大于 40 Gy 的剂量时容易引起心脏疾病, 且 V_{40} 减少与降低心脏毒性正相关。文献报道^[17] 心脏 V_{30} 体积控制在 46% 以下, 放疗后 18 个月发生心包积液的概率会下降 60%。本研究中 TOMO 计划的平均心脏 V_{40} 、 V_{30} 和 D_{mean} 与 VMAT、IMRT 计划比较差异无统计学意义。3 种计划的脊髓最大量 D_{max} 也均满足处方要求, 差异无统计学意义。三者在心脏和脊髓保护上均可以满足临床需要。在治疗时间和效率方面, VMAT 计划时间和机器跳数均为最少。总治疗时间的缩短不仅提高效率, 也可减小患者分次内的体位移动、器官运动和体积变化等因素对放疗精度的影响。

参考文献

- [1] Freddie B, Jacques F, Isabelle S, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. Ca Cancer J Clin, 2018, 68 (6): 394 - 424.
- [2] 孙可欣, 郑荣寿, 张思维. 2015 年中国分地区恶性肿瘤发病和死亡分析 [J]. 中国肿瘤, 2019, 28(1): 1 - 11.
- [3] 陈万青, 孙可欣, 郑荣寿. 2014 年中国分地区恶性肿瘤发病和

- 死亡分析 [J]. 中国肿瘤, 2018, 27(1): 1-14.
- [4] Li M, Zhang X, Zhao F, et al. Involved-field radiotherapy for esophageal squamous cell carcinoma: theory and practice [J]. Radiat Oncol, 2016, 11(1): 18-27.
- [5] 吴式琇, 王绿化. 食管癌根治性放射治疗的现状与展望 [J]. 中华肿瘤杂志, 2016, 38(9): 650-4.
- [6] Ma P, Wang X, Xu Y, et al. Applying the technique of volume-modulated arc radiotherapy to upper esophageal carcinoma [J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 221-8.
- [7] 赖霄晶, 谷庆, 杨双燕, 等. 食管癌螺旋断层放疗及三维适形调强放疗计划剂量学研究 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2017, 24(10): 696-702.
- [8] Song T, Liang X, Fang M, et al. High-dose versus conventional-dose irradiation in cisplatin-based definitive concurrent chemoradiotherapy for esophageal cancer: a systematic review and pooled analysis [J]. Expert Rev Anticancer Ther, 2015, 15(10): 1157-69.
- [9] 吴爱东, 闫冰, 刘磊, 等. 左侧乳腺癌保乳术后不同调强放疗计划的剂量学研究 [J]. 安徽医科大学学报, 2017, 52(7): 1012-6.
- [10] 吴齐兵, 汪志, 闫冰, 等. 陀螺刀和容积调强治疗肺部小病灶的剂量学比较 [J]. 安徽医科大学学报, 2017, 52(7): 1061-5.
- [11] Verma V, Moreno A C, Lin S H. Advances in radiotherapy management of esophageal cancer [J]. J Clin Med, 2016, 5(10): 91-102.
- [12] 刘志强, 胡志辉, 黄鹏, 等. 螺旋断层固定野调强放疗技术在中段食管癌放疗中的应用 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(6): 430-4.
- [13] Lin J C, Tsai J T, Chen L J, et al. Compared planning dosimetry of TOMO, VMAT and IMRT in rectal cancer with different simulated positions [J]. Oncotarget, 2017, 8(26): 42020-9.
- [14] Hua C, Hao W, Heng L G, et al. Study for reducing lung dose of upper thoracic esophageal cancer radiotherapy by auto-planning: volumetric-modulated arc therapy vs intensity-modulated radiation therapy [J]. Med Dosim, 2018, 43(3): 243-50.
- [15] 徐裕金, 李浦, 胡晓, 等. 螺旋断层、容积旋转调强和固定野调强在食管癌放疗剂量对比分析 [J]. 中华医学杂志, 2019, 99(41): 3260-5.
- [16] Ishikura S, Nihei K, Ohtsu A, et al. Long-term toxicity after definitive chemoradiotherapy for squamous cell carcinoma of the thoracic esophagus [J]. J Clin Oncol, 2003, 21(14): 2697-702.
- [17] Wei X, Liu H H, Tucker S L, et al. Risk factors for pericardial effusion in inoperable esophageal cancer patients treated with definitive chemoradiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(3): 707-14.

Dosimetric comparison of three different radiation treatment plans and cardio-pulmonary protection for middle thoracic esophageal carcinoma

Zhang Hongbo, Yan Bing, Xue Xudong, et al

(Dept of Radiation Oncology, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230001)

Abstract Objective To compare and explore dosimetric parameters of three different radiation treatment plans and cardio-pulmonary protection for middle thoracic esophageal carcinoma. **Methods** A total of twenty-four patients with middle thoracic esophageal cancer were included and three radiation treatment plans for fixed field intensity modulated radiotherapy (IMRT), volumetric modulated arc therapy (VMAT) and tomotherapy (TOMO) were designed for each patient. Conformity index (CI), homogeneity index (HI), dosimetric parameters of organs at risk, the mean treatment time and the number of monitor units (MU) of the three plans were compared. **Results** Compared with VMAT and IMRT, TOMO showed better HI ($P=0.01$), and there was no significant difference in CI ($P=0.34$) among three different radiation treatment plans, TOMO was significantly better than those of VMAT and IMRT in lung V_{30} and V_{20} ($P<0.05$); There was no statistically significant difference between TOMO and VMAT in lung V_{10} , V_5 and D_{mean} ($P>0.05$), VMAT was significantly better than IMRT in lung V_{20} , V_5 ($P<0.05$); There was no significant difference in heart V_{30} , V_{40} , D_{mean} ($P>0.05$) and the highest dose of spinal cord (D_{max}) ($P>0.05$) among three plans; TOMO had the longest treatment time and the most number of MU, VMAT was the fastest to execute, with an average time reduction of 66% compared to TOMO. **Conclusion** In radiotherapy for middle thoracic esophageal cancer, TOMO is more advantageous than VMAT and IMRT in terms of HI and lung protection, and there is no significant difference in CI and dosimetric parameters of heart and spinal cord. TOMO requires longer treatment time and more number of MU; VMAT has the shortest treatment time and better plan quality than IMRT, so it is the most cost-effective treatment.

Key words esophageal carcinoma; intensity modulated radiotherapy; volumetric modulated arc therapy; tomotherapy