

鼻咽癌静态 IMRT 与 VMAT 同步加量放疗剂量学比较

唐正中, 吴爱东, 钱立庭, 刘 磊, 周解平

摘要 选择 21 例同步加量调强放射治疗 (SMART) 鼻咽癌患者, 在计划系统中以相同处方剂量和目标限量要求分别设计 9 野静态调强 (sIMRT) 和双弧容积旋转调强放射治疗 (VMAT) 计划, 满足 95% 靶体积达到处方剂量要求的前提下, 比较两种计划的靶区剂量、危及器官和正常组织的受照剂量以及机器跳数 (MU) 和治疗时间的差异。结果显示两种计划靶区最大、最小剂量以及均匀性指数差异均无统计学意义, 但 VMAT 靶区的适形指数 (CI) 显著提高 ($t = -3.86$, $P < 0.05$)。转移淋巴结计划靶体积 (PGTVnd)、高危淋巴引流区计划靶体积 (PTV1) 和预防照射淋巴引流区计划靶体积 (PTV2) 的平均剂量降低, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。VMAT 计划的脑干、脊髓和视交叉最大剂量以及双侧腮腺的 60% 体积受到的剂量 ($D_{60\%}$) 都小于 sIMRT 计划相应剂量, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。VMAT 计划正常组织受照 5 Gy 体积 (V_5)、 N_{10} 和 V_{15} 略高于 sIMRT 计划值 ($P > 0.05$), 但 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{35} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 和平均剂量统计明显小于 sIMRT 计划相应剂量 ($P < 0.05$, $P < 0.01$)。VMAT 计划平均总 MU 和治疗时间分别减少约 14.2% 和 68.8%。

关键词 鼻咽癌/放射治疗; 同步加量调强放射治疗; 容积旋转调强放疗; 静态调强放射治疗; 剂量学

中图分类号 R 739.63; R 730.55

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2014)08-1164-04

目前, 鼻咽癌放疗已广泛采用同步加量调强放射治疗 (simultaneous modulated accelerated radiotherapy, SMART) 技术, 该技术在降低鼻咽肿瘤剂量的前提下, 可有效降低腮腺等正常组织的受照体积和剂量, 降低口干的发生率, 提高放疗疗效及患者的生活质量^[1]。但以静态或动态调强放疗为代表的常规调强放疗 (intensity modulated radiation therapy, IMRT) 实际治疗时间较长, 增加了治疗中不确定影响因素, 亦增加了患者不适感^[2]。近年来, 容积旋转调强放射治疗 (volumetric modulated Arc therapy, VMAT) 已逐渐应用于临床, 与常规 IMRT 相比,

VMAT 有相近或更好的剂量分布, 并可减少机器跳数 (monitor unit, MU) 以及患者的治疗时间^[3]。该研究通过比较 21 例鼻咽癌同步加量静态调强 (step and shoot IMRT, sIMRT) 与 VMAT 计划, 分析两种技术在靶区剂量分布和正常组织受照剂量上的差异, 以期临床工作提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 病例资料 选择 21 例经病理检查证实为低分化鳞癌的鼻咽癌放疗患者, 且无放疗禁忌证。男 15 例, 女 6 例, 年龄 31 ~ 71 岁, 中位年龄 49.5 岁。其中 T1 期 2 例、T2 期 3 例、T3 期 12 例、T4 期 4 例。患者均签署放疗知情同意书, 在 kV 级图像引导加速器上按医师要求的时间行锥形束 CT 图像引导, 确认摆位误差 < 3 mm 后实施调强放疗。

1.2 体位固定和 CT 扫描 所有患者取仰卧位, 采用头枕加头颈肩热塑面膜固定, 做好体表标记并行螺旋 CT 扫描, 扫描范围从头顶至胸骨切迹下 2 cm, 层厚 3 mm, 扫描的 CT 图像经网络传输到 ADAC Pinnacle3 10.0 治疗计划系统。

1.3 靶区和危及器官的勾画 参照 2010 年鼻咽调强放疗专家共识, 医师在三维重建后的 CT 图像或 CT 与 MRI 融合图像上逐层勾画鼻咽部和颈部转移淋巴结大体肿瘤靶体积 (gross target volume, GTVnx、GTVnd)、临床靶体积与高危淋巴引流区的临床靶体积 (clinical target volume, CTV1) 以及需预防照射的淋巴结引流区 (CTV2)。依照本单位的摆位误差数据相应外扩得到各部分的计划靶体积 (planning target volume, PTV) 并分别定义为 PGTV、PGTVnd、PTV1、PTV2。危及器官 (organ at risk, OAR) 参照 ICRU83 号报告进行定义和勾画。OAR 主要包括脑干、脊髓、颞叶、视神经、视交叉、垂体、颞颌关节、腮腺等。

1.4 治疗计划设计 患者计划均采用 6MV-X 线同步加量调强照射技术, 计划靶体积的处方剂量 PGTV 为 2.27 Gy/次、PGTVnd 为 2.2 Gy/次、PTV1 为 2 Gy/次、PTV2 为 1.8 Gy/次, 共分 30 次同期完成, 总剂量分别为 68、66、60、54 Gy。在计划系统上对 21 例患者分别设计 9 个固定野 sIMRT 和双弧

2014-03-20 接收

基金项目: 高校省级自然科学基金项目 (编号: KJ2010B380)

作者单位: 安徽医科大学附属医院放疗科, 合肥 230001

作者简介: 唐正中, 女, 硕士研究生;

吴爱东, 男, 副教授, 硕士生导师, 责任作者, E-mail: aid-ongwu@21cn.com

VMAT 计划, sIMRT 计划的 9 个照射野在 360° 内等角布野, 相邻照射野间隔为 40°, 治疗床及准直器角度均为 0°; 双弧 VMAT 计划治疗床角度为 0°, 机架先逆时针从 179° 旋转至 181°, 准直器为 350°; 再顺时针自 181° 旋转至 179°, 准直器为 10°。两种计划的剂量约束条件和优化参数相同, 并采用靶区平均剂量归一方式, 要求所有 95% 计划靶体积不低于相应处方剂量要求。正常组织剂量限值: 脊髓 < 45 Gy; 脑干 < 54 Gy; 腮腺 $V_{30} < 50\%$; 晶状体 < 8 Gy; 视交叉 < 54 Gy; 颞颌关节 < 70 Gy; 颞叶 < 60 Gy, 眼球 < 50 Gy。

1.5 治疗计划评估 利用剂量体积直方图 (dose volume histogram, DVH) 对两种计划的计划靶区、OAR 和正常组织的受照射剂量进行统计学分析, 如下:

① 所有计划靶区 (PGTV、PGTVnd、PTV1、PTV2) 剂量和体积参数: 靶区最大剂量 $D_{\max}$ 、最小剂量 $D_{\min}$ 、平均剂量 D_{mean} 以及 95% 等剂量曲线所包围 PTV 体积 $V_{95\%}$, 5% 和 95% PTV 体积所受的照射剂量 $D_{5\%}$ 和 $D_{95\%}$ 。

② PTV 靶区剂量均匀性指数 (homogeneity index, HI) [4]:

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}}$$

HI 值越低 (即越接近 1), 表示靶区剂量均匀性越好, 反之, HI 值越大表明剂量不均匀性较大。

③ PTV 靶区剂量适形指数 (comfomity index, CI) [5]:

$$CI = \frac{V_{T_{ref}}}{V_T} \times \frac{V_{T_{ref}}}{V_{ref}}$$

其中, $V_{T_{ref}}$ 为参考等剂量线所覆盖的所有 PTV 体积; V_T 为 PTV 体积; V_{ref} 为参考等剂量线所包围的所有体积, CI 值为 0 ~ 1, CI 值越大, 表示适形度越好, 等于 1 时最理想, 等于 0 时最差。

④ 主要 OAR 受量: 脊髓和晶体的最大剂量; 脑干、神交叉和视神经的最大剂量及平均剂量, 腮腺平均剂量及 33% 体积受到的剂量 (D_{33}) 以及 D_{50} 和 D_{60} , 扣除所有 PTV 后靶区外正常组织体积 [本文定义为全身 (body, B) 减去 PTV 后体积, 即 [B - P] 受照平均剂量及受照 5 Gy 体积 (V_5) 以及 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{35} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 占总 B - P 体积百分比。

⑤ 两种计划的平均 MU 和治疗时间。

1.6 统计学处理 采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析, 数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 数据进行参数间配对 t 检

验。

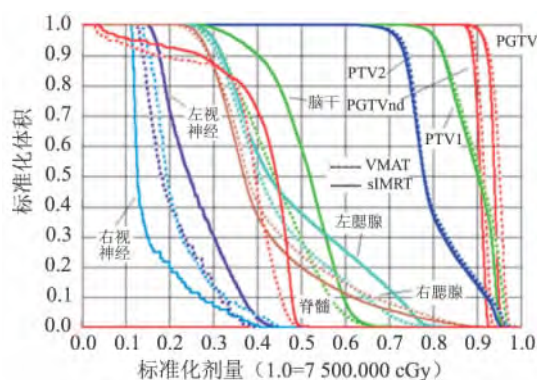


图1 IMRT 与 VMAT 治疗计划的 DVH 比较

2 结果

2.1 DVH 图和等剂量线分布比较 21 例患者两种计划的剂量分布及计划参数都能达到临床处方剂量要求。DVH 图显示 VMAT 计划的计划靶区剂量统计优于 sIMRT 计划, 见图 1; VMAT 靶区剂量覆盖和适形性也好于 sIMRT 计划结果, 图 2 为 1 例患者两种计划的横断面等剂量线分布比较图。

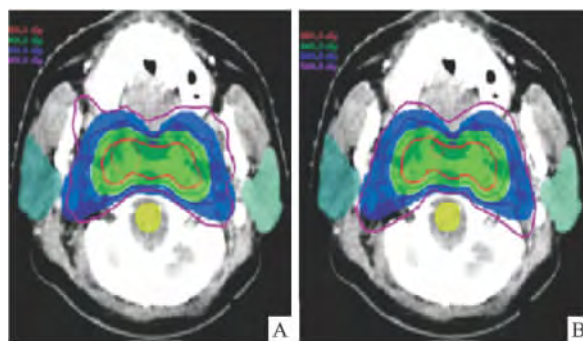


图2 两种计划横断面等剂量线分布比较图
A: sIMRT; B: VMAT

2.2 计划靶区剂量学参数比较 VMAT 和 sIMRT 计划所有计划靶区 (PGTV、PGTVnd、PTV1、PTV2) 的最大、最小剂量以及 HI 相差不大, 但 VMAT 计划的 PGTVnd、PTV1 和 PTV2 平均剂量 D_{mean} 较低, 所有计划靶区的靶区 CI 较高, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。

2.3 OAR 剂量比较 VMAT 计划的脑干、脊髓最大剂量以及双侧腮腺 $D_{60\%}$ 小于 sIMRT 计划相应剂量, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。晶体最大剂量、视神经与脑干平均剂量、双侧腮腺平均剂量、 $D_{33\%}$ 和 $D_{50\%}$ 两种计划的结果相似, 见表 2。

表1 两种计划间靶区的剂量学指标 ($\bar{x} \pm s$)

参数	sIMRT	VMAT	t 值	P 值
PGTV				
D _{max} (Gy)	74.85 ± 2.04	74.09 ± 1.91	1.78	0.09
D _{min} (Gy)	60.03 ± 4.80	59.84 ± 5.49	0.52	0.61
D _{mean} (Gy)	71.15 ± 0.92	71.03 ± 1.77	0.46	0.65
HI	1.08 ± 0.04	1.06 ± 0.02	2.08	0.06
CI	0.36 ± 0.15	0.41 ± 0.16	-3.86	0.00
PGTVnd				
D _{max} (Gy)	70.76 ± 2.34	70.26 ± 1.99	0.69	0.50
D _{min} (Gy)	64.30 ± 3.44	63.46 ± 2.34	1.79	0.09
D _{mean} (Gy)	68.80 ± 1.18	68.11 ± 1.05	2.22	0.04
HI	1.04 ± 0.01	1.04 ± 0.03	1.58	0.13
CI	0.08 ± 0.05	0.09 ± 0.05	-3.96	0.00
PTV1				
D _{max} (Gy)	74.86 ± 2.02	74.09 ± 1.91	1.81	0.09
D _{min} (Gy)	47.33 ± 5.23	48.35 ± 4.61	-1.71	0.10
D _{mean} (Gy)	67.16 ± 1.14	66.63 ± 1.24	2.90	0.01
HI	1.17 ± 0.10	1.18 ± 0.12	-0.30	0.77
CI	0.31 ± 0.12	0.37 ± 0.14	-3.58	0.00
PTV2				
D _{max} (Gy)	74.87 ± 2.01	74.10 ± 1.92	1.83	0.08
D _{min} (Gy)	33.96 ± 9.14	34.21 ± 9.14	-0.14	0.90
D _{mean} (Gy)	61.28 ± 2.18	60.37 ± 1.60	2.25	0.04
HI	1.29 ± 0.04	1.29 ± 0.04	0.68	0.51
CI	0.62 ± 0.07	0.68 ± 0.06	-6.80	0.00

表2 两种计划间 OAR 的剂量学指标 ($\bar{x} \pm s$)

参数 (Gy)	sIMRT	VMAT	t 值	P 值
脑干				
D _{max}	53.76 ± 3.57	52.55 ± 2.48	2.81	0.01
D _{mean}	29.59 ± 5.58	29.90 ± 5.23	-0.61	0.55
脊髓				
D _{max}	39.02 ± 1.42	38.04 ± 1.41	3.76	0.00
晶体				
D _{max} (左)	6.18 ± 1.10	6.22 ± 0.84	-0.22	0.83
D _{max} (右)	6.16 ± 0.97	6.04 ± 0.65	0.89	0.38
视神经				
D _{max} (左)	31.40 ± 18.12	31.91 ± 15.82	-0.40	0.69
D _{mean} (左)	22.6 ± 18.3	22.88 ± 15.18	-0.24	0.81
D _{max} (右)	25.64 ± 12.62	27.57 ± 12.53	-2.38	0.08
D _{mean} (右)	24.18 ± 20.69	21.00 ± 13.57	0.76	0.46
腮腺				
D _{mean} (左)	34.27 ± 6.76	33.14 ± 5.11	1.38	0.18
D _{33%} (左)	36.27 ± 5.90	36.57 ± 5.10	-0.37	0.71
D _{50%} (左)	29.98 ± 6.23	28.56 ± 2.89	1.44	0.16
D _{60%} (左)	28.13 ± 6.03	25.55 ± 2.29	2.19	0.04
D _{mean} (右)	34.01 ± 6.92	32.96 ± 5.85	1.00	0.33
D _{33%} (右)	36.06 ± 5.41	35.40 ± 2.90	0.70	0.49
D _{50%} (右)	30.14 ± 5.17	27.86 ± 1.65	1.93	0.07
D _{60%} (右)	28.05 ± 4.97	25.32 ± 1.52	2.34	0.03

2.4 靶区外正常组织受照剂量 VMAT 计划靶区外正常组织 (B-P) 低剂量区受照体积 V₅、V₁₀ 高于 sIMRT 计划值, 但差异无统计学意义; 而 V₁₅、V₂₀、

V₂₅、V₃₀、V₃₅、V₄₀、V₄₅、V₅₀ 和 V_{mean} 明显小于 sIMRT 计划相应剂量, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$, $P < 0.01$), 见表 3。

表3 两种计划间正常组织的剂量学指标 ($\bar{x} \pm s$)

参数 (Gy)	sIMRT	VMAT	t 值	P 值
V ₅	57.55 ± 14.71	57.94 ± 14.75	-1.43	0.17
V ₁₀	48.72 ± 14.44	49.06 ± 14.44	-1.56	0.14
V ₁₅	43.19 ± 13.37	42.73 ± 13.42	2.11	0.05
V ₂₀	37.88 ± 12.11	37.18 ± 12.08	4.02	0.00
V ₂₅	32.80 ± 11.2	31.61 ± 10.53	5.86	0.00
V ₃₀	27.72 ± 10.26	25.65 ± 8.70	5.44	0.00
V ₃₅	21.98 ± 9.05	19.59 ± 7.09	5.06	0.00
V ₄₀	15.98 ± 7.40	13.86 ± 5.37	4.35	0.00
V ₄₅	10.69 ± 4.94	9.01 ± 3.41	4.39	0.00
V ₅₀	6.04 ± 2.82	4.80 ± 1.76	4.35	0.00
V _{mean}	17.25 ± 5.16	16.65 ± 4.73	5.07	0.00
MU 值	740 ± 91	635 ± 62	6.14	0.00

2.5 MU 和治疗时间比较 VMAT 和 sIMRT 计划的平均 MU 差异显著, 其值分别为 635 ± 62 和 740 ± 91 ($t = 6.14$, $P = 0.00$), VMAT 的平均 MU 减少 105 (14.2%)。VMAT 双弧计划平均治疗时间是 2 ~ 3 min, sIMRT 计划平均治疗时间是 7 ~ 9 min, VMAT 比 sIMRT 治疗时间平均减少约 68.8%。

3 讨论

Vanetti et al^[6] 比较 29 例头颈部肿瘤单、双弧 VMAT 以及 7 ~ 9 野 IMRT 计划, 结果表明两组计划的 PTV 剂量线覆盖范围和适形性相似, VMAT 计划的 OAR 照射量减少, 平均剂量较低。而 Oliver et al^[7] 利用模体对 VMAT 和 IMRT 计划质量进行了比较, VMAT 计划在靶区适形度、靶区均匀性以及模拟 OAR 的保护方面均优于 IMRT 计划。这些不同可能与很多因素有关, 包括用于 VMAT 计划弧的数量 (一般双弧计划好于单弧计划)、VMAT 优化方法的类型和静态子野调强的最大子野数有关, 一般来说, IMRT 可以通过增加更多的子野数来得到更高质量的治疗计划。本研究 21 例鼻咽癌 sIMRT 与 VMAT 计划比较结果显示两种计划的靶区剂量分布均能满足临床治疗要求, 但 VMAT 计划的靶区剂量的适形性优于 sIMRT 计划, VMAT 计划可降低患者脑干、脊髓和视交叉的最大照射剂量, 对这些重要 OAR 具有一定保护作用, 但对晶体和视神经等其他重要器官保护优势不明显。一些研究^[8] 报道, 由于 VMAT 是 360° 的弧形治疗, 在降低靶区外正常组织的平均受照剂量的同时, 低剂量辐射区域也将增加。

本组 VMAT 计划靶区外正常组织在 5 ~ 15 Gy 的低剂量辐射区平均体积稍大于 IMRT 计划,但高于 20 Gy 的高剂量区照射体积和总平均剂量却明显降低。

与常规 IMRT 相比,VMAT 最大的优势是可提高工作效率,表现在加速器总 MU 及总治疗时间的减少。本研究 21 例患者 VMAT 计划的平均 MU 比 sIMRT 减少 14.2%,平均总治疗时间减少约 68.8%,患者可在 2 ~ 4 min 内完成治疗。VMAT 照射过程中的每个瞬间射野面积一般都大于 sIMRT 的子野面积,所以前者的射线利用率高,加速器所需的总输出量(总 MU)减少。VMAT 总治疗时间的缩短不仅可提高设备使用率,也可减轻患者不舒适度,减小患者分次治疗内体位移动、器官体积变化和运动等不确定性因素对放疗精度的影响,更重要的是治疗时间的缩短也可增加肿瘤的相对生物学效应,并对开展图像引导下的调强放射治疗也具有重要的意义。

参考文献

- [1] Koom W S, Kim T H, Shin K H, et al. SMART (simultaneous modulated accelerated radiotherapy) for locally advanced, naso-pharyngeal carcinomas[J]. Head Neck, 2007, 30(2): 159-69.
- [2] 陈进城,尹勇,刘同海,等.颈段食管癌固定野调强与旋转调强放疗计划比较研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2010,19(5): 429-33.
- [3] Van Benthuyzen L, Hales L, Podgorsak M B. Volumetric modulated Arc therapy vs. IMRT for treatment of distal esophageal cancer[J]. Medical Dosimetry, 2011, 36(4): 404-9.
- [4] Bragg C M, Conway J, Robinson M H. The role of intensity-modulated radiotherapy in the treatment of parotid tumors[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 53(3): 729-38.
- [5] Van't Riet A, Mak A C, Moerland M A, et al. A conformation number to quantify the degree of conformality in brachytherapy and external beam irradiation: application to the prostate[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1997, 37(3): 731-6.
- [6] Vanetti E, Clivio A, Nicolini G, et al. Volumetric modulated arc radiotherapy for carcinomas of the oropharynx, hypopharynx and larynx: a treatment planning comparison with fixed field IMRT[J]. Radiother Oncol, 2009, 92(1): 111-7.
- [7] Oliver M, Ansbacher W, Beckham W A. Comparing planning time, delivery time and plan quality for IMRT, rapidArc and tomotherapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(4): 117-31.
- [8] Zhang P, Happersett L, Hunt M, et al. Volumetric modulated arc therapy: planning and evaluation for prostate cancer cases[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76(5): 1456-62.

Dosimetric comparison of intensity modulated radiotherapy with volumetric modulated Arc therapy for simultaneous modulated accelerated radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma

Tang Zhengzhong, Wu Aidong, Qian Liting, et al

(Dept of Radiation Oncology, The Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230001)

Abstract 21 patients for NPC treated with simultaneous modulated accelerated radiotherapy (SMART) were selected randomly. Both a 9-field step and shoot IMRT (sIMRT) plan and a double-arc volumetric modulated arc therapy (VMAT) were designed for each patient using the same prescribed dose and optimization constraints. All plans were optimized to meet the requirement of 95% planning target volume (PTV) covered by prescribed dose. The dosimetric parameters of PTV and organ at risk (OAR), the monitor units (MU) and mean delivery time were compared. The PTV maximum dose (D_{max}), PTV minimum dose (D_{min}), and homogeneity index (HI) were statistically similar between the sIMRT and VMAT plans, respectively. However, the conformality index (CI) of VMAT plan had a statistically significant increase ($t = -3.86$, $P < 0.05$). The mean dose to PGTVnd, PTV1 and PTV2 of VMAT plan was also lower than that of the sIMRT plan and there were significant differences. The maximum dose of brain-stem, spinal cord, optic chiasm and parotid $D_{60\%}$ by VMAT planning were significantly lower than those by sIMRT planning ($P < 0.05$). The normal tissue V_5 , V_{15} and V_{20} in VMAT plan was slightly higher than those of sIMRT plan ($P > 0.05$), however, the VMAT plans were statistically significant reduction in terms of V_{20} , V_{25} , V_{30} , V_{35} , V_{40} , V_{45} , V_{50} and mean dose of the normal tissue ($P < 0.05$, $P < 0.01$). The total monitor units and mean delivery time of VMAT were significantly lower by about 14.2% and 68.8% in comparison with that by the sIMRT respectively.

Key words nasopharyngeal neoplasm/radiotherapy; simultaneous modulated accelerated radiotherapy; volumetric modulated arc therapy radiotherapy; step and shoot IMRT; dosimetry