

食管癌 VMAT 与 IMRT 剂量比较的 Meta 分析

高瀚 贾鹏飞 陈炳森 汤乐民

226001 南通大学医学院(高瀚、陈炳森、汤乐民);南通大学附属医院肿瘤放疗科(贾鹏飞)

通信作者:汤乐民,Email:lemint50@ntu.edu.cn

DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2017.09.015

【摘要】 目的 对食管癌 VMAT 与 IMRT 靶区和 OAR 剂量比较行 Meta 分析。方法 文献检索纳入相关研究,分析靶区和 OAR 剂量参数、机器跳数及治疗时间。结果 17 项研究的 323 病例纳入 Meta 分析。VMAT 计划中 GTV 的 D_{mean} 、在总剂量 ≤ 50.4 Gy 时 PTV 的 D_{mean} 和在总剂量 > 50.4 Gy 时 PTV 的 D_{max} 优于 IMRT ($P=0.009, 0.043, 0.039$)。心脏 $D_{\text{mean}}, V_{30}, V_{40}$, 脊髓 D_{max} , 肺 $V_5, V_{10}, D_{\text{mean}}$ 差异均无统计学意义 ($P>0.05$); VMAT 计划中肺的 V_{15}, V_{20}, V_{30} 优于 IMRT 计划 ($P=0.001, 0.000, 0.023$)。VMAT 计划中单次照射 1.8、2.0 Gy 的机器跳数较 IMRT 计划分别减少 275.4、134.2 MU ($P=0.000, 0.022$); VMAT 计划中单次照射 1.8、2.0 Gy 的 TT 比 IMRT 计划分别缩短 323.5、193.7 s ($P=0.000, 0.009$)。结论 VMAT 计划能显著减少 TT 和机器跳数、提高设备使用率,降低肺受照剂量和 RP 发生风险。VMAT 与 IMRT 相比在照射总剂量 ≤ 50.4 Gy 时除 PTV 的 D_{mean} 和 GTV 的 $D_{\text{mean}}, D_{\text{max}}$ 外,靶区其他剂量参数均无明显优势。对脊髓和心脏保护 VMAT 也无明显优势。

【关键词】 食管肿瘤/容积调强弧形疗法; 食管肿瘤/调强放射疗法; 荟萃分析

Dosimetric comparison between volumetric-modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer: a meta-analysis Gao Han, Jia Pengfei, Chen Bingsen, Tang Lemin

Medical College of Nantong University (Gao H, Chen BS, Tang LM); Department of Radiation Oncology, Cancer Hospital, Affiliated to Nantong University (Jia PF), Nantong 226001, China

Corresponding author: Tang Lemin, Email: lemint50@ntu.edu.cn

【Abstract】 Objective To investigate the dosimetric comparison of target volumes and organs at risk (OAR) between volumetric-modulated arc therapy (VMAT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for esophageal cancer by a meta-analysis. **Methods** A literature search was performed to collect the clinical studies on dosimetric comparison between VMAT and IMRT. The primary endpoints of interest were dosimetric parameters of target volumes and OAR, number of monitor units (MUs), and treatment time (TT). **Results** A total of 17 studies involving 323 patients were included in this meta-analysis. When the total dose was > 50.4 Gy, VMAT showed significantly lower mean dose (D_{mean}) of gross tumor volume (GTV) and maximum dose (D_{max}) of planning target volume (PTV) than IMRT ($P=0.009; P=0.039$). There were no significant differences in D_{mean}, V_{30} , and V_{40} of the heart, D_{max} of the spinal cord, and V_5, V_{10} , and D_{mean} of the lung between VMAT and IMRT ($P>0.05$). VMAT showed significantly lower V_{15}, V_{20} , and V_{30} of the lung than IMRT ($P=0.001; P=0.000; P=0.023$). When the single dose was 1.8 Gy and 2.0 Gy, VMAT showed significantly lower TT (reduced by 323.5 s and 193.7 s) and number of MUs (reduced by 275.4 MU and 134.2 MU) than IMRT ($P=0.000$ and $0.009; P=0.000$ and 0.022). **Conclusions** VMAT can significantly reduce TT, MUs, irradiation dose to the lung, and the risk of radiation pneumonitis, and improve the utilization rate of equipment. Compared with IMRT, VMAT has no significant advantages in protection of the spinal cord and the heart and dosimetric parameters of target volumes except D_{mean} of PTV and D_{mean} and D_{max} of GTV when the total dose was ≤ 50.4 Gy.

【Key words】 Esophageal neoplasms/volumetric-modulated arc therapy; Esophageal neoplasms/intensity-modulated radiotherapy; Meta-analysis

食管癌是中国发生率和死亡率最高的癌症之一,由于食管癌具有对放射线敏感的特性,使得放疗成为治疗食管癌的主要手段之一^[1-2]。食管癌靶区

形状不规则和与重要器官如心脏、脊髓和肺紧密相邻使得对靶区和 OAR 剂量分布有很严格的要求,常规放疗和三维适形放疗很难达到理想的剂量学分

布^[3]。IMRT 能很好满足食管癌对放疗计划的要求而被广泛的用于食管癌的放疗^[4-8]。近几年来, VMAT 因其在满足靶区剂量要求的同时能降低 OAR 剂量的优点, 同时与 IMRT 相比能够明显减少治疗时间, 被越来越多的用于食管癌的放疗^[9-13]。本文研究通过检索近年来发表的食管癌 VMAT 与 IMRT 计量学比较的文献进行 Meta 分析来评价 VMAT 与 IMRT 在食管癌放疗中的剂量分布。

材料与方 法

1. 检索策略: 计算机检索 PubMed、Web of science、Cochrane Library、CNKI、万方数据服务平台, 英文检索策略为 [(esophageal cancer) AND volumetric-modulated arc therapy] AND intensity-modulated radiotherapy; [(esophageal cancer) AND VMAT] AND IMRT; [(EC) AND volumetric-modulated arc therapy] AND intensity-modulated radiotherapy; [(EC) AND VMAT] AND IMRT。中文检索主题词包括食管癌、VMAT、IMRT。手工检索未发表的相关文献。

2. 纳入标准: (1) 所纳入研究均包含 VMAT 和 IMRT; (2) 所纳入研究中病例均为第 1 次接受放疗; (3) 所纳入的研究实验组为 VMAT, 对照组为 IMRT; (4) 所纳入研究中病例均为食管癌且治疗前 OAR 均正常。排除标准: (1) 包含二程放疗的研究不被纳入; (2) 食管周围器官有病变或有过手术切除的研究不被纳入; (3) 综述、会议文章不被纳入; (4) 没有剂量比较的研究不被纳入; (5) 数据不能完全获得的研究不被纳入。

3. 数据提取及文献质量评价: 检索结果由两名作者独立进行阅读文题和摘要筛选, 对潜在文献全文阅读并获得纳入文献, 当两名作者意见出现分歧时与第 3 位作者讨论决定。数据提取由两名作者同时独立进行, 提取结果出现不同时与第 3 位作者讨论决定。对数据不完整的研究, 尽可能联系作者获取。数据提取包括文献基本特征(作者、发表日期、文献来源等)、患者基本特征(性别、年龄、肿瘤分期等)、样本量、总处方剂量、单次处方剂量、靶区和 OAR 剂量分布、治疗时间和机器跳数等。本分析采用 NOS 质量评价标准(由 8 个条目组成的星级评价, 每星代表 1 分), 选择 NOS 条目中研究病例代表性、病例的定义和诊断是否恰当、可比性、对照的定义及病例和对照的调查方法是否相同打分, 总分为 5 分。两名作对文献进行评价, 评分结果出现差异

是与第 3 位作者讨论决定。

4. 统计方法: 使用 Stata12.0 软件进行数据分析。因所纳入研究 HI 有不同的测量单位, 选择标准化均数差(SMD), 除 HI 外其他分析指标测量单位相同, 均选择加权均数差(WMD), 效应量以 95%CI 表示。异质性检验结果用 I^2 表示, $I^2 < 50%$ 表示不存在异质性, 选固定效应模型; $I^2 > 50%$ 表示存在异质性, 选随机效应模型。发表偏倚用 Egger's 秩相关法进行评估, $P < 0.05$ 存在发表偏倚, $P > 0.05$ 不存在发表偏倚。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 检索结果: 17 项研究共 323 例病例纳入研究, 其中 6 项前瞻性, 11 项回顾性研究, NOS 评分均为 4~5 分。图 1 为 Meta-分析纳入研究流程图, 表 1 为纳入研究基本特征。

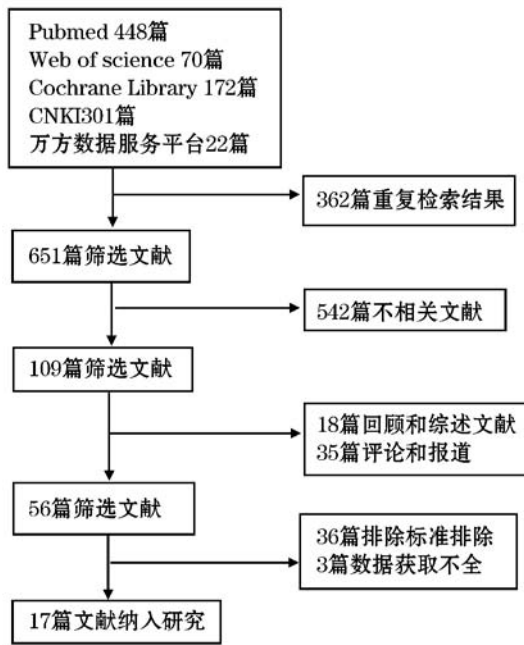


图 1 Meta-analysis 文献筛选、排除与纳入流程图

2. 靶区剂量比较: 比较 PTV 和 GTV 的靶区剂量分布。PTV 按总剂量事先进行亚组分析, 1 组为总剂量 ≤ 50.4 Gy 组, 2 组为总剂量 > 50.4 Gy 组。PTV 纳入 13 个研究^[12-13, 16-22, 24-27]: 1 组结果显示 D_{max} 、 D_{min} 、 D_{95} 、HI、 V_{95} 两组差异均无统计学意义, 见表 2; D_{mean} 异质性分析结果为 $I^2 = 90.1%$, 选随机效应模型, $P = 0.043$, $WMD = -1.13$, 95%CI 为 $-2.218 \sim -0.036$, 显示 PTV 的 D_{mean} 在总剂量 ≤ 50.4 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组平均降低了 1.13 Gy; 2 组结果显示 D_{min} 、 D_{mean} 、 D_{95} 、HI、 V_{95} 两组比较差异均无统计

表 1 纳入 17 项共 323 例研究病例的基本特征

研究者	[文献]	例数 (男/女)	肿瘤分期	年龄 (中位数)	射线能量 (MV)	IMRT 射野数/ VMAT 弧数	总剂量 (Gy)	单次剂量 (Gy)
Lin 等	[12]	20(18/2)	AJCC II—III	37~70(-)	15	5~6/2~4	50.40	1.80
Abbas 等	[13]	13(8/5)	T ₂₋₃ N ₀₋₁	53~85(69)	6	4~5/1	50.00	2.00
Van Benthuyzen 等	[14]	14(10/4)	-	50~80(64)	-	7(1)	50.40	1.80
Zhao 等	[15]	68(61/7)	T ₁₋₄ N ₀₋₃	-(57)	6	4~7/1~2	50.00	2.00
Ma 等	[16]	10(-/-)	-	-	6	7/2	60.00	2.00
Kataria 等	[17]	10(10/0)	AJCC II—III	52~80(65)	-	7/1	45.00	1.87
Wu 等	[18]	8(-/-)	T ₃₋₄ N ₀₋₁ M ₀₋₁	-	-	7/1	60.00	2.00
Lin 等	[19]	8(-/-)	T ₂₋₃ N ₀ M ₀	-	6	5/1	50/66	1.80
张耀文等	[20]	20(7/13)	T ₂₋₄ N ₀₋₁ M ₀	40~80(56)	6	5/1	59.40	1.80
孙晓东等	[21]	20(14/6)	T ₁₋₄ N ₀₋₁ M ₀	53~80	6	5/1	60.00	2.00
何志杰等	[22]	37(21/16)	T ₃₋₄ N ₀₋₁ M ₀	41~88(66)	-	5~7/-	60.00	2.00
胡彩容等	[23]	20(11/9)	AJCC II—III	57~88(69)	6	5/1~2	63.00	2.10
刘丽虹等	[24]	30(23/7)	T ₁₋₃ N ₀₋₁ M ₀	50~86(-)	6	5/1	60.00	2.00
张瑞等	[25]	7(5/2)	T ₃₋₄ N ₀₋₁ M ₀	-	8	7/1	60.00	2.00
Zhang 等	[26]	11(8/3)	T ₂₋₃ N ₀₋₁ M ₀	-	6	5/1~2	64.00	2.00
陈婷婷等	[27]	10(6/4)	T ₃₋₄ N ₀₋₁ M ₀	45~71(57)	6	5/1	50.40	1.80
Gao 等	[28]	30(23/7)	T ₁₋₄ N ₀₋₁ M ₀₋₁	-	6	7/1~2	50.40	1.90

学意义,见表 2; D_{max} 异质性分析结果为 $I^2 = 0.0\%$, 选固定效应模型, $P = 0.039$, WMD = -0.26, 95%CI 为 -0.514 ~ -0.013, 显示 PTV 的 D_{max} 在总剂量 > 50.4 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组平均降低了 0.26 Gy。CI 按计算公式进行亚组分析, 差异均无统计学意义, 见表 2。GTV 纳入 5 个研究^[20-23,27], D_{max}、D_{min} 差异均无统计学意义(表 2), D_{mean} 异质性分析结果为 $I^2 = 16.6\%$, $P = 0.009$, WMD = -0.28, 95%CI 为 -0.493 ~ -0.069, 显示 VMAT 组 GTV 的 D_{mean} 比 IMRT 组平均降低了 0.28 Gy。根据表 2 对纳入研究超过 10 项的行发表偏倚分析。HI 的 Egger's 检验结果为 $P = 0.511$, 不存在发表偏倚, 见图 2。

3. OAR 剂量比较: OAR 剂量比较包含心脏、脊髓和肺的剂量比较。心脏的剂量比较纳入 11 研究^[12,16-19,22-26,28], 分析结果显示 D_{mean}、V₃₀、V₄₀ 差异均无统计学意义, 见表 3。脊髓 D_{max} 比较纳入 15 项研究^[12-14,16-28], 事先按总剂量进行亚组分析, 1 组为总剂量 ≤ 50.4 Gy, 有 5 项研究^[12-14,17,27], 2 组为总剂量 > 50.4 Gy, 有 10 项研究^[16,18-26], 两组 D_{max} 差异均无统计学意义, 见表 3。肺的剂量比较纳入 16 项研究^[12-14,16-28], 其中 D_{mean}、V₅、V₁₀ 差异均无统计学意义; 肺 V₁₅ 纳入 3 项研究^[17,25,27], 异质性检验结果 $I^2 = 14.9\%$, 选固定效应模型, $P = 0.000$, WMD = -4.12, 95%CI 为 -6.327 ~ -1.914, 分析结果显示 VMAT 组比 IMRT 组肺的 V₁₅ 平均降低了 4.1%; 肺 V₂₀ 纳入 16 项研究^[12-14,16-28], 异质性检验结果 $I^2 =$

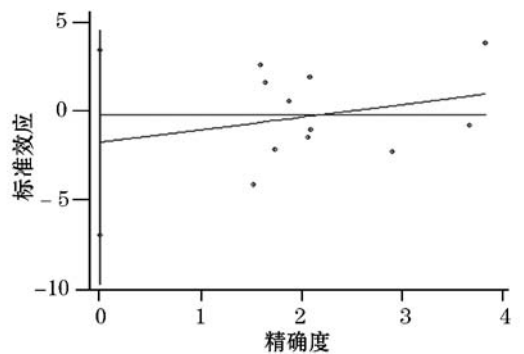


图 2 11 项纳入研究病例 PTV HI 发表偏倚 Egger's 检验

27.4%, $P = 0.000$, WMD = -1.64, 95%CI 为 -2.221 ~ -1.066, 分析结果显示 VMAT 组比 IMRT 组肺的 V₂₀ 平均降低了 1.6%; 肺 V₃₀ 纳入 11 项研究^[12,17-18,20-27], 异质性检验结果 $I^2 = 0.0\%$, $P = 0.030$, WMD = -0.38, 95%CI 为 -0.719 ~ -0.030, 分析结果显示 VMAT 组比 IMRT 组肺 V₃₀ 平均降低了 0.4%。根据表 3 数据对纳入研究超过 10 项的进行发表偏倚分析, 其中脊髓 D_{max} 的 Egger's 检验结果为 $P = 0.121$, 不存在发表偏倚; 肺 D_{mean}、V₅、V₁₀、V₂₀、V₃₀ 的 Egger's 检验结果分别为 $P = 0.058$ 、0.056、0.981、0.951、0.751, 5 项指标均不存在发表偏倚; 详见图 3。

4. 治疗时间和机器跳数比较: 治疗时间共纳入 6 项研究^[17,20-21,25-27], 按单次剂量进行亚组分析, 单次剂量 1.8 Gy 组有 3 项研究^[17,20,27], 异质性检验结果 $I^2 = 95.6\%$, 选随机效应模型, $P = 0.000$, WMD = -323.52, 95%CI 为 -408.563 ~ -238.477, 分析结果显示单次剂量为 1.8 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组治

表 2 纳入 17 项共 323 例研究病例的 PTV、GTV 剂量分布分析

项目	研究个数[文献]	I^2 (%)	WMD	95%CI	P 值
PTV					
D_{max}^a (Gy)	4[13,17,19,27]	86.3	0.71	-0.842~2.253	0.371
D_{max}^b (Gy)	8[16,18-22,24-25]	0.0	-0.26	-0.514~-0.013	0.039
D_{min}^a (Gy)	3[13,17,19]	0.0	0.45	-0.145~1.047	0.138
D_{min}^b (Gy)	6[16,19-22,24]	48.4	0.14	-0.086~0.359	0.230
D_{mean}^a (Gy)	3[13,17,27]	90.1	-1.12	-2.218~-0.036	0.043
D_{mean}^b (Gy)	7[16,18,20-22,25-26]	87.4	0.07	-0.436~0.581	0.780
D_{95}^a (Gy)	3[12,16,19]	0.0	-0.01	-0.262~0.241	0.946
D_{95}^b (Gy)	2[19,24]	65.7	0.13	-0.148~0.415	0.353
CI ^c	5[16,20,22,26-27]	44.5	0.01	-0.012~0.024	0.534
CI ^d	2[19,24]	88.2	0.01	-0.015~0.028	0.876
CI ^e	2[17,25]	90.9	0.34	-0.371~1.054	0.347
HI	10[16-20,22,24-27]	84.3	-0.03(S)	-0.643~0.594	0.938
V_{95} (%)	6[13,16,18,21,25-26]	72.8	-0.01	-0.179~0.167	0.946
GTV					
D_{max} (Gy)	4[20-22,27]	73.3	0.09	-0.391~0.564	0.722
D_{min} (Gy)	4[20-23]	96.4	-0.59	-1.557~0.372	0.299
D_{mean} (Gy)	5[20-23,27]	16.6	-0.28	-0.493~-0.069	0.009

注：^a为总剂量≤50.4 Gy 组，^b为总剂量>50.4 Gy 组，^c为 $CI = V_{T.ref}/V_T \times V_{T.ref}/V_{ref}$ 组，^d为 $CI = V_{T.ref}/V_T$ ，^e为 $CI = V_{95}/V_T$ ($V_{T.ref}$ 为参考等剂量线面所包绕的靶区体积， V_T 为靶体积， V_{ref} 为参考等剂量线面所包绕的所有区域体积， V_{95} 为接受至少 95% 处方剂量的体积)；S 为 SMD

表 3 纳入 17 项共 323 例研究病例危及器官剂量分析

项目	研究个数[文献]	I^2 (%)	WMD	95%CI	P 值
脊髓					
D_{max}^a (Gy)	5[12-14,17,27-28]	66.1	-102.46	-206.240~1.323	0.053
D_{max}^b (Gy)	10[16,18-26]	81.7	-42.17	-106.948~22.611	0.202
心脏					
D_{mean} (Gy)	9[12,16-18,23-26,28]	0.0	-34.48	-92.218~23.257	0.242
D_{301} (%)	9[16-18,22-26,28]	0.0	-0.71	-2.887~1.476	0.526
D_{401} (%)	7[17,19,23-26,28]	0.0	-0.22	-1.367~0.907	0.695
肺					
D_{mean} (Gy)	15[12-13,16-28]	27.0	0.21	-0.728~1.154	0.658
V_5 (%)	16[13-15,17-29]	37.2	0.99	-0.423~2.416	0.154
V_{10} (%)	13[12,16-27]	63.3	-0.53	-3.750~2.287	0.711
V_{15} (%)	3[17,25,27]	14.9	-4.12	-6.307~-1.914	0.000
V_{20} (%)	16[12-14,16-28]	27.4	-1.64	-2.221~-1.066	0.000
V_{30} (%)	11[12,17-18,20-27]	0.0	-0.38	-0.719~-0.36	0.030

注：^a为总剂量≤50.4Gy 组，^b为总剂量>50.4Gy 组

疗时间平均缩短了 323.5 s；单次 2.0 Gy 组有 3 项研究^[21,25-26]，异质性检验结果 $I^2 = 98.3\%$ ， $P = 0.009$ ， $WMD = -193.68$ ，95%CI 为 $-338.438 \sim -48.926$ ，分析结果显示单次 2.0 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组治疗时间平均缩短了 193.7 s。机器跳数共纳入 9 项研究^[12-13,18-21,23,26-27]，按单次剂量进行亚组分析，单次 1.8 Gy 组有 4 项研究^[12,19-20,27]，异质性检验结果 $I^2 = 94.7\%$ ， $P = 0.000$ ， $WMD = -275.35$ ，95%CI 为 $-$

412.077 ~ -138.618，分析结果显示单次 1.8 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组机器跳数平均减少了 275.4 MU；单次剂量 2 Gy 组有 5 项研究^[13,18,21,23,26]，异质性检验结果 $I^2 = 96.8\%$ ， $P = 0.022$ ， $WMD = -134.23$ ，95%CI 为 $248.851 \sim -19.601$ ，分析结果显示单次 2.0 Gy 时 VMAT 组比 IMRT 组机器跳数平均减少了 134.2 MU。

讨 论

放疗已经成为食管癌治疗的主要手段之一^[1-2]，放疗在治疗食管癌取得显著疗效的同时也存在着引起 OAR 的放射性反应，需要治疗计划能最大限度降低 OAR 受量。近年来，IMRT 相对常规放疗在食管癌治疗中显示出明显优势^[4-8]，在很长一段时间内被广泛应用。随着精确放疗和精准放疗的发展，一种新技术 VMAT 产生并迅速发展^[29]。VMAT 能够达到甚至优于 IMRT 的靶区剂量分布，并且能提供更好的保护 OAR 和缩短治疗时间^[28]。

本研究对 PTV 按照总剂量、治疗时间和机器跳数按单次照射量事先进行亚组分析。VMAT 和 IMRT 相比，靶区剂量分布比较分析结果显示在总剂量≤50.4 Gy 时 PTV 的 D_{mean} 平均降低了 1.13 Gy，在总剂量>50.4 Gy 时 PTV 的 D_{max} 平均降低了 0.26 Gy，GTV 的 D_{mean} 平均降低了 0.28 Gy；VMAT 和 IMRT 相比，OAR 剂量分布显示肺 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 分别降低了 4.1%、1.6%、0.4%；并降低了治疗时间和机器跳数。本文对纳入超过 10 项的研究进行发表偏倚分析，结果均不存在偏倚。本文分析结果显示肺组织受量是制约食管癌高剂量治疗的主要治疗因素之一，RTOG 研究显示 V_{20} 是预测 RP 的独立影响因子^[21]，多项研究表明 V_{20} 对 RP 发生率和严重程度有很大影响^[30]。VMAT 在食管癌放疗中能更好保护肺组织，尤其是中段食管癌。此外，降低 V_{20} 对肺组织有病变或切除部分肺组织的患者意义更大。IMRT 出束时机架不变、MLC 运动，VMAT 出束时根据剂量分布的需要

MLC一直处于运动状态和加速器机架一直处于旋

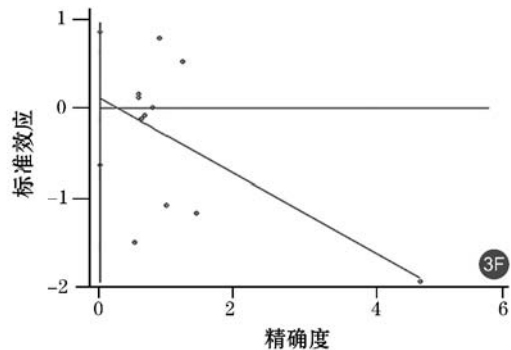
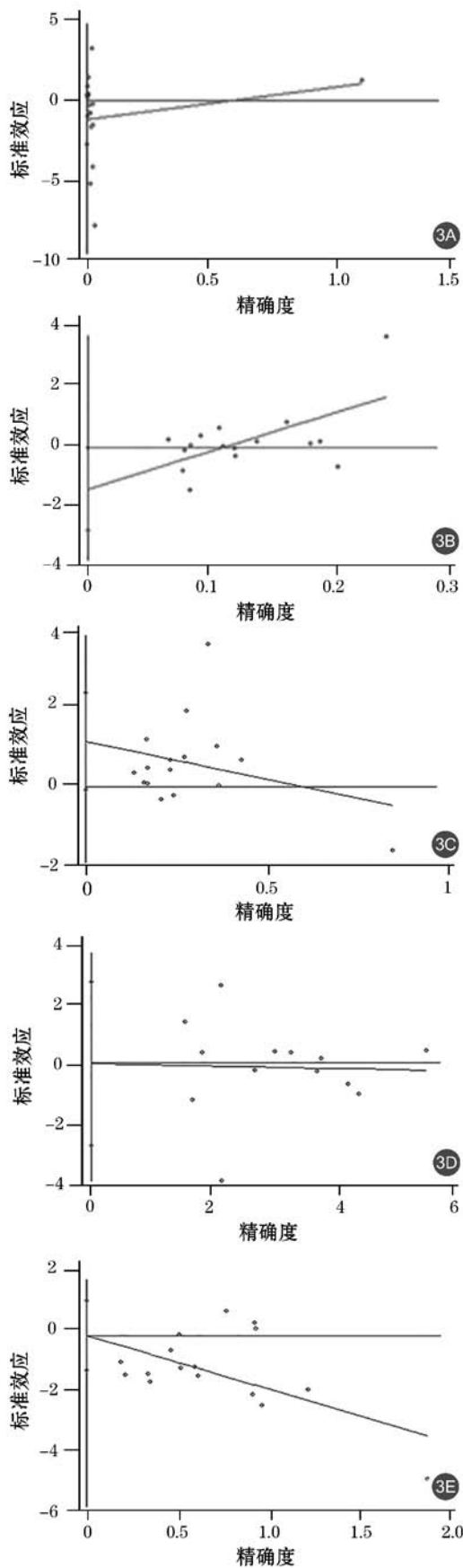


图 3 纳入 17 项共 323 例研究病例脊髓和肺发表偏倚 Egger's 检验 (3A 为脊髓总剂量 >50.4 Gy 组 D_{max} , 3B 为肺 D_{mean} , 3C 为肺 V_5 , 3D 为肺 V_{10} , 3E 为肺 V_{20} , 3F 为肺 V_{30})

转状态且机架旋转速度可变^[31-32], 与此同时剂量率也在变化且最大可达到 600 MU/min, VMAT 通过三者相互联系和相互影响进行调制以满足靶区和 OAR 的各项剂量学要求。IMRT 和 VMAT 的调制能力不同, 优化算法分别为 DVO 和 PRO。这些都使得 VMAT 空间参数远多于 IMRT, VMAT 射线出束自由度远多于 IMRT^[32]。为了达到优化目标, VMAT 要计算的优化参数要远远多于 IMRT, 因此 VMAT 的优化时间要比 IMRT 长很多^[31]。Jin 等^[33] 研究指出 VMAT 优化时间能达到 IMRT 的 5~10 倍。随着超级蒙特卡洛算法在计划系统中的优化、发展和应用, VMAT 的计划优化时间将会逐渐降低; 同时由于患者治疗效果要求的提高和放疗后患者生存质量的改善等因素, VMAT 将会在以后的放疗中发挥越来越大的作用。治疗时间的显著缩短在提高患者治疗时的舒适度的同时降低了由于患者治疗时体位移动而造成靶区和 OAR 剂量分布改变带来的治疗不确定性, 有利于提高放疗的精确度和精准度, 也能对放疗设备起到保护作用^[34-35]。

本研究中存在一些不足, 纳入样本量相对不足、纳入样本中存在质量较低的文献, 因样本量及样本质量而未能对颈段、胸段和下段食管癌进行分组研究。此外, 由于受作者水平限制, 本结果可能存在偏倚。

总之, 在肺组织保护方面, VMAT 较 IMRT 具有明显优势, 在治疗时间和机器跳数方面, VMAT 相比 IMRT 优势更大。对于靶区分布, VMAT 优势不是很明显。对于心脏、脊髓的保护, 靶区剂量分布优化等方面分析需要更多的临床研究支持。

参 考 文 献

[1] Chen DF, Yang ZY, Yin WB. Radiotherapy of 180 cases of operable esophageal carcinoma [J]. World J Gastroenterol, 1997, 3 (2): 123-126. DOI: 10.3748/wjg.v3.i2. 123.
 [2] Lin YS, Totsuka Y, He YT, et al. Epidemiology of esophageal

- cancer in Japan and China [J]. *J Epidemiol*, 2013, 23 (4): 233-242. DOI: 10.2188/jea. JE20120162.
- [3] Fenkell L, Kaminsky I, Breen S, et al. Dosimetric comparison of IMRT vs. 3D conformal radiotherapy in the treatment of cancer of the cervical esophagus [J]. *Radiother Oncol*, 2008, 89 (3): 287-291. DOI: 10.1016/j.radonc.2008.08.008.
- [4] Hall EJ, Wu CS. Radiation-induced second cancers; the impact of 3D-CRT and IMRT [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 56 (1): 83-88. DOI: 10.1016/S0360-3016(03)00073-7.
- [5] Chandra A, Guerrero TM, Liu HH, et al. Feasibility of using intensity-modulated radiotherapy to improve lung sparing in treatment planning for distal esophageal cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2005, 77 (3): 247-253. DOI: 10.1016/j.radonc.2005.10.017.
- [6] Fu WH, Wang LH, Zhou ZM, et al. Comparison of conformal and intensity-modulated techniques for simultaneous integrated boost radiotherapy of upper esophageal carcinoma [J]. *World J Gastroenterol*, 2004, 10 (8): 1098-1102. DOI: 10.3748/wjg.v10.i8.1098.
- [7] Welsh J, Palmer MB, Ajani JA, et al. Esophageal cancer dose escalation using a simultaneous integrated boost technique [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 82 (1): 468-474. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.10.023.
- [8] Bertelsen A, Hansen CR, Johansen J, et al. Single Arc Volumetric Modulated Arc Therapy of head and neck cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2010, 95 (2): 142-148. DOI: 10.1016/j.radonc.2010.01.011.
- [9] Verbakel WFAR, Cuijpers JP, Hoffmans D, et al. Volumetric intensity-modulated arc therapy vs. conventional IMRT in head-and-neck cancer; a comparative planning and dosimetric study [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 74 (1): 252-259. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2008.12.033.
- [10] Shaffer R, Morris WJ, Moiseenko V, et al. Volumetric modulated Arc therapy and conventional intensity-modulated radiotherapy for simultaneous maximal intraprostatic boost: a planning comparison study [J]. *Clin Oncol*, 2009, 21 (5): 401-407. DOI: 10.1016/j.clon.2009.01.014.
- [11] Yin Y, Chen JH, Xing LG, et al. Applications of IMAT in cervical esophageal cancer radiotherapy: a comparison with fixed-field IMRT in dosimetry and implementation [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2011, 12 (2): 48-57. DOI: 10.1120/jacmp.v12i2.3343.
- [12] Lin JC, Tsai JT, Chang CC, et al. Comparing treatment plan in all locations of esophageal cancer; volumetric modulated arc therapy versus intensity-modulated radiotherapy [J]. *Medicine*, 2015, 94 (17): e750. DOI: 10.1097/MD.0000000000000750.
- [13] Abbas AS, Moseley D, Kassam Z, et al. Volumetric-modulated arc therapy for the treatment of a large planning target volume in thoracic esophageal cancer [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2013, 14 (3): 192-202. DOI: 10.1120/jacmp.v14i3.4269.
- [14] Van Benthuyzen L, Hales L, Podgorsak MB. Volumetric modulated arc therapy vs. IMRT for the treatment of distal esophageal cancer [J]. *Med Dosim*, 2011, 36 (4): 404-409. DOI: 10.1016/j.meddos.2010.09.009.
- [15] Zhao YQ, Chen L, Zhang S, et al. Predictive factors for acute radiation pneumonitis in postoperative intensity modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy of esophageal cancer [J]. *Thorac Cancer*, 2015, 6 (1): 49-57. DOI: 10.1111/1759-7714.12142.
- [16] Ma P, Wang XZ, Xu YJ, et al. Applying the technique of volumetric modulated arc radiotherapy to upper esophageal carcinoma [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15 (3): 221-228. DOI: 10.1120/jacmp.v15i3.4732.
- [17] Kataria T, Govardhan HB, Gupta D, et al. Dosimetric comparison between Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) vs. Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) for radiotherapy of mid esophageal carcinoma [J]. *J Cancer Res Ther*, 2014, 10 (4): 871-877. DOI: 10.4103/0973-1482.138217.
- [18] Wu ZQ, Xie CY, Hu ML, et al. Dosimetric benefits of IMRT and VMAT in the treatment of middle thoracic esophageal cancer: is the conformal radiotherapy still an alternative option? [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15 (3): 93-101. DOI: 10.1120/jacmp.v15i3.4641.
- [19] Lin CY, Huang WY, Jen YM, et al. Dosimetric and efficiency comparison of high-dose radiotherapy for esophageal cancer: volumetric modulated arc therapy versus fixed-field intensity-modulated radiotherapy [J]. *Dis Esophagus*, 2014, 27 (6): 585-590. DOI: 10.1111/dote.12144.
- [20] 张耀文, 郑安平, 董尚文, 等. 胸上段食管癌容积旋转调强与静态调强放疗计划的剂量学比较 [J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2014, 21 (23): 1902-1906, 1910.
Zhang YW, Zheng AP, Dong SW, et al. Dosimetric comparison between volumetric modulated arc therapy and step-and-shoot IMRT for upper-thoracic esophageal cancer [J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2014, 21 (23): 1902-1906, 1910.
- [21] 孙晓东, 刘粉霞, 翟倩倩, 等. 食管癌 VMAT 和 IMRT 计划的剂量对比分析 [J]. *中国实用医刊*, 2014, 41 (18): 63-65. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-4756.2014.18.025.
Sun XD, Liu FX, Zhai QQ, et al. Dose comparison of esophageal carcinoma VMAT and IMRT analysis of the plan [J]. *Chin J Pract Med*, 2014, 41 (18): 63-65. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-4756.2014.18.025.
- [22] 何志杰, 王晓敏, 赵一电, 等. 食管癌静态调强放疗与容积调强弧形放疗计划的剂量学比较 [J]. *中国癌症防治杂志*, 2014, 6 (3): 275-279. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5671.2014.03.12.
He ZJ, Wang XM, Zhao YD, et al. Comparison of dosimetry achieved using volumetric modulated arc therapy or static intensity-modulated radiotherapy to treat esophageal neoplasm [J]. *Chin J Oncol Prev Treat*, 2014, 6 (3): 275-279. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5671.2014.03.12.
- [23] 胡彩容, 阴晓娟, 张秀春, 等. 不同调强方式在胸中上段食管癌放疗中的剂量学研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2014, 34 (3): 220-224. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2014.03.016.
Hu CR, Yin XJ, Zhang XC, et al. Dosimetric study of different intensity-modulated modalities in the radiotherapy for mid and upper thoracic esophageal carcinoma [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2014, 34 (3): 220-224. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2014.03.016.
- [24] 刘丽虹, 王澜, 韩春, 等. 食管癌 VMAT 与 IMRT 的剂量学比较 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24 (3): 318-322. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.03.022.
Liu LH, Wang L, Han C, et al. The application of volumetric modulated arc therapy in esophageal carcinoma [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2015, 24 (3): 318-322. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.03.022.
- [25] 张瑞, 刁勉, 李巧巧, 等. 胸上段食管癌容积旋转调强和静态调强与三维适形放疗计划的剂量学比较 [J]. *中山大学学报 (医学科学版)*, 2012, 33 (2): 260-264.
Zhang R, Xi M, Li QQ, et al. Volumetric modulated arc therapy, conventional intensity-modulated radiotherapy and three-dimensional conformal techniques for upper thoracic esophageal cancer: a planning comparison study [J]. *J Sun Yat-Sen Univ (Med Sci)*, 2012, 33 (2): 260-264.
- [26] Zhang WZ, Zhai TT, Lu JY, et al. Volumetric modulated arc therapy vs. c-IMRT for the treatment of upper thoracic esophageal cancer [J/OL]. *PLoS One*, 2015, 10 (3): e0121385. DOI: 10.1371/journal.pone.0121385.
- [27] 陈婷婷, 张西志, 花威, 等. 容积旋转调强与固定野动态调强在上段食管癌治疗中的剂量学比较 [J]. *临床肿瘤学杂志*, 2013, 18 (2): 151-154. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0460.2013.02.014.
Chen TT, Zhang XZ, Hua W, et al. Dosimetric comparison between Rapid Arc and fixed gantry dynamic IMRT for upper esophageal cancer [J]. *Chin Clin Oncol*, 2013, 18 (2): 151-154. DOI: 10.

- 3969/j.issn.1009-0460.2013.02.014.
- [28] Gao M, Li QL, Ning ZH, et al. Dosimetric comparison between step-shoot intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy for upper thoracic and cervical esophageal carcinoma [J]. Med Dosim, 2016, 41 (2): 131-135. DOI: 10.1016/j.meddos.2015.10.007.
- [29] Holt A, van Vliet-Vroegindewij C, Mans A, et al. Volumetric-modulated arc therapy for stereotactic body radiotherapy of lung tumors: a comparison with intensity-modulated radiotherapy techniques [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81 (5): 1560-1567. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.09.014.
- [30] Hope AJ, Lindsay PE, El Naqa I, et al. Modeling radiation pneumonitis risk with clinical, dosimetric, and spatial parameters [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65 (1): 112-124. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2005.11.046.
- [31] 陈亚正, 黎杰, 廖雄飞, 等. VMAT 和 IMRT 技术在乳腺癌根治术后放疗中的剂量学比较 [J]. 肿瘤预防与治疗, 2014, 27 (5): 226-230. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0904.2014.05.003.
- Chen YZ, Li J, Liao XF, et al. Dosimetric comparison between VMAT and IMRT for postoperative radiotherapy of breast carcinoma [J]. J Cancer Control Treat, 2014, 27 (5): 226-230. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0904.2014.05.003.
- [32] Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc [J]. Med Phys, 2008, 35 (1): 310-317. DOI: 10.1118/1.2818738.
- [33] Jin XC, Yi JL, Zhou YQ, et al. Comparison of whole-field simultaneous integrated boost VMAT and IMRT in the treatment of nasopharyngeal cancer [J]. Med Dosim, 2013, 38 (4): 418-423. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.05.004.
- [34] Graham MV, Purdy JA, Emami B, et al. Clinical dose-volume histogram analysis for pneumonitis after 3D treatment for non-small cell lung cancer (NSCLC) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1999, 45 (2): 323-329. DOI: 10.1016/S0360-3016(99)00183-2.
- [35] Wang SL, Liao ZX, Wei X, et al. Analysis of clinical and dosimetric factors associated with treatment-related pneumonitis (TRP) in patients with non-small-cell lung cancer (NSCLC) treated with concurrent chemotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 66 (5): 1399-1407. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.07.1337.

(收稿日期: 2016-07-18)

中华医学会放射肿瘤治疗学分会第九届委员会委员名单

(按姓氏汉语拼音排序)

主任委员 王绿化

荣誉主任委员 于金明

前任主任委员 郎锦义

候任主任委员 王俊杰

副主任委员 傅小龙 李宝生 卢冰 张福泉

常务委员 陈明 戴建荣 邓小武 韩春 李高峰 李晔雄 刘士新 李文辉 马俊

石梅 田野 王平 王若雨 王小虎 吴永忠 夏廷毅 谢丛华 尹勇

章真

委员 白彦灵 常巧梅 陈丽佳 程玉峰 董丽华 鄂明艳 樊锐太 高黎 郭小毛

何侠 胡超芬 胡德胜 江浩 兰胜民 李涛 李金高 林勤 林少民

刘孟忠 卢铀 曲宝林 申良方 孙新臣 王阁 王晖 王若峥 王胜资

王颖杰 伍钢 吴君心 吴式琇 邢力刚 阎英 于洪 郁志龙 张大昕

张德康 张红雁 张建东 张晓智 张勇 赵路军 赵仁 郑安平 朱广迎

祝淑钗 朱小东 邹丽娟