

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.05.020

直线加速器放疗联合化疗对中晚期食管癌的疗效分析

廖世海¹, 尹帅²

(1. 浙江大学医学院附属第二医院放疗科, 浙江杭州 310051;

2. 杭州市肿瘤医院重症医学科, 浙江杭州 310002)

【摘要】目的 探讨直线加速器放疗联合化疗对中晚期食管癌患者的近期疗效、生存、症状改善及不良反应的影响。**方法** 选取 2020 年 1 月至 2021 年 12 月在浙江大学医学院附属第二医院放疗科接受治疗的 60 例中晚期食管癌患者，随机分为研究组和对照组各 30 例。研究组采用直线加速器放疗 (Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT) 联合 TP 方案 (紫杉醇 + 顺铂) 化疗，对照组采用常规三维适形放疗 (Three-Dimensional Conformal Radiotherapy, 3D-CRT) 联合相同化疗方案。比较两组患者的近期疗效、生存、吞咽困难改善程度及治疗相关不良反应。**结果** 研究组总有效率 (Objective Response Rate, ORR) 显著高于对照组 (76.7% vs. 50.0%, $P=0.032$)；研究组中位无进展生存期 (Progression-Free Survival, PFS) 和中位总生存期 (Overall Survival, OS) 分别为 12.3 个月和 18.6 个月，显著长于对照组的 8.7 个月和 13.2 个月 (均 $P<0.05$)；研究组治疗后吞咽困难症状改善率显著高于对照组 (83.3% vs. 60.0%, $P=0.045$)；两组患者主要不良反应发生率经比较差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。**结论** 直线加速器放疗联合化疗能显著提高中晚期食管癌患者的近期疗效和生存质量，改善吞咽困难症状，且不会增加治疗相关不良反应。该研究为中晚期食管癌的放化疗提供了一种可行方案，展望了精准医学在肿瘤放疗领域的转化应用前景。

【关键词】食管癌；中晚期；直线加速器；放化疗；生存期；吞咽困难；精准医学

【中图分类号】TH774, R734.2

【文献标志码】A

文章编号：1674-1242 (2025) 05-0754-08

Efficacy Analysis of Linear Accelerator Radiotherapy Combined with Chemotherapy for Patients with Locally Advanced Esophageal Cancer

LIAO Shihai¹, YIN Shuai²

(1. Department of Radiotherapy, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, Zhejiang 310051, China;

2. Department of Critical Care Medicine, Hangzhou Cancer Hospital, Hangzhou, Zhejiang 310002, China)

【Abstract】Objective To investigate the impact of linear accelerator radiotherapy combined with chemotherapy on short-term efficacy, survival outcomes, symptom improvement, and adverse reactions in patients with locally advanced esophageal cancer. **Methods** A total of 60 patients with locally advanced esophageal cancer who received treatment at the Department of Radiotherapy, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine from January 2020 to December 2021 were randomly divided into two groups: the study group and the control group, with 30 patients in each group. The study group received intensity-modulated radiotherapy (IMRT) using a linear accelerator combined

收稿日期：2025-05-25。

作者简介：廖世海（1993—），安徽省淮南市人，本科学历，助理工程师，从事食管癌放射治疗的有关研究。邮箱：13819498863@163.com。

with a TP chemotherapy regimen (paclitaxel+cisplatin), while the control group received conventional three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) combined with the same chemotherapy regimen. The short-term efficacy, survival outcomes, improvement of dysphagia, and treatment-related adverse reactions were compared between the two groups. **Results** The objective response rate (ORR) in the study group was significantly higher than that in the control group (76.7% vs. 50.0%, $P=0.032$). The study group had significantly longer median progression-free survival (PFS) and median overall survival (OS) (12.3 months and 18.6 months, respectively) compared with the control group (8.7 months and 13.2 months, respectively) (both $P<0.05$). The symptom improvement rate of dysphagia after treatment in the study group was significantly higher than that in the control group (83.3% vs. 60.0%) ($P=0.045$). There were no statistically significant differences between the two groups in the incidence of major treatment-related adverse reactions (all $P>0.05$). **Conclusion** Linear accelerator radiotherapy combined with chemotherapy can significantly improve short-term efficacy and quality of life in patients with locally advanced esophageal cancer, alleviate symptoms of dysphagia, and does not increase treatment-related adverse reactions. This study provides a feasible solution for chemoradiotherapy of locally advanced esophageal cancer and considers the potential for precision medicine to be applied in tumour radiotherapy.

【Key words】 Esophageal Cancer; Locally Advanced; Linear Accelerator; Chemoradiotherapy; Survival; Dysphagia; Precision Medicine

0 引言

食管癌作为消化道常见的恶性肿瘤之一，具有发病率高、进展快、预后差的特点。在我国，食管癌的发病率和死亡率均位居恶性肿瘤前列，在河北、山西、河南等地区尤为突出^[1]。由于早期症状不明显，大多数患者就诊时已处于中晚期，此时手术治疗机会已基本丧失，放化疗则成为主要治疗手段。目前，同步放化疗已成为中晚期食管癌的标准治疗模式^[2,3]。然而，常规放疗技术在靶区剂量覆盖和正常组织保护方面存在一定的局限性，导致局部控制率不理想，同时带来较多的治疗相关毒性反应。近年来，放疗技术快速发展，直线加速器放疗凭借其精确度高、适形性好的特点，在多种恶性肿瘤治疗中显示出明显优势。直线加速器配合调强放疗（Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT）技术，能够在保证靶区剂量的同时最大限度地减少周围正常组织的受照剂量，理论上可以改善治疗效果，减轻不良反应^[4,5]。然而，直线加速器放疗联合化疗在中晚期食管癌治疗中的临床价值尚需进一步评估。与常规放疗技术相比，其在近期疗效、长期生存、症状缓解及安全性方面是否具有显著优势，临床证据仍不足。同时，对于常见的治疗相关不良反应，如放射性食管炎、放射性肺炎等，需要更多的临床

数据来评估不同方案的安全性。基于此，本研究通过比较直线加速器放疗联合化疗与常规放疗联合化疗在治疗中晚期食管癌患者中的临床效果差异，着重观察两种治疗方案对患者近期疗效、生存情况、吞咽困难改善情况及不良反应的影响，旨在为中晚期食管癌的临床治疗提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究收集了2020年1月至2021年12月在浙江大学医学院附属第二医院放疗科接受治疗的60例中晚期食管癌患者的临床资料。患者年龄范围为55~80岁，均经病理学检查确诊为食管癌，并按照国际抗癌联盟（Union for International Cancer Control, UICC）第8版食管癌TNM分期标准确定为Ⅲ期或Ⅳ期^[6]。

纳入标准：①经内镜活检病理学确诊为食管癌；②临床分期为Ⅲ期或Ⅳ期；③Karnofsky功能状态评分（Karnofsky Performance Status, KPS）≥70分；④预期生存期>3个月；⑤主要器官功能基本正常；⑥患者或家属已签署知情同意书。

排除标准：①既往接受过胸部放疗或食管手术治疗；②合并活动性食管出血或食管穿孔；③存在其他不适合进行放化疗的临床情况，如活动性感染、

不受控制的糖尿病等。本研究方案已通过浙江大学医学院附属第二医院医学伦理委员会审批。

采用随机数字表法将所有患者分为研究组和对

照组，每组 30 例。经统计学检验，研究组与对照组在基本特征上未见统计学差异 ($P>0.05$)，如表 1 所示，两组资料具有良好的均质性。

表 1 两组患者基本特征比较

Tab.1 Comparison of baseline characteristics between the two groups

特征	研究组 (n=30)	对照组 (n=30)	χ^2/t 值	P 值
性别 [n (%)]			0.082	0.775
男	22 (73.3)	21 (70.0)		
女	8 (26.7)	9 (30.0)		
年龄 / 岁	68.7±8.5	69.2±7.9	0.236	0.814
肿瘤位置 [n (%)]			0.181	0.857
上段	5 (16.7)	6 (20.0)		
中段	17 (56.7)	16 (53.3)		
下段	8 (26.7)	8 (26.7)		
临床分期 [n (%)]			0.073	0.787
Ⅲ期	19 (63.3)	20 (66.7)		
Ⅳ期	11 (36.7)	10 (33.3)		
病理类型 [n (%)]			0.185	0.667
鳞癌	28 (93.33)	26 (86.7)		
腺癌	2 (6.67)	4 (13.3)		

1.2 方法

1.2.1 治疗方案

研究组（化疗 + 直线加速器放疗）：采用直线加速器（Varian TrueBeam，美国）进行精确放疗。放疗前进行胸部增强 CT（Contrast-Enhanced Computed Tomography, CECT）（层厚 5mm），将扫描图像传输至三维治疗计划系统（Pinnacle 3，飞利浦公司）进行靶区及危及器官勾画。靶区定义遵循 ICRU83 号报告，肉眼可见肿瘤体积（Gross Tumor Volume, GTV）包括原发病灶及临床可判断为转移的淋巴结；临床靶区（Clinical Target Volume, CTV）为 GTV 加上潜在亚临床病变区域，上下各扩展 3cm，径向扩展 0.5~0.8cm；计划靶区（Planning Target Volume, PTV）在 CTV 的基础上三维各向外扩 0.5cm。处方剂量为 60~66Gy/30~33 次，每次 2Gy，每周 5 次，总疗程 6~6.5 周。采用 IMRT 技术，优化剂量分布，使 95% 的 PTV 接受处方剂量，同时严格限制危及器官的受照剂量：肺 V20<28%，心脏 V30<40%，脊髓最大剂量 <45Gy。

对照组（化疗 + 常规放疗）：采用常规直线加速器（Siemens PRIMUS，德国）进行三维适形放疗。靶区勾画与研究组相同，使用三维适形放疗（Three-Dimensional Conformal Radiotherapy, 3D-CRT）技术。处方剂量同为 60~66Gy/30~33 次，每次 2Gy，每周 5 次，总疗程 6~6.5 周。放疗计划设计以覆盖 95% 的 PTV 为目标，同时兼顾危及器官的受照剂量限制。

两组化疗方案：两组患者均采用 TP（紫杉醇 + 顺铂）方案化疗。紫杉醇 135mg/m²，第 1 天静脉滴注 3 小时；顺铂 75mg/m²，分 5 天静脉滴注，每天 15mg/m²。以 21 天为一个周期，共进行 2~4 个周期。化疗期间严密监测患者的血常规、肝肾功能等指标，根据不良反应调整剂量或对症处理。

1.2.2 治疗实施

所有患者均在放疗开始前 1 周接受第一周期化疗，之后与放疗同步进行第二周期化疗。放疗完成后，根据患者耐受情况和病情评估，酌情给予 1~2 个周期的巩固化疗。放疗期间，患者每周进行一次位置验证，确保治疗的精确性。同时，每两周进行

一次血常规、肝肾功能检查，评估患者对治疗的耐受性。根据患者反应和临床表现，及时进行支持对症治疗，包括抗炎、止痛、抗呕吐、护胃、补液、营养支持等，以减轻患者的不良反应，确保治疗的顺利完成。

1.2.3 随访方法

治疗结束后每3个月随访一次，随访内容包括胸部CT、上消化道造影、血常规、肝肾功能等检查。必要时行胃镜检查或PET-CT全身检查。随访期至患者死亡或截至2024年12月31日，中位随访时间为26.5个月（范围：6～38个月）。

1.3 观察指标

1.3.1 近期疗效评价

按照实体瘤疗效评价标准（Response Evaluation Criteria in Solid Tumours, RECIST）1.1版评定治疗后的近期疗效。疗效分为以下几种情况。完全缓解（Complete Response, CR）：所有靶病灶完全消失，持续时间≥4周；部分缓解（Partial Response, PR）：靶病灶最大径之和较基线减少≥30%，持续时间≥4周；疾病稳定（Stable Disease, SD）：病灶减少未达PR或增大未达疾病进展（Progressive Disease, PD）；PD：靶病灶最大径之和较基线增加≥20%，或者出现新病灶。总有效率（Objective Response Rate, ORR）=（CR+PR）/总例数×100%。疗效评价在放疗结束后4～6周进行，采用胸部增强CT、食管造影及内镜检查进行综合评估。

1.3.2 生存指标评价

记录并计算两组患者的中位无进展生存期（Progression-Free Survival, PFS）、中位总生存期（Overall Survival, OS）及1年、2年、3年生存率。PFS定义为从随机分组日期到疾病进展或因任何原因死亡的时间。OS定义为从随机分组日期到因任何原因死亡的时间。采用Kaplan-Meier法绘制生存曲线，并用Log-rank检验比较两组患者生存情况的差异。患者失访或在研究截止时仍存活则视为删失数据。

1.3.3 吞咽困难改善情况评价

采用吞咽困难评分标准评价治疗前后患者吞咽

功能的变化。0级：正常饮食，无吞咽困难；1级：能进食固体食物，偶有吞咽困难；2级：以半流质食物为主，明显吞咽困难；3级：仅能进食流质食物或不能经口进食。在患者治疗前后均进行评估，记录评分改善情况。症状改善定义为评分较治疗前降低至少1级。症状改善率=症状改善例数/总例数×100%。

1.3.4 不良反应评价

根据美国国家癌症研究所常见不良事件评价标准（Common Terminology Criteria for Adverse Events, CTCAE）5.0版评定治疗相关不良反应，主要观察急性放射性食管炎、白细胞减少、血小板减少、放射性肺炎、恶心/呕吐、放射性皮炎等不良反应的发生情况及严重程度（2～4级）。急性放射性食管炎评价基于患者症状、内镜检查结果及治疗干预需求；放射性肺炎评价基于临床症状、CT表现及治疗措施；血液学毒性评价基于实验室检查结果。不良反应评估从治疗开始至治疗结束后3个月。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差（ $\bar{x}\pm s$ ）表示，组间比较采用t检验；计数资料以频数和百分比[n（%）]表示，组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法；等级资料比较采用Mann-Whitney U检验；生存分析采用Kaplan-Meier法，组间生存曲线比较采用Log-rank检验。所有统计检验均为双侧检验， $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床疗效比较

经过统计分析，研究组（化疗+直线加速器放疗）与对照组（化疗+常规放疗）在近期疗效方面存在显著差异（ $Z=2.324$, $P=0.020$ ），如表2所示。研究组的ORR（CR+PR）明显高于对照组（76.7% vs. 50.0%, $P=0.032$ ），表明直线加速器放疗联合化疗在提高中晚期食管癌患者近期疗效方面具有显著优势。

在生存分析中，研究组的中位PFS和中位OS均显著优于对照组，如表3所示。研究组的PFS为

表2 两组患者近期疗效比较 [n (%)]

Tab.2 Comparison of short-term efficacy between the two groups [n(%)]

疗效评价	研究组 (n=30)	对照组 (n=30)	χ^2/Z 值	P 值
CR	7 (23.3)	3 (10.0)	2.324	0.020
PR	16 (53.3)	12 (40.0)		
SD	5 (16.7)	8 (26.7)		
PD	2 (6.7)	7 (23.3)		
CR+PR	23 (76.7)	15 (50.0)	4.593	0.032

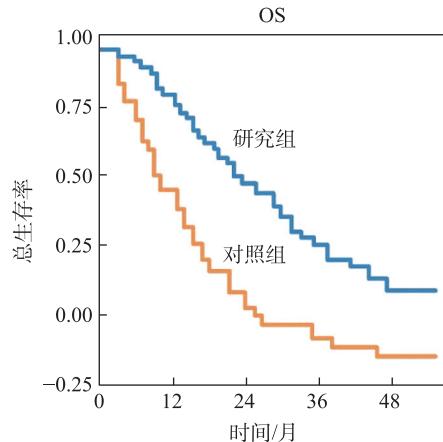
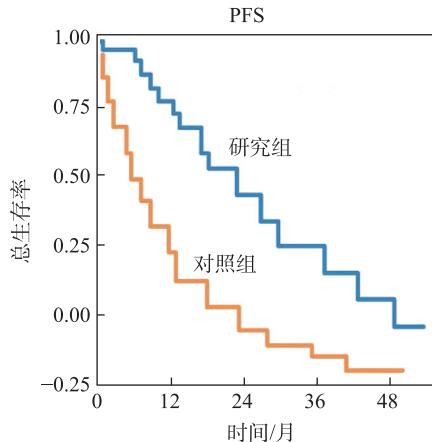
12.3 个月, 明显长于对照组的 8.7 个月 ($\chi^2=6.135$, $P=0.013$) ; 研究组的 OS 达到 18.6 个月, 也显著长于对照组的 13.2 个月 ($\chi^2=7.823$, $P=0.005$) 。虽然两组在 1 年、2 年和 3 年生存率方面的差异未达到统计学显著性 ($P>0.05$) , 但研究组在各个时

表3 两组患者中位生存时间和生存率比较

Tab.3 Comparison of median survival time and survival rates between the two groups

生存指标	研究组 (n=30)	对照组 (n=30)	χ^2 值	P 值
中位PFS/月 (95%CI)	12.3 (8.8~16.2)	8.7 (5.5~13.2)	6.135	0.013
中位OS/月 (95%CI)	18.6 (15.5~23.4)	13.2 (10.5~17.8)	7.823	0.005
1年生存率	83.3% (25/30)	70.0% (21/30)	1.491	0.222
2年生存率	46.7% (14/30)	26.7% (8/30)	2.584	0.108
3年生存率	26.7% (8/30)	10.0% (3/30)	2.783	0.095

间点的生存率均高于对照组, 并且随着时间的延长, 两组间差距逐渐扩大, 从图 1 所示的生存曲线中可以直观观察到这一趋势。

图1 生存曲线
Fig.1 Survival curves

2.2 两组吞咽困难程度改善情况比较

治疗前, 两组患者的吞咽困难程度无显著差异 ($Z=0.171$, $P=0.865$), 如表 4 所示。治疗后, 研究组的吞咽困难程度改善更为明显 ($Z=1.966$, $P=0.049$), 研究组中 0 级和 1 级患者比例高于对照组, 而 2 级和 3 级患者比例低于对照组。总体症状改善率方面, 研究组 (83.3%) 显著高于对照组 (60.0%) ($\chi^2=4.022$, $P=0.045$), 说明直线加速器放疗联合化疗能更有效地缓解中晚期食管癌患者的吞咽困难症状。

2.3 两组主要不良反应发生情况比较

经过统计分析, 两组患者在主要不良反应发生情况方面未见显著差异, 如表 5 所示。尽管研究组

表4 两组患者吞咽困难程度改善情况比较 [n (%)]

Tab.4 Comparison of improvement in dysphagia severity between the two groups [n(%)]

吞咽困难评分	研究组 (n=30)	对照组 (n=30)	χ^2/Z 值	P 值
治疗前				0.171 0.865
0 级	0 (0.0)	0 (0.0)		
1 级	5 (16.7)	6 (20.0)		
2 级	16 (53.3)	15 (50.0)		
3 级	9 (30.0)	9 (30.0)		
治疗后			1.966	0.049
0 级	12 (40.0)	7 (23.3)		
1 级	11 (36.7)	9 (30.0)		
2 级	5 (16.7)	8 (26.7)		
3 级	2 (6.7)	6 (20.0)		
症状改善率	25 (83.3)	18 (60.0)	4.022	0.045

在某些不良反应方面（如白细胞减少、血小板减少和恶心/呕吐）的发生率略高于对照组，但差异均未达到统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者均未出现4级急性放射性食管炎、放射性肺炎、放射性皮炎等严重不良反应。这表明直线加速器放疗联合化疗在提高治疗效果的同时，其安全性与常规放疗联合化疗相当，患者能够较好地耐受治疗。

表5 两组患者主要不良反应发生情况比较（≥2级）[n (%)]

Tab.5 Comparison of incidence of major adverse reactions (≥ Grade 2) between the two groups [n(%)]

不良反应	研究组 (n=30)	对照组 (n=30)	Z值	P值
急性放射性食管炎			0.257	0.797
2级	12 (40.0)	9 (30.0)		
3级	5 (16.7)	3 (10.0)		
4级	0 (0.0)	0 (0.0)		
白细胞减少			0.636	0.525
2级	10 (33.3)	5 (16.7)		
3级	6 (20.0)	2 (6.7)		
4级	1 (3.3)	0 (0.0)		
血小板减少			0.302	0.763
2级	8 (26.7)	3 (10.0)		
3级	4 (13.3)	1 (3.3)		
4级	0 (0.0)	0 (0.0)		
放射性肺炎			0.178	0.859
2级	5 (16.7)	4 (13.3)		
3级	2 (6.7)	2 (6.7)		
4级	0 (0.0)	0 (0.0)		
恶心/呕吐			0.631	0.528
2级	11 (36.7)	6 (20.0)		
3级	4 (13.3)	1 (3.3)		
4级	0 (0.0)	0 (0.0)		
放射性皮炎			0.391	0.696
2级	7 (23.3)	6 (20.0)		
3级	2 (6.7)	1 (3.3)		
4级	0 (0.0)	0 (0.0)		

3 讨论

直线加速器作为现代放射治疗的核心设备，通过加速电子产生高能X射线或电子束，具有能量高、穿透力强、剂量分布精确等特点。特别是当与IMRT技术结合时，能够通过多叶准直器(Multi-Leaf Collimator, MLC)的动态调节，形成高度适形的剂量分布，实现对靶区的精准照射，同时最大限度

地保护周围的正常组织^[7]。在本研究中，研究组采用Varian的TrueBeam直线加速器实施IMRT技术，不仅改善了近期疗效和长期生存，还明显缓解了患者的吞咽困难症状，且不增加治疗相关不良反应的发生率。这一发现为优化中晚期食管癌的治疗策略提供了重要的临床依据。这种治疗优势的形成可能与直线加速器放疗的技术特性密切相关。首先，直线加速器配合IMRT技术能够实现更精确的剂量分布，显著提高了靶区的适形性，使肿瘤组织接受更高的有效剂量^[8]。其次，优化的放疗技术降低了邻近正常组织的受照剂量，减轻了放疗相关毒性反应，使患者能够更好地完成治疗，从而提高治疗的依从性和完成率^[9]。此外，精确的靶区定义和剂量递送使放疗与化疗的协同作用得到了最大发挥，提升了综合治疗的抗肿瘤效果。

在本研究中，研究组患者的生存获益尤为显著，中位PFS和中位OS较对照组分别延长了3.6个月和5.4个月。这种生存优势的形成机制值得深入分析。首先，直线加速器放疗提供的精确剂量递送可能创造了更有利的“治疗窗”，即在不增加正常组织并发症的前提下，实现了对肿瘤的更高效杀伤。其次，在食管癌放疗中，心脏和肺等重要器官的受照剂量往往是限制因素，而直线加速器IMRT技术通过反向计划和剂量优化，在保证靶区覆盖的同时，显著降低了这些关键器官的受照剂量，使患者获得了更好的生理储备，间接延长了生存期。此外，尽管两组间1年、2年、3年生存率差异未达到统计学意义，但这一差异随时间递增（1年生存率相差13.3%，2年生存率相差20.0%，3年生存率相差16.7%），这种“延迟效应”提示直线加速器放疗可能通过更彻底的局部控制，减少远期复发和转移的风险，从而在长期生存方面体现出更持久的优势。这一发现与多项关于精准放疗技术的研究结果一致^[10]，也印证了现代放疗理念中“高适形性带来长期获益”的观点^[11, 12]。更重要的是，这种生存获益未以更多毒性反应为代价，体现了现代精准放疗的核心价值——在提高疗效的同时改善患者的生活质量。吞咽困难是影响食管癌患者生活质量的主要症状之一^[13]。本研究发现，研究组患者的吞咽困

难改善率显著高于对照组，这一结果具有双重临床意义：一方面反映了直线加速器放疗对肿瘤局部控制的优势；另一方面说明其在保护食管周围正常组织方面的价值，减轻了放疗相关的食管炎症反应，从而改善了吞咽功能。这种症状学改善直接关系到患者的营养摄入和生活质量，对延长生存期也有间接贡献^[14, 15]。

本研究在不良反应方面的发现颇具启发性。尽管两组在各类不良反应发生率上无统计学差异，但这一“表面平衡”下隐藏着深层次的临床意义。值得思考的是，研究组在获得显著疗效优势的同时，其不良反应并未相应增加，打破了传统放疗领域“高效价恒等于高毒性”的惯性思维。这种“非对称性获益”或许反映了现代精准放疗技术的质变特征——不再是简单的剂量-效应线性关系，而是通过精确的空间剂量分布重塑了放疗的生物效应模式。具体到食管癌放疗，直线加速器IMRT技术可能通过靶区内的高剂量梯度和特定的剂量分割模式，在肿瘤微环境层面优化了放疗敏感性，同时避开了危及器官的剂量积累临界点。此外，本研究中两组患者使用相同的化疗方案，更凸显了放疗技术差异带来的独立影响。从医学决策角度看，这种“高效低毒”的治疗模式为肿瘤放疗的临床实践提供了新思路，使治疗目标不再囿于简单的肿瘤缩小或生存期延长，而是扩展到整体治疗体验的优化和长期生活质量的提升。

综上所述，直线加速器放疗联合化疗为中晚期食管癌患者提供了一种更为有效的治疗选择，在改善近期疗效、延长生存期和提高生活质量方面具有明显优势。直线加速器放疗的优势主要体现为精确的剂量递送能力、优化的靶区覆盖和更好的正常组织保护。这些技术优势转化为临床获益，主要表现为更高的肿瘤局部控制率、更长的生存期和更好的症状缓解，同时不增加治疗相关毒性。这种“高效低毒”的特性使直线加速器放疗联合化疗成为中晚期食管癌治疗的理想选择。进一步而言，图像引导放疗（Image Guided Radiation Therapy, IGRT）技术与智能加速器系统的结合为食管癌的精准治疗开辟了新的前景。IGRT技术通过在治疗前实时获取

患者的解剖结构信息，精确识别靶区位置变化，实时校正器官运动和患者体位偏差，确保每次治疗的高度一致性。特别是锥形束CT（Cone Beam Computed Tomography, CBCT）引导下的自适应放疗，可根据食管周围器官的日间变化动态调整治疗计划，进一步提高靶区适形性。智能加速器系统集成了人工智能算法和机器学习技术，通过分析大量临床数据和影像信息，自动优化束流参数，预测器官运动轨迹，并实现治疗过程的智能化监控。这种技术整合不仅提高了治疗精度，还显著缩短了治疗时间，减轻了患者负担。

展望未来，随着人工智能、大数据分析和生物标志物研究的深入发展，个体化精准放疗将成为食管癌治疗的重要方向。整合基因组学、蛋白质组学和影像组学信息，结合患者特异性的放射敏感性预测模型，可以实现真正意义上的个体化剂量处方和治疗方案设计。同时，自适应放疗技术的进一步完善能够使治疗计划根据肿瘤缩小情况和正常组织的变化进行实时调整，最大化治疗获益的同时最小化不良反应。这些技术进步不仅将进一步提高中晚期食管癌的治疗效果，还将为患者带来更好的生活质量、更长的生存期，真正实现精准医学在肿瘤放疗领域的临床转化应用。

参考文献

- [1] 王俊博, 孔德九, 范嘉豪, 等. 硅类污染物暴露与食管癌发病率关系的Meta分析[J]. 食管疾病, 2023, 5(2): 122-126.
WANG Junbo, KONG Dejiu, FAN Jiahao, et al. Meta-analysis on the relationship between exposure to silicon pollutants and incidence of esophageal cancer[J]. Journal of Esophageal Diseases, 2023, 5(2): 122-126.
- [2] 温嘉敏, 黄清苑, 林呼, 等. 和胃解毒汤联合同步放化疗对食管癌骨髓抑制的影响[J]. 中医药学报, 2025, 53(3): 87-91.
WEN Jiamin, HUANG Qingyuan, LIN Hu, et al. Effect of Hewei Jiedu Decoction combined with concurrent chemoradiotherapy on bone marrow suppression in esophageal cancer[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2025, 53(3): 87-91.
- [3] 罗蓝, 吴丹凤, 范觐嘉, 等. 食管癌病人同步放化疗期间症状群的纵向研究[J]. 护理研究, 2024, 38(6): 976-983.
LUO Lan, WU Danfeng, FAN Jinjia, et al. Longitudinal study on

- symptom clusters during concurrent chemoradiotherapy in patients with esophageal cancer[J]. *Chinese Nursing Research*, 2024, 38(6): 976-983.
- [4] 王浩, 杨蕴一, 李毅, 等. Monaco 放疗计划系统控制点设定对中下段食管癌动态调强放射治疗计划剂量学的影响 [J]. *中国医学装备*, 2024, 21 (9) : 1-6.
WANG Hao, YANG Yunyi, LI Yi, et al. Effect of control point settings in Monaco radiotherapy planning system on dosimetry of dynamic intensity-modulated radiotherapy for mid-lower esophageal cancer[J]. *China Medical Equipment*, 2024, 21(9): 1-6.
- [5] 苏王辉, 安雷, 李宇星, 等. 同步整合加量逆向调强放射治疗食管癌的剂量学参数及对放射性损伤的影响 [J]. *中国医学装备*, 2023, 20 (5) : 12-16.
SU Wanghui, AN Lei, LI Yuxing, et al. Dosimetric parameters and impact on radiation-induced injury of simultaneous integrated boost reverse intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer[J]. *China Medical Equipment*, 2023, 20(5) : 12-16.
- [6] RICE T W, PATIL D T, BLACKSTONE E H. 8th edition AJCC/UICC staging of cancers of the esophagus and esophagogastric junction: application to clinical practice[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2017, 6(2): 119-130.
- [7] 何赟, 李宇星, 苏王辉, 等. 入射角度对中下段食管癌调强放射治疗的剂量学研究 [J]. *中国医学装备*, 2021, 18 (9) : 29-33.
HE Yun, LI Yuxing, SU Wanghui, et al. Dosimetric study on incidence angles in intensity-modulated radiotherapy for mid-lower esophageal cancer[J]. *China Medical Equipment*, 2021, 18(9): 29-33.
- [8] 苏王辉, 何普, 李毅, 等. 调强放射治疗电子射野成像设备和锥形束 CT 模式下不同部位肿瘤位置验证方案的研究 [J]. *中国医学装备*, 2024, 21 (12) : 39-43.
SU Wanghui, HE Pu, LI Yi, et al. Study on tumor position verification schemes for different anatomical sites using electronic portal imaging and cone-beam CT in intensity-modulated radiotherapy[J]. *China Medical Equipment*, 2024, 21(12): 39-43.
- [9] 白胜江, 刘玉涛, 赵红, 等. IMRT 联合腔内后装放疗对宫颈癌靶区、正常组织及肿瘤血管的影响 [J]. *局解手术学杂志*, 2021, 30 (2) : 146-151.
BAI Shengjiang, LIU Yutao, ZHAO Hong, et al. Effect of IMRT combined with intracavitary brachytherapy on the target area, normal tissues, and tumor vasculature in cervical cancer[J]. *Journal of Regional Anatomy and Operative Surgery*, 2021, 30(2): 146-151.
- [10] 张斯渊, 董信春, 韩松辰, 等. 精准医疗: 中晚期食管癌放疗技术进展浅谈 [J]. *实用肿瘤杂志*, 2021, 36 (4) : 368-374.
ZHANG Siyuan, DONG Xinchun, HAN Songchen, et al. Advances in radiotherapy techniques for middle to late stage esophageal cancer under precision medicine[J]. *Journal of Practical Oncology*, 2021, 36(4): 368-374.
- [11] 杨从容, 王烁, 王军. 精准医学背景下的食管癌放疗研究进展 [J]. *肿瘤预防与治疗*, 2024, 37 (4) : 279-285.
YANG Congrong, WANG Shuo, WANG Jun. Research progress on radiotherapy for esophageal cancer under the background of precision medicine[J]. *Journal of Cancer Control and Treatment*, 2024, 37(4): 279-285.
- [12] 张宏娟, 成维, 丁文斌, 等. 1.5T MRI 高分辨率成像及动态增强参数在食管癌精准放疗中的价值研究 [J]. *现代医学*, 2023, 51(10) : 1410-1416.
ZHANG Hongjuan, CHENG Wei, DING Wenbin, et al. Value of 1.5T high-resolution MRI imaging and dynamic contrast-enhanced parameters in precision radiotherapy for esophageal cancer[J]. *Modern Medical Journal*, 2023, 51(10): 1410-1416.
- [13] 王玉强, 张永红, 齐增平, 等. 老年中晚期食管癌伴吞咽困难者行胃造瘘术对患者免疫功能、应激反应及营养状况的影响 [J]. *海南医学*, 2024, 35 (4) : 507-511.
WANG Yuqiang, ZHANG Yonghong, QI Zengping, et al. Effect of gastrostomy on immune function, stress response, and nutritional status in elderly patients with locally advanced esophageal cancer and dysphagia[J]. *Hainan Medical Journal*, 2024, 35(4): 507-511.
- [14] 石迎迎, 秦靖宜, 张开明, 等. 食管癌术后复发吞咽困难患者营养治疗的药学监护 [J]. *中国药物应用与监测*, 2023, 20 (1) : 28-31.
SHI Yingying, QIN Jingyi, ZHANG Kaiming, et al. Pharmaceutical care of nutritional therapy for patients with recurrent dysphagia after esophageal cancer surgery[J]. *Chinese Journal of Drug Application and Monitoring*, 2023, 20(1): 28-31.
- [15] 陈浩, 白利君, 张扬, 等. 肠内营养联合数字减影血管造影引导下经皮胃造瘘术对食管癌伴吞咽困难患者营养状态的影响 [J]. *中国临床医生杂志*, 2021, 49 (10) : 1207-1209.
CHEN Hao, BAI Lijun, ZHANG Yang, et al. Effect of enteral nutrition combined with DSA-guided percutaneous gastrostomy on nutritional status in esophageal cancer patients with dysphagia[J]. *Chinese Journal for Clinicians*, 2021, 49(10): 1207-1209.