

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.04.012

直线加速器放射治疗老年 NSCLC 患者的 临床疗效与安全性评价

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 探讨直线加速器放射治疗对老年非小细胞肺癌 (NSCLC) 患者的临床疗效与安全性, 为临床治疗提供依据。**方法** 选取 2020 年 1 月至 2022 年 10 月浙江大学医学院附属第二医院收治的老年 NSCLC 患者 60 例, 随机分为干预组 (直线加速器放射治疗) 和对照组 (常规放射治疗) 各 30 例。评估两组患者近期疗效 (客观疗效、客观缓解率、疾病控制率)、远期疗效 (无进展生存期、总生存期) 及放射治疗相关不良反应发生率。**结果** 干预组客观疗效评价优于对照组 ($Z=2.163$, $P=0.031$), 客观缓解率显著高于对照组 (63.3% vs 36.7%, $\chi^2=4.267$, $P=0.039$)。干预组的中位无进展生存期 (9.8 个月 vs 6.5 个月, $\chi^2=6.481$, $P=0.011$) 和中位总生存期 (21.4 个月 vs 16.8 个月, $\chi^2=4.920$, $P=0.027$) 均显著长于对照组。两组在放射治疗相关不良反应发生率方面差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 直线加速器放射治疗能显著提高老年 NSCLC 患者的近期缓解率和长期生存率, 且不会增加治疗相关不良反应, 安全性良好。

【关键词】 非小细胞肺癌; 直线加速器; 治疗计划系统; 图像引导放疗; 靶区 AI 勾画

【中图分类号】 R318.08

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 04-0495-07

Analysis of the Clinical Efficacy and Safety of Linear Accelerator Radiotherapy in Elderly Patients with Non-Small Cell Lung 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 clinical efficacy and safety of linear accelerator radiotherapy in elderly patients with non-small cell lung cancer (NSCLC) and to provide a reference for clinical treatment. **Methods** A total of 60 elderly patients with NSCLC admitted to the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine from January 2020 to October 2022 were selected and randomly divided into an intervention group (linear accelerator radiotherapy) and a control group (conventional radiotherapy), with 30 patients in each group. The short-term efficacy (objective efficacy, objective response rate, disease control rate), long-term efficacy (progression-free survival, overall survival), and incidence of radiotherapy-related adverse events were assessed between the two groups. **Results** The

收稿日期: 2025-02-23。

作者简介: 廖世海 (1993—), 男, 安徽淮南人, 本科学历, 助理工程师, 主要从事医学物理研究。邮箱 (E-mail): 13819498863@163.com。

objective efficacy in the intervention group was significantly better than that in the control group ($Z=2.163$, $P=0.031$), and the objective response rate was significantly higher than that of the control group (63.3% vs 36.7%, $\chi^2=4.267$, $P=0.039$). The median progression-free survival (9.8 months vs 6.5 months, $\chi^2=6.481$, $P=0.011$) and median overall survival (21.4 months vs 16.8 months, $\chi^2=4.920$, $P=0.027$) were both significantly longer in the intervention group compared to the control group. There was no statistically significant difference between the two groups in the incidence of radiotherapy-related adverse events ($P>0.05$). **Conclusion** Linear accelerator radiotherapy can significantly improve both the short-term response rate and the long-term survival rate in elderly patients with NSCLC without increasing the risk of treatment-related adverse events, demonstrating good safety.

【Key words】 Non-Small Cell Lung Cancer (NSCLC); Linear Accelerator; Treatment Planning System; Image-Guided Radiotherapy; Target AI Delineation

0 引言

肺癌是全球范围内最常见的恶性肿瘤之一，也是致死率最高的恶性肿瘤。根据全球癌症统计数据，肺癌的发病率和死亡率在所有恶性肿瘤中均居首位。非小细胞肺癌（Non-Small Cell Lung Cancer, NSCLC）患者约占肺癌患者总数的 85%，其中老年患者（ ≥ 65 岁）占比逐年增加^[1]。在我国，随着人口老龄化进程的加速和环境污染的加剧，老年肺癌患者的数量呈显著上升趋势，已成为重要的公共卫生问题。老年 NSCLC 患者由于生理功能退化、器官储备能力下降及常伴有多种基础疾病，往往不能耐受手术切除和全剂量化疗，因此放射治疗在老年 NSCLC 患者的综合治疗中占有重要地位^[2]。传统的常规放射治疗虽然在肿瘤局部控制方面有一定效果，但其精确度和适形性有限，对周围正常组织的损伤相对较大，限制了其在老年 NSCLC 患者中的应用效果。近年来，随着放射物理学和计算机技术的快速发展，放射治疗的设备和技术取得了重大突破。直线加速器（Linear Accelerator, LINAC）作为现代放射治疗的核心设备，具有能量高、穿透力强、剂量分布均匀等特点，可实现三维适形放射治疗（3D-Conformal Radiotherapy, 3D-CRT）和调强放射治疗（Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT）等先进技术^[3]，理论上能够在提高肿瘤局部剂量的同时减少周围正常组织的损伤，从而改善治疗效果并降低不良反应发生率。老年 NSCLC 患者作为特殊人群，其治疗获益与风险的平衡尤为重要，需要更多的临床证据来支持治疗决策。本研究比较了直线

加速器放射治疗与常规放射治疗在老年 NSCLC 患者中的近期疗效、远期生存及安全性，旨在为老年 NSCLC 患者的放射治疗方案选择提供循证医学依据，优化老年 NSCLC 患者的放射治疗策略。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取 2020 年 1 月至 2022 年 10 月在浙江大学医学院附属第二医院接受治疗的老年 NSCLC 患者共 60 例。所有入选患者年龄为 55 ~ 80 岁，均经组织学或细胞学确诊为 NSCLC，临床分期为ⅢA ~ Ⅳ期。将患者按照随机数字表法分为干预组（直线加速器放射治疗）和对照组（常规放射治疗），每组 30 例。一般资料如表 1 所示。经统计，两组患者在年龄、性别、临床分期、病理类型及合并症等基线资料方面具有良好的均衡性和可比性，符合随机对照研究的要求。

1.2 方法

所有患者在治疗前均进行了详细的临床评估，包括病史采集、体格检查、血常规、肝肾功能、肿瘤标志物检测、胸部增强 CT、腹部超声、脑 MRI 或增强 CT 以及全身骨扫描等，以明确诊断和分期。

1.2.1 干预组：直线加速器放射治疗

干预组患者接受直线加速器（LINAC）放射治疗，具体方法如下。

（1）设备：采用瓦里安 Trilogy 直线加速器，配备多叶准直器（Multi-Leaf Collimator, MLC）和影像引导系统。

（2）治疗计划：采用 3D-CRT 或 IMRT 技术。

患者取仰卧位，固定于真空垫上，双手上举过头。采用 GECT 模拟定位机进行 CT 扫描，层厚为 3mm，扫描范围为从颈部至肝脏下缘。

表 1 一般资料对比
Tab.1 Comparison of general information

项目	干预组 (n=30)	对照组 (n=30)	t/Z/ χ^2 值	P 值
年龄 / 岁	70.35±10.69	71.33±9.85	0.369	0.713
性别 [n (%)]			0.069	0.793
男性	18 (60.0)	17 (56.7)		
女性	12 (40.0)	13 (43.3)		
临床分期 [n (%)]			0.182	0.856
IIIA 期	13 (43.3)	12 (40.0)		
IIIB 期	10 (33.3)	11 (36.7)		
IV 期	7 (23.3)	7 (23.3)		
病理类型 [n (%)]			0.233	0.816
鳞癌	16 (53.3)	15 (50.0)		
腺癌	12 (40.0)	13 (43.3)		
其他	2 (6.7)	2 (6.7)		
合并症 [n (%)]				
高血压	16 (53.3)	15 (50.0)	0.067	0.796
糖尿病	10 (33.3)	11 (36.7)	0.073	0.787
冠心病	8 (26.7)	7 (23.3)	0.089	0.766
慢性阻塞性肺病	12 (40.0)	13 (43.3)	0.069	0.793

(3) 靶区勾画：由两名高级放疗医师共同完成。肉眼可见肿瘤体积 (GTV) 包括原发灶及 CT、PET-CT 或活检证实的转移淋巴结；临床靶区 (CTV) 在 GTV 的基础上向外扩展 6~8mm，考虑亚临床病灶；计划靶区 (PTV) 在 CTV 的基础上向外扩展 5mm，以补偿呼吸运动和摆位误差。随着人工智能与自动化技术的发展，治疗计划系统 (TPS) 在直线加速器放疗中已逐渐实现自动优化。例如，部分系统可通过深度学习算法实现靶区自动识别与勾画，在减少医师工作负担的同时提升勾画的一致性与精度。同时，基于剂量学的自动计划优化功能可在限定危及器官剂量约束的前提下自动计算最优剂量分布，兼顾疗效与安全性。这些先进功能的引入有助于进一步提高放疗的个体化水平和精准性 (见图 1)。

(4) 处方剂量：根据患者的一般状况和肿瘤分期确定，通常 PTV 给予 60~66Gy/30~33 次，每次 2Gy，每天 1 次，每周 5 次，总疗程 6~7 周。

(5) 质量保证：每周进行 1 次锥形束 CT (CB-CT) 或电子影像装置 (EPID) 验证，确保摆

位精确性。

(6) OAR 的剂量限制：脊髓最大剂量 <45Gy；肺 V20 (接受 ≥ 20 Gy 剂量的肺体积百分比) $\leq 30\%$ ；心脏 V30 $\leq 40\%$ ；食管平均剂量 <34Gy，最大剂量 <70Gy。

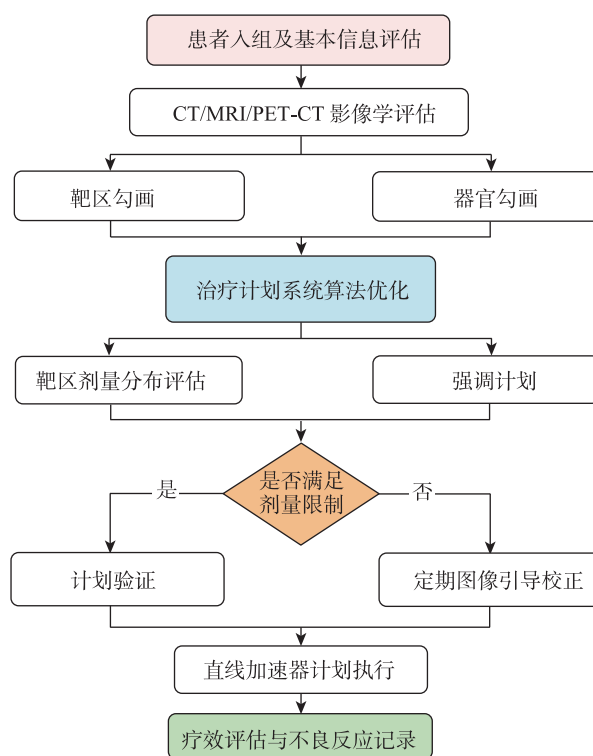


图 1 直线加速器放疗剂量与靶区设计优化流程

Fig.1 Flowchart of dose and target design optimization for linear accelerator radiotherapy

1.2.2 对照组：常规放射治疗

对照组接受常规放射治疗，具体方法如下。

(1) 设备：采用常规医用直线加速器。

(2) 治疗计划：主要采用二维放射治疗技术，辅以简单的 3D-CRT。

(3) 靶区设计：根据胸部 CT 和常规 X 线定位靶区。前野包括原发灶及纵隔淋巴引流区，后野避开脊髓。

(4) 处方剂量：与干预组相同，PTV 给予 60~66Gy/30~33 次，每次 2Gy，每天 1 次，每周 5 次，总疗程 6~7 周。

(5) 质量验证：采用常规摆位验证，每周进行 1 次。

1.2.3 支持治疗

两组患者在放射治疗期间均根据需要接受相应

的支持治疗, 包括以下几项。

(1) 止吐药物: 根据需要使用 5-羟色胺 3 受体拮抗剂。

(2) 营养支持: 保证充分的营养摄入, 必要时给予肠内或肠外营养支持。

(3) 粒细胞集落刺激因子 (G-CSF): 出现 3 级及以上骨髓抑制时使用。

(4) 预防性使用保护胃黏膜的药物。

(5) 对症处理放射性食管炎、肺炎等不良反应。

1.3 观察指标

1.3.1 近期疗效指标

近期疗效评价采用实体瘤疗效评价标准 (RECIST 1.1 版) 进行。所有患者在放射治疗结束后 4~6 周进行第一次疗效评估。

(1) 客观疗效评价: 分为完全缓解 (CR)、部分缓解 (PR)、疾病稳定 (SD) 和疾病进展 (PD) 四个等级。

①完全缓解 (CR): 所有靶病灶完全消失, 无新病灶出现。

②部分缓解 (PR): 靶病灶最大径之和较基线减少 $\geq 30\%$ 。

③疾病稳定 (SD): 介于 PR 与 PD 之间。

④疾病进展 (PD): 靶病灶最大径之和较基线增加 $\geq 20\%$ 或出现新病灶。

(2) 客观缓解率 (ORR): 计算公式为 $ORR = (CR + PR) / \text{总例数} \times 100\%$ 。

(3) 疾病控制率 (DCR): 计算公式为 $DCR = (CR + PR + SD) / \text{总例数} \times 100\%$ 。

1.3.2 远期疗效指标

远期疗效主要通过生存指标进行评价, 包括以下几项。

(1) 无进展生存期 (PFS)。从随机分组日期至首次记录疾病进展或任何原因导致死亡的时间, 以先发生者为准。计算 6 个月和 12 个月的 PFS 率。

(2) 总生存期 (OS)。从随机分组日期至任何原因导致死亡的时间。计算 12 个月、18 个月和 24 个月的 OS 率。

所有患者均按计划进行随访, 通过门诊复查、电话随访或家访的方式获取生存数据。随访时间截至 2024 年年底, 未发生死亡事件的病例记为截尾数据。

1.3.3 安全性指标

采用美国国家癌症研究所常见不良事件评价标准 (CTCAE 5.0 版) 评估放射治疗相关不良反应, 分为 1~5 级。

(1) 1 级: 轻度, 无症状或轻微症状。

(2) 2 级: 中度, 需要局部或非侵入性治疗。

(3) 3 级: 严重或医学上显著但不立即危及生命, 需要住院或延长住院时间。

(4) 4 级: 危及生命, 需要紧急干预。

(5) 5 级: 与不良事件相关的死亡。

不良反应记录时间为从治疗开始至治疗后 3 个月, 分别统计所有等级不良反应和 3~4 级不良反应的发生率。

1.4 统计学处理

本研究采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析。计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 计数资料以例数 (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。生存时间的组间比较采用 Log-rank 检验。所有统计检验均为双侧检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组近期疗效评价

根据表 2 中的数据, 干预组 (直线加速器放射治疗) 与对照组 (常规放射治疗) 在近期疗效方面存在显著差异。干预组的客观疗效评价优于对照组 ($Z=2.163$, $P=0.031$)。具体来看, 干预组的 CR 率和 PR 率均高于对照组。在 ORR 方面, 干预组显著高于对照组 (63.3% vs 36.7%, $\chi^2=4.267$,

表 2 两组近期疗效对比

Tab.2 Comparison of short-term efficacy between the two groups

疗效评估	干预组 (n=30)	对照组 (n=30)	Z/ χ^2 值	P 值
客观疗效 [$n(\%)$]			2.163	0.031
完全缓解 (CR)	3 (10.0)	1 (3.3)	—	—
部分缓解 (PR)	16 (53.3)	10 (33.3)	—	—
疾病稳定 (SD)	8 (26.7)	12 (40.0)	—	—
疾病进展 (PD)	3 (10.0)	7 (23.3)	—	—
客观缓解率 (ORR) [$n(\%)$]	19 (63.3)	11 (36.7)	4.267	0.039
疾病控制率 (DCR) [$n(\%)$]	27 (90.0)	23 (76.7)	1.920	0.166

注: ORR=完全缓解率+部分缓解率; DCR=完全缓解率+部分缓解率+疾病稳定率。

$P=0.039$), 表明直线加速器放射治疗在肿瘤近期疗效方面具有明显优势。在 DCR 方面, 虽然干预组较对照组有所提高 (90.0% vs 76.7%), 但差异未达到统计学显著水平 ($\chi^2=1.920$, $P=0.166$)。

2.2 两组远期疗效评价

表 3、图 2 和图 3 中的生存分析结果显示, 干预组在生存指标方面表现优于对照组。干预组的中位无进展生存期 (PFS) 明显长于对照组 (9.8 个月 vs 6.5 个月, $\chi^2=6.481$, $P=0.011$)。在 6 个月和 12 个月的 PFS 率方面, 干预组均高于对照组, 但差异未达到统计学显著性 ($P>0.05$)。在中位总生存期 (OS) 方面, 干预组显著优于对照组 (21.4 个月 vs 16.8 个月, $\chi^2=4.920$, $P=0.027$), 表明直线加速器放射治疗能有效延长老年 NSCLC 患者的总生存时间。在 12 个月、18 个月和 24 个月的 OS 率方面, 干预组均高于对照组, 尽管这些差异未达到统计学显著水平 ($P>0.05$)。

表 3 两组患者生存情况比较

Tab.3 Comparison of survival outcomes between the two groups

生存指标	干预组 (n=30)	对照组 (n=30)	χ^2 值	P 值
中位无进展生存期 (PFS)				
月数 (95% CI)	9.8 (7.6 ~ 12.0)	6.5 (4.8 ~ 8.2)	6.481	0.011
6 个月 PFS 率 (%)	25 (83.3)	21 (70.0)	1.491	0.222
12 个月 PFS 率 (%)	13 (43.3)	8 (26.7)	1.832	0.176
中位总生存期 (OS)				
月数 (95% CI)	21.4 (18.1 ~ 24.7)	16.8 (13.9 ~ 19.7)	4.920	0.027
12 个月 OS 率 (%)	25 (83.3)	22 (73.3)	0.884	0.347
18 个月 OS 率 (%)	19 (63.3)	14 (46.7)	1.684	0.195
24 个月 OS 率 (%)	12 (40.0)	7 (23.3)	1.926	0.165

注: PFS=无进展生存期; OS=总生存期; CI=置信区间。

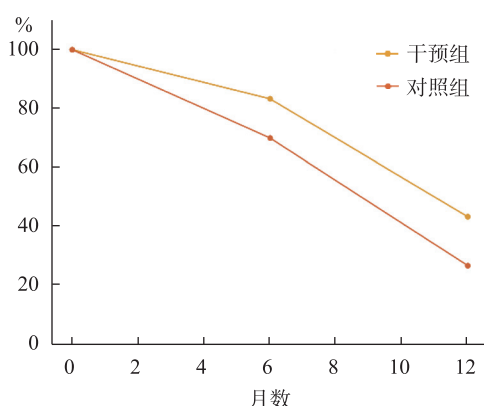


图 2 两组 PFS 比较

Fig.2 Comparison of PFS between the two groups

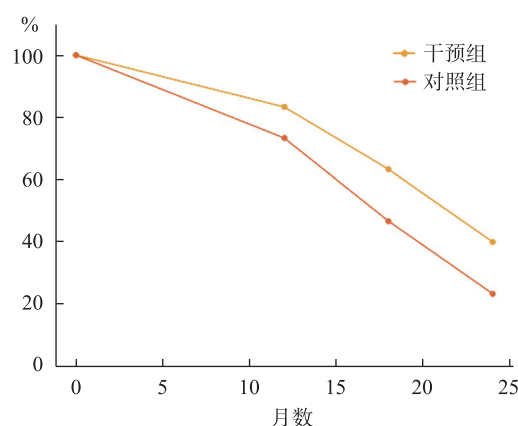


图 3 两组 OS 比较

Fig.3 Comparison of OS between the two groups

2.3 两组不良反应发生情况比较

表 4 中的数据分析结果表明, 两组患者在放射治疗相关不良反应的发生率方面未见显著统计学差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

本研究对比了直线加速器放射治疗与常规放射治疗在老年 NSCLC 患者中的治疗效果与安全性。研究结果表明, 直线加速器放射治疗组在客观疗效、客观缓解率、无进展生存期及总生存期等方面均优于常规放射治疗组, 且两组患者的不良反应发生率差异无统计学意义。由此可见, 直线加速器放射治疗在老年 NSCLC 患者中能够实现更佳的治疗效果, 同时具备与常规放疗相近的安全性。

在近期疗效方面, 直线加速器放射治疗组的客观缓解率 (63.3%) 显著高于常规放射治疗组 (36.7%), 这与国内外相关研究结果一致。Chun 等^[4] 研究显示, 应用 IMRT 技术的直线加速器放射治疗对局部晚期 NSCLC 患者的客观缓解率达到 61.5%, 而常规二维放射治疗的缓解率仅为 40.2%。这种差异可能与直线加速器放射治疗具有更精确的剂量分布、更好的靶区适形性及更高的剂量递送精度有关^[5]。通过三维适形或调强技术, 直线加速器能够将更高的剂量精确地递送至肿瘤靶区, 同时最大限度地避开周围正常组织, 从而提高局部控制率。

在远期疗效方面, 本研究显示直线加速器放射治疗组的中位 PFS (9.8 个月 vs 6.5 个月) 和中位 OS (21.4 个月 vs 16.8 个月) 均显著优于常规放射治疗组。Yao 等^[6] 的 Meta 分析纳入了 11 项涉

表 4 两组放射治疗相关不良反应发生情况
Tab.4 Comparison of radiotherapy-related adverse events between the two groups

不良反应类型	干预组 (n=30)		对照组 (n=30)		χ^2 (P1) 值	χ^2 (P2) 值
	所有等级 [n (%)]	3~4 级 [n (%)]	所有等级 [n (%)]	3~4 级 [n (%)]		
放射性肺炎	15 (50.0)	2 (6.7)	19 (63.3)	5 (16.7)	1.086/0.297	0.647/0.421
放射性食管炎	18 (60.0)	3 (10.0)	22 (73.3)	7 (23.3)	1.200/0.273	1.920/0.166
骨髓抑制						
白细胞减少	21 (70.0)	4 (13.3)	23 (76.7)	6 (20.0)	0.341/0.559	0.480/0.488
血小板减少	14 (46.7)	3 (10.0)	16 (53.3)	4 (13.3)	0.267/0.606	0.001/0.989
贫血	17 (56.7)	2 (6.7)	18 (60.0)	4 (13.3)	0.069/0.793	0.185/0.667
疲乏	22 (73.3)	1 (3.3)	25 (83.3)	3 (10.0)	0.884/0.347	0.268/0.605
恶心/呕吐	16 (53.3)	1 (3.3)	18 (60.0)	3 (10.0)	0.272/0.602	0.268/0.605
皮肤反应	12 (40.0)	1 (3.3)	15 (50.0)	4 (13.3)	0.606/0.436	0.873/0.350
口腔黏膜炎	10 (33.3)	1 (3.3)	13 (43.3)	3 (10.0)	0.635/0.426	0.268/0.605
体重下降	14 (46.7)	1 (3.3)	17 (56.7)	3 (10.0)	0.601/0.438	0.268/0.605
放射性心脏损伤	4 (13.3)	0 (0.0)	7 (23.3)	0 (0.0)	1.002/0.317	—

注：不良反应按照CTCAE 5.0版进行分级；P1表示所有等级不良反应发生率的组间比较；P2表示3~4级不良反应发生率的组间比较。

及老年 NSCLC 患者的研究，结果显示，采用现代放射治疗技术（包括直线加速器实现的 3D-CRT 和 IMRT）较传统二维放射治疗可使 1 年生存率提高约 15%，中位 OS 延长 3~5 个月。本研究结果与之相符，且显示出更明显的生存获益（中位 OS 延长 4.6 个月）。这可能是由于：①本研究纳入了最新的放射治疗技术和设备；②研究对象为老年患者，这一群体基础疾病多、器官功能储备下降，使精确放射治疗带来的获益可能更为明显；③本研究严格控制了两组间基线特征的平衡性，降低了混杂因素的影响。我们还发现，虽然直线加速器放射治疗在 6 个月、12 个月 PFS 率和 12 个月、18 个月、24 个月 OS 率方面均高于常规放射治疗，但差异未达到统计学显著水平。这可能与样本量较小、随访时间有限有关，也提示我们在未来研究中扩大样本量并延长随访时间，以更全面地评估直线加速器放射治疗对老年 NSCLC 患者长期生存的影响。

在安全性方面，本研究显示，两组在放射治疗相关不良反应发生率方面无显著差异，这似乎与直线加速器放射治疗能减少正常组织受照射的理论预期不符^[7]。然而，这一结果与部分文献报道一致。相关研究^[8]同样发现，虽然 IMRT 技术在剂量学上优于传统放射治疗，但在临床不良反应发生率上两者差异不显著。这可能与以下因素有关：①研究对象为老年患者，其组织修复能力普遍较差，即使接受精确放射治疗，也可能出现明显反应；②放射治疗相

关不良反应的发生涉及复杂的生物学机制，不仅取决于物理剂量分布，还与个体敏感性、基础疾病状况等因素相关^[9-10]；③虽然两组总体不良反应发生率无显著差异，但仔细分析发现，直线加速器放射治疗组的 3~4 级严重不良反应（尤其是放射性肺炎和食管炎）发生率较常规放射治疗组有降低趋势，这在临床实践中具有重要意义，尤其是对老年患者而言。

本研究的结果对临床实践具有重要启示。首先，直线加速器放射治疗能够在不增加毒性反应的前提下显著提高老年 NSCLC 患者的近期缓解率和长期生存率，因此应作为老年 NSCLC 患者的首选放射治疗方案。其次，对于无法耐受手术或系统性治疗的老年 NSCLC 患者，采用直线加速器放射治疗作为局部治疗手段，不仅能够提供良好的肿瘤控制，还能保证较好的生活质量^[11-13]。最后，虽然直线加速器放射治疗的设备和技术成本较高，但考虑到其带来的生存获益和可能减少的严重不良反应处理成本，从长期医疗经济学角度分析，在老年 NSCLC 患者中推广应用直线加速器放射治疗具有潜在的成本效益。尽管本研究取得了一定的成果，但仍存在若干不足之处。首先，样本量较少，可能在一定程度上影响部分次级终点指标的统计效能。其次，随访时间不够长，无法全面揭示患者的长期生存获益及晚期放射毒性的发生情况。再次，本研究未对患者的生活质量进行评估，而对老年患者而言，治疗过程中生活质量的维持同样具有重要意义。最后，本研究未深入探

讨论放疗剂量学参数与临床疗效之间的关系。基于以上局限性,未来应考虑开展样本量更大、覆盖多中心的研究,延长随访时间,系统纳入生活质量评估,并进一步分析放疗剂量学特征与临床结局之间的关联,以期临床实践提供更为全面的证据支持。

此外,随着人工智能与大数据技术在医学领域的广泛应用,未来放射治疗的发展方向应包括构建智能辅助决策系统。该系统可集成患者个体临床资料、影像数据、病理信息及既往放疗计划,通过机器学习和深度神经网络算法,实现放疗方案个性化设计与实时优化。在靶区自动勾画、剂量分布预测、不良反应风险评估等方面,智能系统有望实现辅助乃至部分替代人工决策,提升治疗精度和效率。同时,结合自然语言处理技术,可进一步实现跨学科数据共享和自动化报告生成,推动放疗过程的全流程智能化。未来相关系统的开发应注重可解释性与临床可操作性,并通过多中心大样本验证其稳定性与可靠性,为精准放疗提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 陆红艳, 顾一航, 沈卫东, 等. 老年综合评估下非小细胞肺癌发病危险因素分析及术后管理效果研究[J]. *徐州医科大学学报*, 2024, 44(12): 931-936.
LU Hongyan, GU Yihang, SHEN Weidong, *et al.* Analysis of risk factors for non-small cell lung cancer and postoperative management outcomes based on comprehensive geriatric assessment[J]. *Journal of Xuzhou Medical University*, 2024, 44(12): 931-936.
- [2] 李加冉, 袁双虎. 2024 年度非小细胞肺癌放射治疗研究进展[J]. *肿瘤综合治疗电子杂志*, 2025, 11(1): 50-57.
LI Jiaran, YUAN Shuanghu. Research progress on radiotherapy for non-small cell lung cancer in 2024[J]. *Journal of Multidisciplinary Cancer Management (Electronic Version)*, 2025, 11(1): 50-57.
- [3] 陈震. 肺癌患者的直线加速器放射治疗效果与安全性分析[J]. *生命科学仪器*, 2023, 21(z2): 57.
CHEN Zhen. Analysis of the efficacy and safety of linear accelerator radiotherapy in patients with lung cancer[J]. *Life Science Instruments*, 2023, 21(z2): 57.
- [4] CHUN S G, HU C, KOMAKI R U, *et al.* Long-term prospective outcomes of intensity modulated radiotherapy for locally advanced lung cancer: A secondary analysis of a randomized clinical trial[J]. *JAMA Oncol*, 2024, 10(8): 1111-1115.
- [5] GIAJ-LEVRA N, BORGHETTI P, BRUNI A, *et al.* Current radiotherapy techniques in NSCLC: Challenges and potential solutions[J]. *Expert Rev Anticancer Ther*, 2020, 20(5): 387-402.
- [6] YAO B, ZHANG H, LIANG X, *et al.* Efficacies of different postoperative radiotherapy techniques in patients with N2 non-small cell lung cancer: A meta-analysis[J]. *Am J Transl Res*, 2024, 16(11): 7016-7035.
- [7] MA F, QI Z, LIAO G, *et al.* Study on PD-1 inhibitor combined with recombinant human endostatin and chemotherapy followed by IMRT in the treatment of advanced NSCLC[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2025, 104(6): e41306.
- [8] ITONAGA T, MIKAMI R, OKUBO M, *et al.* Prognostic impact of solid tumor component diameter in early-stage non-small cell lung carcinoma treated with intensity-modulated fractionated radiotherapy: A retrospective analysis[J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1109): 20191027.
- [9] TANG L L, GUO R, ZHANG N, *et al.* Effect of radiotherapy alone vs radiotherapy with concurrent chemoradiotherapy on survival without disease relapse in patients with low-risk nasopharyngeal carcinoma: A randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2022, 328(8): 728-736.
- [10] NUTTING C, FINNERAN L, ROE J, *et al.* Dysphagia-optimised intensity-modulated radiotherapy versus standard intensity-modulated radiotherapy in patients with head and neck cancer (DARS): A phase 3, multicentre, randomised, controlled trial[J]. *Lancet Oncol*, 2023, 24(8): 868-880.
- [11] 徐浩然, 孙显松, 王欣海, 等. Halcyon 医用电子直线加速器对 142 例肺癌患者常规分割治疗模式下靶区外放边界的分析[J]. *基础医学与临床*, 2020, 40(12): 1691-1694.
XU Haoran, SUN Xiansong, WANG Xinhai, *et al.* Analysis of target margin extension in 142 lung cancer patients treated with conventional fractionation using the Halcyon medical linear accelerator[J]. *Basic & Clinical Medicine*, 2020, 40(12): 1691-1694.
- [12] 谢晓辉, 冀天楠, 丛小虎, 等. 国产和进口医用直线加速器及治疗计划系统在肺癌调强放疗中的临床剂量学研究[J]. *医疗卫生装备*, 2022, 43(2): 47-50, 55.
XIE Xiaoye, JI Tiannan, CONG Xiaohu, *et al.* Clinical dosimetric study of domestic and imported medical linear accelerators and treatment planning systems in intensity-modulated radiotherapy for lung cancer[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2022, 43(2): 47-50, 55.
- [13] 贾国强, 田光亮, 李秀冬, 等. 直线加速器放射治疗对肺癌患者生存率及不良反应的影响[J]. *中国医疗器械信息*, 2022, 28(6): 37-39.
JIA Guoqiang, TIAN Guangliang, LI Xiudong, *et al.* Effect of linear accelerator radiotherapy on survival rate and adverse reactions in lung cancer patients[J]. *China Medical Device Information*, 2022, 28(6): 37-39.