

^{18}F -FDG PET/CT在小细胞肺癌全程管理中的研究进展

刘丽^{1,2}, 李万湖^{1,2*}

¹山东第一医科大学(山东省医学科学院)研究生院, 山东 济南

²山东第一医科大学附属肿瘤医院影像科, 山东 济南

收稿日期: 2026年5月16日; 录用日期: 2026年6月9日; 发布日期: 2026年6月18日

摘要

小细胞肺癌(SCLC)属于肺神经内分泌肿瘤中最常见的亚型, 约占所有原发性肺恶性肿瘤的15%~20%, 具有侵袭性强、早期易转移的生物学特性, 其诊疗管理高度依赖精准的影像学评估。 ^{18}F -脱氧葡萄糖正电子发射计算机断层显像(^{18}F -FDG PET/CT)作为一种融合功能代谢与解剖结构的分子影像技术, 凭借其肿瘤代谢活性的高敏感性, 尤其对隐匿性远处转移的检出显著优于传统影像学手段, 已成为SCLC诊疗中的重要影像学工具, 在SCLC的全程管理中扮演着重要的角色。本文旨在系统阐述 ^{18}F -FDG PET/CT在SCLC诊疗各阶段的应用价值与研究进展。

关键词

小细胞肺癌, PET/CT, 疗效评估, 预后预测

Research Advances of ^{18}F -FDG PET/CT in the Comprehensive Management of Small Cell Lung Cancer

Li Liu^{1,2}, Wanhu Li^{1,2*}

¹Graduate School of Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Jinan Shandong

²Department of Radiology, Cancer Hospital of Shandong First Medical University, Jinan Shandong

Received: May 16, 2026; accepted: June 9, 2026; published: June 18, 2026

*通讯作者。

Abstract

Small cell lung cancer (SCLC) is the most common subtype of pulmonary neuroendocrine tumors, accounting for approximately 15%~20% of all primary malignant lung tumors. Characterized by strong invasiveness and an early tendency for metastasis, the diagnosis and management of SCLC rely heavily on precise imaging evaluation. As a molecular imaging modality integrating functional metabolic imaging with anatomical structural imaging, ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (^{18}F -FDG PET/CT) has become an important imaging tool in the diagnosis and treatment of SCLC due to its high sensitivity for detecting tumor metabolic activity, particularly its superior ability to identify occult distant metastases compared with conventional imaging techniques. Consequently, ^{18}F -FDG PET/CT plays a crucial role throughout the entire management of SCLC. This review aims to systematically summarize the clinical applications and recent research advances of ^{18}F -FDG PET/CT at different stages of SCLC management.

Keywords

Small Cell Lung Cancer, PET/CT, Efficacy Evaluation, Prognostic Prediction

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

根据全球肿瘤流行病学数据库(GLOBOCAN 2022)数据显示,肺癌是我国所有恶性肿瘤中发病率及死亡率最高的,2022年中国肺癌新发及死亡人数分别约为106.1万和73.3万[1][2]。小细胞肺癌(small cell lung cancer, SCLC)是一种起源于支气管黏膜 Kulchitzky 细胞的上皮性肿瘤,属于肺神经内分泌肿瘤中最常见的亚型,约占所有原发性肺恶性肿瘤的15%~20%[3]-[5]。其中约70%的患者在初诊时已属广泛期小细胞肺癌(extensive-stage small cell lung cancer, ES-SCLC)[6][7]。ES-SCLC患者由于肿瘤负荷大、转移范围广,治疗难度显著增加,5年生存率通常低于5%,是目前肺癌治疗中的难点之一[8][9]。因此,对SCLC的早期识别、准确分期,并以此指导临床治疗与预后评估具有重要意义。 ^{18}F - 脱氧葡萄糖正电子发射断层显像/X线计算机断层显像(^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography, ^{18}F -FDG PET/CT)作为一种融合代谢功能成像与解剖结构影像的无创检查手段,通过检测肿瘤组织对放射性示踪剂 ^{18}F -FDG 的摄取水平,间接反映其代谢活性与生物学行为,近年来已广泛应用于肺癌诊疗过程[10][11]。本文旨在系统综述 ^{18}F -FDG PET/CT 在 SCLC 临床分期、疗效评估及预后预测等方面的研究进展。

2. PET/CT 在小细胞肺癌分期中的应用

精准分期是 SCLC 全程管理的基石,在制定 SCLC 的治疗策略时,无论是在初始治疗前还是治疗后,准确评估疾病的真实范围都至关重要,直接决定了治疗策略的选择与患者预后[12]。SCLC 的分期体系经历了从经典的二期分期法向 TNM 分期系统的演变。经典的二期分期法将 SCLC 分为局限期和广泛期,局限期定义为肿瘤局限于一侧胸腔且可被纳入一个放射治疗野;广泛期则定义为肿瘤已扩散至对侧胸腔、远处淋巴结或器官,其范围超出单个放射野的安全照射限度[5][13]。此分期是决定治疗策略是采取根治

性同步放化疗还是系统性化疗联合免疫治疗的根本依据。然而此种方法虽简便易行, 但难以精确描述肿瘤的局部侵犯程度和淋巴结转移范围。随着手术和立体定向放疗在早期 SCLC 中应用的增多, TNM 分期系统因其更精细的风险分层能力, 被国际肺癌研究协会(IASLC)推荐作为 SCLC 的首选分期方法[14]。传统分期手段如: 胸腹部增强 CT、颅脑 MRI、骨扫描等均存在一定的临床局限性, 需联合多种检查手段, 才可实现肿瘤的准确分期。在这一背景下, ^{18}F -FDG PET/CT 凭借其同时提供代谢功能与解剖结构信息的独特优势, 单次检查即可获取全身影像学信息, 在 SCLC 的精准分期中扮演着日益重要的角色。邵俊伟等[15]研究发现, ^{18}F -FDG PET/CT 在初诊 SCLC 的临床分期中与 TNM 分期具有高度一致性(Kappa = 0.797), 具有良好的分期诊断价值。近年来, 根据国家综合癌症网络(NCCN)指南的更新, ^{18}F -FDG PET/CT 已被推荐为 SCLC 分期检查的首选影像学方法, 尽管其循证医学证据等级尚未达到 I 级[16]。

2.1. 对原发肿瘤 T 分期的评估

T 分期主要用于评估原发肿瘤的局部侵犯程度, 其具体判定依据包括肿瘤大小、位置以及对邻近组织结构(如胸壁、纵隔、大血管等)的浸润情况。准确评估原发肿瘤的大小、位置及其对邻近结构的侵犯情况, 是判断手术可切除性和确定放疗靶区的重要依据。传统 CT 主要依赖形态学改变来进行评估, 其准确性存在局限。 ^{18}F -FDG PET/CT 通过显示肿瘤的代谢活性边界, 能够更精确地勾画肿瘤的实际范围。尤其在合并肺不张或阻塞性肺炎时, PET 所提供的代谢信息有助于有效区分肿瘤组织与继发的炎性病变, 从而减少靶区勾画的误差[17]。值得注意的是, SCLC 常表现为中央型巨大肿块, 并易与肺门、纵隔淋巴结融合, 同时合并阻塞性肺炎或肺不张, 增加了传统 CT 对肿瘤边界判定及放疗靶区勾画的难度。PET/CT 通过提供代谢活性信息, 在复杂中央型病灶的边界识别及肿瘤与继发炎症区分方面具有独特优势。Nestle 等[17]的一项多中心、开放标签、随机对照的 III 期临床试验发现基于 PET 的靶区缩小是可行的, 且不劣于传统靶区勾画策略。事实上, PET 组的局部区域进展风险反而更低(HR = 0.57), 提示 PET 引导的精准放疗可能改善局部控制。

然而, PET/CT 在 T 分期中的价值并非孤立存在。Ohno 等[18]的前瞻性研究对比了传统分期检查、PET/CT、全身 MRI 及共配准 PET/MRI 在 SCLC 分期中的效能, 结果显示: 在 T 分期准确性方面, 全身 MRI 和 PET/MRI 均达到 94.9%, 显著优于 PET/CT 的 85.7% ($P < 0.05$)。这一发现提示, MRI 凭借其优越的软组织分辨率, 在评估局部侵犯(如胸壁、纵隔脂肪、心包及大血管)方面具有独特优势, 而 PET/CT 的代谢信息虽有助于确定肿瘤活性范围, 但在精细解剖结构显示上存在局限。因此, 对于局部进展期 SCLC, 若条件允许, 可考虑联合 MRI 评估以优化 T 分期。

2.2. 对原发肿瘤 N 分期的评估

SCLC 患者常伴有明显的肺门及纵隔淋巴结肿大, 淋巴结转移状态是决定 SCLC 分期和治疗方案的关键因素。传统 CT 主要依据淋巴结短径是否超过 10 mm 判断其有无淋巴结转移, 其敏感性和特异性均不理想, 存在假阴性和假阳性的问题。且部分 SCLC 患者在肺门及纵隔仅表现为小淋巴结, 常规 CT 检查难以清晰显示或准确判断其良恶性。 ^{18}F -FDG PET/CT 通过检测淋巴结的代谢活性, 可显著提高对纵隔及肺门淋巴结转移的检出效能, 从而提高 N 分期的准确性, 为 SCLC 患者的临床治疗决策提供更为可靠的依据[19]。

Pencharz 等[20]的研究通过淋巴结 SUVmax 与纵隔血池 SUVmax 的比值识别出具有 100%阴性预测值(< 1.3)和 100%阳性预测值(> 2.3)的阈值, 从而显著提高了淋巴结分期的准确性, 并可避免部分患者接受不必要的 EBUS-TBNA 检查, 进而节约时间、降低医疗资源消耗与患者负担。Kishida 等[21]的研究显示, 与常规分期检查相比, PET/CT 能更准确地识别 N2/N3 淋巴结转移, 从而改变约 15%~20%患者的治疗策

略。Ohno 等[18]的研究进一步证实, 在 N 分期准确性上, PET/CT (81.6%)、全身 MRI (84.7%)和 PET/MRI (83.7%)均显著优于传统分期检查(75.5%), 且三者之间无显著差异。这表明, PET/CT 在 N 分期中已具备与 MRI 相当的效能, 足以满足临床需求。值得注意的是, SCLC 常表现为原发灶与肺门、纵隔淋巴结融合成团, PET/CT 可清晰显示这些融合病灶的代谢活性范围, 为放疗靶区勾画提供重要依据。此外, PET/CT 还可检出 CT 上大小正常但已存在微转移的淋巴结, 减少分期误差。

2.3. 对原发肿瘤 M 分期的评估

M 分期是决定 SCLC 为广泛期的决定性因素, 也是最直接影响治疗策略的环节。传统 M 分期检查包括: 评估肝、肾上腺、腹腔淋巴结等的颈部至腹部增强 CT、评估骨转移的骨扫描以及评估脑转移颅脑 MRI。这些传统手段各有局限, CT 对骨转移不敏感, 骨扫描对溶骨性病灶检出率低且特异性差, 且各检查需分别进行, 耗时费力。¹⁸F-FDG PET/CT 凭借其一次成像覆盖全身的优势, 在 M 分期中展现出不可替代的价值, 尤其体现在对隐匿性远处转移病灶的检出上。然而, 由于正常脑组织对 ¹⁸F-FDG 呈高生理性摄取, 其本底代谢常会掩盖部分转移病灶的信号, 导致 PET 在检测脑转移瘤时的敏感性显著低于增强 CT 及 MRI 检查。

Yu 等[22]的一项 Meta 分析显示 PET/CT 对 NSCLC 初始分期远处转移具有极高的特异性(96%)和诊断准确性(AUC=0.97), 可早期发现远处转移, 避免不必要的手术或根治性放疗, 为 PET/CT 作为肺癌分期首选工具提供了高级别证据。Martucci 等[23]的分析显示 PET/CT 可改变约 15% SCLC 患者的二期分期法, 从而改变治疗决策, 并指出 PET/CT 诊断准确性优于传统影像, 应作为 SCLC 分期的常规工具。在 Ohno 等[18]的前瞻性研究中, PET/CT、全身 MRI 和 PET/MRI 在 M 分期准确性上均达到 94.9%, 显著优于传统分期检查的 84.7% ($P < 0.05$)。这一结果表明, 以 PET/CT 为代表的现代功能影像技术在 SCLC M 分期中展现出不可替代的优势, 其对全身肿瘤负荷的量化评估与隐匿转移的检出能力显著优于传统多模态分步检查, 已成为临床精准分期的首选工具之一, 与脑部 MRI 等传统影像技术联合应用可进一步提升分期准确性。

基于上述证据, 目前国内外指南均推荐 PET/CT 作为 SCLC 分期的辅助检查。ESMO 临床实践指南推荐 PET/CT 可作为 SCLC 分期的补充影像学手段, 并可辅助放疗靶区的精准勾画[9]。NCCN 指南同样推荐 PET/CT 为首选影像学手段, 但其并未否定传统多模态检查的必要性, 且同时强调需联合脑部 MRI 完成分期[24]。

3. PET/CT 在小细胞肺癌疗效评估中的应用

精准的疗效评估是实现 SCLC 个体化治疗的关键环节。SCLC 虽对初始化疗和放疗高度敏感, 但多数患者仍会在短期内出现疾病进展, 且免疫治疗时代带来的假性进展进一步增加了疗效评估的复杂性。传统的疗效评估主要依赖于基于解剖学变化的实体瘤疗效评价标准 1.1 版(response evaluation criteria in solid tumors, version 1.1, RECIST 1.1), 但其在区分活性肿瘤与纤维化、鉴别假性进展与真性进展方面存在明显局限。¹⁸F-FDG PET/CT 作为一种功能影像技术, 可早期捕捉肿瘤代谢活性的变化, 为 SCLC 疗效评估提供了新的维度。

RECIST 1.1 是目前国际公认的实体瘤疗效评估金标准, 通过测量肿瘤最长径的变化将疗效分为完全缓解(CR)、部分缓解(PR)、疾病稳定(SD)和疾病进展(PD) [25]。然而, 这一标准在 SCLC 疗效评估中存在明显不足。首先, SCLC 对放疗敏感, 治疗后常残留纤维化或坏死组织, 其形态学表现与活性肿瘤难以区分。其次, 在免疫治疗时代, 假性进展已成为临床实践中的挑战, 即患者影像学上先表现为肿瘤增大或出现新病灶, 随后肿瘤缩小的特殊反应模式。Ahmed 等[26]在黑色素瘤免疫治疗中发现, 假性进展者

中位总生存期达 29.9 个月, 与疾病控制者相当, 显著优于真性进展者的 8.0 个月。若严格遵循 RECIST 1.1 标准, 此类患者可能被误判为疾病进展而过早终止有效治疗。与形态学评估不同, ^{18}F -FDG PET/CT 通过检测肿瘤细胞对 FDG 的摄取水平, 在分子层面反映肿瘤的代谢活性[27]。代谢反应通常早于解剖学变化, 因此 PET/CT 可更早期地评估疗效。Wahl 等提出的 PET 实体瘤疗效评估标准(PET response criteria in solid tumor, PERCIST)及欧洲癌症研究与治疗组织(European Organization for Research and Treatment of Cancer, EORTC)标准为 PET 疗效评估提供了标准化框架, 将代谢反应分为完全代谢缓解(CMR)、部分代谢缓解(PMR)、代谢稳定(SMD)和代谢进展(PMD) [28] [29]。

Kaira 等[30]在 24 例 NSCLC 免疫治疗中的研究发现, 治疗后 1 个月的 TLG 变化可预测 100%的最终 PR 患者, 而 CT 仅能识别 28.6% ($P = 0.021$)。Yu 等[31]的研究表明治疗前 MTV 和 TLG 与 ES-SCLC 患者一线化疗的客观缓解率和疾病控制率存在关联, 但预测效能有限(AUC 约 0.60~0.65), 尚不足以指导临床常规决策。

Umeda 等[32]采用 PET/MRI 技术, 发现治疗后 2 周的参数变化率 ΔTLG 联合 ΔADC (表观扩散系数)可显著区分应答与非应答者, 联合指标的预测准确率达 92%, 且成功识别了 2 例 ΔTLG 假性升高但最终 PR 的患者, 为假性进展的鉴别提供了新思路。Cheng 等[33]在新辅助免疫化疗的 NSCLC 中发现, PERCIST 评估与预后一致性显著优于 iRECIST ($P < 0.001$), CMR 患者复发率(4/35)远低于 iCR 患者(0/7), 但 iCR + iPR 组与 iSD 组预后无显著差异。这一结果提示, 代谢反应比形态学反应更能准确反映真实疗效。值得指出的是, 相较于 NSCLC, SCLC 在 PET/CT 疗效评估领域的高质量研究尚显不足。然而, SCLC 与 NSCLC 同属肺癌范畴, 在治疗模式上均涉及化疗、放疗及免疫治疗的联合应用, 且两者均存在假性进展等非规范反应模式。因此, NSCLC 领域已建立的疗效评估框架, 包括代谢反应标准(PERCIST, EORTC)、早期代谢变化对疗效的预测价值、以及多模态参数联合识别假性进展的策略对 SCLC 研究具有直接的借鉴意义。但需注意, SCLC 与 NSCLC 在生物学行为、肿瘤生长速度、代谢特征及免疫微环境方面存在显著差异, 因此 NSCLC 相关研究结论能否完全外推至 SCLC 仍需更多前瞻性研究验证。

4. PET/CT 在小细胞肺癌预后预测中的应用

SCLC 恶性程度高, 患者总体预后通常较差。对其进行准确的预后评估, 有助于临床识别高风险人群, 从而制定更具针对性的治疗计划、加强随访监测, 以期改善患者的生存质量并延长生存时间。传统的预后因素主要包括临床分期、PS 评分及血清乳酸脱氢酶(LDH)水平等, 然而这些指标在反映肿瘤生物学行为的复杂性和异质性方面存在局限。 ^{18}F -FDG PET/CT 作为一种功能影像技术, 能够无创地量化肿瘤的代谢活性, 为 SCLC 的预后预测提供了全新的维度, 其代谢参数与肺癌预后的关联已成为当前研究的前沿方向。

4.1. SUVmax 在 SCLC 中的预后价值

最大标准化摄取值(maximum standardized uptake value, SUVmax)是最常用的反映局部代谢活性的强度参数, 指感兴趣区内单个像素的最高 FDG 摄取值, 因其测量简便、可重复性好而被临床广泛采用。然而, 由于 SUVmax 仅代表肿瘤内代谢最活跃的热点, 其数值易受图像噪声、部分容积效应影响, 且对合并的炎症等良性病变缺乏特异性, 无法全面反映肿瘤的整体负荷。目前, 其在 SCLC 预后判断中的应用价值尚未达成共识。部分研究支持高 SUVmax 与不良预后相关。Lin 等[34]的研究发现, 在局限期小细胞肺癌中, 当 SUVmax 和 LDH 均处于低水平时, 患者预后最佳, 该联合指标预测效能显著。Choi 等[35]对局限期小细胞肺癌多因素分析中发现原发灶 SUVmax 是 OS 的独立预后因素。然而, 更多研究未能证实 SUVmax 的独立预后价值。Kim 等[36]发现, 基线 SUVmax 在 SCLC 预后单因素分析中无显著意义。Araz

等[37]同样报告, 在 38 例 SCLC 患者中, SUVmax、SUVpeak 均不能预测 OS。邵俊伟等[15]对 60 例初诊 SCLC 患者的分析显示, 高 SUVmax 组与低 SUVmax 组的总生存和无进展生存均无显著差异。Christensen 等[38]的 Meta 分析纳入 14 项研究共 1194 例患者, 结果显示 SUVmax 对 OS 的汇总风险比为 1.50 (95%CI: 1.17~1.91), 对无进展生存期汇总风险比为 1.24 (95%CI: 0.94~1.63), 证明 SUVmax 对 SCLC 的预后价值有限。

4.2. MTV 及 TLG 在 SCLC 中的预后价值

相比 SUVmax, 体积代谢参数通过量化所有代谢活跃的肿瘤组织, 为评估全身肿瘤负荷提供了更全面的视角。代谢肿瘤体积(metabolic tumor volume, MTV)是指 FDG 摄取高于预设阈值的所有肿瘤体素的总体积。病变糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)为 MTV 与病灶平均标准化摄取值(SUVmean)的乘积, 同时整合了代谢体积与平均活性信息[39][40]。MTV 和 TLG 在多项研究中被证实为 SCLC 的预后因子[41][42]。孟鑫等[43]的研究指出 ^{18}F -FDG PET/CT 中的体积代谢指标(MTV, TLG, TLGsum)能有效预测 SCLC 患者的生存预后。Hashimoto 等[44]研究发现在 ES-SCLC 患者中, 治疗前的 MTV (和 TLG)是接受化疗联合 PD-L1 抑制剂治疗后无进展生存期和 OS 的独立预测因子。Araz 等[37]采用肝脏背景自适应阈值法勾画全身 MTV, 发现高 MTV 组中位生存时间显著短于低 MTV 组(261 天 vs 577 天, $P=0.037$), 而 SUVmax 无预测价值。Chang 等[45]在局限期 SCLC 中也得出类似结论, 治疗前 MTV 是 OS 的独立预测因子。Kim 等[36]虽未发现基线参数的独立价值, 但证实治疗后 MTV2.5 对无进展生存期具有显著预测作用。Choi 等[35]的最新研究进一步细化: 在局限期 SCLC 中, 原发灶 SUVmax 是独立预后因素; 而在 ES-SCLC 中, 全身 MTV 和 TLG 更具价值, 提示预后因素存在分期特异性。Christensen 等[38]的 Meta 分析纳入 11 项研究共 1015 例患者, 证实基线 MTV 是 SCLC 的强预后因子: 对 OS 的汇总风险比为 2.83 (95%CI: 2.00~4.01), 对无进展生存期的汇总风险比为 3.22 (95%CI: 1.96~5.28)。该 Meta 分析同时指出, 无论采用何种勾画方法(固定阈值、相对阈值或软件勾画), MTV 均显示出稳定的预后分层能力。

尽管部分研究表明 MTV 和 TLG 均与预后相关, 但有研究指出两者具有高度共线性, 难以在同一多因素模型中同时评估。Brose 等[46]在局部晚期 NSCLC 中发现, MTV 是独立预后因素, 而 TLG 在多因素中未保留, 并指出 MTV 因单位直观(mL)且与放疗靶区勾画直接相关, 在临床实践中更具实用性。鉴于 MTV 反映全身肿瘤负荷的特性, 将其整合至传统 TNM 分期体系有望进一步提升预后分层能力。Brose 等[46]在 235 例局部晚期 NSCLC 中首次系统验证了这一概念: 根据 IIIA、IIIB、IIIC 期分别确定 MTV 最佳截断值(45 mL, 48 mL, 105 mL), 将患者重新分为三组, 其 OS 差异显著(40 个月 vs 20 个月 vs 9 个月), 区分能力优于单纯 TNM 分期。Lapa 等[47]的研究也得出类似结论。尽管上述研究主要针对 NSCLC, 但其逻辑框架对 SCLC 具有重要借鉴意义。然而, 需要注意的是, SCLC 与 NSCLC 在肿瘤生物学行为、增殖速度、肿瘤免疫微环境及治疗反应模式方面存在显著差异。尤其是 SCLC 具有更高的代谢活性、更快的倍增时间及更早的系统性转移倾向, 因此 NSCLC 中建立的 PET 代谢评估模型能否完全适用于 SCLC 仍缺乏充分证据。目前针对 SCLC 免疫治疗疗效评估的前瞻性 PET 研究仍较有限, 未来仍需开展大样本、多中心研究进一步验证。

5. 总结与展望

^{18}F -FDG PET/CT 作为一种融合功能代谢与解剖结构的影像学技术, 凭借其可无创、定量评估肿瘤糖代谢活性的独特优势, 在 SCLC 初始分期、预后风险分层、早期疗效监测等关键环节均展现出重要价值。然而, 该技术的临床应用仍面临挑战。代谢参数测量尚未完全标准化, 且任何单一影像学手段均难以全面反映肿瘤的复杂生物学行为。在 PET/CT 提供的信息不足以满足临床决策需求时, 合理整合 CT、MRI

等多种影像技术, 实现功能与解剖成像的互补, 有助于更精准地评估病变, 为优化治疗策略奠定基础。随着新型特异性分子探针的研发, 针对 SCLC 神经内分泌特性的特异性分子探针正在逐步发展。例如, 新型 SSTR2 拮抗剂分子探针(如 68Ga-SSO-120)在 SCLC 初始分期中展现出高检出率且与 ^{18}F -FDG PET/CT 互补, 尤其在脑转移灶检测方面具有优势, 为后续 SSTR2 靶向的肽受体放射性核素治疗(PRRT)提供了潜在的患者筛选依据[48]。除 FDG 代谢成像外, 未来多靶点分子探针的发展可能进一步提升 SCLC 精准影像评估能力。

此外, 影像组学与人工智能技术在 SCLC 中的应用也展现出广阔前景。与 NSCLC 相比, SCLC 常表现为巨大中央型病灶、纵隔淋巴结融合及阻塞性肺不张, 传统人工勾画存在边界模糊、观察者间差异较大的问题。基于 PET/CT 的深度学习自动分割技术有望提升巨大中央型病灶及复杂融合病灶的定量评估准确性。与此同时, 影像组学模型还可通过提取代谢异质性特征, 用于预测免疫治疗疗效、识别潜在耐药亚型以及早期发现寡进展(oligoprogression)等特殊进展模式, 从而为个体化治疗决策提供支持[49][50]。

尽管 PET/CT 在 SCLC 全程管理中的应用不断拓展, 但未来仍有若干关键科学问题亟待解决: (1) 如何建立适用于 SCLC 的 PET 代谢参数标准化体系, 并明确不同阈值勾画方法对 MTV、TLG 稳定性的影响; (2) 如何结合 PET 影像组学、人工智能及分子分型, 实现对免疫治疗疗效、耐药演化及寡进展模式的早期预测; (3) 如何开发针对 SCLC 神经内分泌特性的高特异性分子探针, 以进一步提升微小转移灶检出及精准治疗指导能力。

参考文献

- [1] 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(3): 221-231.
- [2] 张希, 杨雷, 刘硕, 等. 2022 年全球恶性肿瘤统计报告解读[J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(7): 710-721.
- [3] Kim, S.Y., Park, H.S. and Chiang, A.C. (2025) Small Cell Lung Cancer: A Review. *JAMA*, **333**, 1906-1917. <https://doi.org/10.1001/jama.2025.0560>
- [4] Wang, W.Z., Shulman, A., Amann, J.M., Carbone, D.P. and Tsihchis, P.N. (2022) Small Cell Lung Cancer: Subtypes and Therapeutic Implications. *Seminars in Cancer Biology*, **86**, 543-554. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.04.001>
- [5] Du, J., Zhang, Q., Tian, L., Chen, Y., Tian, Y., Dempke, W.C.M., et al. (2024) Prognostic Roles of Hematological Indicators in Programmed Cell Death Protein 1/Programmed Cell Death Ligand 1 Inhibitors for Small-Cell Lung Cancer: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Thoracic Disease*, **16**, 8669-8683. <https://doi.org/10.21037/jtd-24-1826>
- [6] Le Pechoux, C., Faivre-Finn, C., Ramella, S., McDonald, F., Manapov, F., Putora, P.M., et al. (2020) ESTRO ACROP Guidelines for Target Volume Definition in the Thoracic Radiation Treatment of Small Cell Lung Cancer. *Radiotherapy and Oncology*, **152**, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.07.012>
- [7] Raso, M.G., Bota-Rabassedas, N. and Wistuba, I.I. (2021) Pathology and Classification of SCLC. *Cancers*, **13**, Article 820. <https://doi.org/10.3390/cancers13040820>
- [8] Tian, Y., Li, Q., Yang, Z., Zhang, S., Xu, J., Wang, Z., et al. (2022) Single-Cell Transcriptomic Profiling Reveals the Tumor Heterogeneity of Small-Cell Lung Cancer. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, **7**, Article No. 346. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01150-4>
- [9] Dingemans, A.C., Früh, M., Ardizzoni, A., Besse, B., Faivre-Finn, C., Hendriks, L.E., et al. (2021) Small-Cell Lung Cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for Diagnosis, Treatment and Follow-Up. *Annals of Oncology*, **32**, 839-853. <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2021.03.207>
- [10] 中华医学会肿瘤学分会, 中华医学会杂志社. 中华医学会肺癌临床诊疗指南(2022 版) [J]. 中华医学杂志, 2022, 102(23): 1706-1740.
- [11] Yuan, C., Zhang, M., Huang, X., Xie, W., Lin, X., Zhao, W., et al. (2021) Diffuse Large B-Cell Lymphoma Segmentation in PET-CT Images via Hybrid Learning for Feature Fusion. *Medical Physics*, **48**, 3665-3678. <https://doi.org/10.1002/mp.14847>
- [12] Quartuccio, N., Evangelista, L., Alongi, P., Caobelli, F., Altini, C., Cistaro, A., et al. (2019) Prognostic and Diagnostic Value of [^{18}F]FDG-PET/CT in Restaging Patients with Small Cell Lung Carcinoma: An Italian Multicenter Study. *Nuclear Medicine Communications*, **40**, 808-814. <https://doi.org/10.1097/mnm.0000000000001038>

- [13] Xu, P. and Wang, Y. (2020) Application of ^{18}F -FDG PET/CT in Evaluation of Curative Effect and Prognosis for Small Cell Lung Cancer. *Journal of Central South University. Medical sciences*, **45**, 1255-1260. (In Chinese)
- [14] Nicholson, A.G., Chansky, K., Crowley, J., Beyruti, R., Kubota, K., Turrisi, A., *et al.* (2016) The International Association for the Study of Lung Cancer Lung Cancer Staging Project: Proposals for the Revision of the Clinical and Pathologic Staging of Small Cell Lung Cancer in the Forthcoming Eighth Edition of the TNM Classification for Lung Cancer. *Journal of Thoracic Oncology*, **11**, 300-311. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2015.10.008>
- [15] 邵俊伟, 潘学兵, 袁志鹏, 等. 初诊小细胞肺癌(SCLC)分期及预后评价中 ^{18}F -FDG PET/CT 的价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(8): 71-73.
- [16] Manoharan, P., Salem, A., Mistry, H., Gornall, M., Harden, S., Julyan, P., *et al.* (2019) ^{18}F -Fludeoxyglucose PET/CT in SCLC: Analysis of the CONVERT Randomized Controlled Trial. *Journal of Thoracic Oncology*, **14**, 1296-1305. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2019.03.023>
- [17] Nestle, U., Schimek-Jasch, T., Kremp, S., Schaefer-Schuler, A., Mix, M., Küsters, A., *et al.* (2020) Imaging-Based Target Volume Reduction in Chemoradiotherapy for Locally Advanced Non-Small-Cell Lung Cancer (Pet-Plan): A Multicentre, Open-Label, Randomised, Controlled Trial. *The Lancet Oncology*, **21**, 581-592. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(20\)30013-9](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(20)30013-9)
- [18] Ohno, Y., Yoshikawa, T., Takenaka, D., Koyama, H., Aoyagi, K., Yui, M., *et al.* (2022) Small Cell Lung Cancer Staging: Prospective Comparison of Conventional Staging Tests, FDG PET/CT, Whole-Body MRI, and Coregistered FDG PET/MRI. *American Journal of Roentgenology*, **218**, 899-908. <https://doi.org/10.2214/ajr.21.26868>
- [19] 董书含, 殷小平. 小细胞肺癌的影像新进展[J]. 实用放射学杂志, 2024, 40(12): 2087-2090.
- [20] Pencharz, D., Matei, N., Jeon, J., Myerson, J. and Marchbank, N.D. (2021) Identification of Specific SUVmax Ratios Enhances Diagnostic Accuracy for Staging of Intrathoracic Nodes in Lung Cancer. *Nuclear Medicine Communications*, **42**, 1130-1134. <https://doi.org/10.1097/mnm.0000000000001441>
- [21] Kishida, Y., Seki, S., Yoshikawa, T., Itoh, T., Maniwa, Y., Nishimura, Y., *et al.* (2018) Performance Comparison between ^{18}F -FDG PET/CT Plus Brain MRI and Conventional Staging Plus Brain MRI in Staging of Small Cell Lung Carcinoma. *American Journal of Roentgenology*, **211**, 185-192. <https://doi.org/10.2214/ajr.17.18935>
- [22] Yu, B., Zhu, X., Liang, Z., Sun, Y., Zhao, W. and Chen, K. (2018) Clinical Usefulness of ^{18}F -FDG PET/CT for the Detection of Distant Metastases in Patients with Non-Small Cell Lung Cancer at Initial Staging: A Meta-Analysis. *Cancer Management and Research*, **10**, 1859-1864. <https://doi.org/10.2147/cmar.s155542>
- [23] Martucci, F., Pascale, M., Valli, M.C., Pesce, G.A., Froesch, P., Giovanella, L., *et al.* (2020) Impact of ^{18}F -FDG PET/CT in Staging Patients with Small Cell Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Medicine*, **6**, Article 336. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00336>
- [24] Ganti, A.K.P., Loo, B.W., Bassetti, M., Blakely, C., Chiang, A., D'Amico, T.A., *et al.* (2021) Small Cell Lung Cancer, Version 2.2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*, **19**, 1441-1464. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2021.0058>
- [25] Eisenhauer, E.A., Therasse, P., Bogaerts, J., Schwartz, L.H., Sargent, D., Ford, R., *et al.* (2009) New Response Evaluation Criteria in Solid Tumours: Revised RECIST Guideline (Version 1.1). *European Journal of Cancer*, **45**, 228-247. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2008.10.026>
- [26] Ahmed, F.S., Dercle, L., Goldmacher, G.V., Yang, H., Connors, D., Tang, Y., *et al.* (2021) Comparing RECIST 1.1 and Irecist in Advanced Melanoma Patients Treated with Pembrolizumab in a Phase II Clinical Trial. *European Radiology*, **31**, 1853-1862. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07249-y>
- [27] 许珮珮, 王云华. ^{18}F -FDG PET/CT 在小细胞肺癌疗效与预后评价中的应用[J]. 中南大学学报(医学版), 2020, 45(10): 1255-1260.
- [28] Wahl, R.L., Jacene, H., Kasamon, Y. and Lodge, M.A. (2009) From RECIST to PERCIST: Evolving Considerations for PET Response Criteria in Solid Tumors. *Journal of Nuclear Medicine*, **50**, 122S-150S. <https://doi.org/10.2967/jnumed.108.057307>
- [29] Young, H., Baum, R., Cremerius, U., Herholz, K., Hoekstra, O., Lammertsma, A.A., *et al.* (1999) Measurement of Clinical and Subclinical Tumour Response Using [^{18}F]-Fluorodeoxyglucose and Positron Emission Tomography: Review and 1999 EORTC Recommendations. *European Journal of Cancer*, **35**, 1773-1782. [https://doi.org/10.1016/s0959-8049\(99\)00229-4](https://doi.org/10.1016/s0959-8049(99)00229-4)
- [30] Kaira, K., Higuchi, T., Naruse, I., Arisaka, Y., Tokue, A., Altan, B., *et al.* (2018) Metabolic Activity by ^{18}F -FDG-PET/CT Is Predictive of Early Response after Nivolumab in Previously Treated NSCLC. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **45**, 56-66. <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3806-1>
- [31] Yu, X., Zhu, Y., Wang, J., Song, X., Zhu, L., Men, X., *et al.* (2017) Pretreatment Metabolic Parameters Measured by ^{18}F -FDG-PET to Predict the Outcome of First-Line Chemotherapy in Extensive-Stage Small-Cell Lung Cancer. *Nuclear*

- Medicine Communications*, **38**, 193-200. <https://doi.org/10.1097/mmm.0000000000000637>
- [32] Umeda, Y., Morikawa, M., Anzai, M., Ameshima, S., Kadowaki, M., Waseda, Y., *et al.* (2020) Predictive Value of Integrated ^{18}F -FDG PET/MRI in the Early Response to Nivolumab in Patients with Previously Treated Non-Small Cell Lung Cancer. *Journal for ImmunoTherapy of Cancer*, **8**, e000349. <https://doi.org/10.1136/jitc-2019-000349>
- [33] Cheng, Y., Jiang, Z., Chen, X., Lu, K., Liu, Z. and Shao, D. (2025) Prognostic Value of ^{18}F -FDG PET/CT Metabolic Parameters in Resectable Non-Small Cell Lung Cancer Treated with Neoadjuvant Immunotherapy Plus Chemotherapy. *Clinical Nuclear Medicine*, **50**, e344-e351. <https://doi.org/10.1097/rlu.0000000000005863>
- [34] Lin, X., Xiao, Z., Hu, Y., Zhang, X. and Fan, W. (2020) Combining ^{18}F -FDG PET/CT and Serum Lactate Dehydrogenase for Prognostic Evaluation of Small Cell Lung Cancer. *Frontiers in Pharmacology*, **11**, Article 592768. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.592768>
- [35] Choi, E.K., Park, M., Im, J.J., Chung, Y. and Oh, J.K. (2020) Prognostic Value of ^{18}F -FDG PET/CT Metabolic Parameters in Small Cell Lung Cancer. *Journal of International Medical Research*, **48**, 1-10. <https://doi.org/10.1177/0300060519892419>
- [36] Kim, H., Yoo, I.R., Boo, S.H., Park, H.L., O, J.H. and Kim, S.H. (2018) Prognostic Value of Pre- and Post-Treatment FDG PET/CT Parameters in Small Cell Lung Cancer Patients. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **52**, 31-38. <https://doi.org/10.1007/s13139-017-0490-9>
- [37] Araz, M., Soydal, C., Özkan, E., Sen, E., Nak, D., Kucuk, O.N., *et al.* (2022) Prognostic Value of Metabolic Parameters on Baseline ^{18}F -FDG PET/CT in Small Cell Lung Cancer. *The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **66**, 61-66. <https://doi.org/10.23736/s1824-4785.19.03169-8>
- [38] Christensen, T.N., Andersen, P.K., Langer, S.W. and Fischer, B.M.B. (2021) Prognostic Value of ^{18}F -FDG-PET Parameters in Patients with Small Cell Lung Cancer: A Meta-Analysis and Review of Current Literature. *Diagnostics*, **11**, Article 174. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11020174>
- [39] 陈香, 乔文礼, 宋建华, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 对初诊弥漫大 B 细胞淋巴瘤骨髓浸润的诊断及预后评估价值[J]. 中国实验血液学杂志, 2023, 31(4): 1044-1049.
- [40] 翟威豪, 何薇. ^{18}F -FDG PET/CT 参数 SUV_{peak} 、全身代谢肿瘤体积和总糖酵解值对弥漫大 B 细胞淋巴瘤患者预后的预测价值[J]. 分子影像学杂志, 2021, 44(5): 787-791.
- [41] 冯昭, 王洋, 范志刚. 基于 ^{18}F -FDG PET/CT 对广泛期小细胞肺癌预后预测模型的构建[J]. 河北医学, 2024, 30(7): 1210-1215.
- [42] Liu, C., Lin, L., Tsai, C., Huang, T., Wu, Y. and Liu, C. (2026) Baseline ^{18}F -FDG PET/CT Radiomics Predict Early Progression and Survival in Small Cell Lung Cancer. *BMC Cancer*, **26**, Article No. 222. <https://doi.org/10.1186/s12885-025-15523-9>
- [43] 孟鑫, 郭宏, 王丽, 等. ^{18}F -氟代脱氧葡萄糖正电子发射断层显像/X 线计算机断层成像仪代谢指标对局限期与广泛期小细胞肺癌预后的预测研究[J]. 中国全科医学, 2019, 22(2): 173-179.
- [44] Hashimoto, K., Kaira, K., Imai, H., Miura, Y., Shiono, A., Mouri, A., *et al.* (2024) Metabolic Tumor Volume as Significant Predictor for Chemotherapy Containing PD-L1 Blocker in Extensive Stage Small Cell Lung Cancer. *Anticancer Research*, **44**, 1541-1551. <https://doi.org/10.21873/anticancer.16951>
- [45] Chang, H., Lee, S.J., Lim, J., Lee, J.S., Kim, Y.J. and Lee, W.W. (2019) Prognostic Significance of Metabolic Parameters Measured by ^{18}F -FDG PET/CT in Limited-Stage Small-Cell Lung Carcinoma. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, **145**, 1361-1367. <https://doi.org/10.1007/s00432-019-02848-9>
- [46] Brose, A., Miederer, I., König, J., Gkika, E., Sahlmann, J., Schimek-Jasch, T., *et al.* (2024) Prognostic Value of Metabolic Tumor Volume on ^{18}F FDG PET/CT in Addition to the TNM Classification System of Locally Advanced Non-Small Cell Lung Cancer. *Cancer Imaging*, **24**, Article No. 171. <https://doi.org/10.1186/s40644-024-00811-7>
- [47] Lapa, P., Oliveiros, B., Marques, M., Isidoro, J., Alves, F.C., Costa, J.M.N., *et al.* (2017) Metabolic Tumor Burden Quantified on ^{18}F FDG PET/CT Improves TNM Staging of Lung Cancer Patients. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **44**, 2169-2178. <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3789-y>
- [48] Kersting, D., Sandach, P., Sraieb, M., Wiesweg, M., Metznermacher, M., Darwiche, K., *et al.* (2023) ^{68}Ga -SSO-120 PET for Initial Staging of Small Cell Lung Cancer Patients: A Single-Center Retrospective Study. *Journal of Nuclear Medicine*, **64**, 1540-1549. <https://doi.org/10.2967/jnumed.123.265664>
- [49] Evangelista, L., Fiz, F., Laudicella, R., Bianconi, F., Castello, A., Guglielmo, P., *et al.* (2023) PET Radiomics and Response to Immunotherapy in Lung Cancer: A Systematic Review of the Literature. *Cancers*, **15**, Article 3258. <https://doi.org/10.3390/cancers15123258>
- [50] Nie, Y., Schalper, K.A. and Chiang, A. (2024) Mechanisms of Immunotherapy Resistance in Small Cell Lung Cancer. *Cancer Drug Resistance*, **7**, Article 55. <https://doi.org/10.20517/cdr.2024.154>