

· PET/CT 在甲状腺癌中的应用 ·

¹⁸F-FDG PET/CT 对安罗替尼治疗放射性碘难治性分化型甲状腺癌的疗效预测价值

王江枫 沈晨天 邱忠领 罗全勇 宋红俊

上海交通大学医学院附属第六人民医院核医学科, 上海 200233

通信作者: 宋红俊, Email: songhongjun0826@163.com

【摘要】 目的 探讨 ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数的早期变化对安罗替尼治疗放射性碘难治性分化型甲状腺癌(RAIR-DTC)疗效的预测价值。**方法** 回顾性队列研究。连续纳入 2020 年 1 月至 2024 年 12 月于上海交通大学医学院附属第六人民医院接受安罗替尼治疗的 30 例 RAIR-DTC 患者, 其中男 16 例、女 14 例, 中位年龄 62 岁。所有患者治疗前行基线 ¹⁸F-FDG PET/CT 检查, 其中 17 例于治疗后 4~6 周再行 PET/CT 检查, 基于 2 次影像提取病灶代谢参数, 包括肿瘤代谢体积(MTV)、病灶糖酵解总量(TLG)及所有病灶 SUV_{max} 总和(ΣSUV_{max}), 并计算其变化率(ΔMTV%、ΔTLG%、ΔΣSUV_{max}%)。采用实体瘤疗效评价标准(RECIST)1.1 评估肿瘤疗效, 分为完全缓解(CR)、部分缓解(PR)、疾病稳定(SD)和疾病进展(PD)。评估上述代谢参数变化率及抑制性甲状腺球蛋白变化率(ΔTg%)与最佳靶病灶最大径总和变化率(ΔSOD%)的相关性(Spearman 秩相关), 评估上述参数变化率对 PR 的预测效能(ROC 曲线分析)。**结果** 中位随访 28 个月, 17 例 PR, 12 例 SD, 1 例 PD。安罗替尼治疗后 ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数变化 ΔMTV% 及 ΔTLG% 与最佳 ΔSOD% 呈正相关(r_s 值: 0.55 与 0.65, P 值: 0.022 与 0.005)。ROC 曲线分析显示, ΔMTV% 和 ΔTLG% 对预测 PR 具有一定价值(AUC 分别为 0.79 和 0.87, P 值: 0.048 和 0.011), 而 ΔTg% 无预测价值(AUC = 0.73, P = 0.118)。**结论** ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数变化率(ΔMTV% 与 ΔTLG%)在早期预测安罗替尼治疗 RAIR-DTC 疗效中有一定价值, 但其预测效能仍需通过大规模的前瞻性研究进一步验证。

【关键词】 甲状腺肿瘤; 抗药性; 碘放射性同位素; 蛋白激酶抑制剂; 吡咯类; 正电子发射断层显像术; 氟脱氧葡萄糖 F18; Anlotinib

基金项目: 上海市第六人民医院院级临床研究项目(ynhg202521)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20251029-00383

Prognostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT in anlotinib-treated radioactive iodine-refractory differentiated thyroid cancer

Wang Jiangfeng, Shen Chentian, Qiu Zhongling, Luo Quanyong, Song Hongjun

Department of Nuclear Medicine, Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200233, China

Corresponding author: Song Hongjun, Email: songhongjun0826@163.com

【Abstract】 Objective To explore the prognostic value of early changes in ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters in patients with radioactive iodine-refractory differentiated thyroid cancer (RAIR-DTC) undergoing anlotinib treatment. **Methods** A retrospective cohort study. The clinical data of 30 patients (16 males and 14 females, median age 62 years) with RAIR-DTC from Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, who treated with anlotinib between January 2020 and December 2024, were sequentially recruited and analyzed. Baseline ¹⁸F-FDG PET/CT scans were performed for all patients, with follow-up scans at 4–6 weeks available for 17 patients. Metabolic parameters, including metabolic tumor volume (MTV), total lesion glycolysis (TLG), and the sum of the SUV_{max} of all lesions (ΣSUV_{max}), were derived from both the baseline and follow-up images, and their percentage changes (ΔMTV%, ΔTLG%, ΔΣSUV_{max}%) were calculated. Tumor response was assessed according to the response evaluation criteria in solid tumors (RECIST) 1.1, including complete response (CR), partial response (PR), stable disease (SD) and progressive disease (PD). The correlations between the percentage changes in these metabolic parameters, along with the change in unstimulated thyroglobulin level (ΔTg%), and the best observed percentage change in the sum of the diameters of target lesions (ΔSOD%) during follow-up were evaluated (Spearman rank correlation analysis). The predictive efficacy of rates of these change for PR was evaluated using ROC curve analysis. **Results** During a median follow-up of 28 months, 17 patients achieved PR, 12 presented with SD and 1 with PD. Correlation was identified between the best

$\Delta\text{SOD}\%$ and the change in post-treatment metabolic parameters ($\Delta\text{MTV}\%$, $r_s=0.55$, $P=0.022$; $\Delta\text{TLG}\%$, $r_s=0.65$, $P=0.005$). For predicting PR, $\Delta\text{MTV}\%$ and $\Delta\text{TLG}\%$ achieved AUCs of 0.79 ($P=0.048$) and 0.87 ($P=0.011$), respectively. In contrast, the predictive ability of $\Delta\text{Tg}\%$ did not reach statistical significance ($\text{AUC}=0.73$, $P=0.118$). **Conclusion** The change rates of metabolic parameters on ^{18}F -FDG PET/CT ($\Delta\text{MTV}\%$ and $\Delta\text{TLG}\%$) show potential value in the early prediction of the efficacy of anlotinib in treating RAIR-DTC, though their predictive efficacy requires further validation through additional studies.

【Key words】 Thyroid neoplasms; Drug resistance; Iodine radioisotopes; Protein kinase inhibitors; Indoles; Positron-emission tomography; Fluorodeoxyglucose F18; Anlotinib

Fund program: Shanghai Sixth People's Hospital Scientific Research Project (ynhg202521)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251029-00383

分化型甲状腺癌(differentiated thyroid cancer, DTC)整体预后较好^[1-2],但仍有 10% 的转移性患者最终进展为放射性碘难治性 DTC(radioactive iodine-refractory DTC, RAIR-DTC),该类患者治疗方案有限且预后不佳^[3]。近年来,靶向药物研发取得显著进展^[4-7]。安罗替尼是我国自主研发的一种酪氨酸激酶抑制剂,已获批用于治疗进展性 RAIR-DTC^[6,8],患者可获得较好的客观缓解率与无进展生存期(progression-free survival, PFS)^[9-10]。然而,并非所有患者均能从中获益,因此疗效预测具有重要意义。

^{18}F -FDG PET/CT 能够早期反映肿瘤代谢活性变化,其代谢参数如肿瘤代谢体积(metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)及 SUV 等在肺癌、淋巴瘤、肉瘤等多种实体瘤中已被证实具有显著的疗效预测价值,有望早于传统影像学方法识别潜在的获益患者^[11-13]。

目前,关于 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数用于评估安罗替尼治疗 RAIR-DTC 疗效的研究报道较少。为此,本研究回顾性分析了接受安罗替尼治疗的 RAIR-DTC 患者,旨在探讨相关代谢参数的疗效预测价值。

资料与方法

1.研究对象。回顾性队列研究。连续纳入 2020 年 1 月至 2024 年 12 月于上海交通大学医学院附属第六人民医院接受安罗替尼治疗的 30 例 RAIR-DTC 患者。纳入标准:(1)病史明确,经影像学或病理学证实的 DTC 患者;(2)存在至少 1 个符合实体瘤疗效评价标准(response evaluation criteria in solid tumors, RECIST)1.1 的可测量病灶;(3)安罗替尼治疗前行基线 ^{18}F -FDG PET/CT 检查;(4)符合 RAIR-DTC 定义者^[14]。排除标准:(1)安罗替尼治疗期间接受其他抗肿瘤治疗(如手术、外照射放疗等);(2)合并其他恶性肿瘤等。最终纳入 30 例患者,男 16 例、女 14 例,年龄 62(56,67)岁。

本研究通过上海交通大学医学院附属第六人民

医院伦理委员会审批[审批号:2025-KY-370(K)],豁免知情同意。

2. ^{18}F -FDG PET/CT 显像。患者显像前禁食 6 h 以上,血糖浓度 $<11.1\text{ mmol/L}$ 。根据体质量予静脉注射 $3.70\sim5.55\text{ MBq/kg }^{18}\text{F}$ -FDG(上海原子科兴药业有限公司)。注射后 60 min 行 PET/CT 扫描(美国 GE 公司 Discovery VCT),扫描范围自颅顶至股骨近段。CT 扫描参数:电压 120 kV、电流 285 mA、层厚 1.25 mm;PET 采用三维采集模式,每个床位 3 min,全身共采集 7 个床位。数据采集后进行迭代重建,并行衰减校正,生成融合图像。

3.图像分析及代谢参数采集。将所有图像传输至 GE AW 4.7 工作站,由 2 位具有 5 年以上诊断经验的核医学科医师采用盲法独立进行图像后处理及诊断,意见分歧时协商或由第 3 位医师裁定。采用 PET-VCAR 软件对转移灶进行自动分割,提取代谢参数:MTV、TLG、 $\text{SUV}_{\text{max}}^{[15]}$ 。该方法通过设定 SUV_{max} 与 SUV_{mean} 的权重因子进行迭代(本研究为 0.5),计算最优阈值以分割目标代谢体积与背景组织^[16-17]。TLG 定义为 MTV 与 ROI 内 SUV_{mean} 的乘积。 $\Sigma\text{SUV}_{\text{max}}$ 为所有病灶 SUV_{max} 之和。

有 17 例患者在安罗替尼治疗后 4~6 周再次行 ^{18}F -FDG PET/CT 检查,计算代谢参数变化率 $\Delta\text{MTV}\%$ 、 $\Delta\text{TLG}\%$ 及 $\Delta\Sigma\text{SUV}_{\text{max}}\%$,计算公式为[(随访值-基线值)/基线值] $\times 100\%$ 。

4.疗效评估。(1)影像学评估。首次用药前及用药后每 4~6 周,采用 CT 测量靶病灶最大径之和(sum of the diameters, SOD)。依据 RECIST 1.1 评估疗效,分为完全缓解(complete response, CR)、部分缓解(partial response, PR)、疾病稳定(stable disease, SD)和疾病进展(progressive disease, PD),并计算客观缓解率(objective response rate, ORR)和疾病控制率(disease control rate, DCR)。其中, $\text{ORR} = (\text{CR} + \text{PR}) / \text{总病例数} \times 100\%$, $\text{DCR} = (\text{CR} + \text{PR} + \text{SD}) / \text{总病例数} \times 100\%$ 。

计算靶病灶 SOD 的变化率 $\Delta\text{SOD}\%$ [($\text{SOD}_{\text{随访}} -$

$SOD_{\text{基线}})/SOD_{\text{基线}} \times 100\%$]。最佳 $\Delta SOD\%$ 定义为所有靶病灶最大径之和与基线水平相比的最佳百分比变化。PFS 定义为从治疗开始至 PD、任何原因导致的死亡或未次随访的时间。

(2) 生化评估。以甲状腺球蛋白 (thyroglobulin, Tg) 作为生化评价指标。治疗期间促甲状腺激素 (thyroid-stimulating hormone, TSH) 水平严格抑制为 $\leq 0.1 \text{ mU/L}$, 以确保治疗前后检测条件的一致且均为抑制性 Tg。为避免 Tg 抗体 (Tg antibody, TgAb) 的干扰, 每次同时测定 Tg 与 TgAb^[14,18]。治疗前后 Tg 水平的变化定义为 $\Delta Tg\%$, 计算公式为 $\Delta Tg\% = (Tg_{\text{随访}} - Tg_{\text{基线}})/Tg_{\text{基线}} \times 100\%$ 。评价标准如下: $\Delta Tg\% < -25.0\%$ 为生化有效, $-25.0\% \leq \Delta Tg\% < 25.0\%$ 为生化稳定, $\Delta Tg\% \geq 25.0\%$ 为生化进展^[19]。

5. 安全性评估。记录所有不良事件 (adverse event, AE), 并依据《常见不良事件评价标准》(Common Terminology Criteria for Adverse Events, CTCAE) 5.0 版进行分级^[20]。

6. 统计学处理。采用 IBM SPSS Statistics 27.0 软件进行统计分析。符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不符合正态分布的定量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 定性资料以频数 (百分比) 表示。采用 Mann-Whitney U 检验评估组间差异。采用 Spearman 秩相关分析评估 $\Delta Tg\%$ 、 $\Delta MTV\%$ 、 $\Delta TLG\%$ 及 $\Delta \Sigma SUV_{\text{max}}\%$ 与最佳 $\Delta SOD\%$ 的相关性。绘制 ROC 曲线, 分析评估各参数变化率对 PR 的预测效能, 并确定最佳截断值, 采用 logistic 回归模型筛选 PR 的独立影响因素。采用 Cox 比例风险回归模型对 PFS 进行生存分析。采用组内相关系数 (inter-class correlation coefficient, ICC) 评估 2 位医师测量参数的一致性。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义 (双侧检验)。

结 果

1. 基线特征。30 例患者中, 甲状腺乳头状癌 (papillary thyroid cancer, PTC) 19 例, 甲状腺滤泡癌 (follicular thyroid cancer, FTC) 11 例; 美国癌症联合委员会 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 治疗前分期 I ~ III 期 13 例, IV 期 17 例; 美国东部肿瘤协作组 (Eastern Cooperative Oncology Group, ECOG) 体能状态评分 0 分 26 例, 1 分 4 例; 患者肝、肾功能均正常。患者均存在远处转移, 其中以肺转移最多 (76.7%, 23/30), 骨转移次之 (63.3%, 19/30)。转移模式以多部位转移为主 ($n = 21$), 其中肺

和 (或) 骨转移合并其他远处转移者 16 例, 肺合并骨转移者 5 例; 单一部位转移较少见 ($n = 9$, 为肺或骨骼)。

2. 疗效评估。随访 3 ~ 48 个月, 中位随访时间 28 个月。(1) 影像学评估。根据 RECIST 1.1, 30 例患者的最佳总体疗效为: PR 17 例, SD 12 例, PD 1 例。DCR 与 ORR 分别为 96.67% (29/30) 和 56.67% (17/30)。安罗替尼治疗后靶病灶 SOD 由基线的 7.80 (4.25, 11.71) cm 降至 4.45 (1.93, 8.35) cm, 最佳 $\Delta SOD\%$ 为 -34.10% (-50.91%, -23.75%)。

(2) 生化评估。治疗后患者的血清 Tg 水平由 882.50 (238.75, 9 751.50) $\mu\text{g/L}$ 降至 132.00 (16.52, 594.00) $\mu\text{g/L}$ 。治疗前后 TgAb 水平分别为 27.00 (21.73, 37.35) kU/L 和 29.85 (16.35, 47.50) kU/L, 均 $< 100 \text{ kU/L}$ ^[18], 表明 Tg 结果未受 TgAb 干扰。28 例患者达到生化有效, 1 例生化稳定, 1 例生化进展, 生化反应率为 93.33% (28/30)。

3. 安全性评估。患者发生不同级别的药物相关 AE。主要为 1 ~ 2 级 AE, 共 26 例 (86.67%), 其中高血压 18 例, 蛋白尿 16 例, 手足皮肤反应 9 例, 肝功能减退 8 例, 白细胞减少、血小板减少各 5 例, 乏力 4 例, 血尿 3 例, 体质量下降 2 例, 关节疼痛、腹泻各 1 例; ≥ 3 级 AE 4 例, 其中高血压、手足皮肤反应各 2 例。有 3 例患者对症治疗后症状好转并恢复原剂量用药, 有 1 例需降低剂量 (由 12 mg/d 降至 10 mg/d); 无患者因 AE 永久停药。

4. ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数与影像学疗效评估。针对 17 例有 2 次 ^{18}F -FDG PET/CT 资料的患者, 2 位观察者所得结果高度一致 (ICC = 1.00, 95% CI: 1.00 ~ 1.00)。Spearman 秩相关分析显示, $\Delta MTV\%$ ($r_s = 0.55, P = 0.022$)、 $\Delta TLG\%$ ($r_s = 0.65, P = 0.005$) 及 $\Delta \Sigma SUV_{\text{max}}\%$ ($r_s = 0.54, P = 0.025$) 均与最佳 $\Delta SOD\%$ 呈正相关。根据 RECIST 1.1, 最佳总体疗效分布为: 7 例 PR, 10 例 SD。 $\Delta MTV\%$ 和 $\Delta TLG\%$ 在 2 组间差异有统计学意义, 而 $\Delta \Sigma SUV_{\text{max}}\%$ 差异未见统计学意义 (表 1)。ROC 曲线分析显示, $\Delta MTV\%$ 、 $\Delta TLG\%$ 及 $\Delta \Sigma SUV_{\text{max}}\%$ 对 PR 具有一定的预测价值 (P 值: 0.048、0.011、0.032; 图 1; 表 2)。单因素 logistic 回归分析显示, $\Delta TLG\%$ ($\leq -54.70\%$ 与 $> -54.70\%$) 是 PR 的有意义影响因素 [比值比 (odds ratio, OR) = 0.069, 95% CI: 0.005 ~ 0.892, $P = 0.041$], $\Delta MTV\%$ 与 $\Delta \Sigma SUV_{\text{max}}\%$ 无统计学意义。因此未再进一步行多因素分析。

本研究至随访末, 6 例患者观察到 PD (即 PFS 终

表 1 不同疗效组别 RAIR-DTC 患者的 PET/CT 代谢参数变化率[$M(Q_1, Q_3)$]

组别	例数	$\Delta MTV\%$	$\Delta TLG\%$	$\Delta \Sigma SUV_{max}\%$
PR 组	7	-44.03% (-48.77%, -14.20%)	-76.55% (-79.87%, -61.44%)	-48.51% (-60.86%, 13.30%)
SD 组	10	15.46% (-36.45%, 26.35%)	33.25% (21.11%, 142.91%)	37.90% (29.22%, 203.59%)
检验值		$Z = -1.95$	$Z = -2.54$	$Z = -1.95$
P 值		$P = 0.047$	$P = 0.009$	$P = 0.055$

注:RAIR-DTC 为放射性碘难治性分化型甲状腺癌,PR 为部分缓解,SD 为疾病稳定,MTV 为肿瘤代谢体积,TLG 为病灶糖酵解总量, ΣSUV_{max} 为所有病灶 SUV_{max} 总和

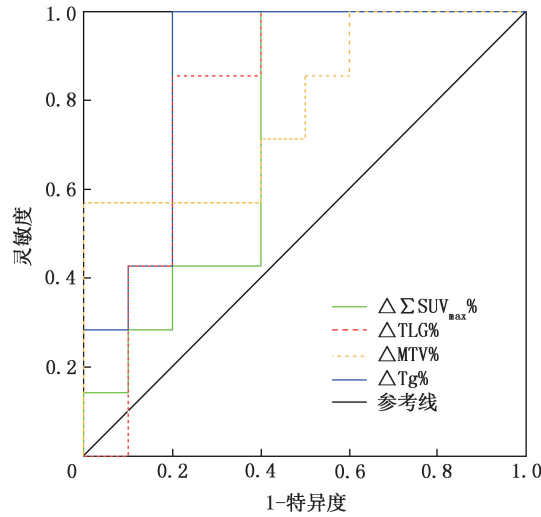


图 1 不同参数预测 17 例放射性碘难治性分化型甲状腺癌 (RAIR-DTC) 患者部分缓解的 ROC 曲线 ΣSUV_{max} 为所有病灶 SUV_{max} 总和,TLG 为病灶糖酵解总量,MTV 为肿瘤代谢体积,Tg 为甲状腺球蛋白

点事件),中位 PFS 为 31.70 个月。根据 ROC 曲线最佳截断值分组:低 $\Delta MTV\%$ 组 ($<10.98\%$; $n=4$) 与高 $\Delta MTV\%$ 组 ($\geq 10.98\%$; $n=13$) 的 36 个月 PFS 率分别为 100.00% 和 53.69%;低 $\Delta TLG\%$ 组 ($<-54.70\%$; $n=9$) 与高 $\Delta TLG\%$ 组 ($\geq -54.70\%$; $n=8$) 的 36 个月 PFS 率分别为 75.00% 和 46.90%。但 Cox 回归分析显示, $\Delta MTV\%$ [风险比 (hazard ratio, HR) = 1.36, 95% CI :0.14~13.39, $P=0.795$] 及 $\Delta TLG\%$ ($HR=1.15$, 95% CI :0.27~8.17, $P=0.658$) 不是 PFS 的预后因素。

5.血清 Tg 与影像学疗效评估。本研究所测得的 Tg 值在 $TSH \leq 0.1$ mU/L 抑制状态下,具有良好的可比性。PR 组与 SD 组 $\Delta Tg\%$ 分别为 -76.68% (-80.16%, -44.89%) 和 -57.07% (-67.56%, -13.01%), 组间差异无统计学意义 ($Z = -1.56$, $P = 0.118$)。ROC 曲线亦显示, $\Delta Tg\%$ 对 PR 无预测价值 ($AUC = 0.73$, $P = 0.118$; 图 1)。因此,安罗替尼治疗后 Tg 的下降幅度尚不能作为早期预测 PR 的可靠指标。

讨 论

本研究评估了早期 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数

($\Delta MTV\%$ 与 $\Delta TLG\%$) 在安罗替尼治疗 RAIR-DTC 中的疗效预测价值,发现其在早期预测 PR 方面优于传统血清 Tg,为在该靶向治疗中采用影像学生物标志物指导临床决策提供了新依据。

本研究显示, $\Delta MTV\%$ ($r_s = 0.55$, $P = 0.022$) 和 $\Delta TLG\%$ ($r_s = 0.65$, $P = 0.005$) 与最佳 $\Delta SOD\%$ 呈正相关,且在 PR 与 SD 组间存在差异。ROC 曲线分析进一步证实,二者对 PR 具有良好的预测价值 (AUC :0.79 与 0.87),提示两者可作为预测安罗替尼治疗 RAIR-DTC 患者 PR 的潜在影像标志物。该结果与 Wang 等^[18] 关于阿帕替尼治疗甲状腺癌的研究一致,其亦显示治疗后 ^{18}F -FDG 代谢参数与靶病灶变化率呈正相关 ($\Delta MTV\%$, $r_s = 0.70$, $P < 0.001$; $\Delta TLG\%$, $r_s = 0.79$, $P < 0.001$),PR 与 SD 组间 $\Delta MTV\%$ 及 $\Delta TLG\%$ 存在差异 (P 值:0.019 和 0.014),且对预测 PR 具有较高的效能。此外,在淋巴瘤研究中,Cui 等^[21] 也发现 $\Delta MTV\%$ 可独立预测 PFS ($HR = 10.73$, $P = 0.007$)。上述研究与本研究表明,基于三维代谢体积的参数能反映治疗诱导的代谢改变。

单因素 logistic 回归分析显示,仅 $\Delta TLG\%$ 是 PR 的有意义影响因素。这可能由于本研究样本量有限且 PR 事件数较少,导致统计效能不足。在生存分析中, $\Delta MTV\%$ 与 $\Delta TLG\%$ 亦未显示出与 PFS 的相关性,也可能与统计效能不足有关。上述代谢参数变化率的独立预后价值仍有待在大样本队列中验证。

Tg 是预测 DTC 复发与转移的重要生物标志物。也有研究表明其水平与 DTC 疗效相关。Yang 等^[22] 报道, ^{131}I 治疗前 $Tg \geq 10$ $\mu g/L$ 患者的结构性疗效不佳率较 $Tg < 10$ $\mu g/L$ 组高 41%,且为独立危险因素。但本研究中 Tg 变化尚不能有效预测安罗替尼治疗效果。这可能与部分 RAIR-DTC 患者存在肿瘤失分化导致 Tg 表达或分泌能力下降有关^[23]。因此,在评估安罗替尼疗效时,不宜单独依赖 Tg 水平,而应结合影像学代谢参数进行综合判断。

本研究存在以下局限。第一,作为回顾性研究,样本量有限,主要反映单中心经验,外推需谨慎。第二,仅在基线及治疗后 4~6 周进行 2 次 PET/CT 检

表 2 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数对 17 例接受安罗替尼治疗的 RAIR-DTC 患者 PR 的预测效能

代谢参数	AUC	最佳截断值	灵敏度	特异度	准确性	阳性预测值	阴性预测值	约登指数
$\Delta\text{MTV}\%$	0.79	10.98%	4/7	10/10	14/17	4/4	10/13	0.57
$\Delta\text{TLG}\%$	0.87	-54.70%	7/7	8/10	15/17	7/9	8/8	0.80
$\Delta\Sigma\text{SUV}_{\text{max}}\%$	0.81	21.10%	6/7	8/10	14/17	6/8	8/9	0.66

注:RAIR-DTC 为放射性碘难治性分化型甲状腺癌,PR 为部分缓解,MTV 为肿瘤代谢体积,TLG 为病灶糖酵解总量, $\Sigma\text{SUV}_{\text{max}}$ 为所有病灶 SUV_{max} 总和

查,缺乏更多时间点的动态评估,难以全面揭示代谢参数与疗效及 PD 的相关性。未来有必要开展前瞻性、大样本研究,并设置多个扫描时间点,以更深入地探索代谢参数与预后的关系。

综上,本探索性研究提示, ^{18}F -FDG PET/CT 代谢体积参数的变化($\Delta\text{MTV}\%$ 、 $\Delta\text{TLG}\%$)有望作为监测安罗替尼治疗 RAIR-DTC 早期疗效的潜在影像学生物标志物,但其预测效能与预后价值仍需进一步验证。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 王江枫:数据采集、统计学分析、论文撰写;沈晨天、邱忠领:研究指导与实施;罗全勇、宋红俊:研究指导与实施、论文修改

参 考 文 献

- [1] Xia C, Dong X, Li H, et al. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants[J]. Chin Med J (Engl), 2022, 135(5): 584-590. DOI: 10.1097/CM9.00000000000002108.
- [2] Houten PV, Netea-Maier RT, Smit JW. Differentiated thyroid carcinoma: an update[J]. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab, 2023, 37(1): 101687. DOI: 10.1016/j.beem.2022.101687.
- [3] Schlumberger M, Tahara M, Wirth LJ, et al. Lenvatinib versus placebo in radioiodine-refractory thyroid cancer[J]. N Engl J Med, 2015, 372(7): 621-630. DOI: 10.1056/NEJMoa1406470.
- [4] Brose MS, Nutting CM, Jarzab B, et al. Sorafenib in radioactive iodine-refractory, locally advanced or metastatic differentiated thyroid cancer: a randomised, double-blind, phase 3 trial[J]. Lancet, 2014, 384(9940): 319-328. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60421-9.
- [5] 谭建.靶向药物治疗分化型甲状腺癌进入新时代[J].中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42(11): 641-643. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220907-00281.
Tan J. A new era for targeted drug treatment of differentiated thyroid cancer is arriving[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 42(11): 641-643. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220907-00281.
- [6] Chi Y, Zheng X, Zhang Y, et al. Anlotinib in locally advanced or metastatic radioiodine-refractory differentiated thyroid carcinoma: a randomized, double-blind, multicenter phase II trial[J]. Clin Cancer Res, 2023, 29(20): 4047-4056. DOI: 10.1158/1078-0432.CCR-22-3406.
- [7] 林岩松.有关放射性碘难治性分化型甲状腺癌靶向治疗的思考与初探[J].中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(8): 449-451. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230713-00195.
Lin YS. Consideration and preliminary exploration of targeted therapy for radioactive iodine-refractory differentiated thyroid cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(8): 449-451. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230713-00195.
- [8] Li D, Chi Y, Chen X, et al. Anlotinib in locally advanced or metastatic medullary thyroid carcinoma: a randomized, double-blind phase II B trial[J]. Clin Cancer Res, 2021, 27(13): 3567-3575. DOI: 10.1158/1078-0432.CCR-20-2950.
- [9] 张芳蕾,翟红彦,闫瑞红,等.安罗替尼对进展期放射性碘难治性分化型甲状腺癌的疗效及对病灶摄碘功能的影响[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(10): 592-596. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20231107-00101.
Zhang FL, Zhai HY, Yan RH, et al. Efficacy of anlotinib in the treatment of advanced radioactive iodine-refractory differentiated thyroid cancer and the effect on iodine uptake of lesions[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(10): 592-596. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20231107-00101.
- [10] 潘静雅,施良,王俊,等.安罗替尼新辅助治疗初诊局部晚期甲状腺癌的疗效与安全性[J].中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(5): 276-280. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240919-00326.
Pan JY, Shi L, Wang J, et al. Efficacy and safety of anlotinib in neoadjuvant treatment of newly diagnosed locally advanced thyroid cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(5): 276-280. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240919-00326.
- [11] Cheng EY, Espejo Freire AP, Manivel JC, et al. 5-fluoro-deoxyglucose PET/CT response after neoadjuvant chemotherapy predicts long-term outcomes in soft tissue sarcomas: results from a prospective trial[J]. Cancer, 2025, 131(20): e70129. DOI: 10.1002/cncr.70129.
- [12] 张昊安,滕月,许景艳,等.基线 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数对霍奇金淋巴瘤预后的预测价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(10): 589-594. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240816-00295.
Zhang HA, Teng Y, Xu JY, et al. Prognostic predictive value of baseline ^{18}F -FDG PET/CT metabolic parameters in Hodgkin's lymphoma[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(10): 589-594. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240816-00295.
- [13] 周锦朋,西尔艾力·吾门尔,杜芬,等. ^{18}F -FDG PET/CT 动态显像在肺癌中的临床应用进展[J].中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(1): 48-52. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240119-00027.
Zhou JP, Xieraili W, Du F, et al. Clinical application progress of ^{18}F -FDG PET/CT dynamic imaging in lung cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(1): 48-52. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240119-00027.
- [14] 中国临床肿瘤学会核医学专家委员会,中国临床肿瘤学会甲状腺癌专家委员会,中华医学会核医学分会,等.放射性碘难治性分化型甲状腺癌诊治管理指南(2024 版)[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(6): 359-372. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240125-00034.

- Nuclear Medicine Expert Committee of Chinese Society of Clinical Oncology, Thyroid Cancer Expert Committee of Chinese Society of Clinical Oncology, Chinese Society of Nuclear Medicine, et al. Management guidelines for radioactive iodine-refractory differentiated thyroid cancer (2024 edition)[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(6): 359-372. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240125-00034.
- [15] Nakajo M, Jinguiji M, Nakabeppu Y, et al. Texture analysis of ^{18}F -FDG PET/CT to predict tumour response and prognosis of patients with esophageal cancer treated by chemoradiotherapy[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 44(2): 206-214. DOI:10.1007/s00259-016-3506-2.
- [16] Xu W, Yu S, Ma Y, et al. Effect of different segmentation algorithms on metabolic tumor volume measured on ^{18}F -FDG PET/CT of cervical primary squamous cell carcinoma[J]. Nucl Med Commun, 2017, 38(3): 259-265. DOI:10.1097/MNM.0000000000000641.
- [17] Wang XY, Zhao YF, Liu Y, et al. Comparison of different automated lesion delineation methods for metabolic tumor volume of ^{18}F -FDG PET/CT in patients with stage I lung adenocarcinoma[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(51): e9365. DOI:10.1097/MD.00000000000009365.
- [18] Wang C, Zhang X, Yang X, et al. PET response assessment in apatinib-treated radioactive iodine-refractory thyroid cancer[J]. Endocr Relat Cancer, 2018, 25(6): 653-663. DOI:10.1530/ERC-18-0007.
- [19] Zhang XY, Song HJ, Qiu ZL, et al. Pulmonary metastases in children and adolescents with papillary thyroid cancer in China: prognostic factors and outcomes from treatment with ^{131}I [J]. Endocrine, 2018, 62(1): 149-158. DOI:10.1007/s12020-018-1678-1.
- [20] National Cancer Institute. Common terminology criteria for adverse events (CTCAE) version 5.0[S/OL]. (2017-11-27) [2025-10-09]. <https://dctd.cancer.gov/research/ctep-trials/for-sites/adverse-events/ctcae-v5-5x7.pdf>.
- [21] Cui Y, Li Y, Hu W, et al. Evaluating $\Delta\text{MTV}\%$, $\Delta\text{Dmax}\%$, and $\%\Delta\text{SUV}_{\text{max}}$ of ^{18}F -FDG PET/CT for mid-treatment efficacy and prognosis in diffuse large B-cell lymphoma[J]. Discov Oncol, 2025, 16(1): 411. DOI:10.1007/s12672-025-02126-w.
- [22] Yang X, Liang J, Li T, et al. Preablative stimulated thyroglobulin correlates to new therapy response system in differentiated thyroid cancer[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2016, 101(3): 1307-1313. DOI:10.1210/jc.2015-4016.
- [23] Luo H, Xia X, Kim GD, et al. Characterizing dedifferentiation of thyroid cancer by integrated analysis[J]. Sci Adv, 2021, 7(31): eabf3657. DOI:10.1126/sciadv.abf3657.

(收稿日期:2025-10-29)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

2026 年本刊可直接用缩写的常用词汇

ATP(adenosine-triphosphate),三磷酸腺苷

AUC(area under curve),曲线下面积

CI(confidence interval),可信区间

CT(computed tomography),计算机体层摄影术

CV(coefficient of variation),变异系数

DNA(deoxyribonucleic acid),脱氧核糖核酸

FDG(fluorodeoxyglucose),脱氧葡萄糖

HAV(hepatitis A virus),甲型肝炎病毒

Hb(hemoglobin),血红蛋白

HBsAg(hepatitis B surface antigen),乙型肝炎表面抗原

HBV(hepatitis B virus),乙型肝炎病毒

HCV(hepatitis C virus),丙型肝炎病毒

MRI(magnetic resonance imaging),磁共振成像

PBS(phosphate buffered solution),磷酸盐缓冲液

PCR(polymerase chain reaction),聚合酶链反应

PET(positron emission tomography),正电子发射体层摄影术

PLT(platelet count),血小板计数

RBC(red blood cells),红细胞

RNA(ribonucleic acid),核糖核酸

ROC(receiver operating characteristic),受试者工作特征

ROI(region of interest),感兴趣区

SPECT(single photon emission computed tomography),单光子发射计算机体层摄影术

SUV(standardized uptake value),标准摄取值

 SUV_{max} (maximum standardized uptake value),最大标准摄取值 SUV_{mean} (mean standardized uptake value),平均标准摄取值

WBC(white blood cells),白细胞

WHO(World Health Organization),世界卫生组织

本刊编辑部