

# CT 影像组学在甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移中的研究进展

郭杨

成都中医药大学附属医院, 中国·四川 成都 610000

**摘要:** 甲状腺乳头状癌作为甲状腺最常见的恶性肿瘤, 近年来发病率显著上升, 且颈部淋巴结转移率较高, 是影响局部复发率和手术策略的重要因素。影像组学技术的发展为术前无创识别转移风险提供了新路径。本文综述 CT 增强、能谱 CT、碘密度图等影像组学在 PTC 淋巴结转移预测中的应用研究, 探讨多模态融合在个体化诊疗中的发展前景。

**关键词:** 甲状腺乳头状癌; 颈部淋巴结转移; CT 影像组学; 研究进展

## Research progress of CT radiomics in cervical lymph node metastasis of papillary thyroid carcinoma

Guo Yang

Affiliated Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, China Sichuan Chengdu 610000

**Abstract:** As the most common malignant tumor of thyroid, papillary thyroid carcinoma has a significantly increased incidence in recent years, and a high rate of cervical lymph node metastasis, which is an important factor affecting the local recurrence rate and surgical strategy. The development of radiomics technology provides a new pathway for non-invasive preoperative identification of transfer risks. This article reviews the application research of radiomics such as CT enhancement, spectral CT, and iodine density imaging in predicting lymph node metastasis in PTC, and explores the development prospects of multimodal fusion in personalized diagnosis and treatment.

**Keywords:** Papillary thyroid carcinoma; Cervical lymph node metastasis; CT imaging omics; Research progress

## 0 引言

甲状腺乳头状癌是起源于滤泡上皮的分化型甲状腺癌亚型, 发病率在全球范围内持续攀升, 尤其在女性人群中更为常见。尽管其总体预后良好, 但颈部淋巴结转移的高发性对局部控制率与远期复发风险构成严峻挑战。传统超声及 CT 影像虽广泛用于术前评估, 但在识别微小或非典型转移灶方面存在敏感性不足的问题。影像组学作为近年兴起的定量影像分析方法, 能够从标准 CT 图像中提取数百至上千个高维特征, 揭示组织内部的微观异质性, 在无创预测淋巴结转移方面展现出巨大潜力。

## 1 甲状腺乳头状癌的定义

甲状腺乳头状癌 (Papillary Thyroid Carcinoma, PTC) 是一种起源于甲状腺滤泡上皮细胞的原发性恶性肿瘤<sup>[1,2]</sup>, 是甲状腺癌中最常见的亚型, 其发病比例约占全部甲状腺恶性肿瘤的 85% 至 90%。尽管其临床发展过程较为缓慢,

且预后整体良好, 但在疾病演进过程中, 颈部淋巴结尤其是中央区淋巴结的转移情况却不容忽视, 对局部复发风险和后续治疗方案均有重要影响。近年来, 随着人群健康意识提高, 影像技术进步, 甲状腺癌的检出率迅速上升, 尤其在女性群体中, 其已跃升为恶性肿瘤发病率前五位的常见类型之一<sup>[3,4]</sup>。统计数据显示<sup>[5]</sup>, PTC 的发病增长速度在所有甲状腺癌类型中最快, 呈持续上升趋势, 引发临床界的广泛关注。

在甲状腺乳头状癌患者中, 颈部淋巴结转移 (Lymph Node Metastases, LNM) 的发生率较高, 已被确认为影响局部复发率的关键危险因素之一。尤其中枢区域淋巴结 (Central Lymph Node, CLN) 作为最早、最常见的转移部位, 其在复发病例中的检出率可高达 80%, 显示出高度的临床相关性<sup>[6,7]</sup>。对此, 美国甲状腺协会 (ATA) 在指南中建议, PTC 患者可考虑进行预防性中央区淋巴结清扫

(CLND) 以减少复发。然而,这一术式也可能带来一定风险,造成喉返神经损伤与甲状旁腺功能减退,部分临床专家对此仍持保留意见。因此,术前对 LNM 风险的准确识别已成为当前临床管理中不可回避的难题,同时也是精准制定手术策略与判断肿瘤分期的重要依据<sup>[8]</sup>。

## 2 CT 影像组学在甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移中的应用

### 2.1 CT 增强评估 PTC 淋巴结转移

相较于传统的体格检查与超声成像,CT 增强技术在术前评估方面可提供更为立体的观察视角<sup>[9]</sup>。通过静脉注射含碘对比剂后进行扫描,不仅可清晰描绘出甲状腺肿瘤本身的结构特征,还能展现病灶与邻近解剖结构之间的关系,明确气管、食管及重要血管的受累情况,以便综合评估肿瘤侵袭性与转移风险。近年来,越来越多的研究将 CT 增强成像与影像组学分析相结合,以提升对 PTC 淋巴结转移(LNM)的预测精度。朱儒焱、范鑫、邱建华等<sup>[10]</sup>对 86 例甲状腺乳头状癌(PTC)患者的 289 枚经病理验证的颈部淋巴结进行 CT 平扫与增强图像的影像组学与传统影像学对比研究。研究分别提取平扫期和静脉期图像的纹理特征,通过 LASSO 回归筛选后构建 SVM-Linear 分类模型,并与由经验医师盲评建立的传统影像学模型进行比较。结果显示,平扫期影像组学模型的 AUC 为 0.853,显著高于传统模型的 0.660;增强期影像组学模型的 AUC 达 0.940,也优于传统增强模型的 0.765。研究表明,CT 影像组学在预测 PTC 颈部淋巴结转移方面具备更高准确性,可为术前评估提供有效辅助。除基础识别功能外,增强 CT 在识别淋巴结内部病理特征方面也展现出独特优势。相比于受限于操作者经验或局部解剖障碍的超声检查,CT 增强扫描不受气体干扰与骨性结构遮挡的影响,能更加精准地识别淋巴结中囊性变、钙化等微小改变,从而为淋巴结良恶性的判断提供更多客观依据。刘波涛等作者<sup>[11]</sup>通过回顾性分析 89 例甲状腺乳头状癌(PTC)患者共 267 枚颈部淋巴结的光谱 CT 碘密度图,探讨其影像组学特征在预测淋巴结转移中的诊断价值。研究利用 ITK-SNAP 软件在动静脉期碘密度图上进行三维 ROI 勾画,并借助 FAE 软件提取组学特征,通过 LASSO 回归筛选变量,分别构建传统 CT 特征模型、组学模型及两者联合的逻辑回归模型。结果显示,联合模型在训练集和验证集中 AUC 分别为 0.94 与 0.91,诊断效能最优。该研究表明,基于 IQon 光谱 CT 碘密度图的影像组学分析能够显著提升 PTC 颈部淋巴结转移的识别能力,具备较高的术前应用潜力。

### 2.2 能谱 CT 评估 PTC 淋巴结转移

近年来,能谱 CT 作为一项新兴的多参数影像技术,凭借其特有的单能量图像、物质分离能力及多维成像参数,为 PTC 淋巴结转移(LNM)评估提供了突破性手段。该技术基于不同组织对 X 射线能量衰减程度的差异进行图像重构,可在保持低辐射剂量与快速扫描的前提下实现超清成像,尤其在鉴别轻微强化病灶、评估组织血供方面展现出独特优势。通过静脉注射碘对比剂后采集的能谱图像,可生成碘基图与碘浓度参数图,从而反映组织对碘的摄取能力。该指标不仅可作为肿瘤组织血流的间接反映,也为淋巴结是否为转移灶提供了量化判断标准。王锐、金丹、徐亮等作者<sup>[12]</sup>针对甲状腺乳头状癌(PTC)患者开展基于能谱 CT 碘图的影像组学分析,纳入 117 枚转移性与 176 枚非转移性淋巴结,分别构建影像组学模型、常规 CT 特征模型及联合模型,并以 Logistic 回归方法进行评估。通过静脉期碘图提取淋巴结的高维组学特征,研究结果显示联合模型在训练集与验证集中均展现出最佳的诊断效能,显著优于单独依赖常规图像特征的模型。同时,校准曲线及决策曲线分析进一步证实,联合模型构建的列线图具有更强的临床实用性。该研究证实,能谱 CT 碘图中的影像组学特征对识别 PTC 转移性淋巴结具有良好表现,联合传统 CT 特征后可进一步提升术前评估的准确性。利用宝石光谱成像技术也可以评估其定量参数与传统 CT 定性特征在 PTC 淋巴结转移判断中的诊断价值。通过广义估计方程将单一参数与组合指标分别拟合入逻辑回归模型,最终发现定量宝石图像数据(Overlay 值、IC、NIC 及能谱曲线斜率等)在预测 CLN 转移时具有更高准确性。因此,研究建议术前评估时应采用多参数融合策略,将能谱成像的定量能力与传统形态学观察有机结合,提升诊断效能。另外,在 CT 增强图像的基础上提取原发灶及其邻近区域的影像组学特征,并进一步结合 NIC 与组织结构变化,可构建列线图预测模型。该模型不仅纳入临床危险因子与传统成像特征,还利用影像组学评分对 CLN 转移风险进行量化预测,最终显示出良好的区分能力与临床适用性。研究证实,能谱参数在提升模型预测准确性方面发挥了不可替代的作用,尤其在中央区微小淋巴结这一难以判断的区域提供了新的诊断视角。

### 2.3 CT 影像组学与其他检查联合评估 PTC 淋巴结转移

单一成像手段虽然在某些维度上具有优势,但面对复杂的肿瘤微环境和转移路径,联合多种影像技术以互补短

板、增强判断依据,成为提高诊断准确率的重要路径。尤其是在影像组学兴起的背景下,CT 影像组学与传统超声(US)和磁共振成像(MRI)相结合,正在形成更为精准多维的临床评估体系。CT 影像组学在挖掘病灶纹理、形态及信号强度方面具备明显优势,能够从常规图像中提取上千种高维特征,识别 PTC 原发病灶及其局部侵袭特征。但在淋巴结转移的判别上,尤其是对于早期或微小转移病灶,单纯依靠 CT 增强成像仍存在一定局限。李亚非,吴干勋,赵瑞力等<sup>[13]</sup>开展的研究对 42 例同时接受 US 与增强 CT 检查的甲状腺癌患者进行了回顾性分析,结果表明,在原发灶的诊断方面,CT 增强的准确率明显高于 US,而在淋巴结转移的识别上,尤其是病程较晚的患者,US 的准确率反而更具优势。这一现象反映出两者在不同阶段、不同目标上的互补价值。金坤作者研究中,术前同时接受彩色多普勒超声与薄层增强 CT 的 PTC 患者为研究对象的分析表明,在评估颈中央区及颈侧区淋巴结转移时,单独使用 US 的准确率普遍高于 CT。然而,联合应用两者后,尤其在中央区淋巴结评估方面,准确率进一步提高,提示影像信息的融合可以更全面地展现病灶特征<sup>[14,15]</sup>。此外,CT 在识别淋巴结内钙化方面表现优于 US,而 US 则在动态显示血流、观察结节形态等方面更具灵敏性,两者的互补性有助于提升转移淋巴结的识别能力,为手术路径选择提供更有力的支撑。除了与 US 的联合应用,CT 与 MRI 的整合在某些特殊病例中也展现出重要价值。尽管 MRI 在甲状腺癌诊断中的使用频率较低,主要受限于成像时间长、容易产生伪影以及对微小淋巴结的分辨率不足,但其在软组织分界方面具有不可替代的清晰度优势。于敏等的研究表明,将 MRI 与 CT 增强成像进行联合诊断,可在较大范围内提升淋巴结转移的识别效率,与手术病理的符合度较高,显示出良好的临床实用价值。

### 3 结语

综合近年来多项研究成果可以看出,CT 影像组学在甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的术前评估中已初步展现出可靠性能。无论是基于增强 CT 图像的纹理分析,还是依托能谱 CT 碘密度图提取的参数构建预测模型,均能显著提升诊断准确率与风险识别能力,优于传统影像学方法。未来,随着技术不断发展,CT 影像组学有望实现从研究辅助走向临床决策支持的全面转化,成为甲状腺癌精准医疗体系中不可或缺的重要组成部分。

### 参考文献:

[1] 姚琪,刘奇峰,吕磊,张成孟,丁治民. 瘤内及瘤

周 CT 影像组学联合临床预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22 (02): 112-117.

[2] 叶媛媛,贺克武,刘奇峰,洪文敏. 增强 CT 影像组学结合深度学习算法预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025,22(03):196-200.

[3] 赵颖燕,李伟伟,陶玲玲,杨雁雯,詹维伟,周伟. 超声影像组学预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结跳跃性转移[J]. 中国超声医学杂志, 2025,41(01):1-3.

[4] 孙杨子雨,江杰. CT 影像组学在甲状腺乳头状癌中央淋巴结转移中的研究进展[J]. 影像研究与医学应用, 2024,8(24):1-3.

[5] 周煜皓. 超声影像组学联合模型预测甲状腺乳头状癌同侧颈部中央区淋巴结转移的价值研究[D]. 南方医科大学, 2024.

[6] 郭建峰,宋鑫洋,沈天赐,杜梦颖,纪旭东,杨峰. 基于多模态影像组学联合机器学习模型预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的价值[J]. 放射学实践, 2024,39(09):1152-1157.

[7] 鲜锋,周畅,韦力. 超声影像组学预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的研究进展[J]. 癌症进展, 2024,22(09):956-959.

[8] 刘波涛,张凤艳,乔英. IQon 光谱 CT 碘密度图影像组学对甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的诊断价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2024,35(07):457-461.

[9] 李静,郭强. 多模态超声及影像组学在绝经期及绝经前期甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移诊断中的应用价值[J]. 实用妇科内分泌电子杂志, 2024,11(19):95-97.

[10] 朱儒焱,范鑫,邱建华,黄文俊,李光伟,黄代翔. CT 影像组学与传统影像学预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的对比研究[J]. 影像研究与医学应用, 2024,8(18): 18-22.

[11] 刘波涛. 光谱 CT 多参数成像联合基于碘密度图影像组学对甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的诊断价值[D]. 山西医科大学, 2024.

[12] 王锐,金丹,徐亮,倪晓琼,王业青,范国华. 基于能谱 CT 碘图的影像组学诊断甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的价值[J]. CT 理论与应用研究, 2024,33(03):333-342.

[13] 李亚非,吴干勋,赵瑞力,王占龙. 甲状腺乳头状癌喉前淋巴结转移研究进展[J]. 中国医学文摘(耳鼻咽喉科学), 2021,36(01):173-176.

[14] 王艳. 基于影像组学的甲状腺乳头状癌侧颈部短径小于 8mm 淋巴结转移预测研究[D]. 中国医科大学,

2024.

[15] 金坤. 多模态超声影像组学预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的多中心研究[D]. 安徽医科大学, 2024.

作者简介: 郭杨 (1992-) 男, 汉族, 四川自贡人, 主治医师, 硕士研究生, 研究方向: 乳腺、甲状腺的基础和临床研究。