

• 头颈部影像学 •

基于 CT 双期增强影像组学预测甲状腺乳头状癌淋巴结转移

赵泓博,尹映丽,刘畅,朱庆强,石博文,刘路路,许晴,叶靖

【摘要】 目的:探讨基于 CT 双期增强影像组学模型对甲状腺乳头状癌(PTC)淋巴结转移的预测价值。**方法:**回顾性分析经手术病理证实的 80 例 PTC 患者的病例资料,共搜集 173 个淋巴结,其中转移性淋巴结 89 个、未转移性淋巴结 84 个。患者术前均行 CT 平扫和双期增强扫描。采用达尔文科研平台,分别在动脉期和静脉期 CT 图像上于淋巴结内勾画 ROI 并提取其纹理特征,共提取了 8 类 1223 个纹理参数,进行最小和最大值归一化预处理后,经最优特征筛选(个数)、迭代筛选和模型选择,分别筛选出动脉期和静脉期的最优纹理参数。将所有患者按照 7:3 的比例分为训练组和验证组,分别基于动脉期和静脉期的最优纹理参数建立 SVM 模型并进行交叉验证。采用 ROC 曲线分析模型的诊断效能,并计算诊断敏感度、特异度和符合率。**结果:**转移组和未转移组间差异有统计学意义的纹理特征,在动脉期有 6 个,分别为粗糙度、依赖熵、短游程低灰度优势、游程长度不均匀性、低灰度级优势和区域大小不均匀归一化;静脉期有 5 个,分别为粗糙度、小面积低灰度优势、长游程高灰度优势、游程长度不均匀性和大依赖优势。训练组和验证组中基于动脉期和静脉期图像所建立的纹理特征诊断模型,诊断淋巴结转移的 ROC 曲线下面积分别为 0.903、0.915、0.895 和 0.850,验证组中基于动脉期的纹理特征模型的诊断符合率为 75.47%(40/53)、敏感度为 88.00%、特异度为 80.77%,基于静脉期的诊断符合率为 71.69%(38/53)、敏感度为 80.77%、特异度为 81.48%。**结论:**基于 CT 双期增强的影像组学分析和机器学习对甲状腺乳头状癌的淋巴结转移情况有较好的诊断价值,基于动脉期的影像组学模型的诊断准确性更高。

【关键词】 影像组学; 体层摄影术, X 线计算机; 甲状腺乳头状癌; 淋巴结转移

【中图分类号】 R814.42; R736.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)04-0458-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.04.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Prediction of lymph node metastasis in patients with papillary thyroid carcinoma: a radiomics method based on dual-phase contrast enhanced CT ZHAO Hong-bo, YIN Yi-li, LIU Chang, et al. Department of Radiology, Dalian Medical University, the Second Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Liaoning 116031, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to explore the predictive value of a radiomics model based on dual-phase contrast-enhanced CT (CECT) in lymph node metastasis of thyroid papillary carcinoma (PTC). **Methods:** 80 patients with PTC confirmed by pathology were enrolled in our study retrospectively. 173 lymph nodes were collected, including 89 metastatic lymph nodes (LMN) and 84 non-metastatic lymph nodes (ULMN). All patients underwent dual-phase CECT before surgery. ROI delineation and texture feature extraction were performed on the CECT images on arterial phase (AP) and venous phase (VP) using Darwin research platform, respectively. After pretreatment of minimum maximum normalization, optimal feature screening, model selection and iterative screening, the optimal texture parameters in AP and VP were obtained. 70% patients were divided into training group and 30% into validation group, and the diagnostic model based on the optimal texture parameters of AP and VP were built using support vector machine (SVM) and cross-validation. The diagnostic performance of the models were evaluated by ROC analysis, and the sensitivity, specificity and

作者单位: 116044 辽宁, 大连医科大学附属第二医院影像科(赵泓博, 刘畅, 石博文); 225001 江苏, 苏北人民医院影像科(尹映丽, 朱庆强, 许晴, 叶靖); 225001 江苏, 扬州大学研究生院(刘路路)

作者简介: 赵泓博(1993-), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事影像组学及深度学习的研究工作。

通信作者: 尹映丽, E-mail: yzyinyili@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(81401384); 江苏省卫计委“六个一工程”拔尖人才(LGY2019032); 江苏省扬州市科教强卫医学重点人才资助项目(ZDRC201873)

accuracy were calculated. **Results:** There were six significant different texture features in the AP and 5 significant different texture features in the VP between LMN group and ULMN group respectively. The image characteristics in AP were coarseness, dependence entropy (DE), short run low gray level emphasis (SRLGLE), run length non-uniformity (RLN), low gray level emphasis (LGLE) and size zone non-uniformity normalized (SZNN). The image characteristics in VP were coarseness, SALGLE, long run high gray level emphasis (LRHGLE), RLN and large dependence emphasis (LDE). In the training and validation groups, the areas under the ROC of the AP model and VP model were 0.903, 0.915, 0.895 and 0.850. In the validation group, the diagnostic accuracy of the AP model was 75.47% (40/53), the sensitivity was 88.00%, and the specificity was 80.77%; and the diagnostic accuracy of the VP model was 71.69% (38/53), the sensitivity was 80.77%, and the specificity was 81.48%. **Conclusion:** DCE-CT radiomics and machine learning are of good diagnostic value for prediction of lymph node metastasis in patients with thyroid papillary carcinoma, and that the diagnostic accuracy of AP texture features is relatively higher.

【Key words】 Radiomics; Tomography, X-ray computed; Papillary thyroid carcinoma; Lymph node metastasis

甲状腺癌是最常见的内分泌恶性肿瘤之一,甲状腺乳头状癌(thyroid papillary carcinoma, PTC)约占所有甲状腺癌的 90%^[1]。颈淋巴结转移是 PTC 患者发生远处转移和生存率低的危险因素^[2],也是甲状腺全切术的适应证。相反,考虑到 PTC 的良好预后,对小于 4 cm 且局限于甲状腺内或无淋巴结转移的单灶性肿瘤,建议仅进行同侧甲状腺叶切除术以减少手术并发症^[3-5]。然而,由于缺乏准确的鉴别征象,如何准确选择无淋巴结转移的患者行单侧叶切除术仍是目前的难点。

影像组学是新兴的影像学研究领域,通过获取及重建图像、分割病灶、提取和选择纹理特征以及构建诊断模型,实现了对 ROI 空间数据的分析和特征提取。运用数学分析法对医学图像中像素的分布情况进行评价,获取病灶的一系列量化后的参数,是一种无创性的影像生物学标志方法,在 MRI 及 CT 等多种影像手段中的临床应用越来越广泛,并且联合机器学习,能够对病变内在的空间、时间上的异质性进行定量分析^[6-8]。本研究探讨了基于 CT 增强图像的影像组学分析方法在甲状腺乳头状癌淋巴结转移中的应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析 2015 年 7 月—2019 年 10 月在本院确诊的甲状腺结节患者的病例资料。纳入标准:①单个甲状腺病变,经手术病理诊断为 PTC;②术中行颈部淋巴结清扫术,且有详细完整的淋巴结病理结果;③临床医师对淋巴结的位置进行了详细的描述,并在 CT 图像上进行标注;④手术前均行过颈部 CT 增强检查;⑤术前未经过任何相关治疗;⑥CT 图像质量满足

诊断要求及校准分析。

最终将符合要求的 80 例患者纳入研究,共搜集 173 个淋巴结的 CT、临床和病理结果。其中,男 31 例,女 49 例;年龄 13~77 岁,平均(41±14)岁;转移性淋巴结 89 个,未转移性淋巴结 84 个。

2. CT 检查方法

使用 GE Lightspeed VCT 64 CT 扫描仪行常规甲状腺平扫和双期增强扫描。扫描参数:120 kV, 360 mA,螺距 0.984,层距及层厚均为 5.0 mm。经肘前静脉注入对比剂碘海醇(300~350 mg I/mL),剂量 1.0 mL/kg,总量 80~100 mL,注射流率 3.0 mL/s,延迟 30 和 60 s 分别行动脉期和静脉期扫描,采用标准算法、1.25 mm 层厚对动脉期和静脉期图像分别进行薄层重建,并将重建图像以 DICOM 格式导出。

3. 图像分析和特征提取

首先由一位具有 5 年颈部疾病影像诊断经验的医师,根据临床医师提供的颈部淋巴结定位,分别在动脉期和静脉期 CT 图像上逐层对颈部淋巴结进行 ROI 的勾画,ROI 应避免坏死、囊变及钙化区域,且动脉期和静脉期图像上 ROI 勾画的层数、大小和位置均保持一致(图 1~2);再由一位有 10 年以上颈部疾病诊断经验的主任医师确认 ROI 勾画结果。

使用达尔文科研平台(Darwin research platform)进行影像组学分析,每个淋巴结提取了 8 类共 1223 个纹理特征:一阶纹理特征(first order statistics)19 个;二维形状特征(shape-based)10 个;三维形状特征(shape-based);灰度共生矩阵(gray level cooccurrence matrix, GLCM)24 个;灰度大小区域矩阵(gray level size zone matrix, GLSZM)16 个;灰度长游程矩阵(gray level run length matrix, GLRLM)16 个;相邻灰

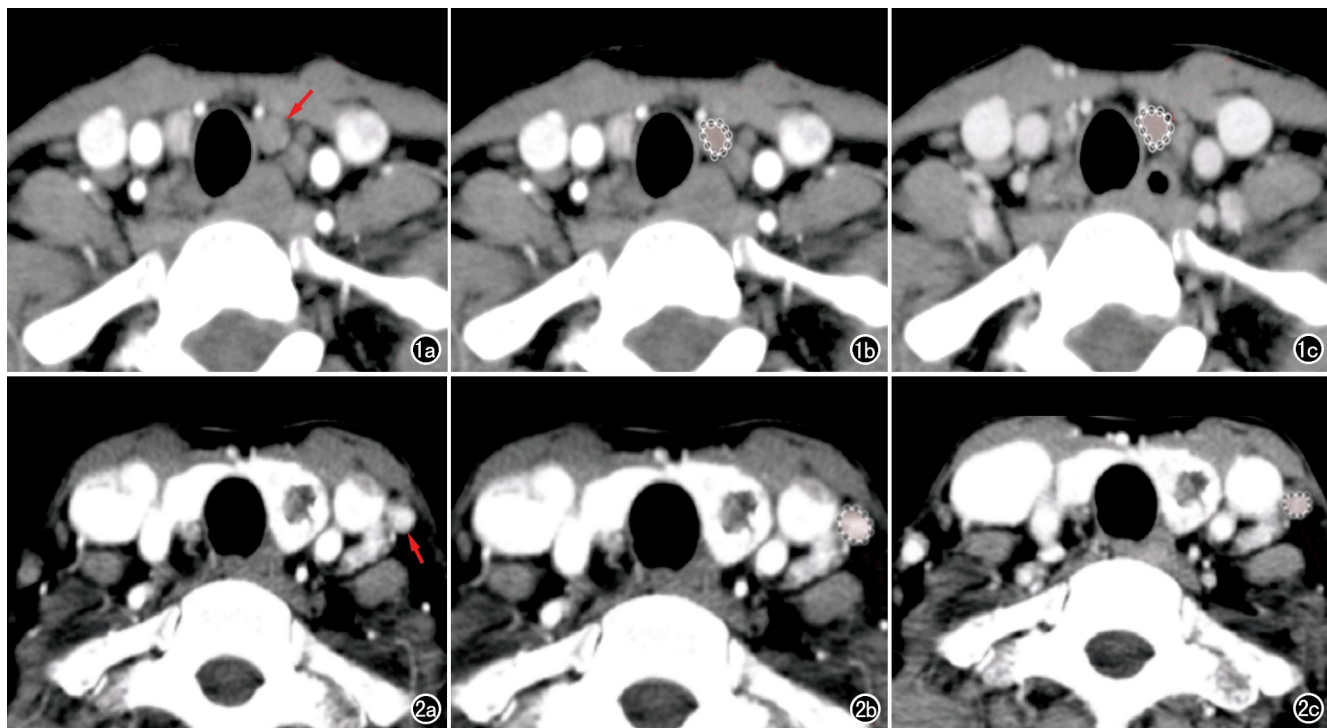


图 1 患者,女,42 岁,甲状腺乳头状癌不伴淋巴结转移。a)动脉期图像,气管旁淋巴结增大(箭),病理证实无转移;b)动脉期图像,沿淋巴结边缘勾画 ROI;c)静脉期图像,沿淋巴结边缘勾画 ROI,层面和 ROI 大小与动脉期图像相同。图 2 患者,女,56 岁,甲状腺乳头状癌伴淋巴结转移。a)颈部增强扫描动脉期图像,显示左侧甲状腺内不规则低密度灶,同侧皮下浅表淋巴结有较明显强化(箭),病理证实有淋巴结转移;b)动脉期图像,沿淋巴结边缘勾画 ROI;c)静脉期图像,沿淋巴结边缘勾画 ROI,层面和 ROI 大小与动脉期图像相同。

度差矩阵(neighbouring gray tone difference matrix, NGTDM)5 个,包括粗糙度、对比度和复杂度等;灰度优势矩阵(gray level dependence matrix, GLDM)14 个。

4. 预处理、特征筛选及模型建立

采用达尔文科研平台内置的 R 语言算法完成特征筛选,分别对动脉期和静脉期 CT 图像进行最小、最大值归一化预处理,对每一维度特征的线性进行拉伸。再逐步采用最优特征筛选(个数)、模型选择及迭代筛选法进行特征筛选,得到基于双期图像的最优纹理特征。最后,将 170 个淋巴结分为 2 组,70%的样本作为训练组(120 个,转移组和未转移组分别为 62 和 58 个),30%的样本作为验证组(53 个,转移组和未转移组分别为 27 和 26 个),分别对训练组中基于动脉期和静脉期图像提取的最优纹理特征采用支持向量机(support vector machine, SVM)的方法建立模型,随后进行交叉验证。数据验证和模型诊断:采用训练组数据建立模型,然后对验证组数据进行验证。采用 ROC 曲线评价模型的诊断效能,计算敏感度、特异度和符合率。

5. 统计分析

使用 SPSS 19.0 软件对筛选出的特征数据进行统计学分析,加载相应的程序包和函数库进行计算。若动脉期和静脉期两组中有特征参数的测量数据不满足正态分布或方差不齐,则采用秩和检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1. 特征降维及 SVM 模型

运用达尔文软件内置的特征降维组件进行降维。首先,经最优特征筛选(个数),将 K 值设为 50,从 1223 个特征参数中筛选出 50 个排名靠前的特征参数;然后,采用 Lasso-logistic 回归模型进行模型选择(图 3~4),从 50 个组学特征中筛选出 10 个最优特征;最后,进行迭代筛选,筛选出最有意义的特征参数。最终,基于动脉期图像共筛选出 6 个特征,包括粗糙度(coarseness, Co)、依赖熵(dependence entropy, DE)、短游程低灰度优势(short run low gray level emphasis, SRLGLE)、游程长度不均匀性(run length non-uniformity, RLN)、低灰度级优势(low gray level emphasis, LGLE)和区域大小不均匀归一化(size zone non-uniformity normalized, SZNN)6 个特征;基于静

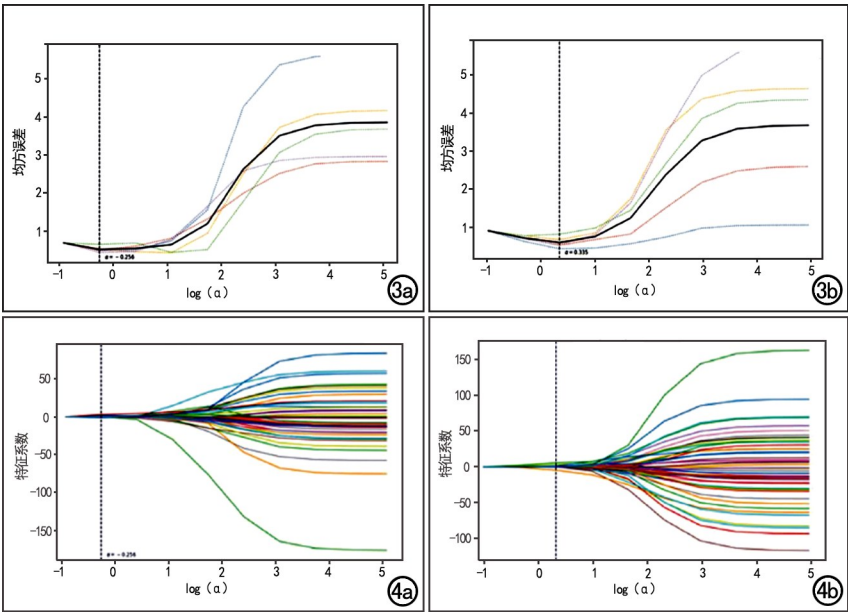


图 3 Lasso 回归的损失曲线。 α 值为惩罚项系数,纵坐标为均方误差。虚曲线分别代表交叉验证法中每一次 α 的负对数的值和对应均方误差的关系曲线。图中实线代表交叉验证对应虚曲线的均值,竖虚线代表在均方误差最小时,最佳 α 取值对应的 $-\log(\alpha)$ 值。a) 动脉期, α 值为 -0.256 ; b) 为静脉期, α 值为 0.335 。图 4 Lasso 模型交叉验证方法筛选特征的特征系数收敛图。图中每条曲线代表 1223 维特征中某一个特征的特征系数随着 α 值变化的情况,竖虚线表示最佳 α 取值对应的 $-\log(\alpha)$ 值。a) 动脉期,得到 6 项特征系数非零的特征; b) 静脉期。得到 5 项特征系数非零的特征。

脉期图像共筛选出 5 个特征,为粗糙度、RLN、小面积低灰度优势 (small area low gray level emphasis, SALGLE)、长游程高灰度优势 (long run high gray level emphasis, LRHGLE) 和大依赖优势 (large dependence emphasis, LDE)。对动脉期和静脉期筛选后的纹理特征的数据进行了统计学验证,结果见表 1。分别以动脉期和静脉期筛选后的特征参数构建动脉期和静脉期 SVM 模型,并进行 ROC 曲线分析(图

5~6)。训练组中动脉期和静脉期模型的曲线下面积分别为 0.903 (95% CI: 0.835~0.949) 和 0.915 (95% CI: 0.850~0.958),验证组中分别为 0.895 (95% CI: 0.778~0.964) 和 0.850 (95% CI: 0.726~0.933)。在验证组中,动脉期模型的诊断符合率为 75.47% (40/53),敏感度为 88.00%,特异性为 80.77%;静脉期模型的符合率为 71.69% (38/53),敏感度为 80.77%,特异性为 81.48%。

讨 论

颈部淋巴结转移是指导 PTC 患者选择合适临床手术的重要标准,在目前的临床实践中,超声是评估甲状腺淋巴结转移的主要无创性检查手段,其特异度较高(85.0%~97.4%),但敏感度较低(36.7%~61.0%)^[9-10]。此外,超声在评估甲状腺淋巴结转移时有一定限制,图像质量和操作人员的经验对诊断准确性有显著影响^[11]。CT 与超声检查具有相似的敏感度和特异度^[12]。虽然 MRI 检查无辐射性,但是既昂贵又耗时。Gross 等^[13]的研究结果显示, MRI 对颈部淋巴结转移的诊断敏感度很高(95%),但特异度较低(51%),特异度和敏感度极不平衡。在本研究中基于动脉期和静脉期图像建立的 SVM 模型的特异度和敏感度表现出了良好的平衡性。影像组学最早于 2012 年提出,作为一种新兴的影像分析方法,其目的是利用大数据分析技术,从影像数据中挖掘可量化病变的海量特征,并构建特征性影像组学标签,以期解析影像与病理、临床的潜在关联,尤

表 1 两组淋巴结在双期增强 CT 图像上特征参数的比较

特征参数	转移组(N=89)	未转移组(N=84)	Z 值	P 值
动脉期				
Co	0.01(0.00~0.02)	7659.05(0.45~34277.87)	-10.70	0.000
DE	5.43(5.04~5.87)	25.45(15.66~38.24)	-10.90	0.000
SRLGLE	0.05(0.02~0.11)	2.00(1.00~2.71)	-11.28	0.000
RLN	68.37(39.43~131.87)	0.35(0.25~0.45)	-11.26	0.000
LGLE	0.62(0.20~0.65)	0.08(0.03~0.10)	-11.17	0.000
SZNN	0.40(0.20~0.79)	0.89(0.50~0.94)	-5.21	0.000
静脉期				
Co	0.01(0.00~0.02)	10850.24(0.47~39357.95)	-11.35	0.000
SALGLE	0.02(0.01~0.05)	1.58(1.00~3.75)	-8.39	0.000
LRHGLE	11.18(9.22~14.72)	2.68(2.18~3.57)	-11.27	0.000
RLN	75.03(41.25~120.55)	0.43(0.31~0.53)	-11.35	0.000
LDE	53.62(18.46~87.03)	45.08(35.29~123.39)	-2.45	0.014

注:表格内数据为每个特征参数的中位数,括号内的数据为数值范围。

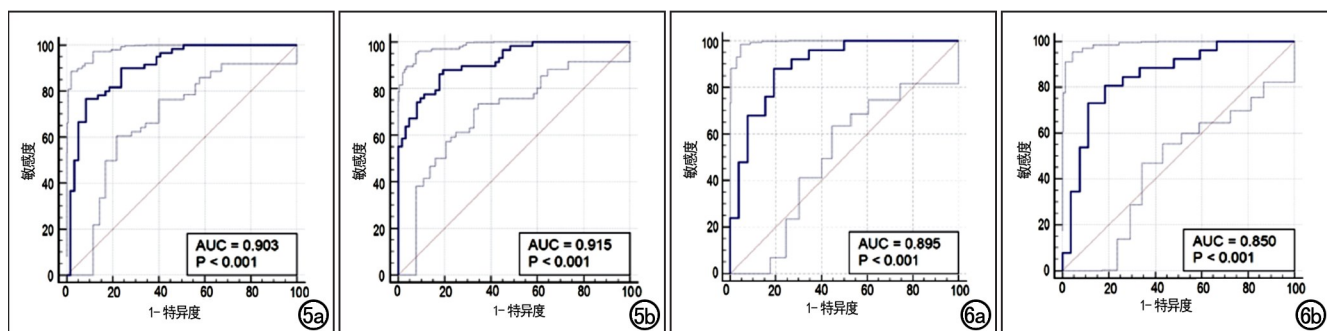


图 5 训练组中 SVM 模型的 ROC 曲线。a) 动脉期的 ROC 曲线, AUC 值为 0.903, 95% 置信区间为 0.835~0.949; b) 静脉期的 ROC 曲线, AUC 值 0.915, 95% 置信区间为 0.850~0.958。

图 6 验证组中 SVM 模型的 ROC 曲线。a) 动脉期的 ROC 曲线, AUC 值为 0.895, 95% 置信区间为 0.778~0.964; b) 静脉期的 ROC 曲线, AUC 值为 0.850, 95% 置信区间为 0.726~0.933。

其是一些高阶纹理特征, 它们不仅反映了肿瘤组织学的异质性, 甚至还在一定程度上反映出相应的遗传学差异^[14-15]。影像组学结合机器学习可对病灶的图像信息进行定量分析, 不仅规避了观察者易对影像特征进行主观解读的缺点, 而且进一步挖掘并整合影像图像中肉眼难以分辨的影像特征, 因而大大提升了诊断准确性。影像组学可以用于描述肿瘤表型、区分良恶性肿瘤和预测治疗等方面^[16]。

目前关于 PTC 淋巴结转移的影像组学研究较少见, 而且大多是基于超声图像的纹理分析。Kim 等^[17]运用超声纹理分析技术对甲状腺微小乳头状癌患者淋巴结转移进行预测, 发现直方图参数(均值、标准差、偏斜度、峰度和熵)均与淋巴结转移无显著相关性。Liu 等^[18]运用超声影像组学模型评估 PTC 患者淋巴结转移情况, 认为影像组学模型是评估乳头状甲状腺癌转移风险的一种很有前途的方法, 其 ROC 下面积为 0.727, 符合率为 0.710, 均低于本组研究结果。基于 CT 增强的影像组学方法评估 PTC 淋巴结转移情况的国内外报道较少。本研究使用的 SVM 是一类常用的分类识别模型, 因为其在小样本、非线性和高维数据中优秀的分类性能^[19], 尤其符合影像组学研究的数据特点。

本研究基于 CT 增强图像影像组学对 PTC 淋巴结转移进行评估, 经预处理和特征降维, 结果显示动脉期和静脉期图像均纹理特征(动脉期 6 个、静脉期 5 个)具有预测价值。其中灰度游程长度矩阵特征 3 个、灰度区域大小矩阵特征 2 个、灰度依赖矩阵特征 3 个、相邻灰度差矩阵特征 1 个。粗糙度和游程长度不均匀性是动脉期和静脉期均具有的特征。粗糙度的值越大表明图像的基本组成域越大, 即在较大的区域内纹理更均匀, 灰度值的变化较小, 结果显示未转移组较转移组图像更均匀。纹理特征的构建中, 游程表示了同样

亮度且连续体素数目的多少, 以及在不同方向上不同灰度游程的多少, 其中游程长度不均匀性描述图像中游程长度的相似程度, 即游程长度越相似, 则游程长度不均匀性的值越小, 图像纹理粗细越均匀, 数据结果同样支持未转移组较转移组图像纹理更均匀。上述结果可能与其淋巴结转移的病理特点有关, 在转移性淋巴结中, 肿瘤首先侵犯淋巴结皮质边缘的网状淋巴窦, 然后沿淋巴窦破坏淋巴组织, 淋巴结髓质结构消失, 被肿瘤细胞取代, 并且肿瘤细胞生长较快, 得不到充足的血液供应从而出现坏死、囊变^[20], 导致转移性淋巴结的图像纹理比未转移性淋巴结更加粗糙。

本研究中分别提取动脉期和静脉期 CT 图像的纹理特征并创建 SVM 模型, 得出动脉期 SVM 模型评价 PTC 淋巴结转移的符合率为 (75.47%) 高于静脉期 SVM 模型的符合率 (71.69%), 表明基于动脉期 SVM 模型在评估 PTC 淋巴结转移更具优势。本研究动脉期和静脉期的 AUC 值均高于沈莎莎等^[21]基于 PTC 原发癌灶建立的小波纹理特征模型预测淋巴结转移的 AUC 值 (0.693), 且其研究只采用静脉期图像。

本研究存在一定的局限性。首先, 本研究为单中心单机型回顾性分析, 有待更大样本、多中心、多机型前瞻性研究进一步验证模型的有效性; 其次, 本研究采用手动 ROI 勾画, 存在一定误差, 后期有待运用自动或半自动 ROI 勾画进一步完善; 另外, 影像组学为病变的术前病理分类提供了较好的应用结果, 但其医学解释还有待于进一步探讨。

综上所述, CT 增强影像组学在评估甲状腺乳头状癌患者淋巴结转移情况方面具有较好的价值, 且以动脉期影像组学特征建立的 SVM 模型诊断的准确性更高, 为临床选择合适的手术方案提供了客观依据, 存在一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Davies L, Welch HG. Increasing incidence of thyroid cancer in the united states, 1973-2002[J]. JAMA, 2006, 295(18): 2164-2167.
- [2] Chen L, Zhu Y, Zheng K, et al. The presence of cancerous nodules in lymph nodes is a novel indicator of distant metastasis and poor survival in patients with papillary thyroid carcinoma[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2017, 143(6): 1035-1042.
- [3] Cabanillas ME, Mcfadden DG, Durante C. Thyroid cancer[J]. Lancet, 2016, 388(10061): 2783-2795.
- [4] Cady B, Martin H. Our AMES is true: how an old concept still hits the mark: or, risk group assignment points the arrow to rational therapy selection in differentiated thyroid cancer[J]. Am J Surg, 1997, 174(5): 462-468.
- [5] Shaha AR. Implications of prognostic factors and risk groups in the management of differentiated thyroid cancer [J]. Laryngoscope, 2004, 114(3): 393-402.
- [6] 李振辉, 李鹏, 张大福. 放射组学在消化道肿瘤中的应用[J]. 放射学实践, 2017, 32(3): 298-301.
- [7] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. Eur J Canc, 2012, 48(4): 441-446.
- [8] 吴佩琪, 刘再毅, 何兰, 等. 影像组学与大数据结合的研究现状[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(7): 554-558.
- [9] Kim E, Park JS, Son KR, et al. Preoperative diagnosis of cervical metastatic lymph nodes in papillary thyroid carcinoma: comparison of ultrasound, computed tomography, and combined ultrasound with computed tomography[J]. Thyroid, 2008, 18(4): 411-418.
- [10] Jeong HS, Baek CH, Son YI, et al. Integrated ¹⁸F-FDG PET/CT for the initial evaluation of cervical node level of patients with papillary thyroid carcinoma: comparison with ultrasound and contrast-enhanced CT[J]. Clin Endocrinol (Oxf), 2006, 65(3): 402-407.
- [11] Roh JL, Park JY, Kim JM, et al. Use of preoperative ultrasonography as guidance for neck dissection in patients with papillary thyroid carcinoma[J]. J Surg Oncol, 2009, 99(1): 28-31.
- [12] Liu X, Ouyang D, Li H, et al. Papillary thyroid cancer: dual-energy spectral CT quantitative parameters for preoperative diagnosis of metastasis to the cervical lymph nodes[J]. Radiology, 2015, 275(1): 167-176.
- [13] Gross ND, Weissman JL, Talbot JM, et al. MRI Detection of cervical metastasis from differentiated thyroid carcinoma[J]. Laryngoscope, 2001, 111(11): 1905-1909.
- [14] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. Eur J Canc, 2012, 48(4): 441-446.
- [15] 吴珊珊, 沈桂权, 高波. 肺癌影像组学研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(12): 986-989.
- [16] Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine (Review) [J]. Nat Rev Clin Oncol, 2017, 14(12): 749-762.
- [17] Kim SY, Lee E, Nam SJ, et al. Ultrasound texture analysis: association with lymph node metastasis of papillary thyroid microcarcinoma [J/OL]. PLoS One, 2017, 12(4): e0176103. DOI: 10.1371/journal.pone.0176103.
- [18] Liu T, Zhou S, Yu J, et al. Prediction of lymph node metastasis in patients with papillary thyroid carcinoma: a radiomics method based on preoperative ultrasound images [J/OL]. Technol Cancer Res Treat, 2019, 18: e1533033819831713. DOI: 10.1177/1533033819831713.
- [19] Pradhan D, Padhy S, Sahoo B. Enzyme classification using multi-class support vector machine and feature subset selection [J/OL]. Comput Biol Chem, 2017, 70: e211-e219. DOI: 10.1016/j.compbiolchem.2017.08.009.
- [20] 于晓明, 金梅. 头颈部淋巴结内部结构及淋巴结门的 CT 表现在鉴别良恶性淋巴结中的价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2011, 22(8): 567-569.
- [21] 沈莎莎, 韩丹, 赵伦, 等. 基于甲状腺乳头状癌结节 CT 静脉期图像小波纹理分析预测中央组淋巴结转移的可行性研究[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(11): 946-951.

(收稿日期: 2020-10-12 修回日期: 2021-01-09)