

基于 CT 影像组学模型术前预测喉癌淋巴结转移

郭峰, 罗琦, 郑伊能, 曾春, 李咏梅

【摘要】 目的:研究 CT 影像组学在术前预测喉癌患者淋巴结转移中的价值。**方法:**搜集本院 304 例经手术病理证实为喉癌患者的影像学资料,随机选择 243 例及 61 例分别作为训练集和验证集。从术前静脉期 CT 图像中手工勾画肿瘤体积并提取影像组学特征。在训练集中,采用 LASSO 回归进行特征筛选,使用 Logistic 回归分别构建影像组学模型、形态学模型及二者联合模型。利用受试者工作特征(ROC)曲线评价各个模型的预测效能,并对模型的 ROC 曲线行 DeLong 检验。在验证集中评估各种模型的诊断效能。**结果:**最后获得 5 个影像组学特征。在训练集中,影像组学模型 ROC 曲线下面积(AUC)为 0.85(95%CI:0.77~0.93),形态学模型 AUC 为 0.66(95%CI:0.59~0.72),联合模型 AUC 为 0.82(95%CI:0.74~0.91);在验证集中,影像组学模型 AUC 为 0.83(95%CI:0.69~0.97),形态学模型 AUC 为 0.59(95%CI:0.40~0.77),联合模型 AUC 为 0.73(95%CI:0.56~0.91)。DeLong 检验显示影像组学模型与形态学模型差异、联合模型与形态学模型差异均有统计学意义($P < 0.05$),而联合模型与影像组学模型差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**基于病灶为兴趣区的 CT 影像组学模型可以术前较好地预测喉癌淋巴结转移,其诊断效能高于形态学模型。

【关键词】 喉肿瘤;影像组学;体层摄影术,X 线计算机;淋巴结转移

【中图分类号】 R814.42;R739.65 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)11-1365-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.11.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Preoperative prediction of lymph node metastasis of laryngeal carcinoma based on CT radiomics model**

GUO Feng, LUO Qi, ZHENG Yi-neng, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of CT radiomics model in predicting lymph node metastasis of laryngeal carcinoma before operation. **Methods:** The imaging data of 304 patients with laryngeal carcinoma confirmed by surgical pathology examination were collected. 243 cases and 61 cases were randomly selected as a training set and a verification set, respectively. The volume of tumor was manually drawn on the venous phase CT images and radiomics features were extracted. In the training set, LASSO regression was used to screen the radiomics features, and logistic regression analysis was performed to construct the radiomics model, morphological model and their combined model. The diagnostic efficiencies of different models were evaluated using ROC curve analysis and compared using the DeLong's test. Finally, the diagnostic efficiencies of different models in the validation set was evaluated. **Results:** Five radiomics features were extracted. In the training set, the AUC of the radiomics model was 0.85(95% CI: 0.77~0.93), the AUC of the morphological model was 0.66(95% CI: 0.59~0.72), the AUC of the combined model was 0.82(95% CI: 0.74~0.91); In the validation set, the AUC of the radiomics model was 0.83(95% CI: 0.69~0.97), the AUC of the morphological model was 0.59(95% CI: 0.40~0.77), and the AUC of the combined model was 0.73(95% CI: 0.56~0.91). DeLong's test showed that there were statistically significant differences between the combined model and the morphological model as well as the radiomics model and the morphological model ($P < 0.05$), but there was no significant difference between the combined model and the radiomics model ($P > 0.05$). **Conclusion:** CT radiomics model based on lesions as region-of-interest can predict the

作者单位:400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院放射科(郭峰、罗琦、郑伊能、曾春、李咏梅);400080 重庆,重庆市九龙坡区中医院放射科(郭峰)

作者简介:郭峰(1990—),男,江西吉安人,硕士研究生,主治医师,主要从事 CT 及 MRI 诊断工作。

通讯作者:李咏梅, E-mail:lymzhang70@aliyun.com

lymph node metastasis of laryngeal carcinoma before operation, and its diagnostic efficiency is higher than the morphological model.

【Key words】 Laryngeal neoplasms; Radiomics; Tomography, X-ray computed; Lymph node metastasis

喉癌(laryngeal carcinoma)是颈部常见的恶性肿瘤,占耳鼻咽喉部恶性肿瘤的8%~35%,占全身恶性肿瘤的1%~4%^[1-2],以鳞状细胞癌多见^[3]。颈部毛细血管网及淋巴管网发达,易出现淋巴结转移且隐匿性较高^[4]。一旦发生转移将提高喉癌患者复发及转移风险。淋巴结转移是影响其预后的一个独立因素^[5]。术前对颈部淋巴结状态进行精准评估,对患者选择合适的治疗方法和预后评估都极为重要。目前,超声、CT、MRI和PET-CT是术前常用于评估淋巴结状态的检查方法,以上检查方法对淋巴结转移状态的诊断均具有一定不足^[6-7]。近年来,基于大数据的影像组学(radiomics)研究对肿瘤术前淋巴结状态的评估表现出巨大潜能。基于影像组学的方法,通过对肿瘤原发灶进行勾画、提取特征并建立模型来预测淋巴结转移的研究较少,文献报道其在甲状腺癌、胃癌、宫颈癌及直肠癌等肿瘤术前评估淋巴结转移状态方面都具有较好的辨别效能^[8-11],然而该技术应用于术前预测喉癌患者淋巴结转移的研究很少。本研究拟探讨基于增强CT喉癌原发病灶为兴趣区的影像组学模型、形态学模型及二者联合模型术前预测肿瘤淋巴结转移中的价值。

材料与方法

1. 病例资料

回顾性分析2012年12月—2019年9月在本院经手术病理证实为喉癌患者的CT资料。纳入标准:①病理证实为喉癌;②行颈部淋巴结清扫术;③有完整的淋巴结转移状态病理记录;④术前1周有完整的CT增强图像。排除标准:①术前行抗肿瘤治疗;②CT增强图像质量差;③合并其它肿瘤性疾病。搜集的数据以4:1比例随机分成训练集和验证集。

2. 淋巴结病理状态

所有患者均经喉癌切除手术及双侧颈部淋巴结清扫术,并有完整的术后淋巴结病理结果记录。根据术后病理报告,一个及以上淋巴结出现转移时,记录为淋巴结转移状态阳性;反之,则记录为淋巴结转移状态阴性。

3. CT检查方法

采用GE Discovery 750 HD CT行仰卧位颈部增强扫描,嘱患者扫描时保持喉部不动,不要做吞咽动作。扫描参数:螺距0.984:1;准直宽度64×0.625;管

电压80 kV;管电流采用自动毫安技术;扫描层厚5.0 mm;层间距5.0 mm;矩阵512×512;视野(field of view, FOV)25 cm×25 cm。采用高压注射器把对比剂经肘正中静脉团注,采用Medrad公司新研发的P3T(personalized patient protocol technology, P3T)模块化个性注射方案(根据患者体重、对比剂如碘含量和其他程序参数共同制定个性化的对比剂注射方案,合理减少对比剂的用量)。对比剂采用300 mg I/mL优维显,监测主动脉平面,达到阈值100 HU后自动触发扫描,35 s后扫描静脉期,重建层厚及层间距均为0.625 mm。

4. 形态学分析

由一名有5年头颈部肿瘤CT诊断经验的放射科医师在静脉期CT图像上对淋巴结转移情况进行评估,再由一名从事头颈部CT影像诊断10年以上的放射科医师进行检查核对。分析前,两名医师对所有样本病理淋巴结状态均不知晓。参照文献^[12]判断淋巴结转移:①淋巴结呈球形,短径>10 mm;②增强后淋巴结环形强化,中心出现坏死或囊变;③淋巴结异常分组(三个或三个以上淋巴结短径接近界限的淋巴结群)。出现以上一种及多种情况,则被认为存在淋巴结转移。

5. 影像组学分析

①图像采集和分割:从图像存档和通信系统(picture archiving and communication systems, PACS)中获取DICOM格式的静脉期CT图像,先由1名有5年头颈部肿瘤CT诊断经验的放射科医师用ITK-SNAP软件(version 3.8.0, University of Pennsylvania, USA, <http://www.itksnap.org>)采用手动分割的方法,在每个连续层面上沿着肿瘤轮廓进行3D勾画,再由一名高年资医师对其勾画结果进行检查修改,最后获得肿瘤体积的容积感兴趣区(volume of interest, VOI),见图1。

②特征提取:采用MATLAB软件(2017b, <https://www.mathworks.cn/products/matlab.html>)从每个VOI中提取影像组学特征。

③影像组学特征一致性分析:随机选取61个样本,分别由两位有5年及10年以上头颈部肿瘤CT诊断经验的放射科医师在不知患者病理结果的情况下进行独立手工勾画,并提取影像组学特征。1个月后,同样的操作重复再做一次。采用组内及组间相关系数

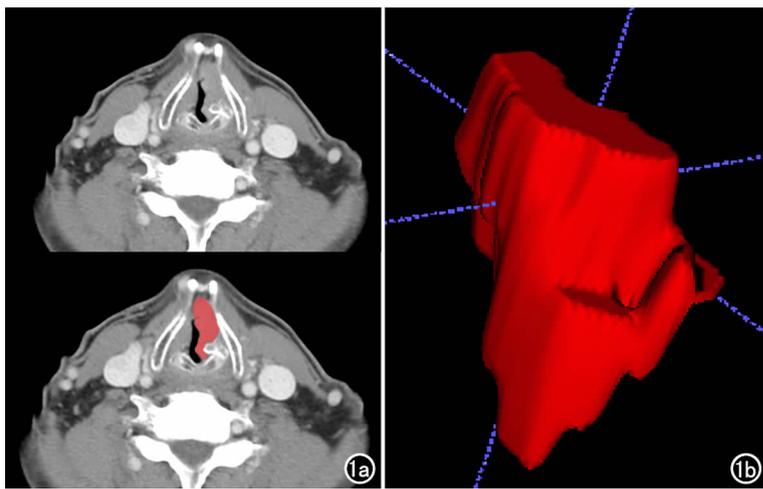


图 1 男,65 岁,声门型喉癌患者 VOI 勾画图,在增强静脉期 CT 图像上沿肿瘤轮廓在每个连续层面上对肿瘤进行勾画。a) 静脉期最大层面 CT 图像勾画;b)基于肿瘤体积的 3D 图像。

(inter-class correlation coefficient, ICC)对所提取的影像组学特征进行一致性分析。ICC>0.75 表示一致性较好。

④特征筛选及构建模型:采用最小绝对收缩和选择算子(the least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归方法对特征进行筛选(图 2)。将所有提取的影像组学特征和颈部淋巴结转移结果作为特征选择的输入量,其中影像特征作为自变量,颈部淋巴结转移结果作为因变量。LASSO 算法通过调节权重参数 λ 将部分特征的系数抑制为零,从而实现特征的筛选。利用 Logistic 回归分别构建影像组学模型、形态学模型及联合模型。

6. 统计学分析

采用 R 软件(version:3.6.1, <https://www.r-project.org>)进行统计学分析。采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线得出影像组学模型、形态学模型及联合模型对于预测淋巴结转移的符合率、特异度、敏感度及 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)。然后对各个模型 ROC 曲线行 Delong 检验来比较模型间的效能差异, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。最后,模型在验证集中进行效能验证。

结果

1. 一般资料

纳入 304 例患者,男 301 人,

女 3 人,年龄 37~83 岁,平均年龄 61 岁;病理报告显示有淋巴结转移 79(25.99%)人,无淋巴结转移者 225(74.01%)人。增强 CT 图像上形态学标准诊断有淋巴结转移 64(21.05%)人,无淋巴结转移 240(78.95%)人,见表 1。随机抽取 243 人作为训练集,其余的 61 人作为验证集。

2. 特征筛选及预测模型的建立

采用 MATLAB 软件共获得影像组学特征,包括直方图特征 15 个,形态学特征 10 个,原始纹理特征 70 个及小波特征 865 个,合计 960 个特征。通过影像组学特征一致性分析和特征筛选,最终筛选出 5 个关键特征,分别是:①Entropy;②Large dependence high gray-level emphasis;③Informational measure of correlation;④Small Zone High Gray-level Emphasis;⑤ Dissimilarity。基于以上 5 个影像组学

表 1 入组病例统计

参数	训练集	验证集
性别(例)		
男	241	60
女	2	1
平均年龄(岁)	60.2	63.2
年龄范围(岁)	34~83	46~80
形态学标准诊断淋巴结转移(例)		
阳性	47	17
阴性	196	44
病理报告淋巴结转移情况(例)		
阳性	59	20
阴性	184	41

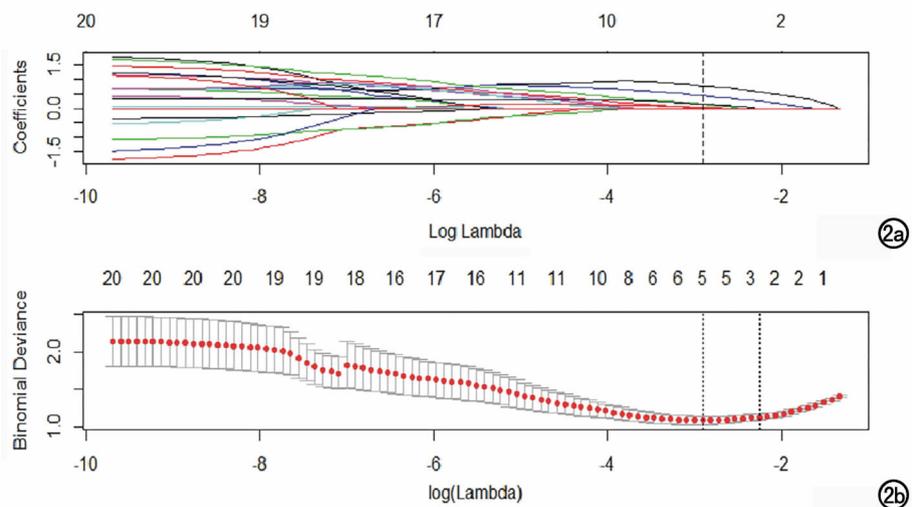


图 2 LASSO 回归特征筛选图。a)LASSO 特征选择过程的特征系数收敛图,不同颜色的曲线代表不同自变量的变化,随着参数 $\log(\lambda)$ 增大,无系数的变量逐渐趋向于 0;b)采用五折交叉验证调优参数 λ 至模型二项式偏差最小,从而筛选出与淋巴结转移相关的最优特征;选择标准为最小化标准,本研究模型构建使用特征参数为 5 个。

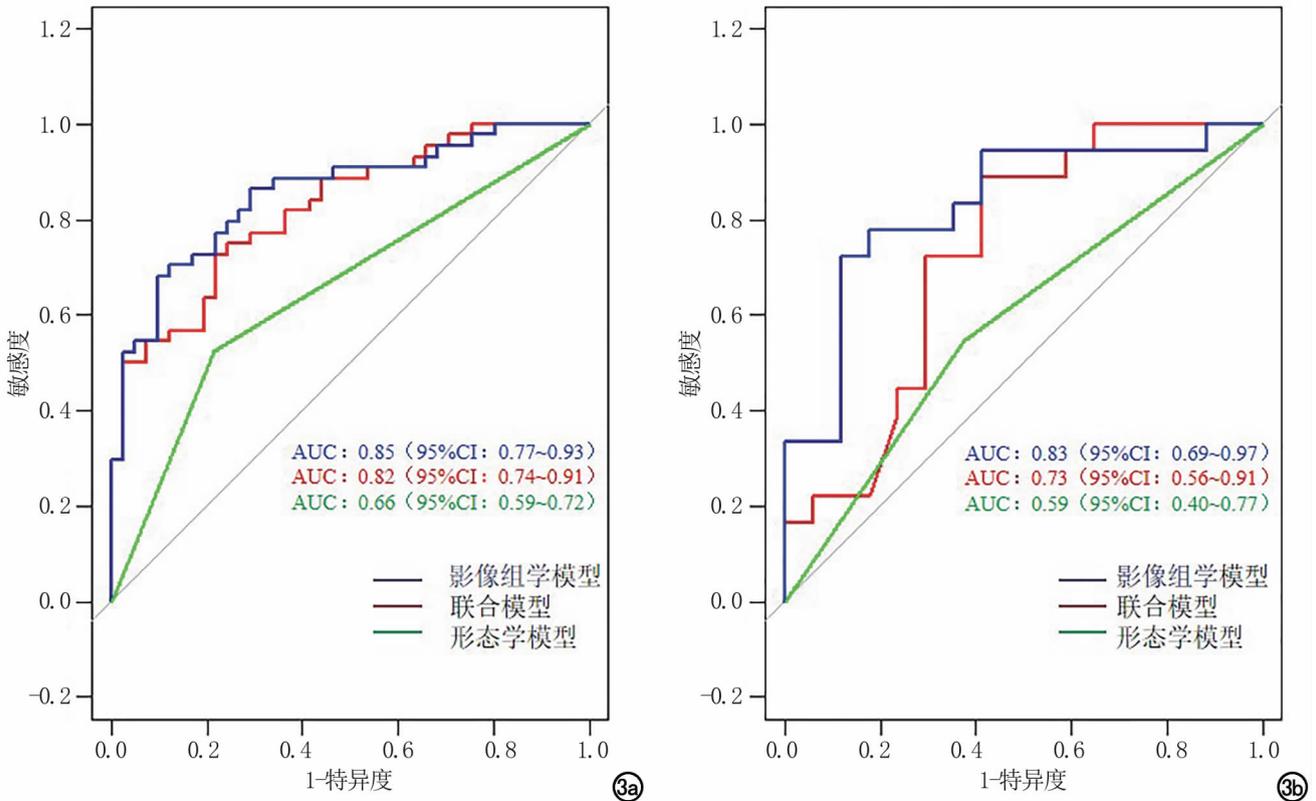


图 3 三个模型预测淋巴结转移状态的 ROC 曲线及 AUC 值, 蓝线代表影像组学模型, 红线代表联合模型, 绿线代表形态学模型。a) 训练集; b) 验证集。

特征, 采用 Logistic 回归建立影像组学模型, 然后再建立形态学模型及二者联合模型。采用五折交叉验证评估模型的泛化能力。将数据随机分为 5 份, 其中 4 份作为训练集, 1 份作为验证集, 反复交叉验证 5 次。

3. 模型诊断效能

在训练集中, 影像组学模型 AUC 为 0.85 (95% CI: 0.77~0.93), 形态学模型 AUC 为 0.66 (95% CI: 0.59~0.72), 二者联合模型 AUC 为 0.82 (95% CI: 0.74~0.91); 在验证集中, 影像组学模型 AUC 为 0.83 (95% CI: 0.69~0.97), 形态学模型 AUC 为 0.59 (95% CI: 0.40~0.77), 二者联合模型 AUC 为 0.73 (95% CI: 0.56~0.91), 见图 3。在训练集和验证集中, 影像组学模型效能的符合率、敏感度及特异度分别为 0.79、0.73、0.86 和 0.80、0.79、0.82 (表 2)。

表 2 3 种模型的预测结果

模型	符合率	敏感度	特异度
训练集			
影像组学模型	0.79	0.73	0.86
形态学诊断模型	0.71	0.80	0.50
联合模型	0.75	0.74	0.77
验证集			
影像组学模型	0.80	0.78	0.82
形态学诊断模型	0.40	0.60	0.25
联合模型	0.71	0.71	0.72

Delong 检验显示在训练集和验证集中, 影像组学

模型与形态学模型、联合模型与形态学模型差异均有统计学意义 (训练集 $P=0.0025$ 、 0.0002 , 验证集 $P=0.0008$ 、 0.0173), 而联合模型与影像组模型差异无统计学意义 (P 值为 0.1575 及 0.2633)。

讨论

颈部毛细血管网及淋巴管网丰富, 易出现淋巴结转移。颈部淋巴结转移是喉癌远处转移的标志之一^[13], 术前及时准确地诊断颈部淋巴结转移, 对临床医生选择合适的治疗方式及患者的预后都极为重要。本研究创新性在于采用基于 CT 的影像组学方法, 对术前喉癌患者原发病灶进行勾画、提取特征并建立影像组学模型, 同时根据 CT 图像颈部淋巴结的转移状态建立形态学模型以及两者的联合模型, 基于术后淋巴结的病理状态, 从而对喉癌颈部淋巴结的转移状态进行术前无创预测, 比较了三个模型对淋巴结转移预测的效能差异, 结果显示影像组学模型可以术前更好地预测喉癌淋巴结转移, 其诊断效能高于形态学模型。

临床上诊断淋巴结转移的无创性检查方法有超声、CT、MRI 和 PET-CT。超声检查操作简便、价格优惠, 但对喉后淋巴结状态判断受限, 同时对超声医师操作水平及临床经验要求较高。MRI 对软组织具有良好的对比度, 但其空间分辨率低, 扫描时间长且易受吞

咽及呼吸运动影响产生伪影,进而影响淋巴结状态评估。相对于 CT 检查,MR 扫描时间长,费用较贵,且图像质量控制受限,而应用 CT 影像组学技术对喉癌原发灶勾画、提取特征并建立模型来术前预测淋巴结转移的报道很少。PET-CT 检查费用昂贵且研究表明 PET-CT 对颈部淋巴结转移的敏感性较低^[14]。而 Kim 等^[15]认为仅凭 CT 对喉癌患者进行准确 TNM 分期的可靠性不足。确诊淋巴结转移状态的金标准是颈部淋巴清扫及病理活检。该方法为有创检查,对大多数早期喉癌患者可能会导致过度治疗,增加不必要的风险及术后并发症。同时,常规的病理活检不能及时发现喉癌患者颈部淋巴结中的微转移(淋巴结中直径小于 2.0 mm 的肿瘤细胞团)^[16-17]。

影像组学的概念由荷兰学者 Lambin 教授于 2012 年首次提出^[18]。传统的检查方法是利用视觉在解剖层面上对淋巴结转移状态进行分析,影像组学技术通过提取高通量特征,定量分析 ROI 属性,能够更准确地反应肿瘤的异质性和生物学特性,对肿瘤淋巴结转移的无创定量评估开辟了新的思路^[19-20]。同时,为病理活检中不能及时发现淋巴结微转移的定性研究提供了新的可能。目前应用影像组学术前预测肿瘤淋巴结转移方面的研究相对较少,Jiang 等^[9]基于 CT 图像,对胃癌原发灶进行勾画,提取影像组学特征并构建影像组学标签,结合临床病理变量构建列线图来预测胃癌淋巴结转移;Qing 等^[10]基于 MR 图像对宫颈癌病灶及瘤周组织进行勾画,提取影像组学特征并建立模型来预测淋巴结转移状态;Huang 等^[11]基于 CT 图像,对直肠癌原发病灶进行勾画、提取特征,建立影像组学标签,并结合 CT 报告中淋巴结状态及独立临床病理危险因素构建列线图来预测直肠癌淋巴结转移;谭显政等^[21]基于 MR 图像通过对直肠癌原发灶进行勾画提取特征,建立影像组学分类器来预测直肠癌淋巴结转移,结果显示基于原发灶所提取特征建立的模型对肿瘤淋巴结转移都具有较好的预测效能,充分说明该方法对预测肿瘤淋巴结转移具有巨大的价值。该方法应用于喉癌方面的研究非常少见,贾传亮等^[22]构建 MR 影像组学列线图对喉癌患者淋巴结转移状态进行预测,结果显示列线图有良好的预测效能。

本研究采用基于 CT 的影像组学的方法,对术前喉癌患者以原发病灶为兴趣区进行勾画并建立模型,从而对喉癌颈部淋巴结转移状态进行无创预测。本研究最终筛选出 5 个影像组学特征,Entropy 属于一阶特征,代表直方图中像素分布的均匀性,可全局反映肿瘤内部结构和不均质度;Large dependence high gray-level emphasis 属于灰度依赖矩阵(gray level dependence matrix, GLDM)特征,通过测量具有较高灰度值

的大相关性的联合分布来量化图像的灰度依赖;Informational measure of correlation 及 Dissimilarity 属于灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)特征,作用是量化纹理的复杂性;Small Zone High Gray-level Emphasis 属于灰度大小区域矩阵(gray level size zone matrix, GLSZM)特征,通过测量图像中具有较高灰度值的小尺寸区域联合分布的比例来量化图像中的灰度区域,以上 4 个特征均属于纹理特征,通过像素及其周围空间领域的灰度分布对肿瘤区域体系及强度的空间排列信息进行描述,从局部反映瘤内异质性。基于以上影像组学特征所构建的影像组学模型取得良好的符合率、敏感度及特异度,在训练集及验证集中 AUC 分别为 0.85 及 0.83,充分说明喉癌原发灶与转移淋巴结之间相关性较好,这与瞿娇等^[23]研究结果一致。田庚等^[4]对比分析 46 例喉癌及咽喉癌患者的病理淋巴结状态与螺旋 CT 上颈部淋巴结转移状态,发现术前螺旋 CT 对颈部淋巴结转移的检出率较高;张培栋等^[24]采用多层螺旋 CT 对 146 例喉癌患者的颈部淋巴结转移状态进行分析,结果表明多层螺旋 CT 对喉癌淋巴结转移状态的预测效能较高;本研究基于 CT 的形态学模型在训练集及验证集中的 AUC 分别为 0.66 及 0.59,说明螺旋 CT 对预测喉癌淋巴结转移具有一定的诊断效能。基于肿瘤体积的影像组学模型是对肿瘤本身数据进行分析,而基于增强 CT 图像形态学模型是对淋巴结本身状态进行评估,两者相互独立,又相互关联。本研究将二者构建联合模型,联合模型在训练集及验证集中的 AUC 分别为 0.82 及 0.73。DeLong 检验显示在训练集和验证集中,影像组学模型与形态学模型、联合模型与形态学模型差异均有统计学意义($P < 0.05$),而联合模型与影像组模型差异无统计学意义($P > 0.05$)。结果表明,影像组学模型及联合模型对喉癌颈部淋巴结转移均具有较好的预测效能,两者预测效能相当,且均高于形态学模型。说明基于 CT 图像对喉癌原发灶勾画所建立的影像组学模型作为一种术前无创预测喉癌颈部淋巴结转移的工具,具有良好的应用前景。

本研究的局限性在于:①肿瘤的 VOI 由放射科医师手动绘制,主观性较大,可重复性偏低;②样本量较小,且均来自同一中心;③本研究采用回顾性的研究方法,后续笔者考虑结合前瞻性研究,提高模型泛化能力;④未融合临床病理及分子生物学信息,可能会降低模型的预测效能。

综上所述,基于喉癌病灶为兴趣区的 CT 影像组学模型可用于术前预测患者颈部淋巴结转移,且其诊断效能高于形态学模型,可对临床医生治疗决策提供参考。

参考文献:

- [1] 于华,辛玉芬,段晓东,等. 喉癌的流行病学病因学动态分析[J]. 现代生物医学进展,2007,7(3):393-395.
- [2] 黄兆选,汪吉宝,孔维佳,等. 实用耳鼻咽喉头颈外科学[M]. 北京:人民卫生出版社,2008:488-493.
- [3] Jurkiewicz D,Dzaman K,Rapiejko P. Laryngeal cancer risk factors [J]. Pol Merkur Lekarski,2006,21(121):94-98.
- [4] 田庚,郑景珍. 螺旋 CT 检查在喉癌及咽喉癌颈部淋巴结转移中的诊断价值[J]. 中国辐射卫生,2016,25(2):240-242.
- [5] Ma H,Lian M,Feng L,et al. Management of cervical lymph nodes for cN0 advanced glottic laryngeal carcinoma and its long-term results[J]. Acta Otolaryngol,2014,134(9):952-958.
- [6] Platzek I,Beuthien-Baumann B,Schneider M,et al. FDG PET/MR for lymph node staging in head and neck cancer[J]. Eur J Radiol,2014,83(7):1163-1168.
- [7] Eisenmenger LB,Wiggins RH 3rd. Imaging of head and neck lymph nodes[J]. Radiol Clin North Am,2015,53(1):115-132.
- [8] Tongtong Liu, Shichong Zhou, Jinhua Yu, et al. Prediction of lymph node metastasis in patients with papillary thyroid carcinoma; A radiomics method based on preoperative ultrasound images [J]. Technol Cancer Res Treat,2019,18:1-13.
- [9] Jiang Y,Wang W,Chen C,et al. Radiomics signature on computed tomography imaging; association with lymph node metastasis in patients with gastric cancer[J]. Front Oncol,2019,9:340.
- [10] Qing Wu,Shuo Wang,Xi Chen,et al. Radiomics analysis of magnetic resonance imaging improves diagnostic performance of lymph node metastasis in patients with cervical cancer[J]. Radiother Oncol,2019,138:141-148.
- [11] Huang YQ,Liang CH,He L,et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer[J]. J Clin Oncol,2016,34(18):2157-2164.
- [12] Sun J,Li B,Li CJ,et al. Computed tomography versus magnetic resonance imaging for diagnosing cervical lymph node metastasis of head and neck cancer;a systematic review and meta-analysis [J]. Onco Targets Ther,2015,8:1291-1313.
- [13] 陈付华,麻宁. 中晚期喉癌患者颈部淋巴结转移状况及相关影响因素分析[J]. 实用癌症杂志,2016,31(7):1172-1174.
- [14] Lee HJ, Kim J, Woo HY, et al. ¹⁸F-FDG PET-CT as a supplement to CT/MRI for detection of nodal metastasis in hypopharyngeal SCC with palpably negative neck [J]. Laryngoscope,2015,125(7):1607-1612.
- [15] Kim JW,Roh JL, Kim JS, et al. Evaluation of ¹⁸F-FDG PET/CT and CT/MRI with histopathologic correlation in patients undergoing central compartment neck dissection for squamous cell carcinoma of the larynx, hypopharynx, and esophagus [J]. Oral Oncol,2013,49(5):449-453.
- [16] 汪萍,刘业海,徐潜生,等. 不同声门型喉癌喉前淋巴结转移研究[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科,2016,23(9):498-500.
- [17] Ferrandina G,Pedone Anchorà L,Gallotta V, et al. Can we define the risk of lymph node metastasis in early-stage cervical cancer patients? A large-scale, retrospective study [J]. Ann Surg Oncol,2017,24(8):2311-2313.
- [18] Lambin P,Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis [J]. Eur J Cancer,2012,48:441-446.
- [19] Kiessling F. The changing face of cancer diagnosis: from computational image analysis to systems biology [J]. Eur Radiol,2018,28(8):3160-3164.
- [20] 谢凯,孙鸿飞,林涛,等. 影像组学中特征提取研究进展[J]. 中国医学影像技术,2017,33(12):1792-1796.
- [21] 谭显政,陈浩,张亭,等. 基于影像组学分类器术前预测直肠非黏液性腺癌淋巴结转移[J]. 中南大学学报,2019,44(3):271-276.
- [22] 贾传亮,曹媛,宋晴,等. 基于 MR 的影像组学列线图预测喉癌颈淋巴结转移的临床价值[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2020,55(12):1154-1161.
- [23] 瞿娇,张梦梅,郑凌琳,等. 双能量 CT 定量参数对喉癌转移淋巴结的定性评估价值[J]. 实用医学杂志,2019,35(20):3235-3238.
- [24] 张培栋,凌鑫,王敏杰. 多层螺旋 CT 在喉癌及咽喉癌颈部淋巴结转移中的诊断价值[J]. 癌症进展,2019,17(19):2333-2335.

(收稿日期:2021-01-04 修回日期:2021-06-26)