



· 论 著 ·

多参数MRI影像组学模型对进展期鼻咽癌局部复发的预测价值

倪云燕¹, 陈 照², 陈韵彬¹

1. 福建省肿瘤医院, 福建医科大学附属肿瘤医院放诊科, 福建 福州 350000;
2. 福建省福州肺科医院影像科, 福建 福州 350000

[摘要] 目的: 探讨多参数磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)影像组学模型对进展期鼻咽癌(nasopharyngeal carcinoma, NPC)局部复发的预测价值。方法: 回顾并分析经病理学检查证实的86例进展期NPC的临床及影像学资料, 将35例经病理学检查证实复发的患者列入复发组, 51例随访无复发的患者列入无复发组。所有患者均行MRI扫描, 采集初诊、放疗结束时及放疗后6个月共3个时间点的轴位T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)增强扫描、T2加权成像(T2 weighted imaging, T2WI)-短时间反转恢复(short time inversion recovery, STIR), 采用Spearman相关分析提取特征参数, 递归特征消除(recursive feature elimination, RFE)算法对冗余特征进行降维, 再通过Ridge Classifier机器学习得到预测模型, 5折交叉验证法训练并验证模型。结果: 进展期NPC复发组的复发间隔时间为7~61个月, 中位时间为24个月。基于3个时间点T2WI-STIR及T1WI增强图像最终提取了15个与进展期NPC局部复发相关的特征参数, 其中包括灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)参数8个, 灰度游程矩阵(gray level run length matrix, GLRLM)参数3个, FirstOrder特征集参数2个, 相邻灰度差分矩阵(neighboring gray tone difference matrix, NGTDM)参数1个, 灰度级带矩阵(gray level size zone matrix, GLSZM)参数1个; 初诊时图像特征参数2个, 放疗结束时9个, 放疗后4个。依据特征参数建立线性回归模型, 其平均灵敏度为82.9%, 平均特异度为98.0%, 平均准确度为91.8%, 平均曲线下面积(area under curve, AUC)值为0.953。结论: 多参数MRI放射组学模型对预测进展期NPC患者局部复发的性能较好, 能为评估进展期NPC复发风险提供参考。

[关键词] 鼻咽癌; 磁共振成像; 影像组学; 复发; 预测模型

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.01.010

中图分类号: R739.63; R445.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2022)01-0057-07

Predictive value of multi-parametric MRI radiomics model for local recurrence of advanced nasopharyngeal carcinoma NI Yunyan¹, CHEN Zhao², CHEN Yunbin¹ (1. Department of Diagnostic Radiology, Fujian Cancer Hospital & Fujian Medical University Cancer Hospital, Fuzhou 350000, Fujian Province, China; 2. Department of Radiology, Fuzhou Pulmonary Hospital, Fuzhou 350000, Fujian Province, China)

Correspondence to: CHEN Yunbin E-mail: yunbinchen@126.com

[Abstract] **Objective:** To explore the predictive value of multi-parametric magnetic resonance imaging (MRI) radiomics model for local recurrence of advanced nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods:** A total of 86 cases pathologically confirmed advanced NPC with clinical data and imaging data were analyzed retrospectively. According to the follow-up data, 35 patients of NPC recurrence confirmed by pathology were included in recurrent group. The rest of 51 patients without recurrent evidence at pathology and imaging data were included in non-recurrent group. All enrolled subjects underwent MRI scans. Contrast-enhanced T1-weighted imaging (T1WI), T2 weighted imaging (T2WI)-short time inversion recovery (STIR) were acquired at the initial diagnosis, the end of radiotherapy and 6 months after radiotherapy respectively. Spearman correlation analysis and recursive feature elimination (RFE) were used to extract and reduce the redundant features. The predictive model is constructed by the Ridge Classifier learning. Additionally, the model was trained and verified by the 5-fold cross-validation method. **Results:** The recurrence interval

was 7-61 months, and the median time was 24 months. Based on three time points of T2WI-STIR and contrast-enhanced T1WI images, 15 features parameters related to local recurrence of advanced NPC were extracted, including 8 parameters of gray level co-occurrence matrix (GLCM), 3 parameters of gray level run length matrix (GLRLM), 2 parameters of FirstOrder feature set, 1 parameter of neighboring gray tone difference matrix (NGTDM) and 1 parameter of gray level size zone matrix (GLSZM); including 2 feature parameters at initial diagnosis, 9 at the end of radiotherapy and 4 after radiotherapy. A linear regression model was obtained. The average sensitivity, specificity, accuracy and area under curve (AUC) were 82.9%, 98.0%, 91.8% and 0.953, respectively. **Conclusion:** Multi-parametric MRI radiomics model has a good performance in predicting the local recurrence of advanced NPC, which can provide a reference for evaluating the risk of recurrent NPC.

[**Key words**] Nasopharyngeal carcinoma; Magnetic resonance imaging; Radiomics; Recurrence; Predictive model

鼻咽癌 (nasopharyngeal carcinoma, NPC) 是常见的头颈部恶性肿瘤, 具有显著的种族及地域特征, 其分布的区域主要为中国南方及东南亚地区。尽管NPC的局部控制率及5年总生存率已有所提高, 但复发风险依然存在。相关研究^[1-2]表明NPC照射野内的局部复发是其主要复发模式, 放射线抵抗可能是造成NPC局部复发的主要原因。肿瘤复发的中位时间多为首次放疗结束后24~26个月^[3-4], 复发率占8%~10%^[5-7], 早期预测NPC的复发对改善NPC复发患者的预后和延长生存期至关重要。目前鼻咽镜下取活组织进行病理学检查是诊断NPC复发的常用方法, 但放射治疗后黏膜炎症或结痂可能妨碍内镜对复发的检出。计算机体层成像 (computed tomography, CT) 检查虽能评估病灶及邻近组织器官的浸润情况, 但其软组织分辨率较磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 低, 不能显示鼻咽部微小病灶^[8]。MRI软组织分辨率较高, 能够更清晰地显示细微病变及精确的病变范围。目前MRI是NPC TNM分期最重要的影像学检查, 临床分期意见中明确推荐使用MRI作为分期的影像学检查方法。本文基于复发NPC患者初诊、放疗结束时及放疗后3~6个月3个时间点的MRI图像, 建立多参数影像组学模型以期预测进展期NPC的局部复发。

1 资料和方法

1.1 研究对象

回顾并分析2011年7月—2016年12月福建省肿瘤医院经病理学检查证实的进展期NPC患者,

依据随访至2018年11月的临床、病理学及影像学资料, 入组研究对象共86例, 将其分为复发组与无复发组。复发组35例, 男性31例, 女性4例, 年龄34~73岁, 平均年龄 (50 ± 10) 岁; 无复发组51例, 男性35例, 女性16例, 年龄17~67岁, 平均年龄 (45 ± 11) 岁。研究对象均进行放射治疗, 总剂量68~70 Gy, 分31~35次照射。大部分患者联合诱导及同步化疗, 化疗方案基于铂类化疗药物; 2例复发组患者由于自身无法耐受化疗不良反应, 仅进行单纯放疗; 3例复发组及6例非复发组患者入组临床试验, 联合诱导化疗, 化疗方案为顺铂+5-氟尿嘧啶+四氢叶酸+左亚叶酸钙。

纳入标准: ① 临床分期 III-IVb 期 [国际抗癌联盟 (Union for International Cancer Control, UICC) 美国癌症联合会 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 第7版] 初诊NPC患者; ② 初诊、放疗结束时及放疗后6个月均在福建省肿瘤医院行鼻咽部MRI平扫+增强扫描; ③ 复发组仅为鼻咽原发部位复发, 进行鼻咽镜组织活检并由病理学检查证实复发; ④ 具备完整及规范的临床诊治过程。

排除标准: ① 不符合纳入标准任意一项者; ② 初诊扫描前病灶进行穿刺活检、手术、放化疗等干预措施; ③ 存在影响影像观察的明显伪影。

1.2 MRI扫描方法

采用荷兰Philips公司的Achieva TX 3.0 T超导MRI仪。采用16通道头颈联合线圈, 扫描范围自颅底至胸廓入口, 扫描序列包括轴位T1加权成像 (T1 weighted imaging, T1WI)、T2WI-短时间反转恢复 (short time inversion recovery, STIR)、弥散加权成像 (diffusion-

weighted imaging, DWI)、矢状位T1WI, 以及冠状、矢状、轴位T1WI增强扫描序列。本研究选取了轴位T2WI-STIR及T1WI增强扫描图像。T2WI-STIR: 重复时间 (repetition time, TR) 为7 620 ms, 回波时间 (echo time, TE) 为60 ms, 回波链长度 (echo chain length, ETL) 为16, 视野 (field of view, FOV) 为230 mm × 260 mm, 层厚/层间距=5 mm/1 mm, 层数37层, 扫描时间137 s。T1WI增强扫描: 高压注射器经肘静脉注射钆喷替酸葡甲胺注射液 (Gd-DTPA), 剂量0.1~0.2 mmol/kg; TR为500 ms, TE为8.1 ms, ETL为5, FOV为240 mm × 240 mm, 层厚/层间距=5 mm/1 mm, 层数37层, 扫描时间为114 s。

1.3 图像分析

1.3.1 图像导出

将患者初诊、放疗结束时及放疗后3~6个

月3个时间点的T2WI-STIR及T1WI增强图像均从影像存储与传输系统 (picture archiving and communication systems, PACS) 导出, 保存为DICOM格式, 待进一步分析。

1.3.2 图像预处理

所有图像的处理均采用荷兰Philips公司自主研发的Philips Radiomics Tool软件。勾选该软件图像预处理选项, 软件自动完成图像变换, 其中包括图像强度标准化及图像灰阶离散化两个过程。

1.3.3 勾画感兴趣容积 (volume of interest, VOI) 和感兴趣区 (region of interest, ROI)

采用Philips Radiomics Tool软件勾画VOI, 由1名住院医师沿着肿瘤边缘逐层手动勾画ROI, 并由1名经验丰富的具有副主任医师以上职称的放射科医师核对ROI, 最终得到肿瘤的三维容积图像 (图1)。

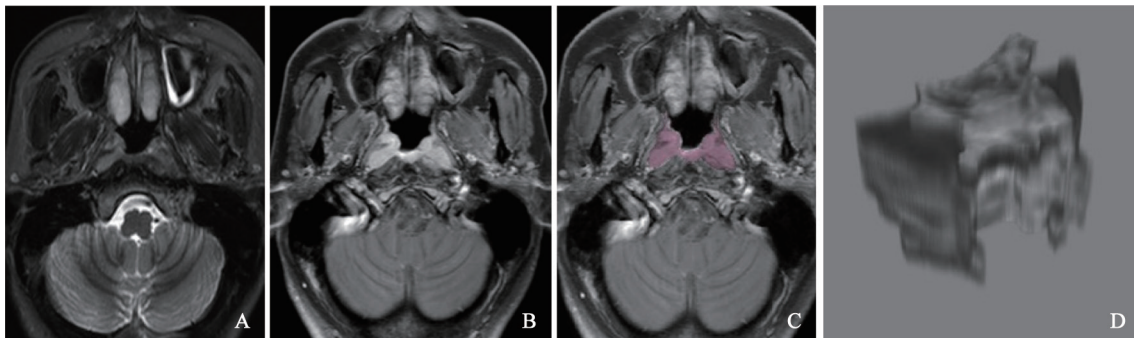


图1 未复发NPC患者MRI图像

患者, 男性, 44岁, 2012年5月初诊NPC非角化未分化型, T₃N₂M₀ III期, 先诱导并同步放化疗, 放疗总剂量7 095 cGy, 分33次照射, 随访至2018年7月未复发。A、B分别为T2WI-STIR及T1WI增强轴位图像, 显示鼻咽部浸润性病灶T2WI高信号, 增强扫描明显强化; C: T1WI增强图像上勾画的ROI; D: 得到三维VOI。

1.3.4 图像特征提取及降维

本研究对患者初诊、放疗结束时及放疗后3~6个月3个时间点的T2WI-STIR及T1WI增强图像进行了纹理特征提取。部分特征参数是基于原始图像数据算出, 如一阶统计量和基于形状特征参数, 部分特征参数基于小波变换的图像数据算出, 剩余部分特征参数基于拉普拉斯变换的图像数据算出。所有特征值先采用最大-最小值归一化算法进行归一标准化公式(1)。

$$X_{\text{normal}} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (1)$$

X 为未经归一标准化的特征参数值, X_{max} 和 X_{min} 分别为其最大值与最小值。

总共提取了1 227个纹理特征, 随后采用Spearman相关分析及回归特征消除 (recursive feature elimination, RFE) 算法对图像数据进行特征参数提取及降维。第一步, 提取与两组分类相关性大的特征参数。采用Spearman相关分析, 分析特征参数与Label (设定复发组Label为1, 无复发组Label为0) 之间的相关性, 筛选出相关系数大于0.2, 且 $P < 0.05$ 的特征参数。第二步, 去除冗余成分。对筛选得到的特征值通过RFE算法去除高度相关的冗余特征, 最终筛选保留与Label相关性强的15个特征参数。

1.3.5 机器学习模型的建立、训练及验证

为避免图像数据的过拟合, 采用5折交叉验证法训练并验证机器学习分类器及预测模型。将图像数据分为5份, 轮流将其中4份进行训练, 剩余的1份用于验证, 获得模型训练组与验证组的混淆矩阵, 5次结果的均值作为对分类器及预测模型精度的估计。绘制受试者工作特征 (received operating characteristic, ROC) 曲线, 获得曲线下面积 (area under curve, AUC) 并评估预测模型性能。

1.4 统计学处理

本研究的所有统计学分析均由SPSS 20.0统计软件完成。① 符合正态分布的计量资料, 平均年龄用 $\bar{x} \pm s$ 表示; ② 复发组与无复发组之间的年龄差异比较, 采用两独立样本 t 检验; 两组临床分期、T分期、N分期、性别及病理学类型差异比较, 采用 χ^2 检验或Fisher精确概率检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义; Fisher精确概率检验各组需要进行两两比较时, 根据Bonferroni法调整显著性水平 (调整 $\alpha = \text{原}\alpha / \text{比较次数}$), 作为判断两两比较的显著性水平; ③ 利用混淆矩阵验证预测模型性能; ④ 采用Python语言编写程序对图像数据进行分析。

2 结果

2.1 临床资料

进展期NPC复发组与无复发组初诊的主要病理学类型为非角化型未分化癌; 复发组的复发间隔时间为7~61个月, 中位时间为24个月; 无复发组的随访时间范围为21~79个月, 中位时间为52个月。复发组与无复发组性别差异有统计学意义 ($\chi^2 = 4.626, P < 0.05$); 年龄、临床分期、T分期、N分期及病理学类型两组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$, 表1)。

根据Bonferroni法调整显著性水平, 病理学类型调整 $\alpha = 0.0167$, N分期调整 $\alpha = 0.0083$ 。

2.2 纹理分析结果

2.2.1 取得线性回归模型

提取图像的一阶统计量FirstOrder、灰度

共生矩阵 (gray level co-occurrence matrix, GLCM)、灰度游程矩阵 (gray level run length matrix, GLRLM)、灰度区域大小矩阵 (gray level size zone matrix, GLSZM)、邻域灰度差矩阵 (neighboring gray tone difference matrix, NGTDM) 相关的纹理特征, 筛选保留15个与Label具有明显相关性的特征参数, 其中诊断效能最高的是基于放疗结束时T1WI增强图像提取的逆方差 (inverse variance), 其AUC为0.78, 灵敏度为65%, 特异度为71% (图2)。

表1 NPC复发组与无复发组临床资料

项目	复发组 (n=35)	无复发组 (n=51)	t 或 χ^2 值	P 值
性别			4.626	0.031
男性	31	35		
女性	4	16		
年龄/岁				
范围	34~73	17~67		
平均	50 ± 10	45 ± 12	1.949	0.055
病理学类型			6.911	>0.016
角化型	3	1		
非角化分化型	5	1		
非角化未分化型	27	49		
临床分期			0.174	0.676
III	19	30		
IV _{a-b}	16	21		
T分期			0.174	0.676
T ₃	19	30		
T ₄	16	21		
N分期			8.201	>0.008
N ₀	4	8		
N ₁	21	15		
N ₂	9	26		
N ₃	1	2		

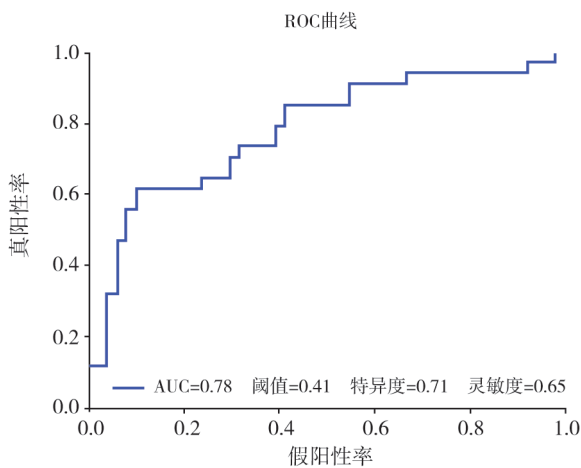


图2 基于放疗结束时T1WI增强图像提取的逆方差的诊断效能图

本研究筛选保留的15个特征参数通过Ridge Classifier分类器学习，最终得到十六元一次线性

回归模型公式(2)。

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + \dots + oX_{15} + w \quad (2)$$

w为常数-0.621； $X_1 \sim X_{15}$ 是归一化之后的特征参数数值 X_{normal} ；a~o为特征参数系数（表2）； $Y \geq 0.05$ 表示复发， $Y < 0.05$ 表示无复发。

2.2.2 线性回归模型预测性能评估

采用5折交叉验证法训练并验证预测模型，再采用混淆矩阵评估线性回归模型训练组及验证组的预测效能（图3），得到线性回归模型平均AUC为0.953，平均灵敏度为82.9%，平均特异度为98.0%，平均准确度为91.8%，阴性预测值0.895，阳性预测值0.967，假正类率0.020，假负类率0.171，伪发现率0.033，综合评分0.890（图4）。

表2 线性回归模型中的相关数值

特征参数	字母	系数	X值
Ongoing_T1WI_WaveletGLCM_wavelet-LLL_Imc2	a	0.936	X_1
Ongoing_T1WI_WaveletGLCM_wavelet-HLH_InverseVariance	b	0.889	X_2
Ongoing_T1WI_SquareGLSZM_square_LowGrayLevelZoneEmphasis	c	0.862	X_3
Ongoing_T2WI-STIR_SquareGLRLM_square_LongRunHighGrayLevelEmphasis	d	0.849	X_4
Ongoing_T2WI-STIR_LogarithmFirstOrder_logarithm_Kurtosis	e	0.833	X_5
Post-T2WI-STIR-SquareRootGLCM-squareroot-DifferenceVariance	f	0.770	X_6
Pre-T2WI-STIR-WaveletGLRLM-wavelet-LLL-LongRunLowGrayLevelEmphasis	g	0.732	X_7
Post-T2WI-STIR-WaveletGLRLM-wavelet-LHL-ShortRunLowGrayLevelEmphasis	h	0.590	X_8
Post-T1WI-ExponentialGLCM-exponential-Autocorrelation	i	0.422	X_9
Ongoing-T1WI-SquareRootGLCM-squareroot-Idmn	j	0.373	X_{10}
Post-T2WI-STIR-SquareRootGLCM-squareroot-Imc2	k	-0.402	X_{11}
Pre-T1WI-WaveletFirstOrder-wavelet-LHH-Skewness	l	-0.706	X_{12}
Ongoing-T1WI-WaveletGLCM-wavelet-LHL-MCC	m	-0.777	X_{13}
Ongoing-T2WI-STIR-WaveletNGTDM-wavelet-HHH-Contrast	n	-0.834	X_{14}
Ongoing-T2WI-STIR-LogarithmGLCM-logarithm-Imc1	o	-1.109	X_{15}

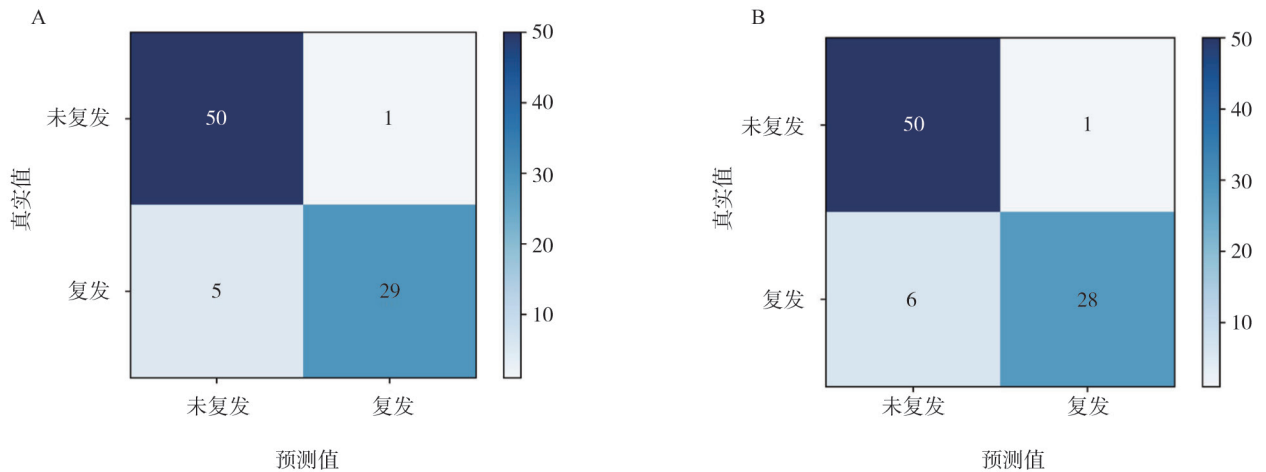


图3 线性回归模型效能图

A: 线性回归模型训练组混淆矩阵结果; B: 线性回归模型验证组混淆矩阵结果。

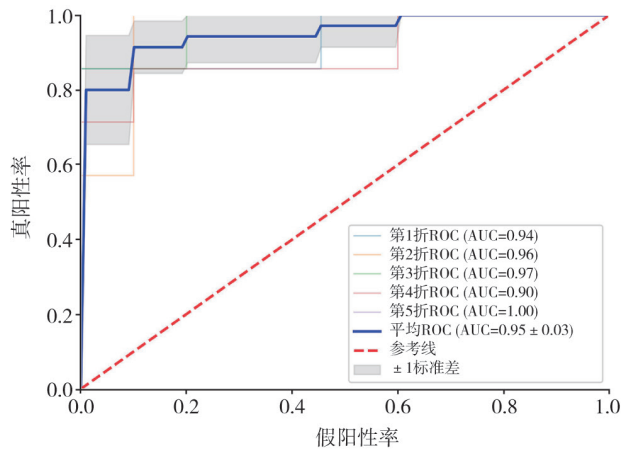


图4 线性回归模型预测性能ROC曲线

3 讨论

NPC复发是指鼻咽原发灶及淋巴结引流区域的肿瘤经规范化治疗后已完全消失, 距放疗结束6个月后在原发部位或相应淋巴结引流区域再次发现同类肿瘤, 并经活检或手术后病理学检查证实^[9]。本研究NPC复发组中男性的比例大于女性, 进展期NPC复发中位时间为24个月, 与既往研究^[3,4, 10]结果相符。在临床实践中, 部分NPC患者治疗后对放射线不敏感的亚群再度表现增生活跃, 最终造成肿瘤复发或转移, 因此, 评估量化肿瘤异质性对制订个体化的精准治疗方案十分重要。Cui等^[11]和Ganeshan等^[12]研究发现, 纹理特征与肿瘤内部缺氧和血管生成等异质性有

关。放射组学是基于影像形态、灰度、纹理分布等特征, 量化分析病灶内部肿瘤细胞分布稀疏度、出血、坏死、囊变及缺氧等情况。因此, 可通过影像组学评估肿瘤的异质性, 进而预测NPC的局部复发。

目前采用影像组学预测NPC局部复发的研究相对较少, Li等^[13]采用MRI影像组学结合机器学习模型预测放疗后NPC复发能力及复发模式, 结果显示, NPC复发主要是原发灶的复发(18/20), 其中人工神经网络(artificial neural network, ANN)预测模型AUC为0.812, 较其他机器学习模型具有更佳的预测能力。但是, 该研究仅包括初诊T2WI-精准频率反转恢复(spectrally adiabatic inversion recovery, SPAIR)图像, 并且样本量较小, 也未对放射组学模型进行独立的外部验证, 具有一定的局限性。本研究选取T2WI-STIR及T1WI增强序列, 同时选取初诊、放疗结束时及放疗结束后6个月共3个时间点的MRI图像进行分析, 最终筛选提取了15个特征参数, 涵盖了GLCM、GLRLM、FirstOrder、NGTDM及GLSZM参数, 其中诊断效能最高的是基于放疗结束时T1WI增强图像提取的逆方差, 其AUC为0.78, 灵敏度为65%, 特异度为71%。逆方差表征了图像像素的均匀程度, 放疗结束时病灶处纤维组织成熟度、血管形成情况、放疗后水肿及炎性渗出等病理组织成分多种多样,

导致MRI信号变得更为复杂,图像像素的均匀程度也相应发生了较大的改变。而基于特征参数建立线性回归模型,其AUC值得到大幅度提升,达到0.953,平均灵敏度为82.9%,平均特异度为98.0%,平均准确度为91.8%。由此可见,基于多参数MRI图像的预测模型包含了病灶横向和纵向更多的信息,并将图像的特征参数进行整合,因而对进展期NPC局部复发具有良好的预测效能。

Liu等^[14]研究显示T1WI增强序列纹理特征对放化疗效果的预测价值高于T2WI平扫及DWI图像,可能是由于放疗后复发灶血供丰富,动态增强后对比剂达峰时间短,灌注速度快,可以产生陡峭的动态增强上升曲线^[15],从而能够动态地呈现病灶内血液供应的变化情况,反映病灶内部是否存在充足血供、囊变、坏死等具体情况,因而相较于其他非增强序列可以获得更多的病灶内异质性信息。Wang等^[16]研究显示基于T1WI增强图像纹理特征构建的模型预测性能较好(AUC为0.715),而整合其他序列的特征参数后构建的模型能够提高预测性能(AUC为0.822),两者之间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

本研究仍存在一定的局限性,在基于3个时间点的图像信息所提取的15个特征参数中,放疗结束时提取的特征参数占多数(60.0%,9/15),其原因可能是放疗结束时病灶同时存在放疗后损伤、炎症与肿瘤内部异质性,该时间点病灶内部信息更为丰富,因此提取到的特征参数所占比例也较多。然而,该时间点病灶内部存在的异质性未经病理学检查证实,所以其预测局部复发的价值是否高于其他时间点有待进一步验证。

本研究基于MRI图像结合机器学习算法预测进展期NPC患者的局部复发,所构建的模型具有良好的预测性能,对临床诊治及患者预后预测具有较大的参考价值。

[参 考 文 献]

[1] WANG L J, GUO Y S, XU J H, et al. Clinical analysis of recurrence patterns in patients with nasopharyngeal carcinoma

treated with intensity-modulated radiotherapy [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2017, 126(12): 789-797.

[2] LI J X, HUANG S M, JIANG X H, et al. Local failure patterns for patients with nasopharyngeal carcinoma after intensity-modulated radiotherapy [J]. *Radiat Oncol*, 2014, 9: 87.

[3] MAO J, SHEN J, YANG Q, et al. Intravoxel incoherent motion MRI in differentiation between recurrent carcinoma and postchemoradiation fibrosis of the skull base in patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 44(6): 1556-1564.

[4] LIU J, YU H P, SUN X C, et al. Salvage endoscopic nasopharyngectomy for local recurrent or residual nasopharyngeal carcinoma: a 10-year experience [J]. *Int J Clin Oncol*, 2017, 22(5): 834-842.

[5] LEE N, XIA P, QUIVEY J M, et al. Intensity-modulated radiotherapy in the treatment of nasopharyngeal carcinoma: an update of the UCSF experience [J]. *Int J Radiat Oncol*, 2002, 53(1): 12-22.

[6] 卢泰祥, 韩非, 李嘉欣. 复发鼻咽癌临床研究进展 [J]. *中国癌症杂志*, 2008, 18(9): 661-666.

[7] 古冬连. 影像组学在鼻咽癌中的应用 [J]. *实用放射学杂志*, 2020, 36(12): 2036-2038.

[8] 何汇朗, 刘辉明, 许森奎, 等. MR弥散加权成像预测鼻咽癌放疗预后的价值 [J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(1): 13-17.

[9] 张兰芳, 黄生富, 魏宝清, 等. 局部复发鼻咽癌的MRI诊断及临床意义 [J]. *放射学实践*, 2011, 26(1): 17-21.

[10] LI J X, LU T X, HUANG Y, et al. Clinical characteristics of recurrent nasopharyngeal carcinoma in high-incidence area [J]. *The Scientific World Journal*, 2012, 2012: 719754.

[11] CUI C Y, CAI H M, LIU L Z, et al. Quantitative analysis and prediction of regional lymph node status in rectal cancer based on computed tomography imaging [J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(11): 2318-2325.

[12] GANESHAN B, GOH V, MANDEVILLE H C, et al. Non-small cell lung cancer: histopathologic correlates for texture parameters at CT [J]. *Radiology*, 2013, 266(1): 326-336.

[13] LI S, WANG K, HOU Z, et al. Use of radiomics combined with machine learning method in the recurrence patterns after intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma: a preliminary study [J]. *Front Oncol*, 2018, 8: 648.

[14] LIU J, MAO Y, LI Z J, et al. Use of texture analysis based on contrast-enhanced MRI to predict treatment response to chemoradiotherapy in nasopharyngeal carcinoma [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 44(2): 445-455.

[15] 杨春李, 吴伟莉, 金风, 等. 动态增强磁共振参数与局部晚期鼻咽癌患者预后相关性的前瞻性长期随访研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40(6): 446-453.

[16] WANG G Y, HE L, YUAN C, et al. Pretreatment MR imaging radiomics signatures for response prediction to induction chemotherapy in patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. *Eur J Radiol*, 2018, 98: 100-106.

(收稿日期: 2021-10-22 修回日期: 2021-11-23)