

## 论 著

## 多参数磁共振成像直方图预测前列腺癌Ki-67的表达\*

巴志霞 巴一羽 安芳军  
杨文明 吴桂秀 魏 铭\*  
李 静河西学院附属张掖人民医院影像研究所  
(甘肃 张掖 734500)

**【摘要】目的** 探究多参数磁共振成像的直方图特征预测前列腺癌(prostate cancer, PCa)Ki-67表达的价值。**方法** 回顾性收集了河西学院附属张掖人民医院PCa患者195例,按照7:3的比例分为训练集和验证集(58例),将训练集再按7:3的比例分为训练集(100例)和测试集(37例),从T2加权成像(T2WI)、弥散加权成像(DWI)、表观弥散系数(ADC)和DCE-MRI定量参数图中分别提取18个一阶直方图特征,采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)逻辑回归选择最有价值的特征,计算Radscore并于临床因素进行Logistic单因素、多因素分析,将多因素有意义的特征分别构建临床模型、Radscore模型和联合模型。使用接收者工作特征(ROC)分析模型的预测效能,用校准曲线进行校准,用决策曲线分析(DCA)评估模型的临床应用。**结果** 筛选出的12个直方图特征计算的Radscore在Ki-67高表达和低表达中有明显差异,多因素分析中显示TPSA、穿刺阳性针数、Radscore是预测Ki-67的独立预测因素,分别构建Radscore模型、临床模型和联合模型,训练集中Radscore模型的AUC为0.821,临床模型的AUC为0.844,联合模型的AUC为0.953,测试集中Radscore模型的AUC为0.737,临床模型的AUC为0.762,联合模型的AUC为0.861,验证集中Radscore模型的AUC为0.793,临床模型的AUC为0.813,联合模型的AUC为0.934,联合模型的预测效能最高,可以用来预测Ki-67表达,基于联合模型的参数构建列线图。**结论** 基于多参数磁共振成像直方图特征构建的Radscore模型可以预测Ki-67表达水平,联合临床因素会进一步提高预测价值,为临床决策提供可靠依据。

**【关键词】** 多参数磁共振成像;直方图;  
前列腺癌;Ki-67

**【中图分类号】** R737.25

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 甘肃省创新基金项目(2025B-190);  
张掖市科技局基金(ZY2024BJ08)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.032

## Multiparametric Magnetic Resonance Imaging Histogram Predicts the Expression of Ki-67 in Prostate Cancer\*

BA Zhi-xia, BA Yi-yu, AN Fang-jun, YANG Wen-ming, WU Gui-xiu, WEI Ming\*, LI Jing.

Institute of Imaging, Zhangye People's Hospital Affiliated to Hexi University, Zhangye 734500, Gansu Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the value of histogram features of multiparametric magnetic resonance imaging in predicting the expression of Ki-67 in prostate cancer (PCa). **Methods** A total of 195 PCa patients from Zhangye People's Hospital affiliated to Hexi University were retrospectively collected, and they were divided into training set and validation set (58 cases) according to the ratio of 7:3, and the training set was divided into training set (100 cases) and test set (37 cases) according to the ratio of 7:3, and 18 first-order histogram features were extracted from T2-weighted imaging (T2WI), diffusion-weighted imaging (DWI), apparent diffusion coefficient (ADC) and DCE-MRI quantitative parameter maps, respectively. LASSO logistic regression selected the most valuable features, calculated the Radscore, and performed logistic univariate and multivariate analysis of clinical factors, and constructed the clinical model, Radscore model and joint model of multivariate meaningful features, respectively. The predictive performance of the model was analyzed using the receiver operating characteristic (ROC), calibrated with a calibration curve, and the clinical application of the model was evaluated by decision curve analysis (DCA). **Results** The Radscore calculated by the 12 histogram features screened out was significantly different from the high and low expression of Ki-67, and multivariate analysis showed that TPSA, the number of positive puncture needles, and Radscore were the independent predictors of Ki-67. The AUC of the Radscore model in the training set was 0.821, the AUC of the clinical model was 0.844, the AUC of the combined model was 0.953, the AUC of the Radscore model in the test set was 0.737, and the AUC of the clinical model was 0.762, The AUC of the joint model was 0.861, the AUC of the Radscore model in the validation set was 0.793, the AUC of the clinical model was 0.813, and the AUC of the joint model was 0.934. **Conclusion** The Radscore model based on multiparametric magnetic resonance imaging histogram features can predict the expression level of Ki-67, and the combination of clinical factors will further improve the predictive value and provide a reliable basis for clinical decision-making.

**Keywords:** Multiparametric Magnetic Resonance Imaging; Histogram; Prostate Cancer; Ki-67

前列腺癌(prostate cancer, PCa)占男性恶性肿瘤的第二位<sup>[1]</sup>,近年来其发病率和死亡率逐渐上升,PCa的预后与肿瘤的侵袭性和异质性密切相关<sup>[2]</sup>。Ki-67是一种反映细胞增殖活性的标志物<sup>[3]</sup>。在前列腺癌组织中,Ki-67的表达水平通常与肿瘤的增殖能力和恶性程度密切相关,较高的Ki-67表达往往意味着肿瘤细胞具有更强的增殖能力和更活跃的生长状态,可以作为预测PCa预后的独立生物标志物<sup>[4-5]</sup>,在许多肿瘤<sup>[6]</sup>中已将Ki-67的表达作为癌症诊断和治疗预后的预测指标。但Ki-67的表达只能通过前列腺活检或前列腺切除术后的病理结果来确定。这种方法不仅昂贵、耗时还是有创检查。另外,活检样本只代表了穿刺点的肿瘤特征,不能反映整个前列腺疾病的情况<sup>[7-8]</sup>。因此,如何能找到一种无创的、准确预测Ki-67表达的测量方法尤为重要。

磁共振检查作为一种无创的检查方法在前列腺癌的诊断及预后评估中起着至关重要的作用<sup>[9-10]</sup>,近几年来多项研究表明MRI影像学模型预测Ki-67表达<sup>[11-14]</sup>比常规磁共振成像更能反应肿瘤的异质性,但关于多参数磁共振成像(mp-MRI)直方图预测前列腺癌Ki-67表达的研究较少。因此,本研究的目的是评估mp-MRI直方图预测PCa中Ki-67表达的价值。

## 1 资料与方法

**1.1 患者资料** 本研究通过河西学院附属张掖人民医院伦理委员会(批准文号HFYER-2023.07)批准,免除受试者知情同意。回顾性收集河西学院附属张掖人民医院2020年1月至2024年3月经病理证实的PCa患者195例,收集患者的临床和病理及影像资料。按照7:3的比例分为训练集和验证集,将训练集中的病例按照7:3的比例分为训练集和测试集。

**纳入标准:** 活检病理证实为PCa患者且有完整临床病理资料(包括Ki-67表达);病理检查前1月进行多参数磁共振检查(包括MRI平扫、DWI、DCE-MRI)。排除标准:既往进行过其他治疗,如抗激素治疗、放疗等;图像质量差或病灶肉眼不可见;合并有其他肿瘤。

**1.2 MR检查方法及参数** 选用Siemens 3.0 TMR扫描仪(德国西门子公司),采用16通道体部相控阵线圈,包括轴位T2WI、T1WI、DWI( $b=50, 400, 1500s/mm^2$ )、DCE-MRI,ADC图由DWI图像计算得到。DCE-MRI序列使用3D容积内插屏气扫描(three-dimensional volume interpolated breath-hold examination, FLASH 3D-VIBE),T1WI轴位,层厚3.5mm,TR 4.2 ms,TE 1.58 ms,FOV 260mm×260mm,激励次

**【第一作者】** 巴志霞,女,副主任医师,主要研究方向:中枢神经系统及腹部MRI诊断。E-mail: bazhixia@163.com

**【通讯作者】** 魏 铭,男,主任医师,主要研究方向:中枢、腹部影像诊断。E-mail: weiming163@com

数1, 反转角12, 体素大小1.4×1.4×3.5mm。按0.2 mmol/kg的标准准备钆喷酸葡胺(Gd-DTPA)及20mL生理盐水, 以2.5mL/s的速率用高压注射器在第4期开始同时注射Gd-DTPA和生理盐水, 重复扫描36期。具体参数见表1。

表1 MRI扫描序列及参数

参数	T2WI			DWI	DCE-MRI
	轴位	冠状位	矢状位	轴位	轴位
视野/mm	260×260	320×320	320×320	260×260	260×100
层厚/mm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
b值/s/mm <sup>2</sup>	/	/	/	50, 400, 1500	/
TR/ms	5000	4360	6000	4000	4.48
TE/ms	106	66	102	71	1.73
扫描时间	1min42s	2min7s	2min12s	1min36s	4min1s

注: TR为重复时间; TE为回波时间。

**1.3 病理资料** MRI检查后对怀疑PCa的患者进行超声引导下12针穿刺活检。由2名病理科医生(1名8年经验的主治医师和1名12年经验的副主任医师)进行诊断并通过免疫组化评价Ki-67的数值。先前研究结果<sup>[11,14]</sup>显示, 当Ki-67阳性细胞超过10%认为是高表达的最佳值。所以, 本研究将病例分为高Ki-67表达组(Ki-67>10%)和低Ki-67表达组(Ki-67≤10%)。

**1.4 图像分割** 将DCE-MRI图像传至Siemens Syngo.via工作站处理得到DCE-MRI定量参数K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>、V<sub>e</sub>伪彩图。由2名8年前列腺

癌诊断经验的主治医师在3D Slicer软件(版本号5.4.0)上在T2WI、DWI、ADC、K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>、V<sub>e</sub>图中逐层勾画全前列腺腺体感兴趣区(region of interest, ROI), 具体分割流程详见图1。

**1.5 影像学特征提取、筛选** 对分割后ROI在FeAture Explorer(v0.5.5)软件进行重采样提取18个直方图特征。按照成像生物标志物标准化倡议(Imaging Biomarker Standardization Initiative, IBSI)指南<sup>[15]</sup>平衡样本数据, 对提取的特征进行Z-score标准化处理, 降维处理用皮尔森相关系数(Pearson correlation coefficients, PCC), 系数阈值设定为0.8。使用方差分析(analysis of variance, ANOVA)、Relief算法、递归式特征消除(recursive feature elimination, RFE)进行特征筛选。

**1.6 统计学分析** 使用SPSS(24.0)、R4.2.1软件进行统计分析。计量资料使用Kolmogorov-Smirnov检测是否符合正态分布, 正态分布的采用独立样本t检验按照均数±标准差表示, 非正态分布的使用Mann-WhitneyU检查用四分位数表示; 所有直方图特征进行了Mann-Whitney检验和特征筛选。采用曲线下面积(AUC)、校准曲线、决策曲线分析各模型的诊断效能。以P<0.05为差异有统计学意义。采用组间相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)来评估两位医生勾画的一致性。

## 2 结果

**2.1 一般临床资料** 本研究共纳入了195例PCa患者, 其中Ki-67高表达组120例, Ki-67低表达组75例。两组患者的年龄、Gleason评分差异无统计学意义(P>0.05)。TPSA、FPSA水平、穿刺阳性针数在两组间有统计学差异的参数(P<0.05)。详见表2。

表2 基线资料

	训练集			测试集			验证集		
	Ki-67低表达 n=37例	Ki-67高表达 n=63例	P	Ki-67低表达 n=18例	Ki-67高表达 n=19例	P	Ki-67低表达 n=20例	Ki-67高表达 n=38例	P
年龄	71.6±7.49	72.3±7.53	0.901	71.7±8.99	73.4±6.58	0.815	72.2±6.64	74.8±7.63	0.424
TPSA	27.8±30.9	78.1±29.8	<0.001	46.3±34.5	77.9±27.5	0.018	44.1±34.0	73.0±31.8	0.011
FPSA	5.84±9.01	18.7±11.6	<0.001	7.62±8.97	20.3±10.7	0.003	8.91±10.5	17.9±11.4	0.021
阳性针数	3(1, 9)	12(8, 12)	<0.001	5(1, 7)	11(9, 12)	<0.001	4(1, 8)	12(8, 12)	<0.001
GS									
6	7(18.9%)	0(0%)	<0.001	2(11.1%)	0(0%)	0.154	2(10.0%)	0(0%)	0.056
7	13(35.1%)	3(4.8%)		3(15.8%)	3(15.8%)		8(40.0%)	3(7.9%)	
8	8(21.6%)	27(42.9%)		7(38.9%)	3(15.8%)		3(15.0%)	17(44.7%)	
9	7(18.9%)	27(42.9%)		5(27.8%)	5(26.3%)		5(25.0%)	15(39.5%)	
10	2(5.4%)	6(9.5%)		1(5.6%)	10(52.6%)		2(10.0%)	3(7.9%)	

注: TPSA: 总前列腺特异性抗原; TPSA: 游离特异性抗原; GS: Gleason评分; 阳性针数: 穿刺活检诊断为PCa的针数。

表3 筛选出的特征及系数

特征	系数
T2WI_original_firstorder_Minimum	0.419259401
T2WI_original_firstorder_10Percentile	0.041883473
DWI_original_firstorder_90Percentile	-0.026624632
DWI_original_firstorder_Entropy	0.182188482
ADC_original_firstorder_10Percentile	0.008707149
ADC_original_firstorder_90Percentile	0.240159645
ADC_original_firstorder_Mean	0.21740571
K <sup>trans</sup> _original_firstorder_Energy	-0.404609187
K <sup>trans</sup> _original_firstorder_Minimum	0.300051226
K <sup>trans</sup> _original_firstorder_Variance	0.371178199
K <sub>ep</sub> _original_firstorder_Energy	-0.032087124
K <sub>ep</sub> _original_firstorder_Entropy	-0.330082682

表4 临床、Radscore单因素及多因素分析

变量	单因素Logistic回归分析		单因素Logistic回归分析	
	P	or(95%CI)	P	or(95%CI)
Radscore	<0.001	0.673(0.239~0.947)	0.002	0.011(0.171~0.779)
TPSA(ng/ml)	<0.001	0.053(0.024~0.882)	0.037	0.043(0.022~0.894)
FPSA(ng/ml)	0.027	0.779(0.488~0.945)		
阳性针数	<0.001	0.024(0.005~0.652)	0.015	0.153(0.111~0.591)
Gleason	0.046	0.273(0.102~1.384)		

**2.2 影像组学特征** 从T2WI、DWI、ADC、 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$ 序列中各提取18个直方图特征。通过ICC评估分割和特征提取的观察者间内的一致性，保留ICC值>0.75的特征。经过最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)算法进行特征降维，最终筛选出12个非零系数的影像组学特征(表3)，其中T2WI、DWI及 $K_{ep}$ 特征各2个，ADC、 $K^{trans}$ 特征各3个，计算相应Radscore。在训练集、测试集、验证集中Ki-67高表达组中Radscore高于低表达组。

**2.3 模型构建** 将筛选出的临床、病理特征和Radscore进行单因

素及多因素分析，Radscore、TPSA、阳性针数在多因素分析中有意义(详见表4)，分别构建临床模型、Radscore模型及联合模型。训练集中Radscore模型的AUC为0.821，临床模型的AUC为0.844，联合模型的AUC为0.953，测试集中Radscore模型的AUC为0.737，临床模型的AUC为0.762，联合模型的AUC为0.861，验证集中Radscore模型的AUC为0.793，临床模型的AUC为0.813，联合模型的AUC为0.934，联合模型的预测效能最高，基于联合模型的参数构建列线图，校准曲线和决策曲线校准并验证联合模型的效能和临床使用价值均得到了较好的结果。

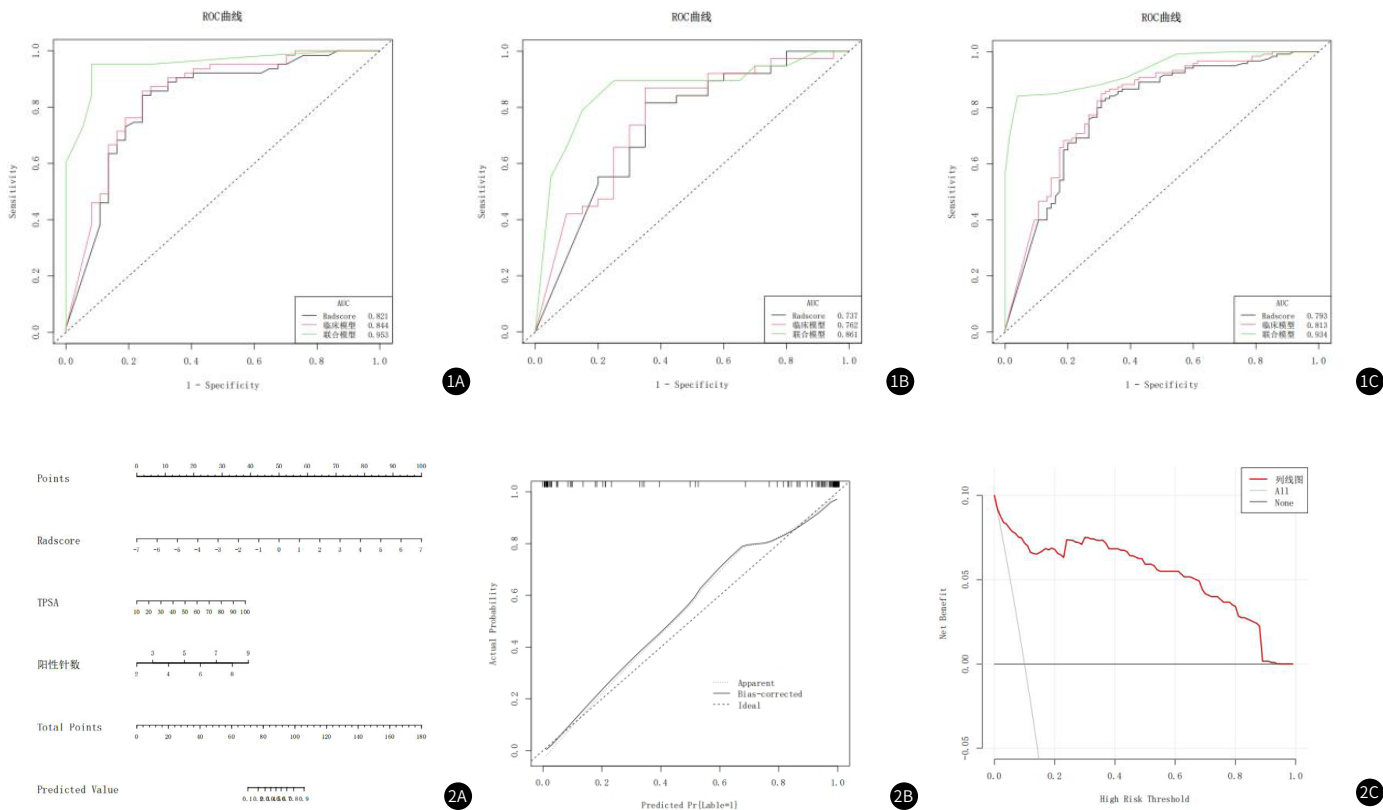


图1 训练集(1A)、测试集(1B)、验证集(1C)的ROC曲线。图2 列线图(2A)、校准曲线(2B)和决策曲线(2C)。

### 3 讨论

本研究基于T2WI、DWI、ADC、DCE-MRI定量参数图像获取一阶直方图特征构建影像组学模型，Radscore与临床独立预测因素联合构建联合模型预测PCa中Ki-67表达。研究结果显示，临床模型、影像组学模型、联合模型对PCa中Ki-67表达均有预测价值，且联合模型的预测效能更好，可以无创的预测前列腺癌患者中Ki-67的表达。

**3.1 mp-MRI直方图特征预测PCa中Ki-67的价值** 虽然病理活检是检测Ki-67表达的金标准，但活检是一种有创性的检查不容易被患者接受，而且穿刺活检只能反应穿刺点的信息<sup>[7-8]</sup>；根治术后的病理检查虽然能够提供完整的评估，但其成本高、风险大且手术引起的并发症严重影响了患者的生活质量<sup>[16]</sup>。mp-MRI影像组学可以定量评估前列腺正常腺体和肿瘤组织，能够反应肿瘤的异质性特征<sup>[17-18]</sup>，也可以量化肿瘤内异质性<sup>[12]</sup>为PCa侵袭性进行分期。潘妮妮等<sup>[19]</sup>研究结果显示磁共振影像组学可以预测穿刺阳性针数，纹理特征、高斯特征、小波特征是预测PCa异质性的特异性影像学生物标志物；但高斯特征、小波特征等高阶特征都是经过后期变换处理之后提取的定量信息，可重复性差，缺乏对

疾病发生发展的可解释性<sup>[15]</sup>，所以本研究只提取了一阶特征中的直方图特征用来构建Radscore模型，最终得到2个T2WI特征、2个DWI特征、3个ADC特征、3个 $K^{trans}$ 和2个 $K_{ep}$ 特征。本研究中 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 的直方图特征可以预测Ki-67高表达，zhang等<sup>[20]</sup>研究显示 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 直方图特征与Ki-67高表达成呈正相关，且 $K^{trans}$ 直方图预测Ki-67高表达的AUC为0.826，PCa中微血管生长的不均匀性和复杂性随着恶性程度的增加而增加。PCa中Ki-67水平越高肿瘤增值潜力越大，代表肿瘤组织的分级和分期越高，所以肿瘤血管生成较多，相应 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 会增加。周定燕<sup>[21]</sup>的研究也显示 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 与Ki-67高表达成呈正相关，ADC值与Ki-67高表达成呈负相关，联合DCE-MRI和ADC的联合模型的诊断效能更好(AUC为0.861)。本研究从筛选出的特征中可以看出ADC、 $K^{trans}$ 的相关特征数量最多，ADC值越低的PCa其细胞密度较大、恶性程度高，细胞的增值速度快<sup>[22-23]</sup>。也有研究显示 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、ADC值的直方图参数与肿瘤的Ki-67缺乏相关性<sup>[24]</sup>，这种不一致可能是由于肿瘤间的异质性所致。本研究结果未发现 $V_e$ 直方图特征在预测Ki-67的价值，可能是因为 $V_e$ 反映了暂时滞留在EES中的造影剂的数

量,当肿瘤部位的新生血管密度高于周围正常组织时,  $V_e$ 的作用会减弱<sup>[25]</sup>,而PCa又是细胞密度比较高的肿瘤,可能使用 $V_e$ 反映肿瘤血管状况的定量参数还存在一定的不足。所以采用多参数评估会更为准确和全面。

**3.2 临床模型预测PCa中Ki-67的价值和相关性** 本研究TPSA、穿刺阳性针数均是预测PCa中Ki-67表达的独立预测因素。PSA是前列腺癌临床诊断和监测中常用的生物标志物。既往研究表明<sup>[26]</sup>PCa中Ki-67表达与临床PSA水平之间存在正相关性,即Ki-67表达水平越高,血清PSA水平往往也越高,可以用PSA来预测PCa的Ki-67表达,本研究中Ki-67高表达组TPSA、FPSA明显高于低表达组,这些相关性反映了肿瘤细胞的增殖活跃程度与肿瘤的分泌功能之间的内在联系。也有研究<sup>[27]</sup>显示PSA与Ki-67表达无相关性,分析原因可能是不同检查设备对PSA的设置参数不一致,还因为PSA的升高受前列腺增生、感染、药物等多种因素的影响<sup>[28]</sup>。因此,在临床应用中,需要综合考虑多种因素,进行全面的评估和分析。穿刺阳性针数在本研究中Ki-67高表达组明显高于低表达组,穿刺阳性针数在某种程度上可以说明PCa分布位置多灶性特征,有研究表明Ki-67在肿瘤内和肿瘤间是高度异质的<sup>[29]</sup>。

**3.3 列线图预测PCa中Ki-67的价值** 列线图是一种实用性很强的临床简易性工具,它将复杂的回归公式转化为可视化图形,近年来得到了广泛的临床应用<sup>[30]</sup>。本研究中Radscore、PSA、阳性穿刺针数是预测PCaKi-67表达的预测因素,针对不同的PCa患者,根据其具体的Radscore、PSA、阳性穿刺针数的数值所对应的分值就可以计算出Ki-67高表达的发生概率。

**3.4 本研究的局限性** 本研究还存在一定的局限性。首先,本研究是一项小样本的回顾性的研究,后期需要进行大样本量的前瞻性研究来验证本研究的结果。其次,本研究在图像分割过程中采用手动勾画,后期需要半自动或全自动分割方法,进一步提高特征的一致性和再现性。

## 4 结论

总之,本研究通过对前列腺癌患者的mp-MRI的图像进行直方图特征分析,证明了基于mp-MRI的直方图特征评分和临床特征构建的联合模型可以在术前预测Ki-67表达。为PCa患者的临床分层提供了一种可视化的预测工具。

## 参考文献

- [1]SUNG H,FERLAY J,SIEGEL R L,et al.Global Cancer Statistics 2020:GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J].CA Cancer J Clin,2021,71(3):209-249.
- [2]SCHAEFFER E M,SRINIVAS S,ADRA N,et al.NCCN guidelines® insights:prostate cancer,version 1.2023[J].Journal of the National Comprehensive Cancer Network : JNCCN,2022,20(12):1288-1298.
- [3]SPRATT D E.Ki-67 remains solely a prognostic biomarker in localized prostate cancer[J].International Journal of Radiation Oncology,Biology, Physics,2018,101(3):513-515.
- [4]BERLIN A,CASTRO-MESTA J F,RODRIGUEZ-ROMO L,et al.Prognostic role of Ki-67 score in localized prostate cancer:A systematic review and meta-analysis[J].Urologic Oncology,2017,35(8):499-506.
- [5]BYUN S S,LEE M,HONG S K,et al.Elevated Ki-67 (MIB-1) expression as an independent predictor for unfavorable pathologic outcomes and biochemical recurrence after radical prostatectomy in patients with localized prostate cancer:a propensity score matched study[J].PloS One,2019,14(11):e0224671.
- [6]LI L T,JIANG G,CHEN Q,et al.Ki67 is a promising molecular target in the diagnosis of cancer (review)[J].Molecular Medicine Reports,2015,11(3):1566-1572.
- [7]ALHAMDANI Z,POPPENBEEK S,BOLTON D,et al.Do alpha blockers reduce the risk of urinary retention post-transperineal prostate biopsy? A systematic narrative review[J].World Journal of Urology,2024,42(1):332.
- [8]MIAN B M,FEUSTEL P J,AZIZ A,et al.Complications following transrectal

- and transperineal prostate biopsy:results of the ProBE-PC randomized clinical trial[J].The Journal of Urology,2024,211(2):205-213.
- [9]SEKHACHA M,RIET K,MOTLOUNG P,et al.Prostate cancer review:genetics,diagnosis,treatment options,and alternative approaches[J].Molecules (Basel, Switzerland),2022,27(17).
- [10]WASIM S,LEE S Y,KIM J.Complexities of prostate cancer[J].International Journal of Molecular Sciences,2022,23(22).
- [11]QIAO X,GU X,LIU Y,et al.MRI radiomics-based machine learning models for Ki67 expression and gleason grade group prediction in prostate cancer[J].Cancers,2023,15(18).
- [12]ZHOU C,ZHANG Y F,GUO S,et al.Multiparametric MRI radiomics in prostate cancer for predicting Ki-67 expression and Gleason score:a multicenter retrospective study[J].Discover Oncology,2023,14(1):133.
- [13]DENG S,DING J,WANG H,et al.Deep learning-based radiomic nomograms for predicting Ki67 expression in prostate cancer[J].BMC Cancer,2023,23(1):638.
- [14]FAN X,XIE N,CHEN J,et al.Multiparametric MRI and machine learning based radiomic models for preoperative prediction of multiple biological characteristics in prostate cancer[J].Frontiers in Oncology,2022,12:839621.
- [15]ZWANENBURG A,VALLIÈRES M,ABDALAH M A,et al.The image biomarker standardization initiative:standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping[J].Radiology,2020,295(2):328-338.
- [16]MARINO F,MORETTO S,ROSSI F,et al.Robot-assisted radical prostatectomy performed with the novel Hugo™ RAS system:a systematic review and pooled analysis of surgical,oncological,and functional outcomes[J].Journal of Clinical Medicine,2024,13(9).
- [17]NKETIAH G A,ELSCHOT M,SCHNEEN T W,et al.Utility of T(2)-weighted MRI texture analysis in assessment of peripheral zone prostate cancer aggressiveness:a single-arm,multicenter study[J].Scientific Reports,2021,11(1):2085.
- [18]GU D,XIE Y,WEI J,et al.MRI-based radiomics signature:a potential biomarker for identifying glypican 3-positive hepatocellular carcinoma [J].Journal of Magnetic Resonance Imaging: JM RI,2020,52(6):1679-1687.
- [19]潘妮妮,李静,赵建新,等.磁共振影像组学联合临床指标对前列腺癌系统穿刺阳性针数的预测价值[J].解放军医学杂志:1-14.
- [20]ZHANG Y,LI Z,GAO C,et al.Preoperative histogram parameters of dynamic contrast-enhanced MRI as a potential imaging biomarker for assessing the expression of Ki-67 in prostate cancer[J].Cancer Medicine,2021,10(13):4240-4249.
- [21]周定燕,何文琪,王伟,等.DCE-MRI结合DWI对前列腺癌Ki-67表达和Gleason评分的预测价值[J].磁共振成像,2024,15(9):94-100,19.
- [22]ZHANG J,JING H,HAN X,et al.Diffusion-weighted imaging of prostate cancer on 3T MR:Relationship between apparent diffusion coefficient values and Ki-67 expression[J].Academic Radiology,2013,20(12):1535-1541.
- [23]BØRRETZEN A,REISÆTER L A R,RINGHEIM A,et al.Microvascular proliferation is associated with high tumour blood flow by mpMRI and disease progression in primary prostate cancer[J].Scientific Reports,2023,13(1):17949.
- [24]NAGASAKA K,SATAKE H,ISHIGAKI S,et al.Histogram analysis of quantitative pharmacokinetic parameters on DCE-MRI:correlations with prognostic factors and molecular subtypes in breast cancer[J].Breast Cancer (Tokyo, Japan),2019,26(1):113-124.
- [25]VAN NIEKERK C G,VAN DER LAAK J A,HAMBROCK T,et al.Correlation between dynamic contrast-enhanced MRI and quantitative histopathologic microvascular parameters in organ-confined prostate cancer[J].European Radiology,2014,24(10):2597-2605.
- [26]姜韬.AR、Ki67、PSA在前列腺组织中的表达及意义[Z].
- [27]翟承凤,何永胜,戚轩,等.基于多参数磁共振的影像组学模型预测前列腺癌Ki67的表达[J].分子影像学杂志,2024,47(8):793-799.
- [28]BALK S P,KO Y J,BUBLEY G J.Biology of prostate-specific antigen[J].Journal of Clinical Oncology,2003,21(2):383-391.
- [29]VLAJNIC T,BRUNNER P,EPPENBERGER-CASTORI S,et al.High inter- and intratumoral variability of Ki67 labeling index in newly diagnosed prostate cancer with high Gleason scores[J].Pathobiology :Journal of Immunopathology,Molecular and Cellular Biology,2022,89(2):74-80.
- [30]VIS A N,MEIJER D,ROBERTS M J,et al.Development and external validation of a novel nomogram to predict the probability of pelvic lymph-node metastases in prostate cancer patients using magnetic resonance imaging and molecular imaging with prostate-specific membrane antigen positron emission tomography[J].European Urology Oncology,2023,6(6):553-563.