论 著

多模态MRI影像组学评 估前列腺癌的侵袭性*

1.云南省曲靖市第一人民医院磁共振科 (云南曲靖 655000)

- 2.云南省曲靖市第一人民医院关节与运动 医学科 (云南曲靖 655000)
- 3.四川省成都市四川大学华西医院放射科 (四川 成都 610041)

金王	.梅1,#	王叶武 ^{2,#}	李	谋3	
张	军3	王伟山1	宋	彬3,*	

【摘要】目的 探讨基于多参数磁共振(mp-MRI)的 影像组学模型在评估前列腺癌侵袭性中的应用价 值。**方法**回顾性纳入120例行腹腔镜下前列腺癌根 治切除术的患者,并根据病理结果将患者分为低 危组[(GS)≤3+4, 共40例]和高危组(GS≥4+3, 共 80例)。将患者按7:3的比例分配到训练组及验证 组。从患者T2WI、DWI、DCE图像上提取肿瘤区域 的组学特征,通过LASSO回归选取用于建模的特 征,同时应用多因素逻辑回归来联合组学特征和临 床特征,建立术前鉴别低危组和高危组PCa的联合 模型。使用受试者工作特征(ROC)曲线分析模型的 诊断价值,并在验证组中对诊断效能进行验证。 结果 训练组共纳入84例,包含29个低危和55个高危 PCa; 验证组纳入36例,包含11个低危和25个高危 PCa。T2WI、DWI、DCE每个序列均提取1304个组 学特征,经过LASSO回归后,仅4个组学特征被纳 入组学模型; 通过结合PSA, 建立联合模型, 其在 训练组的AUC为0.846,在验证组中为0.800。**结论** 基于多参数磁共振的影像组学可用于术前鉴别低危 及高危组PCa。

【关键词】前列腺癌;影像组学;Gleason评分; 多参数磁共振成像 【中图分类号】R445.2; R737.25 【文献标识码】A 【基金项目】中华国际医学交流基金会2019 SKY影 像科研基金项目资助(Z-2014-07-1912) DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2021.12.042

Radiomics Based on Multiparametric MRI: Assessing the Aggressiveness of Prostate Cancer*

JIN Yu-mei^{1,#}, WANG Ye-wu^{2,#}, LI Mou³, ZHANG Jun³, WANG Wei-shan¹, SONG Bin^{3,*}.

1. Department of MRI, Quijng City First People's Hospital, Quijng 655000, Yunnan Province, China

- 2. Department of Joints and Sports Medicine, Quijng City First People's Hospital, Quijng 655000, Yunnan Province. China
- 3. Department of Radiology, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan Province. China

ABSTRACT

Objective To develop and validate a combined model based on multiparametric MRI (mp-MRI) for assessing the aggressiveness of prostate cancer (PCa). Methods This was a retrospective analysis of 120 patients treated with laparoscopic radical prostatectomy. According to the pathology, these patients were classified as the low-risk (GS≤3+4, 40 patients) and high-risk PCa (GS≥4+3, 80 patients). Then, these patients were allocated to a training or validation set, with a ratio of 7:3. Radiomic features were extracted from T₂WI, DWI, and DCE images of lesions. The least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression analysis was used for feature selection. Multivariate logistic regression analysis was used to combine radiomic features with the clinical variables to build the combined model. Receiver operating characteristic (ROC) curves were constructed to evaluate the diagnostic performance of the models for predicting aggressiveness of PCa in both training and validation groups. Results A total of 84 patients (29 low-risk and 55 high-risk lesions) and 36 (11 low-risk and 25 highrisk lesions) were allocated to the training cohort and validation cohort, respectively. Although a large number of 1304 features were extracted from each sequence (T₂WI, DWI, or DCE sequence), only 4 radiomic features were included in the model after performing the LASSO method. The combined model, including PSA and radiomic features, was constructed for differentiating the low-risk from high-risk PCa. The area under the curve (AUC) of this model was 0.846 and 0.800 in the training and validation groups. Conclusion The model combining PSA with radiomic features can be used to assess the aggressiveness of PCa.

Keywords: Prostate Cancer: Radiomics: Gleason Score: Multiparametric MRI

前列腺癌(prostate cancer, PCa)在西方男性恶性肿瘤中,发病率最高,其致死 率也位居第二。近年来,PCa在我国也成为发病率最高的男性泌尿系统肿瘤^[1]。前列 腺癌的侵袭性被证明是影响治疗与预后的关键因素,病理学Gleason评分(gleason score,GS)则是判断其侵袭性的重要因素,己成为治疗方案决策及评估预后的重要 参考指标之一^[2]。然而,获得PCa的GS需要通过有创方式,如前列腺癌根治术、穿 刺术或电切等^[2-3],不仅具有出血、感染等风险,且通过穿刺获取的GS很有可能低 估侵袭度^[4]。PI-RADS v2.1能指导临床医师判断病变的良、恶性,但是不同医师对 信号强度、灰阶强度的主观体验不同,可能导致不同医师对相同病灶的良、恶性判 断结果不同,该方法具有主观性,且PI-RADS v2.1不能量化肿瘤的侵袭性;因此, 寻找一种简单、客观、准确且无创的PCa侵袭性评估方法非常重要,以便帮助临床 术前区分低、高侵袭性PCa,指导PCa患者的个体化治疗,更好地改善患者的预后^[5]。

多模态磁共振成像(multiparametric MRI, mp-MRI)是目前前列腺检查的首选 方法,能够清晰分辨出前列腺的解剖结构,提供PCa病变的位置、大小和邻近器官 侵犯的信息^[6]。影像组学是近几年来热门的图像分析技术,可以通过高通量、自动 化地提取大量医学图像特征,通过机器学习等方法建立模型,来研究各种医学问题^[7], 目前已应用于全身多种疾病^[8-9];前列腺增生结节与恶性结节的鉴别诊断、恶性结 节的侵袭性一直是近年的研究热点,B超、CT、MRI相关报道均不少,由于前列腺 炎症、肿瘤出血或坏死等因素的影响,mp-MRI评价肿瘤侵袭性的效能受限^[10],从

#【第一作者】金玉梅,女,主治医师,主要研究方向:腹部影像诊断。E-mail: 454426641@qq.com 王叶武,男,主治医师,主要研究方向:骨关节与运动医学。E-mail: 361030113@qq.com

*【通讯作者】宋 彬,男,主任医师,主要研究方向:腹部影像诊断。E-mail: cjr.songbin@vip.163.com

客观角度出发量化前列腺肿瘤侵袭性的多模态MRI的影像组学研究报道少见。因此,本研究以PCa根治术后GS为"金标准",评估基于mp-MRI图像的影像组学预测PCa侵袭性的效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究经四川大学华西医院伦理委员会审查批 准,同时,本研究作为回顾性研究,患者无需签署知情同意 书。回顾性收集2015年1月至2016年1月在本院诊治的前列腺 癌患者,分析其mp-MRI图像及临床资料,最终120例患者纳 入研究。

纳入标准:行腹腔镜下前列腺癌根治切除术,并经病 理证实为PCa;术前于同一MR扫描仪上行前列腺mp-MRI检 查;mp-MRI检查前未接受雄激素等相关治疗。排除标准: 临床、病理资料或mp-MRI图像缺失;mp-MRI图像质量差, 出现伪影;病灶长径小于5mm,以避免感兴趣区(region of interest, ROI)受到部分容积效应干扰;患者的一般资料及临 床特征见表1。

一般资料			训练组(例)	验证组(例)	Р
年龄(岁)			65.8±7.2	66.7±8.1	0.545
病灶长径(cm)			2.2±1.1	2.1±1.1	0.685
病灶位置	外周带为主		40	18	0.844
	移行带为主		44	18	
[*] PI-RADS评分	2		1	1	0.370
	3		5	6	
	4		25	8	
	5		53	21	
Gleason评分	低危组	3+3	6	5	0.941
		3+4	23	6	
	高危组	4+3	28	12	
		3+5, 4+4	4	4	
		4+5, 5+4	23	9	
*包膜侵犯(+/-)		28/56	18/18	0.085	
PSA(ng/mL)			29.3±24.0	27.4±24.3	0.691

表1入组患者及肿瘤的临床资料

注: *采用PI-RADS(prostate imaging reporting and data system)v2.1版本为评价标 准;包膜侵犯的判断基于术前MRI图像。

1.2 MRI检查序列及参数 所有mp-MRI图像均来自同一3.0T MR扫描仪Skyra(德国西门子公司)。扫描前适度充盈膀胱,取 仰卧位,将标准腹部线圈置于其盆部位置,使耻骨联合上缘 (前列腺水平)对应于背侧线圈三个单元的中央和腹侧线圈的中 心,并告知患者进行胸式呼吸。各序列参数如下:轴位T₂WI 序列: TSE序列,TR/TE 6220.0ms/104.0ms,FOV 200mm, 层厚3.0mm,翻转角160deg,带宽200Hz/Px,未采用压水和 压脂技术。弥散序列(DWI): ep2d-diff频谱脂肪饱和序列,b 值(0、200、800、1500s/mm²),TR/TE 4200ms/74.0ms,

FOV 200mm,层厚3.0mm,层数20,带宽1202Hz/Px,采 用压脂技术。动态增强扫描(DCE):轴位vibe序列,无间隔扫 描,TR/TE 3.92ms/1.90ms,FOV 376mm,层厚2.00mm, 翻转角9.0deg,带宽450Hz/Px。高压注射器控制给药,在动 态增强扫描开始时,团注造影剂钆特酸葡胺0.1mmoL/kg,速 率2.5mL/s,之后以10mL的0.9%氯化钠注射液冲洗。以腹主 动脉强化程度作为触发扫描的标准,给药触发扫描后连续扫描 15~20次,参数同上,扫描时间约5min。

1.3 图像分析及勾画ROI 磁共振图像由2名影像科医师(从事 腹部影像研究的时间分别为5年和8年),在不告知GS的情况 下,判断病灶位置、长径、包膜侵犯及PI-RADS评分,当两者 判断结果不一致时通过协商解决。结合根治术病理报告(仍隐 藏GS结果),选取在T₂WI、DWI及DCE图像上均能在同一位置 找到、且范围相仿的病灶进行ROI的勾画。若同一患者有2个 或以上的病灶,则选择体积最大的一个。应用开源软件ITK-SNAP(www.itk-snap.org)对病灶进行逐层勾画,获得T₂WI、 DWI及DCE图像上的三维(3D)ROI。ROI边缘尽量接近但不超 过病灶边缘,以减少容积效应。同时随机选取30例PCa患者 的mp-MRI图像,分别由2位影像科医师进行ROI的勾画,其中 1位医师进行2次勾画,以测算所提取特征的稳定性和可重复 性。只有组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)≥0.75的特征才能纳入后续分析。

1.4 特征提取及模型建立 应用开源的Pyradiomics^[11]提取特征,特征类型主要为一阶特征、形状特征及纹理特征,每个序列共提取1304个特征。当任意2个特征间的相关系数r大于0.7,则随机保留其中1个,然后对剩余的特征应用LASSO回归,以选出能够纳入模型的特征。再联合病灶位置、长径、包膜侵犯、PSA及PI-RADS评分等临床特征,应用多因素逻辑回归建立联合模型。应用受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线判断模型无创预测低、高危PCa的效能,并在验证组中进行验证。

1.5 病理Gleason评分及分组将前列腺癌组织进行石蜡包 埋并制成切片,经常规HE染色后,应用Gleason分级系统对 前列腺癌进行组织学分级,将两个主要癌组织结构的分级相 加,获得2~10分的评分,并将所有患者根据GS分为低危组 (GS≤3+4)和高危组(GS≥4+3)^[12-15]。

1.6 统计学分析 所有统计学分析在SPSS 21.0版本(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)、Stata 15.0版本 (Stata Corp LLC, Lakeway Drive College Station, USA)和Medcalc 15.2.2版本(Medcalc Software, Ostend, Belgium)上进行; P<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结 果

根据病理GS结果,最终纳入患者包括40例低危 PCa(GS≤3+4)和80例高危PCa(GS≥4+3)。将患者按7:3 的比例分配至训练组(共84例,低危29例和高危55例)和验 证组(共36例,低危11例和高危25例)。对于ICC≥0.75的特 征,DCE序列共522个,DWI序列共471个,T₂WI序列共266 个。组学模型(Rad-score)最终包括4个组学特征,2个提取自 T₂WI,另外2个分别提取自DWI及DCE序列,见表2,均属于 ICC \geq 0.75的具有良好一致性的特征,可以纳入后续统计分 析。进行多因素逻辑回归分析后,临床特征中仅PSA进入模型 (表2),结合Rad-score建立联合模型,模型用公式表示为: $1/{1+EXP[-(-3.073+0.033 \times PSA+4.624 \times Rad-score)]}$ 。该 模型Hosmer-Lemeshow检验P值为0.578,表示模型拟合良 好。用列线图(nomogram)对模型进行可视化,见图1。

模型在训练组中具有良好的诊断效能,其敏感性为 76.4%,特异性为75.9%,曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.846,95%置信区间(CI)为0.751~0.915;在验证组 中进行验证,其敏感性为72.0%,特异性为81.8%,AUC为 0.800,95%CI为0.633~0.914,AUC较训练组未见明显降低。 训练组及验证组鉴别低危及高危PCa的ROC曲线图见图2。

根据模型将患者判断为低危及高危PCa的结果进行分组, 比较两组患者2年内生化复发的比例有无差异,见表3。两组 患者的2年内复发率存在显著差异(P=0.04),说明模型可以提 供与病理"金标准"相似的判断。

特征		甲因系迟	회되는	多因素逻辑回归	
		Р	OR	Р	OR
临床特征	病灶位置	0.930			
	长径(cm)	0.007	2.182	0.900	
	PSA(ng/mL)	0.004	1.059	0.082	1.033
	PI-RADS评分	0.002	3.497	0.860	
	包膜侵犯(+/-)	0.289			
组学特征	DWI: Mean	0.001	2.611	0.047	1.868
	DCE: GLCM_SAE	0.004	3.614	0.029	3.066
	T ₂ WI: Skewness	0.010	2.378	0.078	2.038
	$T_2WI:GLCM_Correlation$	0.000	2.793	0.039	1.986

表3 前列腺癌术后两年内生化复发率的差异性分析(例)

组别		有复发	无复发	Р
模型分类结果	低危组	5	32	0.04
	高危组	26	57	
病理	低危组	4	36	0.01
	高危组	27	53	







典型病例分析结果见图3~4。



图3 患者1,男,71岁,体检发现PSA升高(15.23ng/mL),平日感尿不尽。图3A: MRI T₂WI,轴位,前列腺移行带左侧不规则病灶,呈低信号;图3B~ 图3C:DWI、ADC图,轴位,病变轻度弥散受限呈DWI稍高信号,ADC明显低信号;图3D:MRI增强扫描动脉期,轴位,病变明显不均匀强化;图3E:病理切 片×100,Gleason评分3+3=6分;图4 患者2,男,69岁,排尿困难2年,不能排尿12h后入院;PSA 166.2ng/mL。图4A:MRI T₂WI,轴位,前列腺移行带右 侧类圆形病灶,呈稍低信号;图4B~图4C:DWI、ADC图,轴位,病变轻度弥散受限呈DWI稍高信号,ADC明显低信号;图4D:MRI增强扫描动脉期,轴位, 病变轻度不均匀强化;图4E:病理切片×50,Gleason评分4+5=9分。

3 讨 论

本研究通过对120例PCa的mp-MRI图像进行影像组学分 析,结合临床特征,得到纳入PSA和Rad-score的联合模型。 该模型能够良好地在术前对PCa的侵袭性进行无创预测,其训 练组AUC为0.846,在验证组中AUC稍降低,为0.800。同时, 通过模型将患者分为高危组及低危组,术后2年两组的复发率 存在显著差异,可以为临床术前判断及预后提供帮助。

目前,Gleason评分广泛应用于前列腺癌分级,较高的GS 意味着肿瘤低分化且预后差^[3]。有研究表明GS是预测前列腺 癌复发率的重要指标,穿刺活检是确诊前列腺癌的首选方法, 并广泛应用于评估肿瘤侵袭性,但穿刺却有可能低估PCa的侵 袭性^[4]。因此,本研究采用前列腺癌根治术后病理学结果作为 "金标准",进而评估影像组学判断肿瘤侵袭性的价值。

当今,精准医学要求影像检查必须提供大量重要的信息 给临床,以帮助制定个体化治疗策略。然而在过去,影像医 学多提供肉眼可识别的形态学信息。如果要使临床诊断更精 确,就必须进一步利用医学影像数据,获取更多肉眼无法识 别的信息^[16]。近年来,随着人工智能的进展和基因组学的突 破,催生了一个热门的研究领域——影像组学,即依靠计算机 技术,从医学图像中提取出大量的数据特征,然后利用多种算 法,将传统医学影像转化为大量可挖掘的定量数据信息,以帮 助临床正确诊断疾病、选择治疗方案、评估疗效和预后等^[8]。

近些年,有少量文献报道基于mp-MRI的影像组学特征可 用于评估前列腺癌的GS。Nketiah等^[17]研究表明,组学特征与 GS明显相关,并可用于鉴别GS=3+4和GS=4+3的PCa,但该 研究仅从T₂WI图像上提取特征,未能充分利用mp-MRI的多参 数、多序列的优势。同样,张宏江等^[18]表明基于T₂图像和ADC 图像的组学可以评估前列腺癌的GS,但该研究忽略了DCE序 列在PCa中的重要作用。其他学者的研究也提出了MRI纹理特 征对预测前列腺癌的GS是有价值的,可为PCa病理分级提供 可靠的量化信息,对临床PCa诊疗方式的确定和预后评估具 有重要价值^[19]。另外,Ma等^[20]研究影像组学建立模型以预测 PCa的包膜侵犯情况,发现该模型预测包膜侵犯的效能优于放 射科医师的目视评估,这也显示出基于mp-MRI的影像组学在 前列腺癌领域的应用具有多种可能。

相当多的PCa患者即使接受了根治性手术,仍可能出现生 化复发,因此,能够在治疗前预先评估生化复发的风险,然后 再进行个体化的精准治疗,将会减低患者的复发率。本研究得 到的预测PCa侵袭性的模型,也可以为评估患者术后2年内的 复发率提供一定帮助。与本研究的结果相似,Gnep等^[21]通过 提取T2图像的纹理特征,证实了纹理特征与PCa放疗后的生化 复发密切相关。Shiradkar等^[22]、龚姝卉等^[23]研究发现治疗前 T2图像和ADC图像的影像组学特征可用于预测PCa治疗后的生 化复发,其随访时间为3年,优于本研究。然而,上述2个研 究^[21-22]并未充分利用mp-MRI的多个序列,减弱了mp-MRI的 优势。

本研究存在几点局限性:首先,本研究为单中心研究, 样本较小,但样本量仍类似于或大于之前的部分研究^[24-25];其 次,仅纳入行根治术的病例,减小了因治疗方案不同而造成的 对病理检验、预后判断的偏倚,但受限于回顾性研究,仍存在 不可避免的偏倚。再次,低危前列腺癌样本比例相对较少,导 致总体样本恶性程度相对较高。最后,缺乏其他中心数据的外 部验证,未来在本研究的基础上,将进行多中心的外部验证, 以修正模型,并提高其适用性。基于多参数磁共振的影像组学 可用于术前鉴别低危及高危PCa,为个体化治疗策略的制定提 供帮助。

参考文献

- [1] Teoh J Y C, Hirai H W, Ho J M W, et al. Global incidence of prostate cancer in developing and developed countries with changing age structures [J]. PLoS One, 2019, 14 (10): e0221775.
- [2] Epstein J I, Egevad L, Amin M B, et al. The 2014 international society of urological pathology (ISUP) consensus conference on gleason grading of prostatic carcinoma: definition of grading patterns and proposal for a new grading system[J]. Am J Surg Pathol, 2016, 40 (2): 244-252.
- [3]Yeldir N, Yildiz E, Dündar G. Gleason score correlation between prostate needle biopsy and radical prostatectomy materials. Gleason Score Correlation Between Prostate Needle Biopsy and Radical Prostatectomy Materials[J]. Turk Patoloji Derg, 2019, 35 (3):185-192.
- [4] Alberts A R, Bokhorst L P, Kweldam C F, et al. Biopsy undergrading in men with Gleason score 6 and fatal prostate cancer in the European Randomized study of Screening for Prostate Cancer Rotterdam[J]. Int J Urol, 2017, 24 (4): 281-286.
- [5]Groeben C, Wirth M P. Prostate cancer: Basics on clinical appearance, diagnostics and treatment [J]. Med Monatsschr Pharm, 2017, 40 (5): 192-201.
- [6] Boesen L. Multiparametric MRI in detection and staging of prostate cancer [J]. Dan Med J, 2017, 64 (2): B5327.
- [7]Sun Y, Reynolds H M, Parameswaran B, et al. Multiparametric MRI and radiomics in prostate cancer: a review[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2019, 42 (1): 3-25.
- [8] Lambin P, Leijenaar R T H, Deist T M, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine [J]. Nat Rev Clin Oncol, 2017, 14 (12): 749-762.
- [9] Bi W L, Hosny A, Schabath M B, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications [J]. CA Cancer J Clin, 2019, 69 (2): 127-157.
- [10] Stabile A, Giganti F, Rosenkrantz A B, et al. Multiparametric MRI for prostate cancer diagnosis: current status and future directions[J]. Nat Rev Urol, 2020, 17(1): 41-61.
- [11] van Griethuysen J J M, Fedorov A, Parmar C, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype [J].Cancer Res, 77 (21):e104-e107.

- [12] Chaddad A, Kucharczyk M J, Niazi T. Multimodal radiomic features for the predicting gleason score of prostate cancer[J]. Cancers (Basel), 2018, 10(8): 249.
- [13] Shan Y, Chen X, Liu K, et al. Prostate cancer aggressive prediction: preponderant diagnostic performances of intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging and diffusion kurtosis imaging (DKI) beyond ADC at 3.0T scanner with gleason score at final pathology[J]. Abdom Radiol (NY), 2019, 44 (10): 3441-3452.
- [14] 单颖婵, 刘锴, 曾蒙苏, 等. 磁共振扩散加权成像 (DWI) 评估前列 腺癌Gleason评分 (GS): 单指数模型与峰度模型比较 [J]. 复旦学 报 (医学版), 2019, 46 (6): 782-788.
- [15] 张配配, 王良, 闵祥德, 等. DWI单指数和双指数模型在前列腺癌 Gleason分级中的应用:基于三维立体直方图分析[J].磁共振成 像, 2017, 8(9): 668-674.
- [16] 骆俊佳, 陈晓东, 罗泽斌, 等. 基于多参数磁共振的影像组学在前列腺癌中的研究进展[J]. 海南医学, 2020, 31 (11): 1464-1468.
- [17] Nketiah G, Elschot M, Kim E, et al. T2-weighted MRI-derived textural features reflect prostate cancer aggressiveness: preliminary results[J]. Eur Radiol, 2017, 27 (7): 3050-3059.
- [18]张宏江,毕国力,李洪亮,等.MRI纹理分析评价前列腺癌Gleason 评分7 分肿瘤异质性的初步研究[J].实用放射学杂志,2019, 35(11):1794-1796,1820.
- [19] 范婵媛, 闵祥德, 方俊华, 等. 基于ADC图的纹理分析在低、高级别前列腺癌诊断中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2019 (10): 859-863.
- [20] Ma S, Xie H, Wang H, et al. MRI-Based radiomics signature for the preoperative prediction of extracapsular extension of prostate cancer[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(6): 1914-1925.
- [21] Gnep K, Fargeas A, Guti é rrez-Carvajal R E, et al. Haralick textural features on T2-weighted MRI are associated with biochemical recurrence following radiotherapy for peripheral zone prostate cancer[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45 (1): 103-117.
- [22] Shiradkar R, Ghose S, Jambor I, et al. Radiomic features from pretreatment biparametric MRI predict prostate cancer biochemical recurrence: Preliminary findings[J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 48 (6): 1626-1636.
- [23] 龚姝卉,李绍东,孙丽.基于术后增强MRI的纹理分析对肝癌 TACE联合微波消融术后的早期疗效价值[J].中国CT和MRI杂 志,2021,19(1):107-109,128.
- [24]Liu B, Cheng J, Guo D J, et al. Prediction of prostate cancer aggressiveness with a combination of radiomics and machine learning-based analysis of dynamic contrast-enhanced MRI[J]. Clin Radiol, 2019, 74 (11): 896. e1-896. e8.
- [25] Hectors S J, Cherny M, Yadav K K, et al. Radiomics features measured with multiparametric magnetic resonance imaging predict prostate cancer aggressiveness [J]. J Urol, 2019, 202 (3): 498-505.

(收稿日期: 2021-04-02)