

论 著

多序列MRI成像对前列腺癌病理分级及术后早期复发的评估价值*

李婷婷*

河南中医药大学附属第一医院磁共振室
(河南 郑州 450000)

【摘要】目的 观察多序列磁共振成像(MRI)评估前列腺癌病理分级及术后早期复发的价值。**方法** 选择2019年5月至2021年5月于河南中医药大学第一附属医院确诊PCa并于核磁共振室完成影像学检查的169例患者为研究对象,根据Gleason评分分组,Gleason评分 ≤ 6 分为A组($n=48$),Gleason评分7分为B组($n=76$),Gleason评分 ≥ 8 分为C组($n=45$),所有患者均行T1加权像(T1WI)、T2加权像(T2WI)、磁共振弥散加权成像(DWI)和磁共振动态增强扫描(DCE-MRI)序列检查,记录达峰时间(Tmax)、最大强化程度(SImax)及最快强化率(Rmax),基于DWI序列生成ADC图像,获得ADC值。Pearson相关性分析PCa患者ADC值、Tmax值、SImax值及Rmax值与Gleason评分的相关性。术后对患者进行为期3年的随访,剔除脱落样本,根据是否复发分为复发组($n=32$)和未复发组($n=124$),ROC分析ADC值、Tmax值、SImax值及Rmax值对PCa患者术后早期复发的评估价值。**结果** 与A组相比,B组和C组的ADC值、Tmax值明显下降,SImax值、Rmax值明显升高($P<0.05$);与B组相比,C组的ADC值、Tmax值明显下降,SImax值、Rmax值明显升高($P<0.05$)。PCa患者SImax值和Rmax值与其Gleason评分呈正相关,ADC和Tmax值与Gleason评分呈负相关($P<0.05$)。与复发组相比,未复发组PCa患者肿瘤ADC值、Tmax值明显升高,SImax值和Rmax值明显下降($P<0.05$)。联合检测的AUC为0.772,敏感度为90.62%,特异度为63.71%。**结论** ADC值、Tmax值、SImax值及Rmax值等MRI半定量参数可有效评估PCa患者病理分级和术后早期复发风险,临床可重点关注上述参考值异常的患者,给予患者最合理的临床决策。

【关键词】 多序列磁共振成像; 前列腺癌; 病理分级; Gleason评分; 生化复发

【中图分类号】 R737.25

【文献标识码】 A

【基金项目】 基于深度学习和生境成像的多模态MRI预测前列腺癌根治术后生化复发的研究(LHGJ20250414)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.036

Evaluation Value of Multi-sequence MRI in Pathological Grading and Postoperative Early Recurrence of Prostate Cancer*

Li Ting-ting*

MRI Room, The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To observe the evaluation value of multi-sequence magnetic resonance imaging (MRI) in pathological grading and postoperative early recurrence of prostate cancer (PCa). **Methods** A total of 169 patients who were confirmed with PCa and underwent imaging examination in MRI Room of the First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine were enrolled as the research objects between May 2019 and May 2021. According to Gleason scores, they were divided into group A ($n=48$, ≤ 6 points), group B ($n=76$, 7 points) and group C ($n=45$, ≥ 8 points). All patients underwent sequence examinations of T1-weighted imaging (T1WI), T2-weighted imaging (T2WI), diffusion-weighted imaging (DWI) and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) to record time to peak (Tmax), maximum intensification degree (SImax) and fastest reinforcement rate (Rmax). ADC images were generated based on DWI sequences to obtain ADC values. The correlation between ADC, Tmax, SImax, Rmax and Gleason score in PCa patients was analyzed by Pearson correlation analysis. Patients were followed up for 3 years after surgery and the lost samples were removed out. According to presence or absence of recurrence, patients were divided into recurrence group ($n=32$) and non-recurrence group ($n=124$). The evaluation value of ADC, Tmax, SImax and Rmax for postoperative early recurrence in PCa patients was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** Compared with group A, ADC and Tmax were significantly decreased, while SImax and Rmax were significantly increased in groups B and C ($P<0.05$). Compared with group B, ADC and Tmax values were significantly decreased, while SImax and Rmax were significantly increased in group C ($P<0.05$). SImax and Rmax were positively correlated with Gleason score, while ADC and Tmax were negatively correlated with it ($P<0.05$). Compared with recurrence group, ADC and Tmax were significantly increased, while SImax and Rmax were significantly decreased in non-recurrence group ($P<0.05$). **Conclusion** MRI Semi-quantitative parameters (ADC, Tmax, SImax, Rmax) can effectively evaluate pathological grading and risk of postoperative early recurrence in PCa patients. Clinically, patients with the above abnormal indexes should be payed closes attention to and the most reasonable clinical decision should be provided.

Keywords: Multi-sequence Magnetic Resonance Imaging; Prostate Cancer; Pathological Grade; Gleason Score; Biochemical Recurrence

前列腺癌(prostate cancer, PCa)是男性群体中第二高发的恶性肿瘤,发病率在逐年增加^[1]。为降低PCa死亡率,在术前准确评估PCa患者疾病进展和病情严重程度,对其预后的意义重大,但这依赖于为患者提供准确的鉴别诊断手段。随着影像技术的不断革新,多序列磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)一定程度上弥补了常规MRI扫描的不足,为临床提供更全面的可参考数据,有利于对患者的综合病情予以评估^[2-3]。Gleason评分是目前应用广泛的PCa病理分级系统,多数临床决策均依靠Gleason评分进行敲定,也是决定PCa患者预后的重要病理因素,通过建立MRI参数与Gleason评分间的联系,可评价多序列MRI成像对PCa病理分级的评估价值^[4]。此外,PCa患者在行根治术后同样存在复发风险,临床PCa患者术后早期复发表现为前列腺特异抗原(prostate specific antigen, PSA)水平升高,这种生化复发一般认为是PCa进展的早期预警^[5]。在Zukotynski等人的报告中提到,多参数MRI可为PCa生化复发提供组织学验证依据^[6]。基于此,本研究分析了多序列MRI成像对PCa病理分级和术后早期复发的评估价值,以期临床提供更多的影像学证据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选择2019年5月至2021年5月于河南中医药大学第一附属医院确诊PCa并于核磁共振室完成影像学检查的169例患者为研究对象。

纳入标准:符合PCa诊断标准^[7],于河南中医药大学第一附属医院确诊;无MRI禁忌症;临床资料完整;手术和影像学检查时间间隔 <3 个月。排除标准:肝肾功能异常;精神障碍、认知不全,依从性较差;合并其他恶性肿瘤;影像学无法明确病灶。患者均对研究知情,并自愿签署相关文件。根据Gleason评分^[8]分组,Gleason评分 ≤ 6 分为A组($n=48$),Gleason评分7分为B组($n=76$),Gleason评分 ≥ 8 分为C组($n=45$)。

1.2 MRI扫描方法 患者取仰卧位,采用飞利浦3.0T超导型磁共振扫描仪对患者进行前列腺成像,检查序列包括T1加权成像(T1 weighted imaging, T1WI)、T2加权成像

【第一作者】 李婷婷,女,主治医师,主要研究方向:腹盆疾病磁共振影像诊断。E-mail: zrmwy0707@163.com

【通讯作者】 李婷婷

(T2 wighted imaging, T1WI)、磁共振弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)和磁共振动态增强扫描(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)。T1WI: TR 360 ms, TE 7.2 ms, 层厚 4.0 mm, 层间距 1.0 mm; T2WI: TR 3500 ms, TE 110 ms, 层厚4.0 mm, 层距1.0 mm; DCE-MRI: 以3.0 mL/s的速率将对比剂钆喷酸葡胺(0.2mmol/kg)经肘静脉注入体内, 然后以3.0 mL/s的速率注射生理盐水15 mL, 注射对比剂时同步扫描, 连续扫描55期, 共扫描660层, TR 2.7 ms, TE 1.2 ms, 层厚3.0 mm, FOV 400 mm×360 mm, 扫描时间183 s; DWI: 采用单次激发平面回波成像序列, b值1500 s/mm², TR 2000 ms, TE 56.3 ms, 层厚3.0 mm, 层间距0 mm, FOV 360 mm×324 mm, 扫描时间64 s。

1.3 观察指标

1.3.1 图像分析 将图像导入工作站, 由2名具备3年以上影像学经验的高年资诊断医师采用双盲法独立阅片, 并将MRI图象与病理结果对比, 意见不统一时先由双方协商共同评估图像, 仍旧无法达成一致则由第三方介入共同确定。选取病灶最明显区域作为感兴趣区, DCE-MRI经后处理获取患者达峰时间(Tmax)、最大强化程度(SImax)及最快强化率(Rmax)。基于DWI 序列生成ADC图像, 获得ADC值。

1.3.2 随访和复发 术后对患者进行为期3年的随访, 定期(首次为

治疗后1个月, 之后每3个月一次)门诊复查PSA水平, 患者连续两次门诊复查PSA水平升高 ≥ 0.2 ng/mL, 判定患者术后复发, 纳入复发组, 若不满足上述情况则纳入未复发组。

1.4 统计学处理 采用SPSS 21.0和MedCalc软件进行数据的统计分析, 不同病理分级Pca患者肿瘤位置等计数资料采用 χ^2 检验。不同病理分级Pca患者以及复发组和未复发组Pca患者MRI多序列成像参数等相关计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示, 采用单因素方差分析比较A、B、C三组的组间差异, 复发组和未复发组间的差异则采用独立t检验。Pearson相关性分析Pca患者ADC值、Tmax值、SImax值及Rmax值与Gleason评分的相关性。ROC分析ADC值、Tmax值、SImax值及Rmax值对Pca患者术后早期复发的评估价值。 $P < 0.05$ 提示有统计学意义。

2 结果

2.1 典型病例的MRI成像结果 Pca患者, 男, 71岁, 根治术后Gleason评分9分, 术后3年随访未见复发。扫描显示向上推挤膀胱底部, 前列腺增大以移行带为主。T2WI内见多发低信号影结节, 移行带大片状不均匀低信号, 边界不清; DWI显示其内结节状高信号; ADC呈低信号。(见图1~3)。

2.2 不同病理分级Pca患者的基线资料比较 不同病理分级Pca患者的基线资料比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

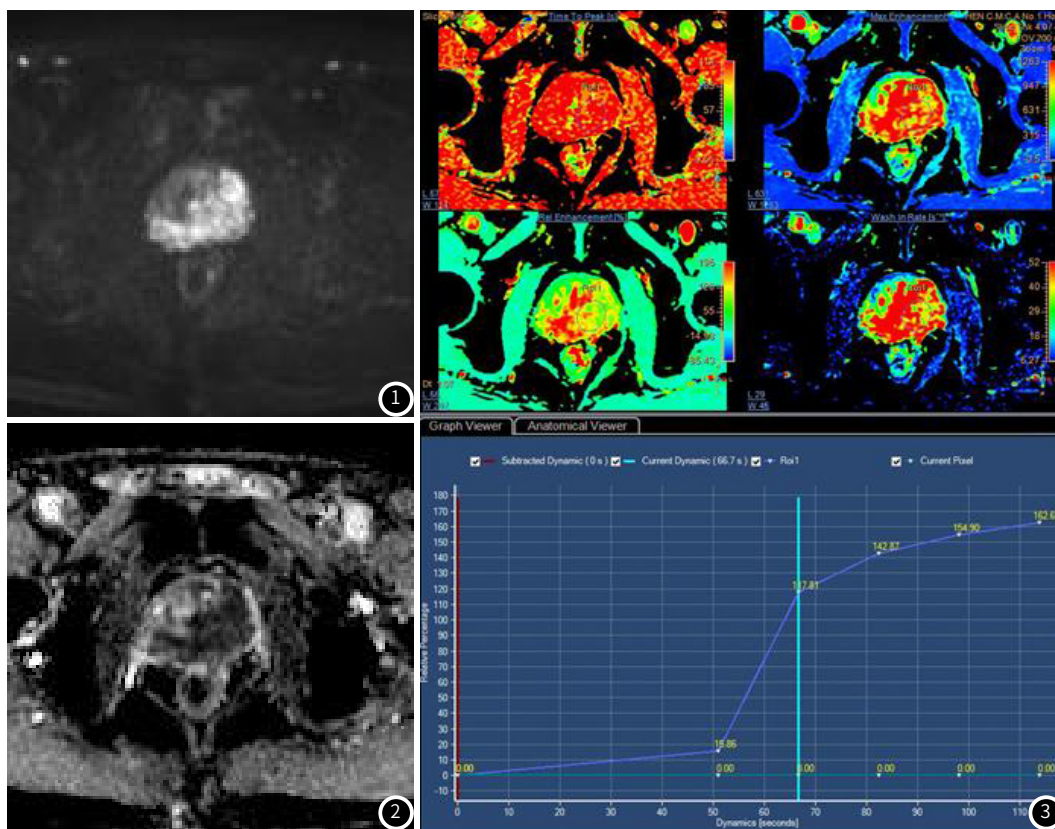


图1 DWI b值1500示前列腺区肿块呈明显高信号。

图2 ADC图呈明显低信号, ADC值为 $0.74 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 。

图3 动态增强示肿块早期强化, 时间信号曲线为缓升平台型。

表1 不同病理分级Pca患者的基线资料比较[n(%)]

组别	年龄	体质量指数(kg/m ²)	病程(月)	前列腺体积(mL)	肿瘤位置(单侧/双侧)
A组(n=48)	72.43±6.82	22.71±2.43	5.76±1.28	76.17±6.34	34/14
B组(n=76)	73.67±7.01	23.48±2.26	6.12±1.57	76.52±5.68	56/20
C组(n=45)	73.19±6.37	22.95±2.15	6.35±1.61	76.78±6.05	27/18
χ^2/F	0.490	1.846	1.836	0.123	2.565
P	0.613	0.161	0.163	0.884	0.277

2.3 不同病理分级Pca患者的MRI参数比较 不同病理分级Pca患者肿瘤ADC值、Tmax值、Slmax值和Rmax值间存在显著差异($P<0.05$)。与A组相比, B组和C组的ADC值、Tmax值明显下降, Slmax值、Rmax值明显升高($P<0.05$); 与B组相比, C组的ADC值、Tmax值明显下降, Slmax值、Rmax值明显升高($P<0.05$)。见表2。

2.4 Pca患者MRI参数与Gleason评分的相关性 Pca患者Slmax值和Rmax值与其Gleason评分呈正相关, ADC和Tmax值与Gleason评分呈负相关($P<0.05$)。见表3。

2.5 复发组和未复发组Pca患者的MRI参数比较 随访2年, 存在13例脱落研究对象, 脱落率为7.69%, 总样本量为156例, 其中复发组32例, 未复发组124例。与复发组相比, 未复发组Pca

患者肿瘤ADC值、Tmax值明显升高, Slmax值和Rmax值明显下降($P<0.05$)。见表4。

2.6 多序列MRI参数对Pca患者术后早期复发的评估价值 以是否复发为因变量进行变量赋值, 复发=1, 未复发=0。结果显示, ADC(AUC=0.630, $P<0.001$)、Tmax值(AUC=0.663, $P<0.001$)、Slmax值(AUC=0.725, $P<0.001$)和Rmax值AUC=0.716, $P<0.001$)均具有对Pca患者术后早期复发的预测价值(均 $P<0.05$)。以各值的截断值为临界值, ADC值小于 $0.97 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、Tmax值小于68.61 s、Slmax值大于1.92%或者Rmax值大于9.17%为阳性, 进行并联检测, 评估联合检测对Pca患者术后早期复发的预测价值, 得到联合检测的AUC为0.772, 敏感度为90.62%, 特异度为63.71%, 联合检测的AUC、敏感度较高。详见图4、表5。

表2 不同病理分级Pca患者的MRI参数比较

组别	ADC ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	Tmax值(s)	Slmax值 (%)	Rmax值 (%)
A组(n=48)	1.01±0.20	87.38±20.27	1.56±0.39	5.19±1.68
B组(n=76)	0.84±0.18*	71.25±13.06*	1.71±0.21*	7.58±1.92*
C组(n=45)	0.73±0.12**	60.47±12.31**	1.89±0.43**	8.43±2.13**
F	31.408	36.871	11.309	37.098
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 与A组相比, * $P<0.05$; 与B组相比, ** $P<0.05$ 。

表3 Pca患者MRI参数与Gleason评分的相关性

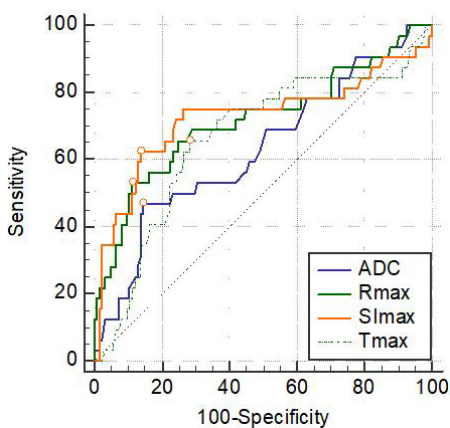
MRI参数	r	P
ADC	-0.384	<0.001
Tmax	-0.336	<0.001
Slmax	0.247	<0.001
Rmax	0.299	<0.001

表4 复发组和未复发组Pca患者的MRI参数比较

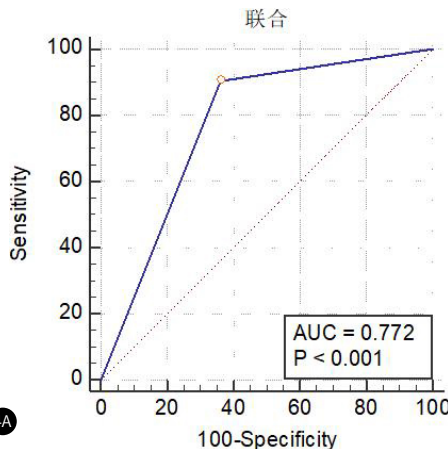
组别	ADC ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	Tmax值(s)	Slmax值 (%)	Rmax值 (%)
复发组(n=32)	0.69±0.12	58.58±14.08	2.18±0.57	10.13±2.38
未复发组(n=124)	1.54±0.23	84.32±21.45	1.57±0.29	7.10±1.91
t	20.175	6.432	5.818	7.590
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.335

表5 多序列MRI参数对Pca患者术后早期复发的评估价值

指标	AUC	95%CI	截断值	敏感度	特异度	P值
ADC ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	0.630	0.549~0.706	0.97	46.88	85.48	<0.001
Tmax值(s)	0.663	0.583~0.736	68.61	65.62	71.77	<0.001
Slmax值 (%)	0.725	0.648~0.794	1.92	62.50	86.29	<0.001
Rmax值 (%)	0.716	0.638~0.785	9.17	53.13	88.71	<0.001
联合检测	0.772	0.698~0.835	-	90.62	63.71	<0.001



4A



4B

图4 多序列MRI参数对Pca患者术后早期复发的评估价值。

3 讨论

目前Pca的治疗和护理途径众多, 但获得可观预后依赖于临床对Pca患者病情的准确评估和对复发风险的精准预测^[9-10]。多序列MRI成像技术在Pca诊断和病情评估方面有不可取代的应用价值, 常规T1WI上Pca组织呈等信号, 导致难以区分病灶和正常腺体, 而T2WI序列扫描则可获取患者前列腺各区带的清晰图像, 随

着影像技术逐步发展, DWI和DCE-MRI等功能成像可为临床提供额外信息, 作为对MRI常规序列的重要补充^[11-13]。

本研究结果显示, 不同病理分级Pca患者ADC值、Tmax值、Slmax值和Rmax值间存在显著差异, 说明MRI多序列半定量参数对于Pca病理分级有一定的评估价值。病理分级越高, 患者ADC

值越小可能是因为随着PCa病理分级增加,表示肿瘤的恶性程度越高,此时PCa细胞排列更紧密,密度更大,细胞间隙缩小,导致水分子扩散运动受限程度增加,而ADC可反映体内水分子扩散情况,因此在DWI上呈现明显高信号,ADC值降低^[14]。李鹏等人的研究指出,ADC值能够有效鉴别移行带高危PCa并对其危险度分级进行量化评估^[15]。罗瑛译等人选择不同的MRI参数评估PCa危险程度和患者早期复发风险,发现ADC值具有预测患者早期复发的应用价值^[16]。DCE-MRI可利用对比剂测量组织血流动力学变化,经后处理得到Tmax、SImax、Rmax值等半定量参数,以此观察患者肿瘤血管生成、血管通透性等血流动力学信息。血管生成与恶性肿瘤的病情进展息息相关,癌细胞通常伴有血管通透性增加和促进血管内皮因子分泌和释放增加的典型微血管特征,随着肿瘤恶性程度增加,微血管数量增加,血管通透性增大,对比剂在血管内外侧的转运增多,使得反映血供进出快慢的Tmax和Rmax值发生变化。SImax值能够反映组织血供量,其值增加表示血供增加,恶性程度较高的PCa患者,因肿瘤新生血管丰富,血供增多,SImax值往往升高。本研究发现,PCa患者SImax值和Rmax值与其Gleason评分呈正相关,ADC和Tmax值与Gleason评分呈负相关,认为多序列MRI半定量参数与PCa患者病理分级间具有明显相关性。临床可通过MRI多序列成像得到相应参数,在术前评估患者病理分级,为患者个性化临床决策提供支持。既往研究指出,PCa患者的ADC值与Gleason评分呈负相关,与本研究结论一致^[17]。张家伟等人的研究指出,ADC、Tmax、SImax、Rmax值与PCa的Ki67表达量存在相关性,可作为评估PCa恶性程度的影像学指标^[18]。

本研究结果显示,未复发组PCa患者肿瘤ADC值、Tmax值明显高于复发组,SImax值和Rmax值明显低于复发组,说明MRI多序列成像半定量参数对于评估PCa患者根治术后早期复发有一定价值,经ROC评估ADC值、Tmax值、SImax值和Rmax值联合检测对PCa患者术后早期复发的预测价值,得到联合检测的AUC为0.772,敏感度为90.62%,特异度为63.71%,综合来看联合检测的AUC、敏感度较高,提示半定量超参数联合检测能够较为灵敏地评估PCa患者术后复发风险。

综上所述,不同病理分级和不同预后PCa患者的MRI多序列成像定量参数存在明显差异,通过分析ADC值、Tmax值、SImax值和Rmax值等MRI半定量参数,有利于完善临床对于PCa危险程度的评估以及预测患者术后早期复发风险。本研究的不足之处在于仅纳入单中心的169例PCa患者的临床资料进行研究,数量较少,可能会影响最终结果准确性,故需扩大研究样本行进一步分析。

参考文献

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, 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] Zong W, Carver E, Zhu S, et al. Prostate cancer malignancy detection and localization from mpMRI using auto-deep learning as one step closer to clinical utilization [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 22430.

[3] Ziglioli F, Maestroni U, Manna C, et al. Multiparametric MRI in the management of prostate cancer: an update—a narrative review [J]. *Gland Surg*, 2020, 9 (6): 2321-2330.

[4] Żurowska A, Pęksa R, Grzywińska M, et al. Comparison of diffusion kurtosis imaging and standard mono-exponential apparent diffusion coefficient in diagnosis of significant prostate cancer—a correlation with gleason score assessed on whole-mount histopathology specimens [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13 (2): 173.

[5] 田超, 曹正国, 韩庆杰, 等. 基于潜在类别分析的不同PSA水平前列腺癌患者术后生化复发影响因素分布 [J]. *临床泌尿外科杂志*, 2022, 37 (7): 537-542.

[6] Zukotynski KA, Rowe SP. Histologic validation of 18F-DCFPyL PET/CT with comparison to multiparametric MRI in biochemically recurrent prostate cancer [J]. *Radiology*, 2020, 296 (3): 573-574.

[7] 赫捷, 陈万青, 李霓, 等. 中国前列腺癌筛查与早诊早治指南(2022) [S]. *中华肿瘤杂志*, 2022, 44 (1): 29-53.

[8] 中华放射学杂志前列腺疾病诊疗工作组, 中华放射学杂志编辑委员会. 前列腺癌MRI检查和诊断共识(第二版) [J]. *中华放射学杂志*, 2018, 52 (10): 743-750.

[9] 陈小梅, 陈琼, 吴清龙, 等. 基于患者安全的个案管理护理在前列腺癌患者中的应用效果 [J]. *护理实践与研究*, 2023, 20 (11): 1688-1692.

[10] Ziglioli F, Maestroni U, Manna C, et al. Multiparametric MRI in the management of prostate cancer: an update—a narrative review [J]. *Gland Surg*, 2020, 9 (6): 2321-2330.

[11] 孙文杰, 王欣, 刘玲, 等. 3.0T磁共振多参数成像及动态增强扫描对前列腺癌的诊断价值 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20 (1): 138-141.

[12] Zhou X, Fan X, Chatterjee A, et al. Parametric maps of spatial two-tissue compartment model for prostate dynamic contrast enhanced MRI—comparison with the standard tofts model in the diagnosis of prostate cancer [J]. *Phys Eng Sci Med*, 2023, 46 (3): 1215-1226.

[13] Toivonen J, Montoya Perez I, Movahedi P, et al. Radiomics and machine learning of multisequence multiparametric prostate MRI: Towards improved non-invasive prostate cancer characterization [J]. *PLoS One*, 2019, 14 (7): e0217702.

[14] Fan X, Chatterjee A, Pittman JM, et al. Effectiveness of dynamic contrast enhanced MRI with a split dose of gadoterate meglumine for detection of prostate cancer [J]. *Acad Radiol*, 2022, 29 (6): 796-803.

[15] 李鹏, 李艳, 徐洁, 等. 磁共振表观扩散系数鉴别诊断移行带高危前列腺癌及与病理分级分组的相关性 [J]. *磁共振成像*, 2024, 15 (2): 77-82, 89.

[16] 罗瑛译, 韦利娥, 玉开温. 多模态MRI参数联合血清miR-301a水平评估前列腺癌危险程度及预测早期复发的价值 [J]. *放射学实践*, 2022, 37 (5): 560-565.

[17] 汪兵, 谭必勇. 多参数MRI联合临床相关指标对PSA灰区前列腺癌的诊断及危险分层 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2025, 23 (2): 156-158.

[18] 张家伟, 赵莹莹, 黄婷, 等. 前列腺癌扩散加权成像、动态对比增强MRI参数与Ki-67蛋白表达的相关性 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2019, 27 (3): 216-220.

(收稿日期: 2024-07-12)

(校对编辑: 翁佳鸿)