

本文引文格式:林诚,李康媛,何学林.合成 MRI 序列联合双参数 MRI 鉴别前列腺良恶性病变效能及与动态增强 MRI 一致性研究[J].右江民族医学院学报,2026,48(3):349-354.

【论著与临床报道】

合成 MRI 序列联合双参数 MRI 鉴别前列腺良恶性 病变效能及与动态增强 MRI 一致性研究

林诚,李康媛,何学林

(广西玉林市第一人民医院,广西 玉林 537000)

摘要:目的 探讨合成 MRI 序列(MDME)联合双参数 MRI(bpMRI)鉴别前列腺良恶性病变的诊断价值,以及与动态增强 MRI(DCE-MRI)的一致性,为钆对比剂禁忌证患者提供替代方案。方法 回顾性分析 2024 年 1 月至 2025 年 7 月 127 例经病理证实的前列腺病变患者(前列腺癌 55 例,良性增生 72 例),所有患者均行 MDME 序列、bpMRI(T2WI+DWI)及 DCE-MRI 检查。以病理结果为金标准,通过 ROC 曲线分析 MDME+ADC 模型的诊断效能;以 DCE-MRI 定量参数 Ktrans 为参照,采用 Bland-Altman 分析及组内相关系数(ICC)评估模型一致性。结果 恶性组 T1 值、T2 值及 ADC 值显著低于良性组,差异具有统计学意义[T1:恶性组(1078.04 ± 165.69) ms vs 良性组(1486.73 ± 102.97) ms; T2:恶性组(94.63 ± 14.57) ms vs 良性组(126.12 ± 6.89) ms;ADC:恶性组(0.57 ± 0.13) $\times 10^{-3}$ mm²/s vs 良性组(0.78 ± 0.15) $\times 10^{-3}$ mm²/s, $P < 0.001$];MDME+ADC 模型鉴别良恶性病变的 AUC 为 0.980(95% CI :0.958~1.000),敏感度 92.7%,特异度 97.2%;该模型与表观扩散系数(ADC)+容积转运常数(Ktrans)模型一致性分析显示,组内相关系数(ICC)为 0.945(95% CI :0.922~0.961, $P < 0.001$),提示两者具有高度一致性。结论 本研究系统性整合 MDME 序列与 bpMRI 的联合方案鉴别前列腺良恶性病变效能优异,与 DCE-MRI 诊断结果高度一致。结合 PI-RADS v2.1 指南中 DCE-MRI 的定位,可作为对比剂禁忌证患者的安全、精准诊断选择,兼具客观性与效率优势,具有重要临床推广价值。

关键词:合成序列;双参数磁共振;前列腺肿瘤;动态增强磁共振

中图分类号:R737.25

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2026)03-0349-06

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2026.03.004

Diagnostic efficacy of synthetic MRI sequence combined with biparametric MRI in differentiating benign and malignant prostatic lesions and its consistency with dynamic contrast-enhanced MRI

LIN Cheng, LI Kangyuan, HE Xuelin

(The First People's Hospital of Yulin, Yulin 537000, Guangxi, China)

Abstract: **Objective** To investigate the diagnostic value of synthetic MRI (MDME) combined with biparametric MRI (bpMRI) for differentiating benign and malignant prostatic lesions, and analyze its consistency with dynamic contrast-enhanced MRI (DCE-MRI), so as to provide an alternative diagnostic strategy for patients with contraindications to gadolinium-based contrast agents. **Methods** A total of 127 patients with pathologically confirmed prostatic lesions (55 cases of prostate cancer and 72 cases of benign prostatic hyperplasia) admitted from January 2024 to July 2025 were retrospectively enrolled. All patients underwent the MDME sequence, bpMRI (T2WI+DWI) and DCE-MRI examinations. With pathological findings as the gold standard, receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to assess the diagnostic efficacy of

基金项目:玉林市科学研究与技术开发计划项目(玉市科 202432084)

第一作者:林诚,主管技师,研究方向:磁共振功能成像技术,E-mail:215668354@qq.com

the combined MDME+ADC model. Using the quantitative parameter Ktrans derived from DCE-MRI as the reference standard, Bland-Altman analysis and intraclass correlation coefficient (ICC) were adopted to evaluate the consistency between the two diagnostic schemes. **Results** The T1, T2 and ADC values in the malignant group were significantly lower than those in the benign group, with statistically significant intergroup differences [T1: malignant group (1078.04 ± 165.69) ms vs. benign group (1486.73 ± 102.97) ms; T2: malignant group (94.63 ± 14.57) ms vs. benign group (126.12 ± 6.89) ms; ADC: malignant group (0.57 ± 0.13) $\times 10^{-3}$ mm²/s vs. benign group (0.78 ± 0.15) $\times 10^{-3}$ mm²/s, $P < 0.001$]. The AUC of the MDME+ADC model for distinguishing benign and malignant lesions reached 0.980 (95% CI: 0.958–1.000), with a sensitivity of 92.7% and specificity of 97.2%. Consistency analysis between this model and the ADC+Ktrans model yielded an ICC of 0.945 (95% CI: 0.922–0.961, $P < 0.001$), indicating excellent consistency between the two diagnostic approaches. **Conclusion** The combined diagnostic protocol integrating MDME sequence and bpMRI achieved excellent efficacy in differentiating benign and malignant prostatic lesions, and showed high consistency with DCE-MRI diagnosis. Based on the role of DCE-MRI specified in the PI-RADS v2.1 guidelines, this combined scheme may serve as a safe and accurate diagnostic alternative for patients with gadolinium-based contrast agent contraindications, combining objectivity with efficiency, and holds significant promise for clinical application.

Key words: synthetic MRI sequence; biparametric magnetic resonance imaging; prostate neoplasms; dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging

前列腺癌是严重威胁男性健康的常见恶性肿瘤,其早期精准诊断对临床治疗及改善预后至关重要。多参数磁共振成像(multiparametric magnetic resonance imaging, mpMRI)已成为前列腺癌影像学评估的核心手段,其中动态对比增强 MRI(DCE-MRI)通过分析组织血流动力学特征,显著提高了病变检出率^[1]。然而, DCE-MRI 需注射钆对比剂,存在肾源性系统性纤维化等潜在风险^[2],且延长了扫描时间。据报道,联合 DCE-MRI 序列的 mpMRI 总扫描时间较无 DCE 方案增加 30%~40%,易导致患者运动伪影增加^[3]。

双参数 MRI (biparametric MRI, bpMRI, 即 T2WI 联合扩散加权成像 DWI) 因其无创、快速的优点,被建议作为 mpMRI 的简化替代方案^[4]。多项研究证实, bpMRI 在前列腺癌筛查和诊断中与 mpMRI 具有相当的效能,其通过省略 DCE 序列可显著降低造影剂风险与扫描成本(较 mpMRI 成本降低 37%~50%, 单次检查可节省 15~20 min), 尤其适用于造影剂禁忌人群^[5]。但 bpMRI 仍存在局限性:一是对中央腺体(过渡区)癌的诊断效能低于 mpMRI, 因缺乏 DCE 序列而无法评估病变血流动力学特征^[6], 其对临床显著前列腺癌的总体敏感性较 mpMRI 低 3.0%~7.8%^[7], 过渡区差异更突出;二是诊断依赖主观视觉评估, 阅片者间一致性低于 mpMRI ($k=0.665$ vs $k=0.739$ ^[7]);三是对 PI-RADS 3 级病变的鉴别能力不足, 易增加不必要活检或漏诊风险^[6-7]。

合成 MRI 技术(如 MDME 序列)为突破上述局限提供了新思路。该技术单次扫描中同步获取 T1、T2 及质子密度的定量图谱,其参数具有良好的设备间

重复性[组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC) >0.90]与组织特异性^[8]。已有研究证实,合成 MRI 的 T1、T2 值可有效鉴别前列腺外周带良恶性病变,其定量参数与 PI-RADS v2.1 系统结合可显著提升诊断效能^[9-10],其机制在于恶性病变中增多的细胞膜与细胞器会缩短 T1、T2 弛豫时间,这一特性为前列腺病变的客观评估提供了微观结构依据^[6]。值得注意的是, PI-RADS v2.1 指南已明确 DCE-MRI 仅作为外周带 PI-RADS 3 级病变的“tie-breaker”,且对过渡区病变的诊断价值有限^[1]。这一背景进一步凸显了无需造影剂定量成像技术的临床需求。

基于上述背景,本研究系统性整合 MDME 序列与 bpMRI,构建完全无需钆对比剂的联合诊断模型。旨在评估该模型鉴别前列腺良恶性病变的效能,并通过与包含 DCE-MRI 定量参数容积转运常数(Ktrans)的传统模型进行一致性分析,验证其作为对比剂禁忌患者替代方案的临床等效性与应用潜力^[3]。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本次研究回顾性收集本院 2024 年 1 月至 2025 年 7 月因临床诊断为前列腺疾病行前列腺 3.0 T MRI 扫描的患者资料 127 例。纳入标准:①经 12 针系统性穿刺+靶向穿刺病理确诊(Gleason 分级参照 ISUP 2019 标准^[11]);②MRI 检查与穿刺间隔 ≤ 14 d 且未接受内分泌治疗、放疗干预;③患者临床资料[年龄、前列腺特异性抗原(PSA)水平、前列腺体积]完整;④图像无明显运动、金属伪影,满足诊断要求。排除标准:①既往接受前列腺手术、放疗或化疗;②存在 MRI 检查禁忌证(如心脏起搏器、幽闭恐惧症);③

图像质量不满足 ROI 勾画要求(如病灶钙化、坏死面积>30%)。本研究经玉林市第一人民医院伦理委员会批准(批准文号: YLSY-IRB-SR-2025141),因属回顾性研究,免除受试者知情同意,符合《赫尔辛基宣言》伦理要求。

1.2 检查方法

1.2.1 操作方法 采用 Siemens Vida 3.0T 超导 MRI、18 通道体部相控阵线圈,排除检查禁忌证,讲解检查流程,嘱患者仰卧位,头先进,中心定位于耻骨联合上方 2 cm。扫描范围:包括精囊腺和全部前列腺。扫描序列包括:轴位 T2WI,TR 2800 ms,TE 109 ms,层厚 3 mm,FOV 200 mm×200 mm,矩阵 256 mm×320 mm。轴位 T1WI,TR 600 ms,TE 11 ms,层厚 3 mm,FOV 200 mm×200 mm,矩阵 256 mm×320 mm。轴位 MDME 序列,TR 4350 ms,TE1 23 ms,TE2 101 ms,层厚 4 mm,FOV 230 mm×183mm,矩阵 208 mm×320 mm。冠状位 T2WI spair,TR 9520 ms,TE 99,FOV 180 mm×155 mm,矩阵 211 mm×288 mm。矢状位 T2WI,TR 5000 ms,TE 101 ms,层厚 3 mm,FOV 200 mm×200 mm,矩阵 256 mm×320 mm。DWI 使用单次激发快速自旋回波序列,TR 4900 ms,TE 59 ms,层厚 3 mm,FOV 220 mm×220 mm,矩阵 114 mm×114 mm,选取 3 个方向的扩散敏感梯度,b 值取 50 s/mm²、800 s/mm²、1 600 s/mm²。动态增强 DCE 序列,采用对比剂钆布醇经静脉推注,剂量 0.1 mmol/kg,TR 3.2 ms,TE 1.26 ms,层厚 3 mm,FOV 300 mm×300 mm,矩阵 216 mm×288 mm,采集 35 期,每 9 s 一期,采集时间 300 s。

1.2.2 图像分析 扫描结束后分别将 DWI 与 DCE-MRI 传送至 syngo. via 工作站、MDME 序列加载到后处理工作站生成定量 T1、T2 图。影像特征提取参考赵莹莹等^[12]提出的标准流程,由两名 5 年以上诊断经验的影像诊断的放射科医师采用盲法独立操作,在病变最大层面沿边缘勾画 ROI,并避开病灶钙化、坏死、囊变及出血区。获取 T1、T2 值、Ktrans;以 b=1 600 s/mm²、800 s/mm² 测量表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)(源自 DWI,反映组织内水分子扩散受限程度)数值及 PI-RADS v2.1 评分,所有数

据取 4 次测量值的平均值,以减少误差。当存在 1 个以上的病变时,选取最大的病灶进行测量。

1.2.3 病理学检查 本研究中用于分组的病理学检查为经直肠超声引导下前列腺系统穿刺活检标本的病理学检查。诊断依据:根据世界卫生组织(WHO)前列腺肿瘤分类标准,明确诊断为前列腺腺癌(恶性组)或前列腺增生(良性组);恶性组同时明确 Gleason 分级,确保病理诊断的准确性。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 27.0 进行统计学分析。正态分布计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示。通过受试者工作特征曲线(ROC)评价各参数及联合模型对前列腺良恶性病变的诊断效能,计算曲线下面积(AUC)及其 95% 置信区间(CI)。采用 ICC(2,k)模型评估观察者间一致性(依据 Koo & Li 标准:0.75<ICC≤0.9 为良好,>0.9 为优秀)。采用 Bland-Altman 图分析 ADC 与 Ktrans 测量值的一致性。采用 Pearson 相关性分析评估各影像参数间的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象基本特征 本次研究共收集 127 例患者资料,其中确诊前列腺癌(恶性组)共 55 例(43.31%),确诊前列腺增生(良性组)共 72 例(56.70%)。恶性组患者年龄范围为 55~93 岁,平均年龄(70.23±8.51)岁;良性组患者年龄范围为 52~88 岁,平均年龄(72.46±7.85)岁。恶性组与良性组年龄分布比较差异无统计学意义($t = 1.532, P = 0.128$),具有可比性。

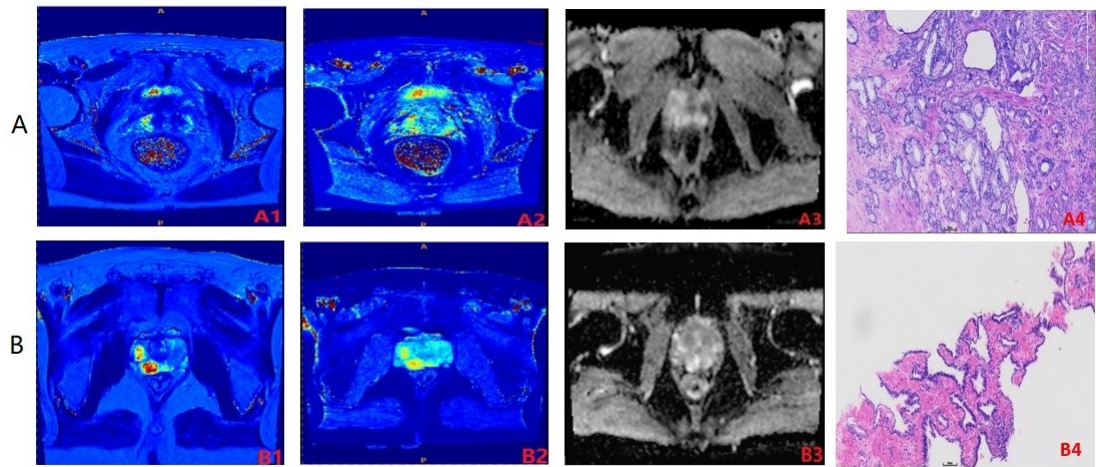
2.2 良恶性病变组定量参数比较 恶性组 T1 值、T2 值及 ADC 值均显著低于良性组,Ktrans 值显著高于良性组,差异有统计学意义($P < 0.001$),具体数值见表 1;良恶性病变对应的影像学特征及病理对照见图 1。

2.3 诊断效能分析 以病理结果为金标准,采用 ROC 曲线分析并计算约登指数确定最佳截断值。3 种模型中,MDME 联合 ADC 模型鉴别前列腺良恶性病变的效能优秀(AUC=0.980,约登指数 0.899),显著优于 ADC 单独模型(约登指数 0.669)。结果见表 2、图 2。

表 1 良恶性病变组各定量参数比较

参数	良性组($n = 72$)	恶性组($n = 55$)	t	P
T1 值/ms	1486.73±102.97	1078.04±165.69	16.074	<0.001
T2 值/ms	126.12±6.89	94.63±14.57	14.818	<0.001
ADC 值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	0.78±0.15	0.57±0.13	8.539	<0.001
Ktrans/min	0.29±0.03	0.36±0.19	-16.913	<0.001

注:表内计量资料数据以($\bar{x} \pm s$)表示。



注:A 为 65 岁男性,病症位于左侧外周带,PSA 8.02 $\mu\text{g/L}$ 。其中 A1 图中 $T_2=73.9\text{ ms}$, A2 图中 $T_1=942.6\text{ ms}$,A3 图中 $\text{ADC}=0.57\times10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$,A4 图中前列腺病理图(HE $\times100$,标尺:80 μm),前列腺病理学诊断为 Gleason 3+4=7 分腺癌;B 为 57 岁男性,病症位于左侧外周带,PSA0.66 $\mu\text{g/L}$ 。其中 B1 图中 $T_2=126.4\text{ ms}$,B2 图中 $T_1=1511.7\text{ ms}$,B3 图中 $\text{ADC}=0.96\times10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$, B4 图中前列腺病理图(HE $\times100$,标尺:80 μm),前列腺病理学诊断为前列腺增生。

图 1 良恶性前列腺病变 MDME 序列联合 bpMRI 定量参数与病理对照图

表 2 不同诊断模型在前列腺癌鉴别中的 ROC 曲线

模型	AUC(95% CI)	最佳截断值	敏感度/%	特异度/%	约登指数
MDME+ADC	0.980(0.958~1.000)	0.433	92.7	97.2	0.899
ADC	0.858(0.791~0.925)	-0.722	89.1	77.8	0.669
ADC+Ktrans	0.990(0.975~1.000)	0.400	100	95.8	0.958

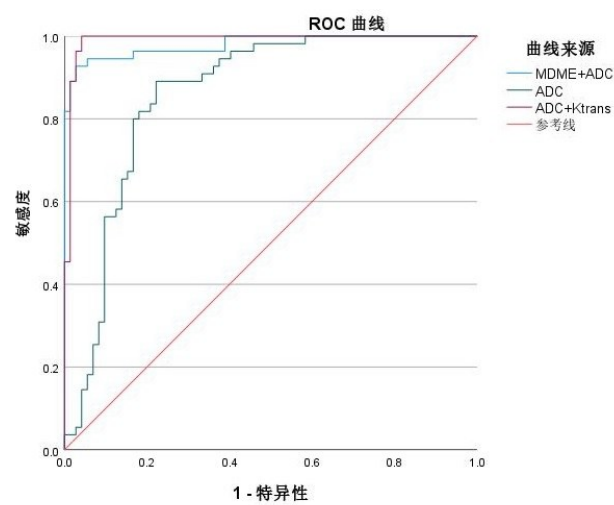


图 2 不同诊断模型在前列腺癌鉴别中的 ROC 曲线

2.4 一致性分析结果

2.4.1 Bland-Altman 分析 MDME 联合 ADC 模型与 ADC 联合 Ktrans 模型的 Bland-Altman 分析结果,如图 3 所示。两模型预测值的差值行正态性检验,夏皮洛-威尔克检验 $W=0.764(P<0.001)$,柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫检验 $D=0.260(P<0.001)$,结合偏度-1.319、峰度 6.509,差值呈非正态分布,采用 2.5%~97.5%分位数法(非参数)计算 95%一致性界

限(95% LOA)。两模型预测值平均差值为 0.000 (95% CI : -0.0376~0.0376),95%LOA 为 -0.7197~0.4513(非对称分布);96.1%的数据点位于 LOA 内。

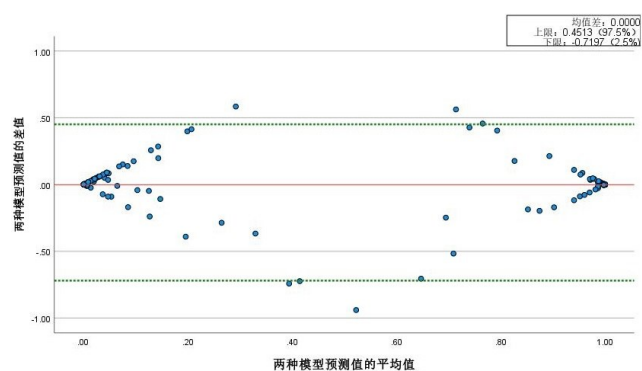
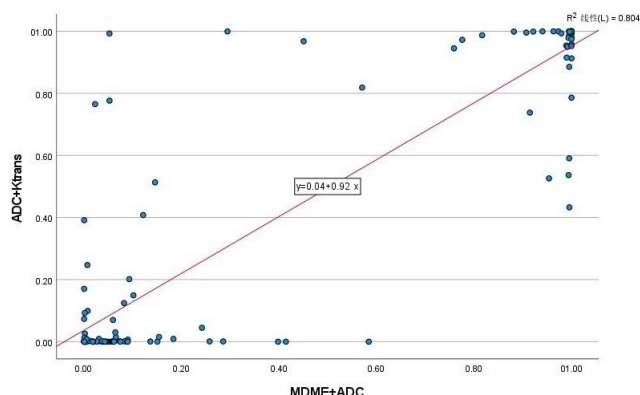


图 3 MDME+ADC 模型与 ADC+Ktrans 模型的 Bland-Altman 分析图

2.4.2 组内相关系数(ICC)分析 采用双向混合效应模型的类内相关系数(ICC)评估 MDME+ADC 与 ADC+Ktrans 模型预测值的一致性(C 类一致性系数,排除测量间方差)。结果显示:单次测量的 ICC 为 0.896(95% CI :0.856~0.926),平均测量的 ICC 为

0.945(95% CI :0.922~0.961), $P < 0.001$, 提示两模型预测值具有优秀的一致性。

2.5 影像学参数相关性分析 通过 Pearson 相关性分析评估两种预测模型的一致性。如图 4 所示, MDME 联合 ADC 模型与 ADC 联合 Ktrans 模型的预测值呈显著正相关($r = 0.896$, $P < 0.001$, 95% CI : 0.856~0.926)。



注:线性回归分析得到方程 $y = 0.04 + 0.92x$ 。

图 4 MDME 联合 ADC 模型与 ADC 联合 Ktrans 模型的 Pearson 相关性分析

3 讨论

3.1 MDME 联合 bpMRI 的诊断效能与机制 本研究以病理结果为金标准,证实 MDME 联合 ADC 模型鉴别前列腺良恶性病变的效能优秀(AUC=0.980, 约登指数 0.899),显著优于 ADC 单独模型(约登指数 0.669)。这一结果的生物学机制可从前列腺癌的病理特征解释:①细胞密度与水分子扩散:前列腺癌组织细胞密度异常增高,挤压细胞外间隙,导致水分子扩散受限,ADC 值降低^[1,13];②组织微环境与弛豫时间:恶性病变中增多的细胞膜与细胞器(如线粒体)改变了水分子的微观运动环境,缩短 T1、T2 弛豫时间^[8-10]。本研究中性恶性组 T1、T2 值较良性组降低,与 CHENG H 等^[10]报道的 SyMRI-T2 值在前列腺癌中的降低的趋势一致;③参数协同效应:ADC 值反映水分子扩散受限(宏观结构)^[14],T1、T2 值反映组织生化成分(微观环境),二者联合可从不同维度捕获肿瘤特征,减少单一参数的误诊率^[15-18]。从临床应用场景看,MDME+ADC 联合模型的最佳截断值为 0.433,具有明确的临床决策价值:当模型预测值 ≥ 0.433 时,恶性病变诊断的敏感性与特异性分别达 92.7%、97.2%,提示恶性风险极高,建议优先行穿刺活检;当预测值 < 0.433 时,阴性预测值约 94.6%,且无高侵袭性癌漏诊,可考虑定期 MRI 随访。该截断值尤其适用于 PI-RADS 3 级病变的鉴别,有助于减少不必要活检,降低患者医疗负担与穿刺相关并发症风险。ADC 单独模型敏感度

略低(89.1%),仅适合作为辅助指标;ADC+Ktrans 联合模型敏感度极高(100%),特异性略低(95.8%),更适用于需高度排除恶性病变的场景(如主动监测患者的随访评估)。

3.2 与 DCE-MRI 的一致性及其临床意义 本研究通过 Bland-Altman、ICC 及相关性分析证实,MDME 联合 ADC 模型与 ADC+Ktrans 模型具有高度一致性,且线性回归方程 $y = 0.92x + 0.04$ 的斜率接近 1,提示两种模型预测值间存在近乎 1:1 的对应关系,这一结果为 MDME 联合方案替代 DCE-MRI 提供了直接证据。其核心机制在于:肿瘤新生血管生成(Ktrans 反映)与细胞密度/间质压力(T1、T2、ADC 反映)存在紧密关联。肿瘤间质压力增高会压缩细胞外间隙,同时诱导血管异常增生,导致 Ktrans 升高与弛豫时间缩短的同步发生^[15-17]。这一机制与 EMMETT L 等^[3]的研究结论一致,即无造影剂的多参数模型可间接捕获肿瘤血管相关信息,从而达到与 DCE-MRI 相当的诊断效能。

从临床转化角度,MDME 联合 bpMRI 的优势体现在 3 个方面:①安全性:完全规避钆对比剂相关风险(如肾源性系统性纤维化),尤其适用于肾功能不全患者[估算肾小球滤过率 $< 30 \text{ mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$]^[2],可提供免钆对比剂的精准诊断选择;②效率与成本:MDME 单次扫描约 5 min 即可获取 T1、T2 定量图^[18-19],联合 DWI 的总扫描时间较传统 mpMRI 缩短 25%~30%^[5,8],且省去钆对比剂的费用;③客观性与标准化:T1、T2 及 ADC 均为客观物理量,观察者间差异小,有利于多中心研究与随访对比^[10,14]。

3.3 局限性 本研究存在以下局限性:①单中心回顾性设计:样本量(127 例)虽与近期同类研究相当^[3],但可能存在选择偏倚,未来需开展多中心前瞻性研究(建议样本量 ≥ 300 例),验证 MDME 参数的跨中心重复性^[10];②未深入分析 MDME 参数与 Gleason 分级、PSMA 表达的相关性,而 GREENBERG J W 等^[20]的研究证实,多模态参数联合可预测肿瘤侵袭性,未来可拓展该方向;③DWI b 值设置:本研究最高 b 值为 $1600 \text{ s}/\text{mm}^2$,有研究指出超高位 b 值(如 $2000 \text{ s}/\text{mm}^2$)可减少 T2 shine-through 效应,进一步提升 ADC 值的鉴别能力^[14],未来可优化 b 值组合。

4 结论

依据前列腺影像报告与数据系统(PI-RADS)v2.1 指南核心共识,本研究系统性整合多动态多回波(MDME)序列定量弛豫参数(T1、T2 值)与双参数 MRI(bpMRI)核心诊断序列(T2WI、DWI 衍生 ADC 值),构建了完全无需钆对比剂的前列腺良恶性病变联合诊断模型。本研究方案并非意图替代指南推荐的标

准化诊断体系,而是针对钆对比剂禁忌人群(如肾功能不全、对比剂过敏患者),提供了一种契合指南诊断逻辑、安全精准的个体化替代策略。该联合模型通过 MDME 序列的定量弛豫参数,在保留 T2WI、DWI 核心诊断价值的基础上,进一步补充了组织微观结构的客观生物学信息,有效规避了单一影像参数的主观依赖性与鉴别局限,既符合临床诊疗规范,又满足了特殊人群的诊疗需求,为前列腺病变的精准影像学评估拓展了合规、高效的技术路径,具备重要的临床转化与推广价值。

参考文献:

[1] 蔡二朋,左宗叶,汤凯,等. 基于 PI-RADS V2.1 评估 DCE-MRI 定量值对外周带前列腺癌和局灶性慢性前列腺炎的鉴别价值[J]. 磁共振成像,2024,15(7):124-129,178.

[2] 中华医学会放射学分会质量控制与安全管理专业委员会. 肾病患者静脉注射钆对比剂应用中国专家共识[J]. 中华放射学杂志,2022,56(3):221-230.

[3] EMMETT L,PAPA N,COUNTER W,et al. Reproducibility and accuracy of the PRIMARY score on PSMA PET and of PI-RADS on multiparametric MRI for prostate cancer diagnosis within a real-world database[J]. J Nucl Med,2024,65(1):94-99.

[4] PICKERSGILL N A,SHIANG A L,VETTER J M,et al. Diagnostic accuracy of biparametric vs. multiparametric MRI for clinically significant prostate cancer[J]. World J Urol,2025,43(1):577.

[5] WANG Y Y,SUN H,FENG H R,et al. Quantitative synthetic MRI improves peripheral zone prostate cancer detection beyond PI-RADS v2.1 [J]. Int Urol Nephrol, 2025. DOI:10.1007/s11255-025-04901-8.

[6] IACOB R,MANOLESCU D,STOICESCU E R,et al. The diagnostic value of bpMRI in prostate cancer:benefits and limitations compared to mpMRI[J]. Bioengineering,2024, 11(10):1006.

[7] SONG J H,ZHAO C L,ZHANG F,et al. The diagnostic performance in clinically significant prostate cancer with PI-RADS version 2.1:simplified bpMRI versus standard mpMRI[J]. Abdom Radiol,2023,48(2):704-712.

[8] 崔峰,王聪,王娅,等. MAGiC 技术的基本原理及临床研究进展[J]. 临床放射学杂志,2021,40(12):2434-2437.

[9] 桑节峰,韩磊,李大鹏,等. 合成 MRI 定量参数在 PI-RADS 评分 3~4 分前列腺病变诊断中的应用[J]. 中国中西医结合影像学杂志,2024,22(4):445-448,479.

[10] CHENG H,YANG B W,CUI Y D,et al. SyMRI histogram analysis for diagnosing clinically significant prostate cancer[J]. Acta Radiol,2025,66(10):1122-1131.

[11] 陈锐,周桥. 国际泌尿病理协会前列腺癌病理分级 2019 年共识简介[J]. 中华病理学杂志,2021,50(2):167-171.

[12] 赵莹莹,方陈,吴声连,等. 基于 Bp-MRI 影像组学预测前列腺病变良恶性的效能及风险评估[J]. 磁共振成像, 2022,13(8):43-47.

[13] 周建收,刘洪,赵正凯. 甲状腺专用表面线圈 ADC 值对甲状腺微小结节良恶性的鉴别诊断价值[J]. 右江民族医学院学报,2025,47(4):619-623.

[14] ZAWAIDEH J P,SALA E,SHAIDA N,et al. Diagnostic accuracy of biparametric versus multiparametric prostate MRI:assessment of contrast benefit in clinical practice [J]. Eur Radiol,2020,30(7):4039-4049.

[15] 李昌,王娟,冯国洋,等. 动态对比增强 MRI 结合扩散加权成像在外周带前列腺良性病变患者中的鉴别诊断价值[J]. 实用放射学杂志,2025,41(5):810-814.

[16] OTO A,KAYHAN A,JIANG Y L,et al. Prostate cancer: differentiation of central gland cancer from benign prostatic hyperplasia by using diffusion-weighted and dynamic contrast-enhanced MR imaging [J]. Radiology, 2010,257(3):715-723.

[17] O'SHEA A,HARISINGHANI M. PI-RADS: multiparametric MRI in prostate cancer [J]. Magn Reson Mater Phy,2022,35(4):523-532.

[18] CAO H Y,XU W J,XU Y,et al. Value of synthetic MRI quantitative parameters in preprocedural evaluation for TRUS/MRI fusion-guided biopsy of the prostate [J]. Prostate,2023,83(11):1089-1098.

[19] 贝明洁,祝新. 集成磁共振成像技术在前列腺癌中的研究进展[J]. 磁共振成像,2025,16(2):210-214.

[20] GREENBERG J W,KOLLER C R,CASADO C,et al. A narrative review of biparametric MRI (bpMRI) implementation on screening,detection,and the overall accuracy for prostate cancer [J]. Ther Adv Urol, 2022, 14: 17562872221096377.

收稿日期:2025-12-09;修回日期:2026-03-06

(本文编辑 覃黎黎)