

## Application of Multimodal MRI in Evaluating the Efficacy of Prostate Cancer Treatment\*

ZHU Pian, YANG Fan\*, ZHOU Lang.  
Department of Radiology, Wuhan Third Hospital, Wuhan 430073, Hubei Province, China

论 著

## 多模态MRI在前列腺癌疗效评价中的应用\*

朱 翩 杨 凡\* 周 浪  
武汉市第三医院放射科 (湖北武汉 430073)

**【摘要】目的** 探讨多模态MRI在前列腺癌疗效评价中的价值。**方法** 收集2021年3月至2023年2月期间的100例前列腺癌，全部病例在我院治疗前、后均进行了完整的多模态MR检查，针对其中T2WI、DWI、ADC主要序列进行治疗前后对比。根据改良实体肿瘤反应评价标准(mRECIST)以及前列腺特异性抗原(PSA)水平的变化，将患者分为有效组(90例)和无效组(10例)。我们分析了治疗前后ADC值的变化、MRI影像特征的变化以及PSA水平的变化，以评估治疗效果。**结果** (1)治疗后100例患者的癌灶体积均表现为缩小趋势，DWI信号值可见降低、ADC值可见升高；(2)治疗后患者前列腺体积和肿瘤平均体积均小于治疗前( $P<0.05$ )；(3)治疗后患者ADC值均升高，PSA值均降低( $P<0.05$ )；(4)治疗后前列腺癌患者的PSA值与ADC值表现为负相关关系；(5)治疗后，有效组ADC值表现为明显增高趋势，较无效组更高( $P<0.05$ )；(6)10例患者在随访期间复发，90例患者疾病控制良好，PSA呈现持续下降表现。**结论** 多模态MRI序列中T2WI、DWI、ADC可作为评价前列腺临床疗效的有效手段，主要表现为治疗后的病灶ADC值升高，与PSA水平呈负相关关系，肿瘤病灶体积呈现缩小状态。

**【关键词】** 前列腺癌；多模态磁共振成像；前列腺特异性抗原

**【中图分类号】** R697+3

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 武汉市医学科研项目(WX21C30)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2025.07.039

## ABSTRACT

**Objective** To explore the value of multimodal MRI in evaluating the efficacy of prostate cancer treatment. **Methods** A total of 100 cases of prostate cancer collected from March 2021 to February 2023 were included in this study. All cases underwent comprehensive multimodal MRI examinations before and after treatment at our hospital, focusing on the main sequences T2WI, DWI, and ADC for pre- and post-treatment comparison. Based on the modified Response Evaluation Criteria in Solid Tumors (mRECIST) and prostate-specific antigen (PSA) combined assessment, patients were divided into an effective group (90 cases) and an ineffective group (10 cases). Changes in ADC values, MRI image features, and PSA values before and after treatment were compared. **Results** (1) Post-treatment, the volume of cancer lesions in all 100 patients showed a trend of reduction, with decreased DWI signal values and increased ADC values. (2) Post-treatment prostate volume and average tumor volume were significantly smaller than pre-treatment values ( $P<0.05$ ). (3) Post-treatment ADC values increased and PSA values decreased ( $P<0.05$ ). (4) There was a negative correlation between PSA values and ADC values in prostate cancer patients after treatment. (5) The effective group exhibited a significantly higher increase in ADC values compared to the ineffective group ( $P<0.05$ ). (6) During the follow-up period, 10 patients experienced recurrence, while 90 patients showed good disease control with continuously decreasing PSA levels. **Conclusion** Multimodal MRI sequences, including T2WI, DWI, and ADC, can serve as effective methods for evaluating clinical efficacy in prostate cancer, characterized mainly by increased ADC values post-treatment, a negative correlation with PSA levels, and a reduction in tumor lesion volume.

**Keywords:** Prostate Cancer; Multimodal Magnetic Resonance Imaging; Prostate-specific Antigen

前列腺癌为泌尿系统常见的恶性肿瘤，在全球男性中的发病率位居第二。2020年，全球新增病例约为141.43万<sup>[1]</sup>。近几年，前列腺癌的发病率持续增高，中国患者确诊时多为中晚期病例，且占比显著提高，预后不良严重影响了患者的生存时间<sup>[2-3]</sup>。因此，前列腺癌治疗后的疗效评估监测尤为重要。前列腺特异性抗原(prostate-specific antigen, PSA)在评估临床疗效方面具有重要意义，但其敏感性和特异性较差，难以准确反映患者治疗前后的肿瘤组织学及生物学变化<sup>[4-6]</sup>。随着我国影像学技术的持续发展，MRI在临床中得到了广泛应用，可实现多参数、多平面及多序列的影像学评估。扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)利用单次激发平面回波技术，对活体组织的弥散运动进行成像，大大提高了前列腺癌诊断的准确性<sup>[7]</sup>。据此，本研究致力于探究MRI技术在前列腺癌治疗效果评价中的应用潜力。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 收集2021年3月至2023年2月期间的100例前列腺癌患者。患者年龄范围43至91岁，平均年龄为(65.24±11.89)岁。其临床症状主要包括尿频、尿急或排尿困难49例，血尿23例，关节疼痛18例，其他10例。病理类型分别为腺泡腺癌35例，导管腺癌25例，尿路上皮癌15例，黏液腺癌15例，其他10例。病理分期：T2期4例，T3期71例，T4期25例。所有参与者及其家属已充分了解本研究的相关内容，并自愿签署了知情同意书。本研究经过湖北省武汉市第三医院伦理委员会的审核并获得批准。

**纳入标准：**通过超声引导经直肠前列腺穿刺活检结合其他影像学检查确诊为前列腺癌；有前列腺癌的临床症状，如尿频、排尿困难、血尿等；同意接受ADT联合新型内分泌药物治疗，且无药物禁忌证；无MRI检查禁忌症；所有病例在我院治疗前后均进行了完整的多模态MR检查。**排除标准：**原发前列腺癌的MRI检查阴性；非初诊前列腺癌或已接受其他局部或系统治疗；伴有其他恶性肿瘤；存在心、肺、肝、肾功能障碍。

**1.2 方法** 患者采用仰卧位，使用3.0T MRI设备进行扫描。检查前一天进行肠道准备，以防止肠内气体影响MRI成像。检查前需排空膀胱，并将体相控阵线圈放置于盆腔处，中心对准耻骨联合上缘，进行常规大范围轴位T1WI及高分辨轴冠状位T2WI扫描，并使用3D容积内插屏气行动态增强扫描。DWI扫描参数：使用平面回波成像(EPI)序列，定位与轴位T2WI保持一致，扫描范围涵盖前列腺及精囊。扩散敏感系数(b值)设定为0s/mm<sup>2</sup>和1500s/mm<sup>2</sup>，TR为2500.0ms，TE为54.0ms，层厚为3mm，EOV设置为20cm×20cm，矩阵为128×128，扫描时间为3-5分钟。

**1.3 观察指标** (1)MRI图像表现及ADC值测量：将扫描图像传至工作站后分析，由两位高年资放射科医师根据病理部位，在ADC图上绘制感兴趣区并进行ADC值测量。在最大癌灶层面测量实质性部分的ADC值，使用同样大小的圆形感兴趣区在病灶部位不同位置随机测量三次，计算该区域的平均值作为ADC值。

**【第一作者】** 朱 翩，女，住院医师，主要研究方向：腹部影像。E-mail: 15623177527@163.com

**【通讯作者】** 杨 凡，女，主治医师，主要研究方向：生殖系统。E-mail: 758783557@qq.com

(2)前列腺体积和肿瘤平均体积：利用T2WI序列对前列腺左右径、前后径及上下径的最大值进行测量，此外计算前列腺体积(prostatic volume, PV)，计算公式为： $PV=\pi/6\times\text{左右径}\times\text{前后径}\times\text{上下径}$ 。采用双盲法测量治疗前后肿瘤体积。

(3)PSA值：抽取患者静脉血，离心后取血清，采用放射免疫法测定总PSA浓度，分别记录治疗前后的PSA值。

(4)ADC变化值与变化率：计算公式如下：内分泌治疗后的ADC变化值定义为治疗后ADC值与治疗前ADC值之差，ADC变化率则计算为(治疗后ADC值-治疗前ADC值)除以治疗前ADC值。我们对两组之间的ADC变化值及变化率进行了差异分析。

(5)病例随访和疗效评价：对所有参与本研究的患者进行6个月的随访，每1至2个月复查一次PSA和MRI。生化复发定义为：治疗后在PSA低点(<1.0 ng/mL)后出现3次连续的PSA上升，或达最低点后上升2ng/mL。

**1.4 统计学分析** 本次研究采用SPSS 26.0(Version X; IBM, Armonk, NY, USA)对数据进行分析。计量数据采用K-S检验对

数据分布情况进行统计。符合正态分布数据采用均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )进行表示，无效组与有效组组间比较采用独立样本t检验，治疗前与治疗后比较采用配对t检验。计数资料用率表示，根据频数情况分别采用皮尔森卡方检验或连续校正检验；等级资料采用秩和检验。相关性分析采用皮尔森相关分析， $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 治疗前后MRI表现** 在100例前列腺癌患者中，20例癌灶位于中央腺体，35例位于外周带，剩余45例患者同时累及中央腺体与外周带。治疗前，T2WI显示癌灶均为低信号，边界不清晰；DWI表现为扩散受限，DWI图像呈现明显高信号，ADC图像显示低信号，ADC值下降。精囊腺受侵患者在T2WI上可见精囊高信号减弱，表现为低信号变化，各序列的信号强度与原发肿瘤病灶相近。治疗后，所有患者的癌灶体积均缩小，DWI信号减弱，ADC值升高(见图1A-1C、图2A-2C)。

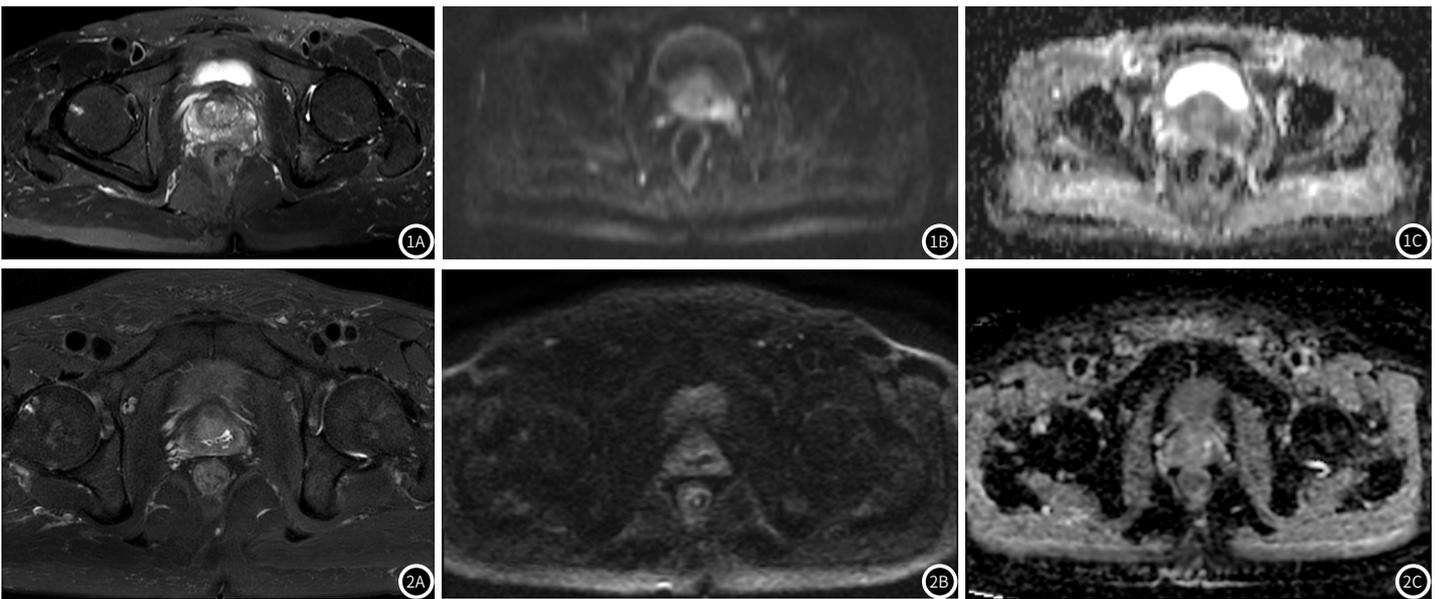


图1A-图1C 治疗前MRI表现。图1A T2WI前列腺外周带左侧见斑片状稍低信号；图1B DWI序列显示高信号；图1C ADC呈现低信号。

图2A-图2C 治疗后MRI表现。图2A-T2WI、图2B-DWI、图2C-ADC均显示前列腺左侧外周带异常信号病灶范围缩小。

**2.2 100例患者治疗前后前列腺体积和肿瘤平均体积对比** 治疗后，患者的前列腺体积和肿瘤平均体积均小于治疗前( $P<0.05$ )。具体数据见表1。

表1 前列腺体积和肿瘤平均体积对比( $\text{cm}^3$ )

指标	前列腺体积	肿瘤平均体积
初治前	65.67±32.30	29.44±9.92
治疗后	30.74±13.60*	14.28±8.46*
t	10.066	11.744
P	0.000	0.000

注：与治疗前相比，\* $P<0.05$ 。

**2.3 100例患者ADC值、PSA值变化情况** 治疗后发现，患者的ADC值显著升高，PSA值显著降低( $P<0.05$ )。具体数据见表2。

表2 ADC值、PSA值对比

指标	ADC值( $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ )	PSA值( $\text{ng/mL}$ )
治疗前	0.74±0.15	140.03±69.27
治疗后	1.17±0.22*	82.33±43.30*
t	-16.310	7.134
P	0.000	0.000

注：与治疗前相比，\* $P<0.05$ 。

**2.4 治疗前后ADC值与PSA值的相关性** 治疗前后发现，PSA值与ADC值的皮尔森相关系数r值分别为-0.790和-0.802，P值均小于0.001，提示PSA值与ADC值呈负相关。具体数据见表3。

表3 ADC值与PSA值的相关性

初治前		初治后	
皮尔森系数	P值	皮尔森系数	P值
-0.790	<0.001	-0.802	<0.001

**2.5 有效组和无效组治疗前后ADC值、ADC变化值和变化率的对比** 治疗前发现, 两组患者的ADC值比较, 不存在显著差异( $P>0.05$ ); 治疗后发现, 有效组中的ADC值与无效组相比显著升高( $P<0.05$ )。有效组和无效组的ADC变化值及变化率之间存在显著统计学差异( $P<0.05$ )。具体数据请参见表4。

表4 ADC值、ADC变化值和变化率的对比

分组	ADC值( $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ )		ADC变化值	ADC变化率
	治疗前	治疗后		
无效组(n=10)	0.78 $\pm$ 0.23	0.89 $\pm$ 0.15	0.11 $\pm$ 0.13	-1.10 $\pm$ 13.18
有效组(n=92)	0.71 $\pm$ 0.10	1.12 $\pm$ 0.17 <sup>#</sup>	0.41 $\pm$ 0.18 <sup>#</sup>	60.61 $\pm$ 30.21 <sup>#</sup>
t	-1.786	4.104	5.117	6.371
P	0.077	0.000	0.000	0.000

注: 与治疗前相比, \* $P<0.05$ ; 与无效组相比, <sup>#</sup> $P<0.05$ 。

### 3 讨论

前列腺癌作为男性生殖系统中最为常见并高发的肿瘤, 以严重影响患者的生活质量和生存安全<sup>[8-9]</sup>。临床治疗主要通过降低和抑制体内雄激素, 抑制癌细胞生长并促使其凋亡。PSA是评估前列腺癌临床疗效改善的关键指标, 单独使用存在局限性, 效果较为片面。约20%的前列腺癌患者在治疗后PSA水平 $<4.0\text{ ng/mL}$ , 但仍面临疾病进展的风险<sup>[10]</sup>。随着影像引导放射治疗和调强放射治疗等技术的发展, 前列腺癌进入了精准放射治疗时代, MR成像技术在放射治疗后局部复发的检测中也发挥了重要作用<sup>[11-13]</sup>。MRI具有高分辨率, 可进行多角度、全方位成像, 能够准确判断病变部位, 辨别组织间的受累情况, 为临床诊断和鉴别提供科学的影像数据<sup>[14]</sup>。

DWI能精确反映组织内水分子的布朗运动特性, 作为目前唯一可以在活体状态下进行的无创定量评估水分子扩散的影像技术<sup>[15]</sup>。ADC值可以有效表征组织中水分子的扩散情况, ADC值越高, 表明组织扩散速度越快<sup>[16-17]</sup>。本研究发现, 前列腺癌患者治疗后腺体组织信号降低, 前列腺体积和肿瘤平均体积均小于治疗前, ADC值升高。表明DWI能够有效监测病变程度, 为后续治疗提供准确参考, 有利于预后。

魏铭等<sup>[18]</sup>利用DWI对24例前列腺患者治疗后ADC进行测定, 结果显示病灶缩小, ADC值升高, 与本研究结果一致。DWI采集时间短、特异性高, 能够在肿瘤形态和体积改变之前, 通过ADC值定量检测出病变中水分子扩散的情况和差异。细胞数量和体积减少, 导管形态变化, 均会导致细胞外液比例增加, 加强水分子自由扩散, 导致前列腺癌组织ADC值增加。由于癌区扩散受限程度的改变可能早于其形态学的改变, MRI在前列腺癌临床疗效判断中, 不仅需要观察病灶形态变化, 还要结合T2WI和DWI及ADC值。此外, 对于治疗后肿瘤显著缩小、病灶信号降低的患者, 难以与正常非癌区域区分的情况, 更需要结合DWI中的ADC值进行检测, 以实现治疗效果的评估。

本研究发现, 前列腺癌患者治疗后, ADC值、PSA之间存在负相关; 治疗有效组ADC变化值和变化率显著增大。说明ADC值可作为前列腺癌患者疗效判定的重要指标。李拔森等<sup>[19]</sup>研究指出, 前列腺患者治疗后ADC值升高, 与PSA水平呈负相关关系, 且治疗有效患者的ADC变化值和变化率与治疗无效患者差异显著, 与本研究结果一致。因此, DWI及其ADC值作为无创、科学的检测手段, 可作为评估治疗效果的重要指标。由于本研究样本量有限、研究周期较短, 结果可能存在一定偏差。在未来我们将扩充样本量, 增加观察时间周期, 通过开展更深入的研究探索其机制。

综上所述, MR成像技术可作为判断前列腺癌患者临床疗效的重要手段。治疗后, 前列腺癌患者的ADC值升高, 与PSA水平负相关, 肿瘤病灶体积逐步缩小。ADC变化值与变化率可有效评估前列腺癌治疗效果, 为临床实践提供依据。

**2.6 病例随访和疗效评价** 在为期6个月的随访中, 100例患者中有10例复发, 主要包括生化复发(3例)、局部复发(3例)、远处复发(4例)。90例患者疾病控制良好, PSA值持续下降, 无异常情况发生。

### 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: a Cancer Journal for Clinicians*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2]DESAI M M, CACCIAMANI G E, GILL K, et al. Trends in incidence of metastatic prostate cancer in the US [J]. *JAMA Network Open*, 2022, 5(3): e222246.
- [3]SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2020 [J]. *CA: a Cancer Journal for Clinicians*, 2020, 70(1): 7-30.
- [4]CAPORALE A S, NEZZO M, DI TRANI M G, et al. Acquisition parameters influence diffusion metrics effectiveness in probing prostate tumor and age-related microstructure [J]. *Journal of Personalized Medicine*, 2023, 13(5): 860.
- [5]刘莺, 黄盛松, 吴登光. 超声检测在前列腺癌诊断中的研究进展 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2023, 44(8): 634-636.
- [6]崔凌煦, 红华, 刘倩, 等. 超声成像技术在前列腺癌诊断和内分泌治疗疗效评估中应用 [J]. *生物医学工程与临床*, 2021, 25(6): 780-784.
- [7]蔚纳, 吴慧, 任嘉梁, 等. 磁共振T2WI纹理分析对前列腺癌雄激素剥夺治疗疗效评估的临床价值 [J]. *放射学实践*, 2021, 36(7): 905-910.
- [8]霍敏华, 张坤, 索凌云, 等. MRI多参数成像联合超声在前列腺癌诊断中的价值 [J]. *实用放射学杂志*, 2021, 37(2): 267-270.
- [9]李文进, 石冬梅, 扬黄昌, 等. MR扩散加权成像在前列腺癌恶性鉴别诊断中的应用价值及其敏感度、特异度和准确度分析 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2019, 17(6): 116-118, 140.
- [10]米悦, 吴静云, 沈祺, 等. 磁共振扩散加权成像检查对前列腺癌新辅助内分泌治疗疗效的预测价值 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(2): 120-125.
- [11]元昕, 李洪振. 前列腺癌放射治疗策略与进展 [J]. *中国医刊*, 2023, 58(6): 597-601.
- [12]BOESEN L, CHABANOVA E, LØGAGER V, et al. Prostate cancer staging with extracapsular extension risk scoring using multiparametric MRI: a correlation with histopathology [J]. *European Radiology*, 2015, 25(6): 1776-1785.
- [13]MUEHLEMATTER U J, BURGER I A, BECKER A S, et al. Diagnostic accuracy of multiparametric mri versus 68ga-psma-11 pet/mri for extracapsular extension and seminal vesicle invasion in patients with prostate cancer [J]. *Radiology*, 2019, 293(2): 350-358.
- [14]赵云歆, 孙剑, 王晓莲, 等. 经直肠超声造影联合磁共振对前列腺癌的早期诊断价值 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2021, 19(8): 120-122, 128.
- [15]谢艳琴. 多b值弥散加权成像(DWI)联合磁共振动态增强扫描(DCE-MRI)在前列腺癌术前分期中的诊断价值 [J]. *甘肃医药*, 2023, 42(5): 420-422.
- [16]SUROV A, MEYER H J, WIENKE A. Correlations between apparent diffusion coefficient and gleason score in prostate cancer: a systematic review [J]. *European Urology Oncology*, 2020, 3(4): 489-497.
- [17]SCIALPI M, MARTORANA E, SCALERA G B, et al. Apparent diffusion coefficient and lesion volume to detect prostate cancer [J]. *Radiology*, 2023, 307(3): e222177.
- [18]魏铭, 李静, 燕小梅, 等. MR扩散加权成像在前列腺癌内分泌治疗后疗效评价的临床价值 [J]. *智慧健康*, 2021, 7(9): 1-3.
- [19]李拔森, 刘良进, 阮亚俊, 等. 基于PI-RADS v2.1磁共振扩散加权成像对前列腺癌内分泌治疗疗效的预测价值 [J]. *肿瘤防治研究*, 2023, 50(7): 694-699.

(收稿日期: 2024-06-28)

(校对编辑: 韩敏求、姚丽娜)