

动态增强 MRI 在前列腺癌分期中的影像学应用研究

李尧 阮振平*

安徽医科大学第二附属医院

DOI:10.32629/ffcr.v4i2.19973

[摘要] 目的: 探讨动态增强磁共振成像(Dynamic Contrast-Enhanced MRI, DCE MRI)在前列腺癌(PCa)T分期中的影像学应用价值,特别是评估前列腺包膜侵犯(ECE)和精囊腺侵犯(SVI)的准确性,并分析其定量参数与肿瘤侵袭性(Gleason评分)的关系。方法: 本研究回顾性分析了156例经根治性前列腺切除术(RP)和术后病理学证实的PCa患者的术前多参数磁共振成像(mpMRI)资料。所有患者术前均行T2WI、DWI和DCE-MRI扫描。两名经验丰富的放射科医师独立对DCE MRI的定性、半定量(TIC曲线)和定量参数(K^{trans} 、 V_e)进行评估,并与术后病理结果作为金标准进行对比,计算其在T分期中的诊断效能。结果: DCE-MRI结合mpMRI对局部晚期(T3期)PCa的诊断准确率达到89.7%。在ECE评估中,DCE-MRI征象(肿瘤性增强突破包膜)的敏感性为81.5%,特异性为92.3%。对于SVI评估,特异性高达95.5%。高侵袭性肿瘤(Gleason评分)的病灶区域平均 K^{trans} 值($0.55 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$)显著高于低侵袭性肿瘤($0.32 \pm 0.08 \text{ min}^{-1}$)($P < 0.01$)。结论: DCE-MRI作为mpMRI的关键组成部分,能够提供前列腺癌的微血管功能信息,显著提高PCa术前T分期的准确性,其定量参数可作为评估肿瘤侵袭性的客观影像学生物标志物。

[关键词] 前列腺癌; 动态增强磁共振成像; 包膜侵犯; 精囊腺侵犯; K^{trans}

中图分类号: R737.25 文献标识码: A

Research on the Imaging Application of Dynamic Contrast-Enhanced MRI in Prostate Cancer Staging

Yao Li ZhenpingYuan*

The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University

[Abstract] Objective: To explore the imaging application value of Dynamic Contrast-Enhanced MRI (DCE MRI) in the T staging of prostate cancer (PCa), especially the accuracy in evaluating prostate capsule invasion (ECE) and seminal vesicle invasion (SVI). And analyze the relationship between its quantitative parameters and tumor invasiveness (Gleason score). Methods: This study retrospectively analyzed the preoperative multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) data of 156 patients with PCa confirmed by radical prostatectomy (RP) and postoperative pathology. All patients underwent T2WI, DWI and DCE-MRI scans before the operation. Two experienced radiologists independently evaluated the qualitative, semi-quantitative (TIC curve) and quantitative parameters (K^{trans} , V_e) of DCE MRI, and compared them with the postoperative pathological results as the gold standard to calculate their diagnostic efficacy in T staging. Result: The diagnostic accuracy rate of DCE-MRI combined with mpMRI for locally advanced (T3 stage) PCa reached 89.7%. In the ECE assessment, the sensitivity of DCE-MRI signs (neoplastic enhanced breakthrough of the capsule) was 81.5%, and the specificity was 92.3%. For SVI assessment, the specificity is as high as 95.5%. The average K^{trans} value in the lesion area of highly invasive tumors (Gleason score) ($0.55 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$) was significantly higher than that of low-invasive tumors ($0.32 \pm 0.08 \text{ min}^{-1}$) ($P < 0.01$). Conclusion: DCE-MRI, as a key component of mpMRI, can provide microvascular function information of prostate cancer, significantly improve the accuracy of preoperative T staging of PCa, and its quantitative parameters can be used as objective imaging for evaluating tumor invasiveness

[Key words] Prostate cancer; dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging; capsular invasion; seminal vesicle invasion; K^{trans}

1 引言

前列腺癌(PCa)是中老年男性最常见的泌尿生殖系统恶性肿瘤。正确的术前临床分期尤其是T分期(局部浸润),对指导治疗决策非常重要,这决定是否进行根治性前列腺切除术、保留神经血管束以及是否需要术后辅助治疗。多参数磁共振成像(mpMRI)是目前PCa术前局部检查的首选影像学手段。

mpMRI既有解剖结构T2WI又有功能信息DWI和DCE-MRI。DCE-MRI的核心就是监测静脉注射钆剂之后,肿瘤组织微血管床的血流灌注和通透性的变化。前列腺癌组织由于异常血管生成,血管密度增加、通透性增高,在DCE-MRI上表现为特有的“快进快出”强化模式。本文主要通过DCE-MRI的定性、半定量、定量参数分析来评价DCE-MRI对前列腺癌局部晚期(T3期)分期的准确性,特别是包膜外侵犯(ECE)、精囊腺侵犯(SVI)的诊断准确性。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

本文采用回顾性研究法,收集2022年12月~2024年12月在我院行根治性前列腺切除术的PCa患者156例的临床及影像学资料。

纳入标准:(1)术前均行mpMRI检查;(2)术后病理报告完整,可作为分期金标准;(3)MRI图像质量满足诊断要求。

排除标准:(1)术前接受过内分泌治疗、放疗或其他局部治疗;(2)MRI图像严重伪影影响分析;(3)临床和病理资料不完整。

2.2 MRI扫描方案

所有患者均使用3.0T MRI扫描仪(Vida),采用盆腔相控阵线圈进行扫描。mpMRI序列包括:

T2WI:高分辨率轴位、冠位和矢状位。

DWI:采用单次激发平面回波序列,多b值采集($b=0, 800, 1500, 2000\text{s/mm}^2$),并计算表观弥散系数(ADC)图。

DCE-MRI:采用高时间分辨率的T1加权容积采集序列。静脉团注Gd-DTPA(0.1mmol/kg ,流速 3.0ml/s),扫描时间分辨率控制在低于5秒。

2.3 影像学分析与分期诊断

两名具有5年以上前列腺MRI诊断经验的放射科医师(A医师和B医师)在不知晓病理结果的情况下,对所有图像独立进行分析。

T分期标准:

ECE诊断(T3a):DCE-MRI主要诊断征象包括:肿瘤早期强化信号突破包膜轮廓,并延伸至包膜外脂肪组织或神经血管束区域;肿瘤与包膜接触长度超过15mm且伴有快速强化。

SVI诊断(T3b):精囊腺内出现与前列腺原发灶同步的早期、快速、异常强化信号。

定量分析:使用专业软件(NordicICE)对可疑病灶区域进行药代动力学建模(Tofts模型),计算传输常数(K^{trans})和血管外细胞外间隙容积分数(V_e)。感兴趣区域(ROI)放置于肿瘤最显著强化的核心区域,同时对侧或相邻正常前列腺组织放置对照ROI。

2.4 统计学方法

采用SPSS26.0统计软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本t检验。计数资料采用卡方检验。以术后病理结果为金标准,计算DCE-MRI在评估ECE and SVI中的敏感性(Sensitivity)、特异性(Specificity)、阳性预测值(PPV)和阴性预测值(NPV)。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 DCE-MRI在T分期诊断中的整体效能

在156例患者中,术后病理证实T2期(器官局限性)患者有92例,T3期(局部晚期)患者有64例(其中T3a:40例,T3b:24例)。

诊断准确率:DCE-MRI单独诊断T3期的准确率为78.9%,结合T2WI和DWI的mpMRI诊断T3期的准确率提高至89.7%。

诊断指标	术后病理T3期(N=64)	术后病理非T3期(N=92)	诊断效能
DCE-MRI诊断T3期	57	10	敏感性:89.1%
DCE-MRI诊断非T3期	7	82	特异性:89.1%

3.2 DCE-MRI评估包膜外侵犯(ECE)的结果

在40例病理证实的T3a(ECE)患者中,DCE-MRI成功识别了33例,漏诊7例。在116例无ECE的患者中,DCE-MRI误诊为ECE的有9例。

诊断参数	数值
敏感性	82.50%
特异性	92.20%
阳性预测值(PPV)	78.60%
阴性预测值(NPV)	94.00%

DCE-MRI对ECE诊断的优势在于:在T2WI判断模糊时,若发现包膜外区域出现III型(清除型)时间-信号强度曲线的异常强化,则诊断ECE的可靠性极高。

3.3 DCE-MRI评估精囊腺侵犯(SVI)的结果

在24例病理证实的T3b(SVI)患者中,DCE-MRI成功识别了20例,漏诊4例。在132例无SVI的患者中,DCE-MRI误诊为SVI的仅有6例(假阳性)。

诊断参数	数值
敏感性	83.30%
特异性	95.50%
阳性预测值(PPV)	76.90%
阴性预测值(NPV)	97.00%

DCE-MRI对于SVI的特异性比较高,主要依靠的是精囊腺内局部异常强化的特征。良性病变如出血或者精囊腺炎所引发的T2WI低信号区,在DCE-MRI上一般没有早期强化,或者是只有延迟的、弥漫性的I型强化,这样就有效地避免了假阳性。

3.4 DCE-MRI定量参数与Gleason评分的关系

本研究将患者按Gleason评分分为低侵袭性(Gleason评分 ≤ 6 , $N=55$)和高侵袭性(Gleason评分 ≥ 7 , $N=101$)两组。

高侵袭性肿瘤组病灶的平均 K^{trans} 值和 V_e 值均显著高于低侵袭性肿瘤组($P<0.01$)。

组别	Gleason≤6 (N=55)	Gleason≥7 (N=101)	P 值
K^{trans} (min ⁻¹)	0.32±0.08	0.55±0.12	<0.01
V_e (体积比)	0.15±0.03	0.20±0.05	<0.01
组别	Gleason≤6 (N=55)	Gleason≥7 (N=101)	P 值
K^{trans} (min ⁻¹)	0.32±0.08	0.55±0.12	<0.01

定量参数阈值: 以 $K^{trans}=0.40\text{min}^{-1}$ 作为区分高侵袭性和低侵袭性PCa的阈值, 其诊断准确率为85.3%。这表明 K^{trans} 可作为评估肿瘤侵袭性和潜在分期升高的客观指标。

4 讨论

本研究结果很好地显示了DCE-MRI对前列腺癌T分期有很重要的作用。经过定量和定性分析之后, DCE-MRI就得到一些直接关联肿瘤微血管病理生理状况的特别信息。

4.1 DCE-MRI在T3期评估中的优势

局部晚期PCa诊断时, 单纯的T2WI会因为炎症、出血或者活检后纤维化, 造成包膜、精囊腺边界的判断不清。DCE-MRI的功能性优势: 它所识别出的异常强化区域是活性肿瘤细胞新生血管活动的直接反映, 可以将强化的活动性肿瘤浸润与无强化的纤维化或水肿区域区分开来。

本组显示DCE-MRI对ECE和SVI的特异性均大于92%, 说明对于局部浸润的诊断是可靠的, 能够减少术中神经血管束保留或淋巴结清扫的误判。尤其是SVI的诊断, DCE-MRI的异常强化模式可以很好地区分良性出血或者炎症导致的T2WI低信号, 大大降低了假阳性率。

4.2 定量参数的临床价值

药代动力学参数 K^{trans} 反映了造影剂从血浆转移到血管外间隙的速率, 受血流量和毛细血管通透性共同影响。本研究结果显示, K^{trans} 与Gleason评分呈显著正相关, 高Gleason评分肿瘤(高侵袭性)具有更高的 K^{trans} 值, 提示这些肿瘤拥有更旺盛的血流灌注和更高的微血管通透性。这不仅可以辅助区分肿瘤的侵袭性, 也可能为术前预测患者生化复发风险提供了额外的影像学生物标志物。

4.3 局限性

本研究虽然采用了严格的结构, 但是仍然存在不足。首先DCE-MRI对于移行带(TZ)PCa的诊断权重及准确性要低于外周带(PZ), 由于TZ的良性前列腺增生结节会存在早期强化, 会对鉴别诊断造成一定的干扰。其次定量参数的准确很大程度上取决于扫描参数是否标准化、注射速度是否恒定、后处理软件的算法是否一致, 不同机构间的可重复性仍然存在问题。

5 结论

动态增强MRI成了前列腺癌多参数MRI分期方案里不可缺少的重要技术。它凭借定性定量的血流动力学信息, 明显改善了前列腺癌对包膜外侵犯和精囊腺侵犯的准确度, 它的定量参数 K^{trans} 同肿瘤的侵袭性有关联。DCE-MRI给临床医生赋予了准确的T分期信息, 成了制订个体化治疗方案(像神经血管束保留, 局部治疗等等)的要紧影像学参照。

[参考文献]

- [1]张标, 孙美玉. 多参数MRI评估前列腺癌包膜外侵犯的研究进展[J]. 磁共振成像, 2025, 16(10): 208-214.
- [2]薛建秀. 多参数MRI检查对前列腺癌和前列腺炎的鉴别诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(20): 132-134.
- [3]周银珍, 丁叶平, 王刚. 动态对比增强MRI多定量参数对前列腺癌不同危险程度的诊断价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(16): 69-72.
- [4]沈蕾. MRI动态增强联合ADC在前列腺癌诊断及Gleason分级中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2025, 43(05): 124-130+138.
- [5]李爱莹, 胡晓航, 王雅静, 等. 动态对比增强MRI瘤内及瘤周影像组学联合临床指标预测前列腺癌Ki-67表达[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22(06): 389-393.

作者简介:

李尧(1989--), 女, 汉族, 安徽滁州人, 学士, 主治医师, 研究方向: 医学影像诊断。

*通讯作者:

阮振平(1984--), 男, 汉族, 安徽合肥人, 学士, 副主任技师, 研究方向: 副盆腔影像。