

## 论 著

## 不同b值扩散加权成像对移行带前列腺癌与基质型前列腺增生的临床诊断价值及ADC值与相关生物学指标的关联性分析\*

何亮 夏思佳 陈蔚

江登科\*

湖南中医药大学第二附属医院放射影像科  
(湖南长沙 410005)

**【摘要】目的** 探究不同扩散敏感系数(b值)扩散加权成像(DWI)对移行带前列腺癌(TZPCa)与基质型前列腺增生(S-BPH)的临床诊断价值,并分析表观扩散系数(ADC)与相关生物学指标的关联性。**方法** 回顾性收集2021年3月至2024年3月于我院收治的96例前列腺特异性抗原(PSA)升高、高度怀疑前列腺癌(PCa)的患者作为研究对象,平均年龄(62.98±4.85)岁。所有患者均经病理检查证实,其中40例TZPCa,56例S-BPH。通过受试者工作特征(ROC)曲线评估磁共振成像(MRI)平扫、DWI-ADC鉴别TZPCa、S-BPH的诊断价值。采用Pearson相关性分析检验变量之间的关系。**结果** (1)TZPCa组患者中有PCa家族史的人数占比、PSA、 $\alpha$ -甲基酰基辅酶A消旋酶(P504S)、血管内皮生长因子(VEGF)水平均显著高于S-BPH组( $P<0.05$ )。(2)TZPCa组患者以DWI高信号为主,S-BPH组患者以DWI低信号为主,两组患者DWI信号强度分布具有统计学差异( $P<0.05$ )。(3) $b=400、800、1000、1500、2000$  s/mm<sup>2</sup>时,TZPCa组患者的ADC值均显著小于S-BPH组( $P<0.05$ );随着b值的增大,两组患者组内的ADC值均显著减小( $P<0.05$ )。(4)MRI平扫、b值为400、800、1000、1500、2000 s/mm<sup>2</sup>时的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.789、0.796、0.821、0.843、0.894、0.881,约登指数分别为0.762、0.779、0.787、0.793、0.885、0.846, $b=1500$  s/mm<sup>2</sup>时ADC值的鉴别诊断效能最大,其鉴别TZPCa、S-BPH的截断值为 $0.93 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s,敏感度为92.50%,特异度为91.07%。(5)Pearson相关性分析显示,不同b值下的ADC值与PSA、P504S、VEGF均呈显著负相关( $P<0.001$ )。**结论**  $b=1500$  s/mm<sup>2</sup>时的DWI-ADC值鉴别TZPCa、S-BPH的诊断效能最大,且ADC值与PSA、P504S、VEGF均呈显著负相关,检测该指标水平有助于对前列腺癌患者的生物学特性进行初步判断。

**【关键词】** 移行带前列腺癌; 基质型前列腺增生; 扩散加权成像; b值; ADC值

**【中图分类号】** R737.25

**【文献标识码】** A

**【基金信息】** 湖南省卫生健康委员会  
(20210901145616)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.037

## To Analyze the Clinical Diagnostic Value of Diffusion-weighted Imaging with Different b Values in Transitional Zone Prostate Cancer and Stromal Prostatic Hyperplasia and the Correlation between Apparent Diffusion Coefficient (ADC) Values and Related Biological Indicators\*

HE Liang, XIA Si-jia, CHEN Wei, Jiang Deng-ke\*

Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410005, Hunan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To investigate the clinical value of diffusion-weighted imaging (DWI) with different b-values in the diagnosis of transition zone prostate cancer (TZPCa) and stromal prostatic hyperplasia (S-BPH), and analyze the apparent diffusion coefficient (ADC) and related biological indicators of relevance. **Methods** A retrospective collection was conducted on 96 patients with elevated prostate-specific antigen (PSA) and highly suspected prostate cancer (PCa) who were admitted to our hospital from March 2021 to March 2024. The average age of these patients was (62.98 ± 4.85) years. All patients were confirmed by pathological examination, including 40 cases TZPCa, 56 cases of S-BPH. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the diagnostic value of magnetic resonance imaging (MRI) plain scan and DWI-ADC in differentiating TZPCa from S-BPH. Pearson correlation analysis was used to test the relationship between variables. **Results** (1) TZPCa group of patients with A family history of PCa in the number of proportion, PSA, alpha methyl acyl coenzyme A racemase (P504S), vascular endothelial growth factor (VEGF) levels were significantly higher than that of the S-BPH group ( $P<0.05$ ). (2) TZPCa group of patients with DWI high signal can give priority to, S-BPH patients with DWI low signal can give priority to, two groups of patients with DWI signal intensity distribution can statistically difference ( $P<0.05$ ). (3) When  $b=400, 800, 1000, 1500, 2000$  s/mm<sup>2</sup>, the ADC values of TZPCa group were significantly lower than those of S-BPH group ( $P<0.05$ ). With the increase of b value, the ADC values of the two groups decreased significantly ( $P<0.05$ ). (4) The area under the ROC curve (AUC) of MRI plain scan and b value of 400, 800, 1000, 1500, 2000 s/mm<sup>2</sup> were 0.789, 0.796, 0.821, 0.843, 0.894, 0.881, respectively. The Youden index were 0.762, 0.779, 0.787, 0.793, 0.885 and 0.846, respectively. When  $b=1500$  s/mm<sup>2</sup>, the ADC value had the highest differential diagnostic efficacy. The cut-off value of ADC value for the differential diagnosis of TZPCa and S-BPH was  $0.93 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s, the sensitivity was 92.50%, and the specificity was 91.07%. (5) Pearson correlation analysis showed that the ADC values under different b values and PSA, P504S, VEGF were significantly negative correlation ( $P<0.001$ ). **Conclusion** DWI-ADC value with  $b=1500$  s/mm<sup>2</sup> has the highest diagnostic efficiency in differentiating TZPCa from S-BPH, and the ADC value is significantly negatively correlated with PSA, P504S and VEGF, and the detection of this index level is helpful to make a preliminary judgment of the biological characteristics of prostate cancer patients.

**Keywords:** Transitional Zone Prostate Cancer; Stromal Prostatic Hyperplasia; Diffusion Weighted Imaging; b Value; Apparent Diffusion Coefficient Values

前列腺癌(prostate cancer, PCa)作为男性群体中的第二大常见癌症类型,约占据了男性新发癌症病例的7%<sup>[1]</sup>。PCa多发生于外周带,而移行带前列腺癌(transitional zone prostate cancer, TZPCa)虽不常见,但其存在同样不容忽视<sup>[2]</sup>。前列腺增生作为一种良性病变,根据病理特征可分为混合型、腺型、腺肌型、间质型及纤维腺瘤型,其中,后三者共同构成了基质型良性前列腺增生(stromal benign prostatic hyperplasia, S-BPH)<sup>[3]</sup>。TZPCa与S-BPH在临床表现上也可能存在相似性,如排尿困难、尿频等,这使得仅凭临床表现难以做出准确诊断。磁共振扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)是一种非增强成像技术,可通过测量水分子在组织中的扩散运动差异来揭示组织的特性。DWI提供了组织的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值,该值反映了水分子在DWI序列中不同方向上的扩散速度和范围,直接关联于水分子的扩散能力,而在具有细胞膜等结构的组织中,水分子的运动会受到限制<sup>[4]</sup>。扩散敏感系数(b值)是影响DWI成像的重要因素。b值较小时,ADC值受微循环灌注影响大,稳定性低,对水分子扩散运动的敏感度也较差;反之,当b值较大时,ADC值受到微循环的影响小,稳定性高,其对组织中水分子的扩散运动情况反映更为准确,但图像容易出现变形和失真<sup>[5-6]</sup>。故找到合适的b值对TZPCa、S-BPH的DWI诊断具有重要意义。此外,多项研究显示<sup>[7-8]</sup>,前列腺特异性抗原(prostate specific antigen, PSA)、 $\alpha$ -甲基酰基辅酶A消旋酶( $\alpha$ -methylacyl-coa racemase, P504S)、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)的表达对于PCa的

**【第一作者】** 何亮,男,主管技师,主要研究方向: MRI肿瘤成像技术、介入医学影像技术方向。E-mail: 18173690722@163.com

**【通讯作者】** 江登科,男,副主任医师,主要研究方向: 胸部影像诊断方向。E-mail:

诊断具有重要意义,并且ADC值可能与这些相关生物学指标的表达存在一定关联。基于此,本研究旨在探讨DWI在TZPCa、S-BPH患者进行有创诊断前鉴别诊断良恶性病变的可行性,评估不同b值下的ADC值在TZPCa、S-BPH病变中鉴别诊断中的临床价值,并分析ADC值与PSA、P504S、VEGF的关联性。

## 1 材料与方法

**1.1 研究对象** 回顾性收集2021年3月至2024年3月于我院收治的96例PSA升高、高度怀疑PCa的患者作为研究对象,平均(62.98±4.85)岁。所有患者均经病理检查证实,其中40例TZPCa,56例S-BPH。本研究获我院伦理委员会批准。

纳入标准:病理活检前常规磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、DWI检查,可明确测量病灶ADC值;年龄≥18周岁;肿块直径>2.00 cm;临床资料完整;签订知情同意书。排除标准:心肝肾功能不全;合并其他恶性肿瘤;病灶不能同时被T2加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)、DWI序列检出等。

**1.2 一般资料收集** 收集患者的年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、平均收缩压、平均舒张压、心率、吸烟史、饮酒史、既往病史、尿频、尿急、PCa家族史等一般资料。

**1.3 实验室资料收集** 入院时采集患者外周静脉血5mL, 4℃, 3000 r/min, 离心10 min, 分离血清, 后置于-20℃冰箱保存备用。使用血细胞计数盘测定白细胞计数(white blood cell count, WBC)与红细胞计数(red blood cell count, RBC);使用血红蛋白测定仪测定血红蛋白(hemoglobin, Hb);通过全自动生化分析仪检测血肌酐(serum creatinine, SCr)、血液尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、尿酸(uric acid, UA);采用酶联免疫吸附试验检测PSA、P504S、VEGF水平,所有试剂及试剂盒均购于武汉博士德公司,操作严格按照说明书执行。

**1.4 DWI检查** MR仪器及检查方法:采用飞利浦Achieva+3.0T MR核磁共振扫描仪。患者仰卧位,先行MRI平扫,使用体部线圈,扫描范围从精囊腺上缘至耻骨联合下方。参数设置如下:(1)轴位T2WI抑脂序列,重复时间(time of repetition, TR)6000 ms,回波时间(time of echo, TE)80 ms,矩阵352×256,层厚3.00 mm,层间距1.00~1.20 mm。(2)冠状位T2WI抑脂序列,TR 5270 ms,TE 70 ms,矩阵288×224,层厚3.00~5.00 mm,层间距1.00~1.20 mm。(3)轴位T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)抑脂序列,TR 610 ms,TE 8.80 ms;矩阵190×190,层厚5.00~6.00 mm,层间距1.00~1.20 mm。(4)DWI扫描横轴面T1WI抑脂序列,扫描参数为:TR 2750 ms,TE 65 ms,部分各向异性指数(fractional anisotropy, FA):90, b值分别取400、800、1000、1500、2000 s/mm<sup>2</sup>,层厚4.00 mm,层距1.00~1.20 mm,矩阵128×128。

**1.5 图像分析** 由2名高职影像医师,使用双盲法对DWI图像阅片,若意见不一,经讨论得到最终诊断结果;在磁共振成像扫描仪或工作站上后处理时选择感兴趣区(region of interest, ROI)对不同b值的DWI行ADC值检测。DWI图像分析:选取5个避开出血、坏死、囊变及液化病灶较清晰的ROI区域,面积约为20 mm<sup>2</sup>,重复测量3次,计算不同b值下ADC平均值。

**1.6 统计学方法** 利用SPSS 23.0统计软件进行数据分析,比较TZPCa、S-BPH两组患者的临床资料。计量资料以平均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用t检验;计数资料用率(%)表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。计算MRI检查的阳性符合率、阴性符合率、总符合率、敏感度、特异度、漏诊率和误诊率(计算方法见表1)。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估MRI平扫、DWI-ADC鉴别TZPCa、S-BPH的诊断价值。采用Pearson相关性分析检验变量之间的关系。以P<0.05为具有统计学差异。

## 2 结果

**2.1 两组患者临床资料比较** TZPCa组患者中有PCa家族史的人数占比、PSA、P504S、VEGF水平均显著高于S-BPH组(P<0.05),两组在其余方面无差异(P>0.05),见表2。

**2.2 图像分析** TZPCa、S-BPH组患者的MRI及DWI图像如图1、2所示。

**2.3 两组患者DWI信号强度分布** TZPCa组、S-BPH组患者在不同DWI信号强度中的分布差异具有统计学意义, TZPCa组患者以DWI高信号为主, S-BPH组患者以DWI低信号为主(P<0.05),见表3。

表1 真实性诊断表

待评价方法	金标准		
	阳性	阴性	合计
阳性	a	b	a+b
阴性	c	d	c+d
合计	a+c	b+d	n

注:阳性符合率为a/a+b;阴性符合率为d/c+d;总符合率为(a+d)/n;敏感度为a/a+c;特异度为d/b+d;漏诊率为c/a+c;误诊率为b/b+d。

表2 一般资料比较[n(%)]

项目	TZPCa组(n=40)	S-BPH组(n=56)	$\chi^2$ /t值	P值
年龄(岁)	57.54±5.27	59.01±5.16	1.364	0.176
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.65±2.68	24.14±2.73	0.874	0.385
平均收缩压(mmHg)	121.37±8.23	118.83±8.65	1.447	0.151
平均舒张压(mmHg)	82.34±8.71	83.15±8.83	0.446	0.657
心率(次/分)	92.12±7.35	94.04±7.47	1.250	0.214
合并吸烟史	28(70.00)	35(62.50)	0.582	0.446
合并饮酒史	30(75.00)	41(73.21)	0.039	0.844
合并高血压史	29(72.50)	45(80.36)	0.815	0.367
合并糖尿病史	31(77.50)	46(82.14)	0.317	0.574
合并高血脂史	27(67.50)	40(71.43)	2.007	0.157
尿频	31(77.50)	45(80.36)	0.115	0.734
尿急	32(80.00)	44(78.57)	0.029	0.865
PCa家族史	21(52.50)	16(28.57)	5.640	0.018
WBC( $\times 10^9$ /L)	8.03±2.10	7.85±2.05	0.420	0.676
RBC( $\times 10^{12}$ /L)	4.48±0.92	4.61±0.96	0.665	0.507
Hb(g/L)	141.17±10.46	143.28±10.33	0.982	0.329
SCr( $\mu$ mol/L)	110.64±8.76	107.16±8.91	1.900	0.060
BUN(mmol/L)	6.93±1.46	6.78±1.42	0.504	0.615
UA( $\mu$ mol/L)	326.45±38.67	320.34±40.02	0.748	0.456
PSA(ng/mL)	19.37±1.36	14.71±1.42	10.216	<0.001
P504S(ng/mL)	4.02±0.25	1.55±0.47	10.504	<0.001
VEGF(ng/L)	114.24±17.09	103.68±14.83	3.227	0.002

表3 两组患者不同b值下ADC值的比较

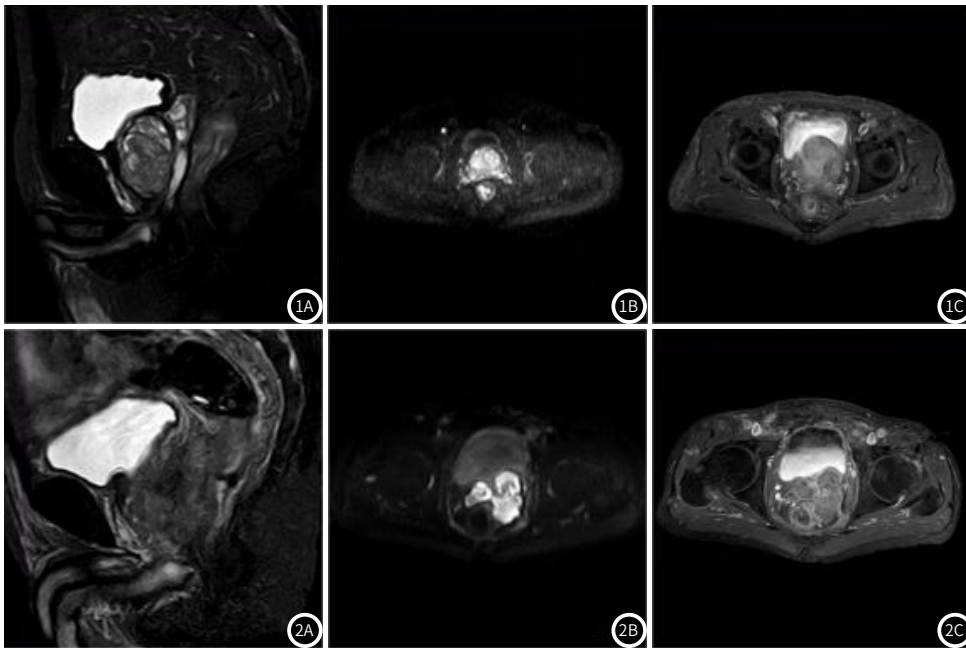
b值	组别	例数	ADC值 ( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	t	P
b=400 s/mm <sup>2</sup>	TZPCa组	40	1.02±0.15	10.843	<0.001
	S-BPH组	56	1.37±0.16		
b=800 s/mm <sup>2</sup>	TZPCa组	40	0.91±0.14 <sup>a</sup>	11.585	<0.001
	S-BPH组	56	1.26±0.15 <sup>a</sup>		
b=1000 s/mm <sup>2</sup>	TZPCa组	40	0.80±0.12 <sup>ab</sup>	13.898	<0.001
	S-BPH组	56	1.18±0.14 <sup>ab</sup>		
b=1500 s/mm <sup>2</sup>	TZPCa组	40	0.67±0.10 <sup>abc</sup>	15.901	<0.001
	S-BPH组	56	1.06±0.13 <sup>abc</sup>		
b=2000 s/mm <sup>2</sup>	TZPCa组	40	0.55±0.08 <sup>abcd</sup>	20.650	<0.001
	S-BPH组	56	1.00±0.12 <sup>abcd</sup>		

注:与b=400 s/mm<sup>2</sup>时相比,<sup>a</sup>P<0.05;与b=800 s/mm<sup>2</sup>时相比,<sup>b</sup>P<0.05;

与b=1000 s/mm<sup>2</sup>时相比,<sup>c</sup>P<0.05;与b=1500 s/mm<sup>2</sup>时相比,<sup>d</sup>P<0.05。

**2.4 两组患者不同b值下ADC值的比较** b=400、800、1000、1500、2000 s/mm<sup>2</sup>时, TZPCa组患者的ADC值均显著小于S-BPH组(P<0.05);随着b值的增大,两组患者组内的ADC值均显著减小(P<0.05),见表4。

**2.5 MRI平扫、不同b值下DWI诊断TZPCa与S-BPH的结果** MRI平扫显示, TZPCa 44例, S-BPH 52例, TZPCa 误诊为S-BPH 14例, S-BPH 误诊为TZPCa 10例。MRI平扫、b=400、800、1000、1500、2000s/mm<sup>2</sup>诊断TZPCa与S-BPH的结果见表4。



**图1** 患者1, 71岁, 图1A、1B可见前列腺体积增大, 以中央带增大明显, 内见多发小结节状等、短T1信号、长T2信号, DWI未见明显异常高信号; 图1C可见增强扫描层轻度强化, 强化程度弱于正常前列腺。  
**图2** 患者2, 79岁, 图2A、2B可见前列腺体积增大, 并向膀胱及左后方突出, 包膜不完整, 与膀胱、直肠分界不清, 膀胱左侧壁局部增厚, 呈结节状突向膀胱内, 呈稍长T1、T2压脂低信号, DWI呈高信号, 图2C增强扫描可见强化。

**表4 不同b值下DWI诊断PCa与BPH的结果(例)**

DWI检查	病理诊断		合计
	TZPCa	S-BPH	
b=400 s/mm <sup>2</sup>			
PCa	31	13	44
BPH	9	43	52
合计	40	56	96
b=800 s/mm <sup>2</sup>			
PCa	33	12	45
BPH	7	44	51
合计	40	56	96
b=1000 s/mm <sup>2</sup>			
PCa	35	9	44
BPH	5	47	52
合计	40	56	96
b=1500 s/mm <sup>2</sup>			
PCa	37	5	42
BPH	3	51	54
合计	40	56	96
b=2000 s/mm <sup>2</sup>			
PCa	36	7	43
BPH	4	49	53
合计	40	56	96

**2.6 MRI平扫、不同b值下DWI-ADC对TZPCa与S-BPH的诊断效能分析**

MRI平扫、b值为400、800、1000、1500、2000 s/mm<sup>2</sup>时的ROC曲线下面积(area under the roc curve, AUC)分别为0.789、0.796、0.821、0.843、0.894、0.881, 约登指数分别为0.762、0.779、0.787、0.793、0.885、0.846, b=1500 s/mm<sup>2</sup>时ADC值的鉴别诊断效能最大, 其鉴别TZPCa、S-BPH的截断值为0.93 × 10<sup>-3</sup> mm<sup>2</sup>/s, 敏感度为92.50%, 特异度为91.07%, 见表5。

**2.7 不同b值下ADC值与PSA、P504S、VEGF的相关性分析**

不同b值下的ADC值与PSA、P504S、VEGF均呈显著负相关(P<0.001), 见表6。

**表6 不同b值下ADC值与PSA、P504S、VEGF的相关性分析**

ADC值	PSA		P504S		VEGF	
	r	P	r	P	r	P
b=400 s/mm <sup>2</sup>	-0.473	<0.001	-0.467	<0.001	-0.512	<0.001
b=800 s/mm <sup>2</sup>	-0.528	<0.001	-0.485	<0.001	-0.489	<0.001
b=1000 s/mm <sup>2</sup>	-0.561	<0.001	-0.479	<0.001	-0.527	<0.001
b=1500 s/mm <sup>2</sup>	-0.542	<0.001	-0.518	<0.001	-0.503	<0.001
b=2000 s/mm <sup>2</sup>	-0.557	<0.001	-0.524	<0.001	-0.496	<0.001

**表5 MRI平扫、不同b值下DWI-ADC对TZPCa、S-BPH的诊断效能**

检查方式	阳性符合率(%)	阴性符合率(%)	总符合率(%)	敏感度(%)	特异度(%)	漏诊率(%)	误诊率(%)
MRI平扫	68.18(30/44)	80.77(42/52)	75.00(72/96)	75.00(30/40)	75.00(42/56)	25.00(10/40)	25.00(14/56)
DWI-ADC							
b=400 s/mm <sup>2</sup>	70.45(31/44)	82.69(43/52)	77.08(74/96)	77.50(31/40)	76.79(43/56)	22.50(9/40)	23.21(13/56)
b=800 s/mm <sup>2</sup>	73.33(33/45)	86.27(44/51)	80.21(77/96)	82.50(33/40)	78.57(44/56)	17.50(7/40)	21.43(12/56)
b=1000 s/mm <sup>2</sup>	79.55(35/44)	90.38(47/52)	85.42(82/96)	87.50(35/40)	83.93(47/56)	12.50(5/40)	16.07(9/56)
b=1500 s/mm <sup>2</sup>	88.10(37/42)	94.44(51/54)	91.67(88/96)	92.50(37/40)	91.07(51/56)	7.50(3/40)	8.93(5/56)
b=2000 s/mm <sup>2</sup>	83.72(36/43)	92.45(49/53)	88.54(85/96)	90.00(36/40)	87.50(49/56)	10.00(4/40)	12.50(7/56)

**3 讨论**

TZPCa发生于前列腺移行带, 常见症状包括尿频、尿急、排尿困难及尿液颜色改变等<sup>[9]</sup>。S-BPH则以纤维和平滑肌增生为主要特征, 间质比例及结构成分均发生显著改变, 临床表现主要为尿频(尤其是夜尿增多)、排尿困难及尿潴留等<sup>[10]</sup>。在两者的无创诊断中, 影像学检查尤为重要。MRI凭借其优异的软组织分辨

力和多维度成像能力, 在前列腺疾病诊断中具有重要价值<sup>[11]</sup>。动态对比增强MRI能清晰显示肿瘤与前列腺肌层的界限, 有助于肿瘤检出和肌层浸润评估<sup>[12]</sup>。但该技术使用的造影剂可能引起肾源性系统性纤维化或肾功能损伤等风险<sup>[13]</sup>, 这促使医疗界开始重新审视非增强造影成像方法在前列腺病理评估及病变浸润判断中的

重要性。

TZPCa组织由于肿瘤细胞恶性增殖,导致细胞外间隙的水分子扩散运动受限,因此,在DWI图像上,TZPCa区域通常表现为高信号(亮区),而在ADC图上则表现为低ADC值(暗区)。S-BPH由于其细胞外间隙相对较大,水分子扩散受限程度较低,故在DWI上表现为低信号与高ADC值。这一特性使得DWI能够区分癌组织和正常或良性增生组织,尤其是在超高b值条件下,能够更清晰地显示肿瘤区域的高信号,提高诊断的准确性<sup>[14]</sup>。相关研究显示<sup>[15]</sup>,TZPCa患者的DWI多呈高信号,ADC值较低,S-BPH患者的DWI多呈低信号,ADC值均高于TZPCa患者。本研究与其相符。另有研究表明<sup>[16]</sup>,DWI检查对前列腺恶性增生的诊断与病理诊断之间具有较高的一致性,ADC值的诊断价值较高而且高b值(2000 s/mm<sup>2</sup>)对PCa侵袭的诊断效能优于常规b值(1000 s/mm<sup>2</sup>)<sup>[17]</sup>。研究显示<sup>[18]</sup>,采用b值为1500 mm<sup>2</sup>/s的高梯度场强DWI检查,能够显著增强PCa结节的对比度,使其呈现为高信号特征,而相应区域的ADC值则显著降低,这一变化清晰揭示了肿瘤组织的异常扩散特性。此方法不仅使肿瘤病灶的形态、边缘及内部结构更加明确,还显著提高了肿瘤检测的敏感性和特异性,有效降低了漏诊与误诊的风险。本研究表明,b=1500 s/mm<sup>2</sup>时ADC值鉴别诊断TZPCa、S-BPH的效能最大,AUC为0.894,截断值为0.93×10<sup>-3</sup>mm<sup>2</sup>/s,敏感度为92.50%,特异度为91.07%,漏诊率(7.50%)与误诊率(8.93%)最低,总符合率最高,为91.67%;在一定范围内(b值从400升至1500 s/mm<sup>2</sup>),ADC值的诊断效能随b值增加而提高;但b=2000 s/mm<sup>2</sup>时ADC值的诊断效能次于b=1500 s/mm<sup>2</sup>时ADC的诊断价值。这可能是由于虽然更高b值的DWI能提供更强的弥散加权,增加肿瘤与背景组织的对比度,然而,超高b值也可能导致信噪比降低、图像失真和易感性伪影增加,从而影响诊断的准确性,因此,在选择b值时,需要找到一个平衡点,以确保在获得足够对比度的同时,保持较高的图像质量。本研究亦显示,当b=400、800、1000、1500、2000 s/mm<sup>2</sup>时,TZPCa组患者的ADC值均显著小于S-BPH组,且随着b值的增大,两组患者组内的ADC值均显著减小,与既往研究相符<sup>[19]</sup>。这提示随着b值的增加,ADC值的变化能够更准确地反映组织的微观结构和扩散特性,这对TZPCa与S-BPH的诊断具有重要价值。高b值DWI结合ADC值能够更敏感地检测PCa组织中的扩散受限情况,从而提高PCa检出率和诊断准确性。

PSA是一种由前列腺的上皮细胞产生的单链糖蛋白,其分泌过程受到雄激素的调控。它已成为PCa筛查中的重要标志物。一般来说,前列腺增生患者的PSA水平通常不超过4 ng/mL,而超过这一水平则可能提示前列腺癌的风险增加<sup>[20]</sup>。P504S是一种过氧化物酶体和线粒体酶,它存在于前列腺、肝脏、胆道、肾脏和肺等多种组织中。P504S在超过90%的PCa中呈弥漫染色,而在正常或良性前列腺组织中不表达或低表达。因此,P504S是PCa的特异性标志物之一,有助于PCa的诊断,特别是在体积较小的前列腺穿刺标本的良、恶性鉴别中具有重要意义<sup>[21]</sup>。研究显示<sup>[22]</sup>,PSA、P504S在TZPCa中通常呈高表达,在S-BPH中通常不表达或低表达。VEGF作为体内一种极为关键的血管生成促进因子,通过激发血管内皮细胞的增殖活动、促进它们的迁移以及确保细胞的存活,从而在体内诱导并促进新血管网络的构建。在多种类型的肿瘤组织内,VEGF的表达水平显著上升,这一变化不仅与肿瘤自身的血管生成过程紧密相关,还参与了肿瘤的侵袭性生长和远处转移等过程。因此,VEGF是肿瘤早期筛查和治疗的重要靶点之一<sup>[23]</sup>。VEGF在TZPCa中可能促进肿瘤血管新生,加速肿瘤生长,但具体机制尚需进一步研究。VEGF在S-BPH中的作用尚不完全清楚,但可能参与前列腺增生的血管生成过程。本研究显示,TZPCa组患者中PSA、P504S、VEGF水平均显著高于S-BPH组。此外,TZPCa组患者中有PCa家族史的人数占比明显多于S-BPH组。PCa具有家族聚集性,即家族中有PCa病史的个体,其患病风险会显著增加。这种风险增加可能与遗传易感基因有关。某些遗传突变,如BRCA2、BRCA1等基因的突变,已被证实是PCa的危险因素<sup>[24]</sup>。携带这些突变基因的个体,其PCa的发病风险会显著提高,而家族中有PCa病史的个体,更有可能携带这些遗传突变。本研究经

Pearson相关性分析显示,不同b值下的ADC值与PSA、P504S、VEGF均呈显著负相关,这种负相关关系为前列腺癌的诊断提供了一定的参考依据。

本研究局限性:本研究为小样本量单中心研究,结果可能缺乏普遍性。ADC值与PSA、P504S、VEGF等生物标志物之间的关联性可能受到肿瘤分期等因素的干扰,未来需联合多中心、扩大样本量进行更深入的前瞻性研究。

综上所述,b=1500 s/mm<sup>2</sup>时的DWI-ADC值鉴别TZPCa、S-BPH的诊断效能最大,且ADC值与PSA、P504S、VEGF均呈显著负相关,检测该指标水平有助于对前列腺癌患者的生物学特性进行初步判断。

## 参考文献

- [1] Rizzo A, Santoni M, Mollica V, et al. Microbiota and prostate cancer[J]. *Semin Cancer Biol*, 2022, 86(3): 1058-1065.
- [2] 夏贤美, 曾勇明, 刘强, 等. 对比平均ADC值与标准化ADC值在外周带及移行带前列腺癌鉴别诊断中的应用研究[J]. *罕少疾病杂志*, 2025, 32(3): 124-127.
- [3] Cao Y, Zhang H, Tu GL, et al. The symptoms of benign prostatic hyperplasia patients with stromal-dominated hyperplasia nodules may be associated with prostate fibrosis[J]. *Int J Gen Med*, 2023, 16(4): 1181-1191.
- [4] Tijssen MPM, Hofman PAM, Robben SGF. Postmortem fetal temperature estimation with magnetic resonance imaging: apparent diffusion coefficient measurements in the vitreous body and cerebrospinal fluid[J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2022, 31(2): 25-30.
- [5] Ablefoni M, Ullrich S, Surov A, et al. Diagnostic benefit of high b-value computed diffusion-weighted imaging in acute brainstem infarction[J]. *J Neuroradiol*, 2022, 49(1): 47-52.
- [6] Abdel Razek AAK, Elkalla HMHR, Refky B, et al. Assessment of tamoxifen-related endometrial changes in premenopausal female patients with diffusion-weighted magnetic resonance imaging[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2020, 44(4): 485-489.
- [7] Lindner V, Waydelich A, Chen CC, et al. Performance comparison of anti-p504s (SP116) Rabbit Monoclonal Primary Antibody vs. Monoclonal Rabbit Anti-Human AMACR clone 13H4 when duplexed with VENTANA Basal Cell Cocktail (34 βE12+p63) as a diagnostic aid for prostatic adenocarcinoma using immunohistochemistry[J]. *Virchows Arch*, 2021, 479(2): 337-343.
- [8] 鲁果果, 王轩轩, 马爱珍. DWI和DCE联合PSA检测对前列腺癌诊断价值研究[J]. *罕少疾病杂志*, 2025, 32(1): 113-115.
- [9] Zhang J, Xu L, Zhang G, et al. Effects of dynamic contrast enhancement on transition zone prostate cancer in prostate imaging reporting and data system version 2.1[J]. *Radiol Oncol*, 2023, 57(1): 42-50.
- [10] Chen Y, Xu H, Liu C, et al. LncRNA DI030S regulated by TGF-β1 and resveratrol enhances epithelial mesenchymal transition of benign prostatic hyperplasia epithelial cells and proliferation of prostate stromal cells[J]. *Transl Androl Urol*, 2021, 10(2): 643-653.
- [11] Guo Z, Qin X, Mu R, et al. Amide proton transfer could provide more accurate lesion characterization in the transition zone of the prostate[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022, 56(5): 1311-1319.
- [12] Zhang Y, Li W, Zhang Z, et al. Differential diagnosis of prostate cancer and benign prostatic hyperplasia based on DCE-MRI using bidirectional CLSTM deep learning and radiomics[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2023, 61(3): 757-771.
- [13] Chaturvedi A. Pediatric skeletal diffusion-weighted magnetic resonance imaging: part 1-technical considerations and optimization strategies[J]. *Pediatr Radiol*, 2021, 51(9): 1562-1574.
- [14] Chaurasia A, Gopal N, Dehghani Firouzabadi F, et al. Role of ultra-high b-value DWI in the imaging of hereditary leiomyomatosis and renal cell carcinoma (HLRCC) [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2023, 48(1): 340-349.
- [15] 白铁阳, 王心田, 姜波, 等. 探讨1.5T磁共振动态增强扫描结合DWI和ADC在前列腺增生与前列腺癌鉴别诊断中的价值[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2022, 33(2): 127-129, 133.
- [16] 李迁, 蒲敬泽, 蒋华庭, 等. 磁共振扩散加权成像鉴别诊断前列腺良恶性增生的效能及影像特点分析[J]. *河北医学*, 2024, 30(3): 453-457.
- [17] 许晴, 王守安, 征锦, 等. 高b值扩散加权成像对前列腺癌侵袭性的诊断价值[J]. *实用放射学杂志*, 2019(4): 589-592.
- [18] 张东青, 林立夫, 刘玉双, 等. 1.5T MRI不同b值DWI技术对中央移行带早期前列腺癌诊断的探讨[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20(12): 127-128.
- [19] 黄继伟, 李健斐, 王佳, 等. 3.0T MRI多b值DWI与动态增强扫描对前列腺癌术前诊断价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2021, 19(10): 147-148, 166.
- [20] Albertsen PC. Screening for prostate cancer with prostate-specific antigen: the journey continues[J]. *Eur Urol*, 2023, 83(2): 110-111.
- [21] Loksha SB, Chowdary BV, Kini JR. p63-positive prostate carcinoma-A very rare presentation[J]. *Indian J Pathol Microbiol*, 2022, 65(2): 448-451.
- [22] Yang D, Shi X, Lei Y, et al. The auxiliary diagnostic value of prostate-specific antigen and α-methylacyl-CoA racemase in prostate cancer[J]. *Oncol Lett*, 2020, 20(2): 1418-1422.
- [23] Kong L, Qi R, Zhou G, et al. Correlation analysis of survivin, ING4, CXCL8 and VEGF expression in prostate cancer tissue[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(12): 13784-13790.
- [24] McNevin CS, Cadoo K, Baird AM, et al. Pathogenic BRCA variants as biomarkers for risk in prostate cancer[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(22): 5697-5708.

(收稿日期: 2024-07-29)

(校对编辑: 姚丽娜)