

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2024.03.020

引用格式:叶 勇,龚 捷,邵雯雯,等.多 B 值 DWI 鉴别诊断血精性精囊炎与前列腺癌伴精囊浸润[J].巴楚医学,2024,7(3):111-117.

# 多 B 值 DWI 鉴别诊断血精性精囊炎与前列腺癌伴精囊浸润

叶 勇<sup>1</sup> 龚 捷<sup>1</sup> 邵雯雯<sup>1</sup> 杨 英<sup>2</sup>

(1. 三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]放射科,湖北宜昌 443003; 2. 三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]心血管内科,湖北宜昌 443003)

**摘要:** **目的:** 比较弥散加权成像(DWI)在血精性精囊炎(HSV)和前列腺癌(PCa)伴精囊浸润(SVI)鉴别诊断中的应用价值。**方法:** 本研究共纳入 68 例患者,HSV 31 例,PCa 伴 SVI 37 例。所有患者行多 B 值 DWI 磁共振成像(MRI)检查,B 值分别设为 0、100、200、400、800、1 200 和 1 600 s/mm<sup>2</sup>。表观弥散系数(ADC)的重建采用双 B 值指数模型,分别采用 B 值为 0 s/mm<sup>2</sup> 的 DWI 图与其他不同 B 值的 DWI 图重建,测量病灶的 ADC 值。最后统计分析 DWI 信号强度和 ADC 值。**结果:** 37 例 PCa 伴 SVI 的转移灶在 DWI 图上均表现为高信号,且高信号范围随 B 值的增大而缩小;HSV 组病灶在 DWI 图上呈高信号的例数随 B 值增大而逐渐减少,当 B 值 $\geq$ 800 s/mm<sup>2</sup> 时,两组患者具有统计学差异( $P < 0.05$ )。HSV 组不同 B 值的 ADC 值均高于 PCa 伴 SVI 组( $P < 0.05$ ),且 B 值越大差异越明显。**结论:** 通过测量病灶的 ADC 值和观察 DWI 信号强度,多 B 值 DWI 可用于 HSV 与 PCa 伴 SVI 的诊断和鉴别诊断。

**关键词:** 弥散加权成像; 血精性精囊炎; 前列腺癌; 精囊; 表观弥散系数

中图分类号: R737

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2024)03-0111-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Differential Diagnosis of Hematospermic Seminal Vesiculitis and Prostate Cancer with Seminal Vesicle Infiltration Using Multi B-Value DWI

Ye Yong<sup>1</sup> Gong Jie<sup>1</sup> Shao Wenwen<sup>1</sup> Yang Ying<sup>2</sup>

(1. Department of Radiology, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China; 2. Department of Cardiology, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China)

**Abstract Objective:** To compare the application value of diffusion-weighted imaging (DWI) in the differential diagnosis of hematospermic seminal vesiculitis (HSV) and prostate cancer (PCa) with seminal vesicle invasion (SVI). **Methods:** A total of 68 patients were included in this study, including 31 cases of HSV and 37 cases of PCa with SVI. All patients underwent multi-B-value DWI magnetic resonance imaging (MRI) with B-values set to 0, 100, 200, 400, 800, 1 200, and 1 600 s/mm<sup>2</sup>. The apparent diffusion coefficient (ADC) was reconstructed using a dual-B-value exponential model, with DWI images at B-value of 0 s/mm<sup>2</sup> and other different B-values used for reconstruction, and the ADC values of the lesions were measured. Finally, the DWI signal intensity and ADC values were statistically analyzed. **Results:** The metastatic lesions

基金项目:湖北省自然科学基金项目(No: 2023AFB104);宜昌市医疗卫生科研项目(No: A23-1-001; A24-2-022)

作者简介:叶 勇,男,硕士,主管技师,主要从事生殖影像医学方面的研究。E-mail: yeyongyc@163.com

通信作者:杨 英,女,土家族,博士,主治医师,主要从事心血管磁共振成像的基础与临床研究。E-mail: yangyingtgu@163.com

in the 37 cases of PCa with SVI showed high signal on DWI images, and the range of high signal decreased as the B-value increased. The number of lesions with high signal in the HSV group gradually decreased as the B-value increased, and when the B-value  $\geq 800$  s/mm<sup>2</sup>, there was a statistical difference between the two groups ( $P < 0.05$ ). The ADC values of different B-values in the HSV group were higher than those in the PCa with SVI group ( $P < 0.05$ ), and the larger the B-value, the more obvious the difference. **Conclusion:** By measuring the ADC values of lesions and observing the DWI signal intensity, multi-B-value DWI can be used for the diagnosis and differential diagnosis of HSV and PCa with SVI.

**Keywords** diffusion-weighted imaging (DWI); hematospermatic seminal vesiculitis (HSV); prostate cancer(PCa); seminal vesicle invasion (SVI); apparent diffusion coefficient (ADC)

精囊炎是一种由精囊非特异性感染引起的炎症性疾病,部分患者因存在血精而被称血精性精囊炎(hematospermic seminal vesiculitis, HSV),其主要临床表现为精液中含有血液或血凝块,并伴尿频、尿急、尿痛等不适症状,射精时疼痛感加重<sup>[1-2]</sup>。精囊炎症和/或精液成分的改变可导致患者性欲减退、性功能障碍、射精恐惧和不育<sup>[3-4]</sup>。前列腺癌(prostate cancer, PCa)是男性泌尿生殖系统最常见的恶性肿瘤,发病率仅次于乳腺癌和肺癌,随着中国人口老龄化的发展,其发病率正逐年上升<sup>[5]</sup>。精囊浸润(seminal vesicle invasion, SVI)是PCa最常见的转移方式,属于T3期,治疗时常需要联合放化疗。然而,当PCa合并HSV时,其常规磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)影像学表现与PCa伴SVI极其相似,临床上难以区分<sup>[6-7]</sup>。临床实践中,PCa诊断的金标准主要是穿刺活检或术后病理,但穿刺活检是一项侵入性检查,且穿刺活检时不会对精囊进行穿刺,故术前很难准确判断精囊是否受累<sup>[8]</sup>。因此,找到一种无创且准确的检查方法来明确精囊是否被PCa侵犯,对患者诊疗方案的制定和预后判断非常重要。

MRI是一种无创、无电离辐射的影像学检查方法,具有极高的软组织分辨率,同时可多方位、多参数成像,不仅能清晰显示精囊的精细形态和结构,还可显示出精囊信号强度的变化。然而,HSV和PCa伴SVI的常规MRI表现极其相似,通过常规MRI扫描对两种疾病进行鉴别存在一定困难<sup>[9-10]</sup>。弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)技术是在传统MRI的基础上发展起来的一种新技术,是目前唯一一种可以无创检测活体组织中水分子扩散运动受限的检查方法。B值是DWI成像技术中最关键的成像参数,主要反映梯度脉冲的扩散敏感程度,随着B值的增大,DWI图像的信噪比下降,但对扩散的敏感性增加<sup>[11-12]</sup>。目前,DWI成像技术已广泛用于前列腺疾病的诊断,但在精囊疾病的研究有限<sup>[13-14]</sup>。本研究主要就多B值或高B值DWI成像技术在HSV和

PCa伴SVI鉴别诊断中的价值进行探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象与分组

收集宜昌市中心人民医院2023年1月—2023年12月经临床随访或穿刺细胞学检查或术后病理证实的HSV和PCa伴SVI的68例患者,其中HSV组31例,PCa伴SVI组37例。本研究遵守《赫尔辛基宣言》,并通过我院医学伦理委员会审查(No:2024-147-01)。

纳入标准:①完整的病历资料和MRI图像;②所有患者均行MRI和多B值DWI检查;③临床随访或穿刺细胞学检查或术后病理证实的HSV和PCa伴SVI的患者。

排除标准:①PCa治疗后,包括药物治疗、手术切除和放化疗;②存在MRI禁忌证;③影像或临床资料不完整。

### 1.2 方法

所有患者均在我院行MRI及多B值DWI检查,检查前去除患者身上的所有金属物品,同时详细告知患者检查流程和检查过程中的注意事项。荷兰Philips Ingenia 3.0T MRI扫描仪,采用16通道相控阵表面线圈,仰卧位,以耻骨联合为定位中心,扫描区域覆盖整个精囊,扫描序列包含横断位T2加权成像(weighted imaging, WI)、T1WI、T2WI压脂和多B值DWI,冠状位T2WI压脂。多B值DWI扫描参数:回波时间74 ms,重复时间3 553 ms,层厚3 mm,层间距0.3 mm,视野220 mm×220 mm,矩阵74×74。多B值分别设为0、100、200、400、800、1 200、1 600 s/mm<sup>2</sup>,激励次数分别为1、1、2、3、4、7、10次。采用Philips ISP工作站对多B值DWI图像进行后处理和数据分析,采用双B值指数模型重建表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图,分别采用B值为0 s/mm<sup>2</sup>的DWI图与其他不同B值的

DWI 图重建,并测量病灶的 ADC 值。感兴趣区设置为圆形,面积为 30 mm<sup>2</sup>。所有图像的判读和测量均由两名具有五年以上工作经验的放射科医生完成,如两人意见不一致,通过讨论达成一致。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组间比较采用两独立样本 *t* 检验。计数资料以频率(百分比)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确概率法。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者的基本临床特征

本研究共纳入 68 例患者,其中 HSV 组 31 例,双侧精囊受累 17 例;PCa 伴 SVI 组 37 例,双侧精囊受累 14 例。HSV 组患者的年龄更小,两组患者是否累及双侧无明显差异,见表 1。

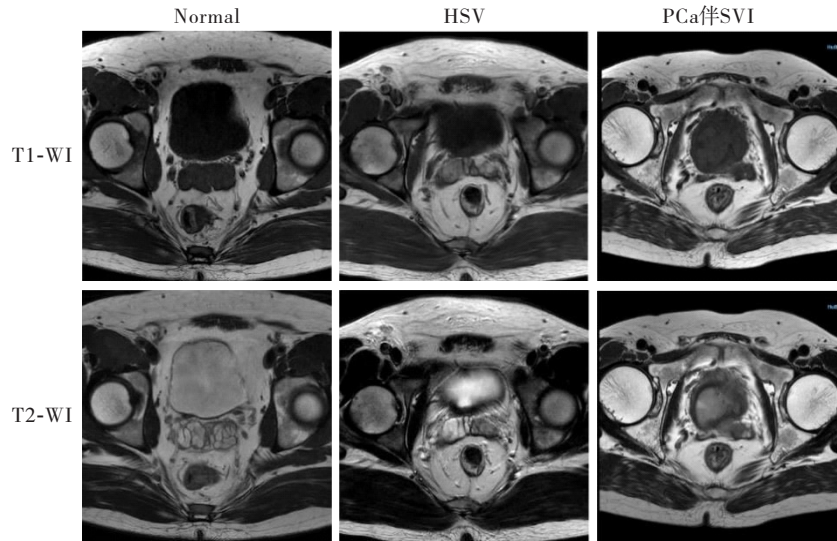
表 1 两组患者的基本临床特征 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

项目	HSV ( <i>n</i> =31)	PCa 伴 SVI ( <i>n</i> =37)	<i>t</i> / $\chi^2$	<i>P</i>
年龄(岁)	34.26±7.151	65.03±7.751	66.000	<0.001
累及双侧	17(54.84)	14(37.84)	1.965	0.161

注:HSV:血精性精囊炎;PCa:前列腺癌;SVI:精囊浸润

### 2.2 两组患者的 MRI 平扫特征

如图 1 所示,正常精囊呈橄榄状,位于前列腺顶部的后外侧,与膀胱形成精囊膀胱三角,在 T2WI 上精囊呈滤泡状高信号, T1WI 上呈低或稍低信号, T1WI 和 T2WI 上均可见囊壁低信号影。当患者合并 HSV 时,在 T2WI 上滤泡结构明显减少,呈不均匀高信号,在高信号中可能出现低信号影,囊肿壁模糊;在 T1WI 上可见精囊信号较健侧增高。PCa 伴 SVI 的 MRI 平扫特征为精囊失去其正常解剖结构,膀胱精囊三角消失,在 T2WI 上,精囊内可见癌组织侵犯的低信号肿块或弥漫性低信号影,在 T1WI 上信号略增高。



注:Normal:正常;HSV:血精性精囊炎;PCa:前列腺癌;SVI:精囊浸润;T1-WI:T1 加权成像;T2-WI:T2 加权成像

图 1 两组患者 MRI 平扫特征

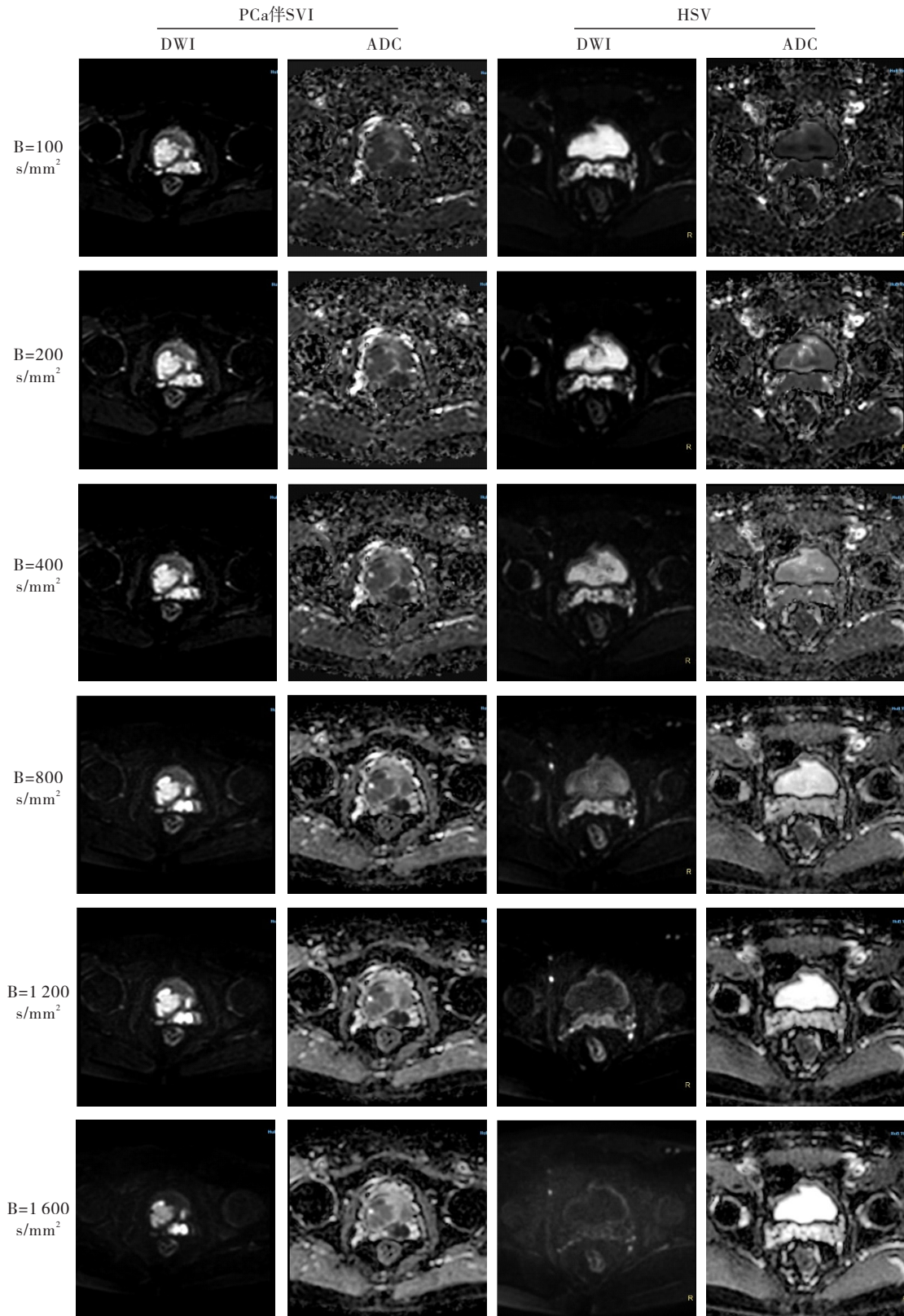
### 2.3 两组患者多 B 值 DWI 的信号强度比较

随着 B 值的增大,DWI 图像的信噪比逐渐降低,对扩散的敏感性逐渐增加,PCa 伴 SVI 组所有 B 值的 DWI 信号强度均表现为高信号影,且高信号影的面积随着 B 值的增大而逐渐缩小。HSV 组的 DWI 信号强度随着 B 值的增加逐渐降低。当 B 值为 100、200 和 400 s/mm<sup>2</sup>,绝大多数病灶呈高信号影,两组相比无统计学差异( $P > 0.05$ )。当 B 值  $\geq 800$  s/mm<sup>2</sup> 时,两组患者病灶的信号强度在 DWI 图像上具有显著差异性( $P < 0.05$ ),且 B 值越大差异越明显,见表 2 和图 2。

表 2 两组患者多 B 值 DWI 的信号强度对比 [ $n(\%)$ ]

B 值 (s/mm <sup>2</sup> )	信号 强度	HSV ( <i>n</i> =31)	PCa 伴 SVI ( <i>n</i> =37)	$\chi^2$	<i>P</i>
100	高信号	30(96.77)	37(100.00)	3.010	0.456
200	高信号	30(96.77)	37(100.00)	3.010	0.456
400	高信号	28(90.32)	37(100.00)	5.633	0.090
800	高信号	21(67.74)	37(100.00)	17.392	<0.001
1 200	高信号	9(29.03)	37(100.00)	38.816	<0.001
1 600	高信号	2(6.45)	37(100.00)	60.351	<0.001

注:DWI:弥散加权成像;HSV:血精性精囊炎;PCa:前列腺癌;SVI:精囊浸润



注:DWI:弥散加权成像; ADC:表观扩散系数; HSV:血精性精囊炎; PCa:前列腺癌; SVI:精囊浸润

图2 两组患者多 B 值 DWI 的信号强度对比

### 2.4 两组患者多 B 值 ADC 值的对比

HSV 组患者所有 B 值的 ADC 值均高于 PCa 伴 SVI 组,两组间具有显著的统计学差异( $P < 0.05$ ),且随着 B 值的增加,两组患者病灶的平均 ADC 值均

逐步下降,B 值与 ADC 值呈显著负相关(HSV: $r = -0.956, P = 0.003$ ;PCa 伴 SVI: $r = -0.953, P = 0.003$ ),见表 3。

表3 HSV和PCa伴SVI多B值ADC值的比较( $\bar{x} \pm s$ )

B值 (s/mm <sup>2</sup> )	HSV (n=31)	PCa伴SVI (n=37)	t	P
100	3.142±0.299	0.910±0.165	38.959	<0.001
200	2.737±0.313	0.747±0.150	34.268	<0.001
400	2.421±0.250	0.590±0.148	37.508	<0.001
800	2.203±0.257	0.458±0.126	36.505	<0.001
1 200	1.913±0.296	0.362±0.108	29.664	<0.001
1 600	1.675±0.298	0.258±0.086	27.598	<0.001

注:ADC:表观扩散系数; HSV:血精性精囊炎; PCa:前列腺癌; SVI:精囊浸润

### 3 讨论

本研究发现,37例PCa伴SVI组的转移灶在DWI图上均表现为高信号,且高信号范围随B值的增大而缩小,而HSV组病灶在DWI图上呈高信号的例数随B值增大而逐渐减少,当B值 $\geq 800$  s/mm<sup>2</sup>时,两组患者具有统计学差异。HSV组患者不同B值的ADC值均高于PCa伴SVI组,且B值越大差异越明显。以上结果提示,通过测量病灶的ADC值和观察DWI信号强度,多B值DWI可用于HSV与PCa伴SVI的诊断和鉴别诊断。

DWI成像技术是MRI中的一种无创的功能成像技术,通过检测体内水分子的弥散运动可以反映病变组织的结构特征,其中ADC值是DWI成像技术的重要定量参数,可从水分子扩散运动的角度对精囊病变进行鉴别诊断<sup>[9]</sup>。目前,常规前列腺MRI检查结合相关病史和检验结果可以明确诊断部分PCa伴SVI的患者<sup>[15-16]</sup>。HSV患者因炎症、出血等病理改变导致精囊管狭窄、阻塞,从而精囊液及精液的排出受阻并滞留在精囊中,进而导致其常规MRI检查的影像学表现与PCa伴SVI极其相似,常规MRI检查难以进行诊断和鉴别诊断<sup>[17]</sup>。因此,本研究将从定量分析的角度,进一步探讨多B值DWI在HSV和PCa伴SVI鉴别诊断中的应用价值。

B值是DWI成像技术中最重要的成像参数,与ADC值测量的准确性和DWI图像的信噪比密切相关。同时,B值也是DWI灵敏度的重要指标,B值越小,DWI图像的信噪比越好,图像伪影越少,但组织微循环灌注效应越大,T2WI穿透效应越明显,ADC值也越高。高B值DWI,能更准确地反映水分子的扩散运动,对恶性肿瘤的诊断价值更高<sup>[18-19]</sup>。PCa伴SVI病灶处的组织细胞更致密,水分子的扩散更容易

受限,因此,随着B值的增加,其信号衰减速度更慢,在DWI图像上更容易表现为高信号。HSV精囊病灶处含较多的水分子,其扩散运动受到轻微的限制,随着B值的增加,DWI图像上信号的衰减速度比PCa伴SVI衰减更快,PCa伴SVI精囊病灶的高信号面积随着B的增大逐渐减小,可能与高B值DWI消除瘤周水肿有关<sup>[20-21]</sup>。

低B值DWI图像中混合了活体生物组织中的真实扩散、微循环灌注效应和T2WI穿透效应,导致不同病变在DWI图像和ADC图上存在一定的重叠。高B值DWI可以排除微循环灌注效应和T2WI穿透效应,同时对水分子的扩散运动也更加敏感,因此高B值DWI在检测有弥散运动受限的疾病上也更加敏感<sup>[22]</sup>。多B值DWI可以同时生成多个反映组织真实弥散和微循环灌注的DWI图和ADC图,虽然高B值DWI图像在背景信号损失、DWI图像信噪比和整体图像质量方面均不如低B值DWI,但高B值DWI病灶区域信号强度与周围正常组织的信号强度的对比要远远高于低B值DWI<sup>[23-24]</sup>。多B值和高B值DWI在急性脑干梗死患者的研究中发现,随着DWI成像序列B值的增加,脑梗死患者病变和周围正常脑组织之间的对比度更高。但随着B值的增加,DWI图像信噪比更低,成像伪影也更大,DWI图像的成像时间也更长。当DWI序列B值为2 000 s/mm<sup>2</sup>时图像信噪比较高,伪影较小,成像时间也较短,同时病灶与周围正常脑组织对比度也较为合适,为观察缺血性脑卒中病变的最佳B值<sup>[25]</sup>。而在宫颈癌的多B值或高B值DWI研究中发现,利用多B值DWI重建出的分数阶微积分模型可用于宫颈癌肿瘤亚型和组织学的分型<sup>[26]</sup>,与B值为800和1 000 s/mm<sup>2</sup>相比,B值为1 500和2 000 s/mm<sup>2</sup>时,能提供更丰富的肿瘤信息,对宫颈癌的诊断和鉴别诊断价值也更大<sup>[27]</sup>。另外,对PCa的研究发现,当B值 $\geq 1 000$  s/mm<sup>2</sup>时,高B值DWI可显著提高PCa的诊断效能;但超高B值(B=3 000 s/mm<sup>2</sup>)并不能提高PCa的诊断性能,虽然其背景抑制效果较为显著,但此时的信号强度却显著低于B值为2 000 s/mm<sup>2</sup>的信号强度<sup>[28-29]</sup>。在肝脏疾病的研究中发现,多B值DWI图像重建出的平均ADC值,在肝脏占位性病变和正常肝脏组织之间均有显著的统计学差异,正常肝脏组织的ADC值显著高于肝脏占位性病变的ADC值,同时,良性占位性病变的ADC值均显著高于恶性占位性病变<sup>[30-32]</sup>。在胰腺癌的研究中发现,随着B值的逐渐增大,ROC曲线下面积先增大后减小,当B值为1 600 s/mm<sup>2</sup>时曲线下面积达到最大值,约为0.74,此时既可明显改善

胰腺癌的组织轮廓,又能使癌组织与周围正常胰腺的对比度达到最大,极大地提高了胰腺癌检测的灵敏度<sup>[33-34]</sup>。综上所述,多B值及高B值DWI在良恶性疾病的诊断和鉴别诊断中具有重要研究意义。

本研究有一定的局限性,首先,本研究为单中心、小样本研究,对HSV和PCa伴SVI患者疾病的亚型和病理分类研究有限,未进行亚组分析。其次,本研究纳入的最佳人群应该为PCa伴SVI和PCa伴HSV但不伴SVI的两组人群,由于后者在临床上极为少见,因此本研究纳入了单纯的HSV患者进行研究。同时,本研究的观察指标有限。最后,本研究DWI序列的最高B值为 $1\ 600\ \text{s}/\text{mm}^2$ ,且只研究了7个B值,未进行更多B值和更高B值的研究。因此,本研究的结论需要通过大样本、多中心的临床试验来证实,以更稳健地确定多B值和高B值DWI成像技术在HSV和PCa伴SVI患者中的研究价值。

综上所述,多B值DWI成像技术可提供更丰富的组织弥散信息,HSV和PCa伴SVI的患者不仅在不同B值的ADC值上具有统计学差异,而且在高B值( $\geq 800\ \text{s}/\text{mm}^2$ )DWI图像上的信号强度也有统计学差异。因此,多B值和高B值DWI可用于HSV和PCa伴SVI的鉴别诊断。

#### 参考文献:

- [1] Suh Y, Gandhi J, Joshi G, et al. Etiologic classification, evaluation, and management of hematospermia [J]. *Transl Androl Urol*, 2017, 6(5): 959-972.
- [2] Hosseinzadeh K, Oto A, Allen B C, et al. ACR appropriateness criteria<sup>®</sup> hematospermia[J]. *J Am Coll Radiol*, 2017, 14(5S): S154-S159.
- [3] La Vignera S, Vicari E, Condorelli R A, et al. Male accessory gland infection and sperm parameters (review) [J]. *Int J Androl*, 2011, 34(5 Pt 2): e330-e347.
- [4] Wang F, Wang Y, Zhang J, et al. Spermatozoa-induced seminal vesiculitis in mice [J]. *Andrology*, 2023, 11(6): 1163-1174.
- [5] Zhu Y, Mo M, Wei Y, et al. Epidemiology and genomics of prostate cancer in Asian men [J]. *Nat Rev Urol*, 2021, 18(5): 282-301.
- [6] Kryvenko O N, Iakymenko O A, De Lima Guido L P, et al. Prostatic ductal adenocarcinoma controlled for tumor grade, stage, and margin status does not independently influence the likelihood of biochemical recurrence in localized prostate cancer after radical prostatectomy [J]. *Arch Pathol Lab Med*, 2022, 146(8): 1012-1017.
- [7] Flammia R S, Hoeh B, Sorce G, et al. Contemporary seminal vesicle invasion rates in NCCN high-risk prostate cancer patients [J]. *Prostate*, 2022, 82(10): 1051-1059.
- [8] Gillessen S, Bossi A, Davis I D, et al. Management of patients with advanced prostate cancer. part I: intermediate-/ high-risk and locally advanced disease, biochemical relapse, and side effects of hormonal treatment: report of the advanced prostate cancer consensus conference 2022 [J]. *Eur Urol*, 2023, 83(3): 267-293.
- [9] Han H, Lei H E, Zhang X D, et al. Magnetic resonance imaging compared to ultrasound as the preferred method for diagnosing intractable haemospermia [J]. *Andrologia*, 2021, 53(6): e14054.
- [10] Diamand R, Ploussard G, Roumiguié M, et al. External validation of a multiparametric magnetic resonance imaging-based nomogram for the prediction of extracapsular extension and seminal vesicle invasion in prostate cancer patients undergoing radical prostatectomy [J]. *Eur Urol*, 2021, 79(2): 180-185.
- [11] Serai S D. Basics of magnetic resonance imaging and quantitative parameters T1, T2, T2\*, T1rho and diffusion-weighted imaging [J]. *Pediatr Radiol*, 2022, 52(2): 217-227.
- [12] Low R N. Diffusion-weighted MR imaging for whole body metastatic disease and lymphadenopathy [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2009, 17(2): 245-261.
- [13] Ueda T, Ohno Y, Yamamoto K, et al. Deep learning reconstruction of diffusion-weighted MRI improves image quality for prostatic imaging [J]. *Radiology*, 2022, 303(2): 373-381.
- [14] Jeong J, Yeom S K, Choi I Y, et al. Deep learning image reconstruction of diffusion-weighted imaging in evaluation of prostate cancer focusing on its clinical implications [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(5): 3432-3446.
- [15] Grivas N, Hinnen K, de Jong J, et al. Seminal vesicle invasion on multi-parametric magnetic resonance imaging: Correlation with histopathology [J]. *Eur J Radiol*, 2018, 98: 107-112.
- [16] Zawaideh J P, Caglic I, Sushentsev N, et al. MRI assessment of seminal vesicle involvement by prostate cancer using T2 signal intensity and volume [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2024, 49(7): 2534-2539.
- [17] Ueno Y R, Tamada T, Takahashi S, et al. Computed diffusion-weighted imaging in prostate cancer: basics, advantages, cautions, and future prospects [J]. *Korean J Radiol*, 2018, 19(5): 832-837.
- [18] Colagrande S, Belli G, Politi L S, et al. The influence

- of diffusion- and relaxation-related factors on signal intensity: an introductive guide to magnetic resonance diffusion-weighted imaging studies[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2008, 32(3): 463-474.
- [19] Fokkinga E, Hernandez-Tamames J A, Ianus A, et al. Advanced diffusion-weighted MRI for cancer microstructure assessment in body imaging, and its relationship with histology[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023.
- [20] Tepe M, Saylisoy S, Toprak U, et al. The potential role of peritumoral apparent diffusion coefficient evaluation in differentiating glioblastoma and solitary metastatic lesions of the brain[J]. *Curr Med Imaging*, 2021, 17(10): 1200-1208.
- [21] White N S, McDonald C, Farid N, et al. Diffusion-weighted imaging in cancer: physical foundations and applications of restriction spectrum imaging[J]. *Cancer Res*, 2014, 74(17): 4638-4652.
- [22] Fukushima K, Sano K, Machida H, et al. Effect of an ultrahigh b value of 3000 s/mm<sup>2</sup> and the minimal echo-time on image quality and the T2 shine-through effect in diffusion-weighted imaging of the liver at 3T: phantom and clinical pilot studies[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2023, 22(2): 232-240.
- [23] Kiselev V G. Microstructure with diffusion MRI: what scale we are sensitive to? [J]. *J Neurosci Methods*, 2021, 347: 108910.
- [24] Schmidt H, Gatidis S, Schweser N F, et al. Impact of measurement parameters on apparent diffusion coefficient quantification in diffusion-weighted-magnetic resonance imaging[J]. *Invest Radiol*, 2015, 50(1): 46-56.
- [25] Ablefoni M, Ullrich S, Surov A, et al. Diagnostic benefit of high b-value computed diffusion-weighted imaging in acute brainstem infarction[J]. *J De Neuroradiol*, 2022, 49(1): 47-52.
- [26] Shao X, An L, Liu H, et al. Cervical carcinoma: evaluation using diffusion MRI with a fractional order calculus model and its correlation with histopathologic findings[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 851677.
- [27] Qi Y F, He Y L, Lin C Y, et al. Diffusion-weighted imaging of cervical cancer: Feasibility of ultra-high b-value at 3T[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 124: 108779.
- [28] Rezaeian A, M j T B, Chegeni N, et al. Signal intensity of high B-value diffusion-weighted imaging for the detection of prostate cancer[J]. *J Biomed Phys Eng*, 2019, 9(4): 453-458.
- [29] Tamada T, Kido A, Ueda Y, et al. Clinical impact of ultra-high b-value (3000 s/mm<sup>2</sup>) diffusion-weighted magnetic resonance imaging in prostate cancer at 3T: comparison with b-value of 2000 s/mm<sup>2</sup>[J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1131): 20210465.
- [30] Jahn M, Layer G. Multiparametric MRI in hepatocellular carcinoma, part 2: diffusion-weighted imaging in the primary diagnostics and treatment monitoring[J]. *Radiologie (Heidelb)*, 2024, 64(7): 587-596.
- [31] Yang H, Lv P, Zhang R Y, et al. Detection of mural inflammation with low b-value diffusion-weighted imaging in patients with active Takayasu Arteritis[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(9): 6666-6675.
- [32] Wang J Y, Zhou X, Yao M R, et al. Comparison and optimization of b value combinations for diffusion-weighted imaging in discriminating hepatic fibrosis[J]. *Abdom Radiol*, 2024, 49(4): 1113-1121.
- [33] Fukukura Y, Shindo T, Hakamada H, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the pancreas: optimizing b-value for visualization of pancreatic adenocarcinoma [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(10): 3419-3427.
- [34] Harder F N, Jung E, Weiss K, et al. Computed high-b-value high-resolution DWI improves solid lesion detection in IPMN of the pancreas[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(10): 6892-6901.

[收稿日期 2024-06-03]