

# 体素内不相干运动模型直方图参数对前列腺癌和前列腺增生结节的鉴别诊断

朱一芳<sup>1</sup>, 武红利<sup>2</sup>, 徐春生<sup>1</sup>, 王安琴<sup>1</sup>

(安徽中医药大学, 1. 第一附属医院影像中心; 2. 生物医学工程教研室, 安徽 合肥 230031)

**【摘要】目的:** 分析体素内不相干运动(IVIM)模型直方图参数对前列腺癌(PCa)和前列腺增生结节(BPH)的鉴别诊断效能。**方法:** 回顾性分析接受多参数MRI(mpMRI)检查的90例未接受过激素或放射治疗的临床可疑PCa患者临床资料, 根据病理结果分为PCa组( $n=39$ )及BPH组( $n=51$ )。得到定量扩散系数(D)、伪扩散系数( $D^*$ )、灌注分数(f)和表观扩散系数(ADC)的直方图参数并比较差异。同时运用ROC曲线分析各参数在鉴别PCa和BPH时的诊断效能。**结果:** PCa组的D平均值、75%位数、90%位数、最大值均低于BPH组( $P<0.05$ ),  $D^*$ 最小值、10%位数也低于BPH组( $P<0.05$ ); f平均值、各主要位数及峰度均低于BPH组( $P<0.05$ ); ADC最小值、各主要位数、最大值均低于BPH组( $P<0.05$ ), 峰度则高于BPH组( $P<0.05$ )。D平均值、 $D^*$ 最小值、f平均值、ADC 50%位数的AUC较高。**结论:** IVIM模型直方图参数在PCa和BPH的鉴别诊断中具有明显优势, 可为临床诊断提供有价值的参考依据。

**【关键词】** 体素内不相干运动; 前列腺癌; 前列腺增生结节; 直方图; 诊断

**【中图分类号】** R737.25

**【文献标志码】** A

## Differential diagnosis of prostate cancer and benign prostatic hyperplasia by intravoxel incoherent motion model histogram parameters

ZHU Yi-fang<sup>1</sup>, WU Hong-li<sup>2</sup>, XU Chun-sheng<sup>1</sup>, WANG An-qin<sup>1</sup>

(1. Imaging Center, the First Affiliated Hospital of Anhui University of Chinese Medicine; 2. Medical Information Engineering, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230031, Anhui, China)

**【Abstract】Objective:** To analyze the differential diagnosis efficiency of intravoxel incoherent motion (IVIM) model histogram parameters on prostate cancer (PCa) and benign prostatic hyperplasia (BPH). **Methods:** The clinical data of 90 patients with clinically suspected PCa but without hormone therapy or radiotherapy who underwent mpMRI examination were retrospectively analyzed. The enrolled patients were classified into PCa group and BPH group by means of pathological results. The histogram parameters such as pseudo-diffusion coefficient ( $D^*$ ), quantitative diffusion coefficient (D), apparent diffusion coefficient (ADC) and perfusion fraction (f) were obtained, and the differences in the above parameters were compared. The diagnostic efficiency of each parameter in differentiating PCa and BPH was analyzed by drawing ROC curve. **Results:** The mean value, 75th percentile, 90th percentile and maximum value of D in PCa group were lower than those in BPH group ( $P<0.05$ ), and the minimum value and 10th percentile of  $D^*$  were also lower ( $P<0.05$ ). The mean value, main percentiles and kurtosis of f were lower in PCa group than those in BPH group ( $P<0.05$ ). The minimum value, main percentiles and maximum value of ADC in PCa group were lower, while kurtosis was higher compared to BPH group ( $P<0.05$ ). The AUCs of mean value of D, minimum value of  $D^*$ , mean value of f and 50th percentile of ADC were higher ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** IVIM model histogram parameters have significant advantages in identifying PCa and BPH, providing valuable reference basis for clinical diagnosis.

**【Key words】** Intravoxel incoherent motion; Prostate cancer; Benign prostatic hyperplasia; Histogram; Diagnosis

前列腺癌(prostate cancer, PCa)是常见男性恶性肿瘤,发病率逐年上升<sup>[1-2]</sup>。在前列腺癌(PCa)的病理学特征中,外周带(peripheral zone, PZ)是大多数肿瘤的起始部位,比例约为70%。此外,约有

20%的患者,其肿瘤的发生部位为移行带(transition zone, TZ)。此类患者的肿瘤因移行带解剖位置较为隐蔽,且常与良性前列腺增生(benign prostatic hyperplasia, BPH)同时存在,诊断时需特别注

意<sup>[3]</sup>。BPH在MRI上可表现为间质增生或腺体增生,与TZ来源的PCa在T2加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)及扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)中存在显著影像学重叠,导致鉴别诊断困难<sup>[4]</sup>。当前,PCa的诊断流程中,经直肠超声(transrectal ultrasound, TRUS)引导下的前列腺穿刺活检结合前列腺特异性抗原检测,已成为当前最权威的诊断手段。但TRUS对移行带取样不足,易致假阴性<sup>[5]</sup>。体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)模型是新型MRI技术,能反映组织扩散和灌注信息,可以得到定量扩散系数(D)、伪扩散系数( $D^*$ )和灌注分数(f)等参数<sup>[6]</sup>。与传统的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)相比,IVIM模型参数能够更全面地反映组织的微观结构和生理特征,为前列腺疾病的诊断提供了新的视角<sup>[7]</sup>。直方图分析是一种对感兴趣区(region of interest, ROI)内所有体素的参数分布情况进行量化分析的方法,能够更全面地反映组织的异质性。对此,本研究旨在通过对PCa和BPH的IVIM模型参数直方图进行分析,探索其在两者鉴别诊断中的效能。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析2023年6月至2025年6月安徽中医药大学第一附属医院接受多参数MRI(mpMRI)检查的90例临床可疑PCa患者的临床资料。患者年龄( $72.29 \pm 9.12$ )岁。纳入标准:(1)经穿刺活检或术后病理诊断为PCa或BPH<sup>[8]</sup>;(2)完成mpMRI检查;(3)临床资料完整。排除标准:(1)其他前列腺病变;(2)入组前6个月内接受过前列腺穿刺活检、经尿道前列腺电切术(transurethral resection of prostate, TURP)、激素治疗或放疗;(3)MRI图像有严重伪影;(4)存在严重尿路梗阻。根据患者病理结果,将两组患者分为PCa组( $n=39$ )及BPH组( $n=51$ )。

### 1.2 方法

本研究使用超导型磁共振成像仪进行检查。包括冠状位T2WI快速自旋回波(fast spin echo, FSE)序列,横轴位脂肪抑制T2WI FSE序列,横轴位T1WI FSE序列,小视野横轴位T2WI FSE序列,以及横轴位IVIM序列。冠状位及横轴位T2WI快速自旋回波序列,重复时间(repetition time, TR)2 500 ms,回波时间(echo time, TE)120 ms,翻转角 $111^\circ$ ,矩阵 $320 \times 288$ ,冠状位层厚4 mm,层间距1 mm,视野 $260 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$ ,回波链长度14,激励次数4次,横轴位层厚5 mm,层间

距1 mm,视野 $420 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$ ,回波链长度10,激励次数3次。横轴位T1WI快速自旋回波序列,TR 559 ms,TE 8.8 ms,翻转角 $111^\circ$ ,层厚5 mm,层间距1 mm,视野 $420 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$ ,矩阵 $320 \times 320$ ,回波链长度4,激励次数2次。小视野横轴位T2WI扫描TR 4 110 ms,TE 120 ms,翻转角 $111^\circ$ ,层厚3 mm,视野 $240 \text{ mm} \times 240 \text{ mm}$ ,矩阵 $320 \times 320$ ,回波链长度17,激励次数4次。IVIM序列采集采用单激发平面回波成像(single-shot echo planar imaging, SS EPI)技术,采集时长2 min 52 s,TR 2 530 ms,TE 67 ms,层厚5 mm,层间距1 mm,视野 $420 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$ ,矩阵 $188 \times 188$ ,b值分别为0、20、50、100、200、500、1 000、1 500 s/mm,激励次数分别为1、1、1、2、3、4、5、6。

### 1.3 观察指标

1.3.1 PCa组及BPH组直方图参数 使用GE AW4.6工作站的functional软件,通过IVIM模型和单指数模型进行图像后处理。两名放射科医师在各参数图病灶最大层面勾画ROI,并将其保存为三维VOI数据(包括D、 $D^*$ 、f和ADC)。采用Matlab·R2015b软件自动生成每个ROI的直方图分析结果,得到直方图参数。

1.3.2 直方图参数的诊断效能 以病理检查结果为金标准,分析上述直方图参数对PCa、BPH的诊断价值。

### 1.4 统计学分析

本研究采用SPSS 26.0软件进行数据分析。计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用独立样本 $\chi^2$ 检验进行分析;对于符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较采用独立样本t检验。运用受试者工作特征(ROC)曲线对诊断效能进行评估。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 PCa组及BPH组直方图参数比较

PCa组患者D平均值、75%位数、90%位数、最大值均低于BPH组( $P < 0.05$ );PCa组患者 $D^*$ 最小值、10%位数均低于BPH组( $P < 0.05$ );PCa组患者f平均值、10%位数、25%位数、50%位数、75%位数、90%位数、峰度均低于BPH组( $P < 0.05$ );PCa组患者ADC最小值、10%位数、25%位数、50%位数、75%位数、90%位数、最大值均低于BPH组,峰度高于对照组( $P < 0.05$ )。见表1。

### 2.2 直方图参数的诊断效能

最终得出最佳参数为D平均值( $AUC = 0.870$ )、 $D^*$ 最小值( $AUC = 0.888$ )、f平均值

(AUC = 0. 855)、ADC 50% 位数 (AUC = 0. 896)。 见表 2 及图 1-图 4。

表 1 PCa 组及 BPH 组直方图参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	PCa 组 (n=39)	BPH 组 (n=51)	t 值	P 值	参数	PCa 组 (n=39)	BPH 组 (n=51)	t 值	P 值
D(10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s)					f(%)				
平均值	0.81 ± 0.23	1.26 ± 0.32	7.432	<0.001	平均值	36.01 ± 2.27	40.57 ± 3.53	7.027	<0.001
最小值(10 <sup>-12</sup> mm <sup>2</sup> /s)	0.58 ± 0.22	0.59 ± 0.19	0.829	0.410	最小值(10 <sup>-5</sup> )	11.96 ± 2.14	12.41 ± 3.29	0.742	0.460
10% 位数(10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s)	0.58 ± 0.12	0.51 ± 0.14	1.839	0.069	10% 位数	12.72 ± 1.65	15.02 ± 1.87	6.080	<0.001
25% 位数	0.19 ± 0.04	0.18 ± 0.06	0.899	0.371	25% 位数	16.99 ± 2.05	18.76 ± 2.95	3.201	0.002
50% 位数	0.42 ± 0.09	0.44 ± 0.11	0.923	0.358	50% 位数	32.63 ± 9.53	42.55 ± 13.36	6.904	<0.001
75% 位数	0.49 ± 0.12	0.64 ± 0.08	7.103	<0.001	75% 位数	61.43 ± 9.11	75.39 ± 11.42	6.259	<0.001
90% 位数	0.60 ± 0.16	0.77 ± 0.11	8.381	<0.001	90% 位数	73.60 ± 21.67	87.46 ± 15.09	3.575	0.001
最大值	0.71 ± 0.12	0.88 ± 0.18	5.093	<0.001	最大值	92.14 ± 12.62	95.36 ± 10.44	1.324	0.189
偏度(mm <sup>2</sup> /s)	0.50 ± 0.11	0.48 ± 0.09	0.948	0.346	偏度	51.33 ± 14.66	53.87 ± 20.14	0.664	0.508
峰度(mm <sup>2</sup> /s)	1.47 ± 0.62	1.53 ± 0.39	0.561	0.576	峰度	1.73 ± 0.38	1.94 ± 0.35	2.718	0.008
D* (10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s)					ADC(10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s)				
平均值	5.51 ± 1.32	5.36 ± 2.10	0.391	0.697	平均值	1.09 ± 0.12	1.14 ± 0.21	1.329	0.187
最小值	0.52 ± 0.12	1.01 ± 0.35	8.366	<0.001	最小值(10 <sup>-12</sup> mm <sup>2</sup> /s)	5.15 ± 0.91	5.86 ± 1.23	3.025	0.003
10% 位数	0.87 ± 0.24	1.52 ± 0.55	6.889	<0.001	10% 位数(10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s)	5.33 ± 1.46	6.97 ± 0.91	6.537	<0.001
25% 位数	1.46 ± 0.38	1.51 ± 0.20	0.806	0.423	25% 位数	0.62 ± 0.14	0.87 ± 0.26	5.428	<0.001
50% 位数	3.01 ± 0.27	2.94 ± 0.25	1.271	0.207	50% 位数	0.62 ± 0.11	0.88 ± 0.18	7.951	<0.001
75% 位数	6.40 ± 1.35	6.84 ± 2.44	1.013	0.314	75% 位数	0.80 ± 0.22	1.23 ± 0.26	8.300	<0.001
90% 位数	10.29 ± 1.25	10.47 ± 1.32	0.656	0.514	90% 位数	0.98 ± 0.26	1.12 ± 0.11	3.466	0.001
最大值	41.64 ± 5.42	39.94 ± 4.37	1.647	0.103	最大值	1.06 ± 0.35	1.40 ± 0.34	4.642	<0.001
偏度(mm <sup>2</sup> /s)	4.33 ± 0.52	4.19 ± 0.35	1.525	0.131	偏度(mm <sup>2</sup> /s)	0.38 ± 0.09	0.35 ± 0.13	1.232	0.221
峰度(mm <sup>2</sup> /s)	21.29 ± 3.42	20.35 ± 2.58	1.487	0.141	峰度(mm <sup>2</sup> /s)	3.00 ± 0.97	2.57 ± 0.60	2.586	0.011

表 2 直方图参数的诊断效能分析

指标	AUC 值	截断值	95% CI	敏感度 (%)	特异度 (%)	P 值
D						
平均值	0.87	1.155 × 10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.799 ~ 0.941	94.87	60.78	<0.001
75% 位数	0.847	0.555 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.76 ~ 0.935	74.36	88.24	<0.001
90% 位数	0.811	0.635 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.716 ~ 0.905	64.10	90.20	<0.001
最大值	0.788	0.810 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.693 ~ 0.884	84.62	70.59	<0.001
D*						
最小值	0.888	0.745 × 10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.815 ~ 0.961	87.18	80.39	<0.001
10% 位数	0.847	1.135 × 10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.762 ~ 0.932	87.18	84.31	<0.001
f						
平均值	0.855	37.800 × 10 <sup>-5</sup>	0.777 ~ 0.933	84.62	21.57	<0.001
10% 位数	0.834	14.420 × 10 <sup>-5</sup>	0.752 ~ 0.915	87.18	29.41	<0.001
25% 位数	0.688	18.215 × 10 <sup>-5</sup>	0.579 ~ 0.797	82.05	45.10	0.002
50% 位数	0.73	39.310 × 10 <sup>-5</sup>	0.626 ~ 0.833	82.05	41.18	<0.001
75% 位数	0.828	69.095 × 10 <sup>-5</sup>	0.743 ~ 0.912	82.05	27.45	<0.001
90% 位数	0.689	75.670 × 10 <sup>-5</sup>	0.574 ~ 0.803	56.41	19.61	0.002
峰度	0.668	1.885 mm <sup>2</sup> /s	0.555 ~ 0.781	69.23	41.18	0.007
ADC						
最小值	0.666	5.485 × 10 <sup>-12</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.555 ~ 0.777	69.23	62.75	0.007
10% 位数	0.822	5.645 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.733 ~ 0.911	58.97	94.12	<0.001
25% 位数	0.798	0.765 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.705 ~ 0.892	89.74	64.71	<0.001
50% 位数	0.896	0.790 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.831 ~ 0.959	92.31	76.47	<0.001
75% 位数	0.895	0.960 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.824 ~ 0.965	87.18	86.27	<0.001
90% 位数	0.68	0.945 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.558 ~ 0.803	48.72	96.08	0.003
最大值	0.747	1.135 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.645 ~ 0.849	61.54	80.39	<0.001
峰度	0.679	3.035 mm <sup>2</sup> /s	0.559 ~ 0.799	56.41	80.39	0.004
最佳直方图参数						
D 平均值	0.870	1.155 × 10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.799 ~ 0.941	97.44	60.78	<0.001
D* 最小值	0.888	0.745 × 10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.815 ~ 0.961	87.18	80.39	<0.001
f 平均值	0.855	37.800 × 10 <sup>-5</sup>	0.777 ~ 0.933	84.62	21.57	<0.001
AUC 50% 位数	0.896	0.790 × 10 <sup>-10</sup> mm <sup>2</sup> /s	0.831 ~ 0.959	92.31	76.47	<0.001

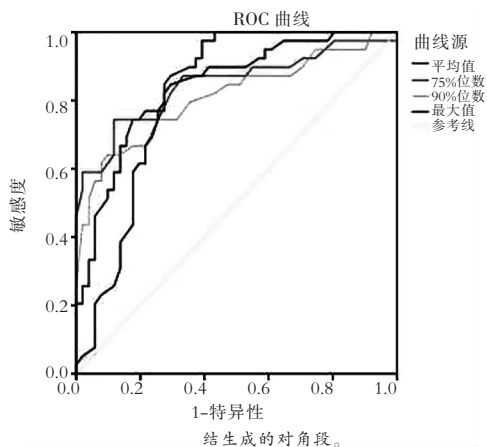


图1 D直方图参数的诊断效能ROC曲线

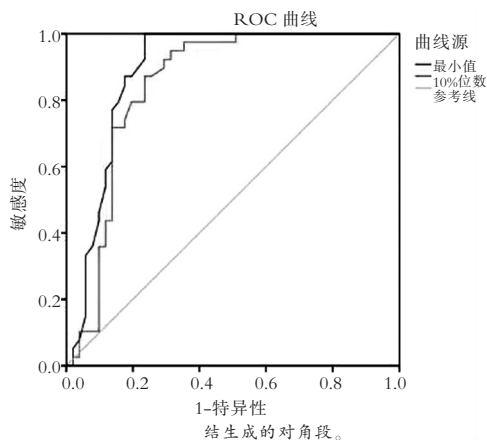


图2 D\*直方图参数的诊断效能ROC曲线

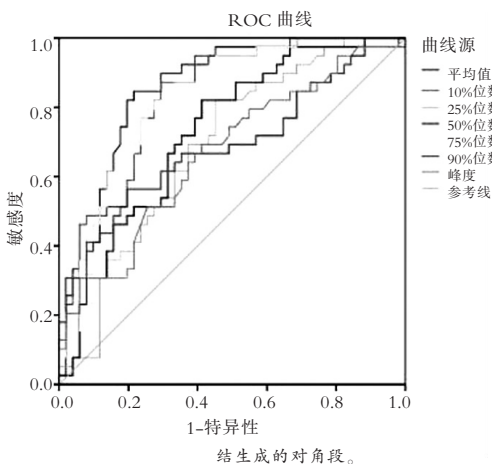


图3 f直方图参数的诊断效能ROC曲线

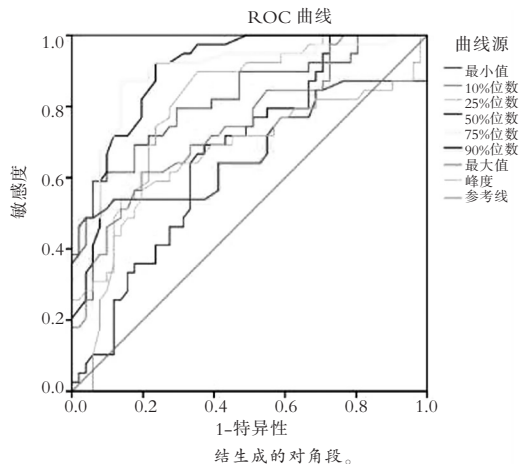


图4 ADC直方图参数的诊断效能ROC曲线

### 3 讨论

PCa作为一种常见的男性恶性肿瘤,对男性健康构成了显著威胁<sup>[9]</sup>。早期诊断对PCa治疗和预后极为关键,尤其是对于TZ的癌灶,其诊断难度较大。移行区是PCa的高发区域之一,但其组织成分复杂,常伴有BPH,致常规影像学检查在移行区PCa检出上较困难<sup>[10]</sup>。

参数直方图分析是可同时计算肿瘤参数的均值,并分析肿瘤内部参数的分布情况<sup>[11]</sup>。本研究表明,PCa组的D值(平均数、75%位数、90%位数、最大值)、f值(平均数、10%~90%位数)和ADC值(最小值、10%~90%位数、最大值)均低于BPH组,这与Wong等<sup>[12]</sup>的研究结果相似。与正常前列腺组织相比,肿瘤组织的D值、f值及ADC值均降低,表明在PCa组织中,水分子的真实扩散受限更为明显,可能是由于肿瘤细胞的高密度和细胞外间隙的狭窄所致<sup>[13-15]</sup>。同时,PCa组织的微循环灌注功能较弱,可能与肿瘤血管生成的异常有关,灌注相关参数在整体分布上更低<sup>[16-17]</sup>。Nematollahi等<sup>[18]</sup>发现PCa病灶的D值和f值与正常前列腺组织之间无差异,而本研究中PCa组患者的D最小

值、10%位数低于BPH组,f值在多个百分位数上均低于BPH组。这表明本研究中PCa组织的微循环灌注功能受到更明显的抑制,可能与样本差异或扫描设备、b值选择不同有关。

本研究中,D平均值的AUC值为0.870,表明D平均值在PCa和BPH的鉴别诊断中诊断效能较高,与Bao等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,其发现D平均值的AUC高于其他参数,表明D值在PCa和BPH的鉴别中具有重要价值。本研究中,D\*最小值的AUC为0.888,表明D\*最小值在PCa和BPH的鉴别中具有较高的诊断效能。但Bao等<sup>[19]</sup>发现D值的直方图参数在PCa和BPH之间没有差异。然而,本研究中D\*最小值的AUC值较高,表明D\*值可能在PCa和BPH的鉴别中具有潜在价值。

综上,IVIM模型参数直方图在PCa和BPH的鉴别诊断中具有显著优势,能有效区分两者,有助于提高前列腺诊断疾病的准确性和治疗决策的科学性。

#### 参考文献

- [1] 张宇,黄新韵,傅璠,等. 18F-PSMA-1007 PET/MR与扩散峰度成像在前列腺癌及前列腺增生诊断中的价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志,2025,45(7):400-404.

- [2] Kearns JT, Helfand BT, Xu J. Moving prostate cancer polygenic risk scores from research towards clinical practice[J]. *European Urology Focus*, 2022, 8(4): 913–915.
- [3] Wang C, Wang YY, Wang SY, *et al.* Peripheral zone PSA density: a predominant variable to improve prostate cancer detection efficiency in men with PSA higher than 4 ng/ml (–1)[J]. *Asian Journal of Andrology*, 2021, 23(4): 415–420.
- [4] Lin B, Cavdar IK, Buxton M, *et al.* Association between prostate size and glandular tissue volume of the peripheral zone via novel combined MRI and histopathology: possible pathophysiological implications on prostate cancer development [J]. *International Urology and Nephrology*, 2023, 55(4): 835–844.
- [5] Jia D, Zhou Z, Kwon OJ, *et al.* Stromal FOXF2 suppresses prostate cancer progression and metastasis by enhancing anti-tumor immunity[J]. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 6828.
- [6] 王曦, 冯苏, 李红, 等. 磁共振体内不相干运动成像鉴别肝细胞癌与肝内胆管细胞癌的价值[J]. *磁共振成像*, 2023, 14(7): 49–52, 85.
- [7] 国家癌症中心, 国家肿瘤质控中心前列腺癌质控专家委员会. 中国前列腺癌规范诊疗质量控制指标(2022版)[J]. *中华肿瘤杂志*, 2022, 44(10): 1011–1016.
- [8] 中华医学会男科学分会良性前列腺增生诊疗及健康管理指南编写组. 良性前列腺增生诊疗及健康管理指南[J]. *中华男科学杂志*, 2022, 28(4): 356–365.
- [9] Adamaki M, Zoumpourlis V. Prostate Cancer Biomarkers: From diagnosis to prognosis and precision-guided therapeutics[J]. *Pharmacology & Therapeutics*, 2021, 228: 107932.
- [10] Seifert R, Emmett L, Rowe SP, *et al.* Second version of the prostate cancer molecular imaging standardized evaluation framework including response evaluation for clinical trials (PROMISE V2) [J]. *European Urology*, 2023, 83(5): 405–412.
- [11] Sosa-Marrero C, Acosta O, Pasquier D, *et al.* Voxel-wise analysis: a powerful tool to predict radio-induced toxicity and potentially perform personalised planning in radiotherapy [J]. *Cancer Radiotherapy*, 2023, 27(6–7): 638–642.
- [12] Wong T, Schieda N, Sathiadoss P, *et al.* Fully automated detection of prostate transition zone tumors on T2-weighted and apparent diffusion coefficient (ADC) map MR images using U-Net ensemble[J]. *Medical Physics*, 2021, 48(11): 6889–6900.
- [13] Giganti F, Dickinson L, Orczyk C, *et al.* Prostate imaging after focal ablation (PI-FAB): a proposal for a scoring system for multiparametric MRI of the prostate after focal therapy [J]. *European Urology Oncology*, 2023, 6(6): 629–634.
- [14] Brillat-Savarin N, Wu C, Aupin L, *et al.* 3.0 T prostate MRI: Visual assessment of 2D and 3D T2-weighted imaging sequences using PI-QUAL score [J]. *European Journal of Radiology*, 2023, 166: 110974.
- [15] Sun C, Wang S, Chatterjee A, *et al.* T2\*-weighted MRI as a non-contrast-enhanced method for assessment of focal laser ablation zone extent in prostate cancer thermotherapy [J]. *European Radiology*, 2021, 31(1): 325–332.
- [16] Tavakoli AA, Hielscher T, Badura P, *et al.* Contribution of dynamic contrast-enhanced and diffusion MRI to PI-RADS for detecting clinically significant prostate cancer [J]. *Radiology*, 2023, 306(1): 186–199.
- [17] Xing P, Chen L, Yang Q, *et al.* Differentiating prostate cancer from benign prostatic hyperplasia using whole-lesion histogram and texture analysis of diffusion- and T2-weighted imaging [J]. *Cancer Imaging*, 2021, 21(1): 54.
- [18] Nematollahi H, Maracy MR, Moslehi M, *et al.* Comparison of diagnostic performance between diffusion models parameters and mono-exponential apparent diffusion coefficient in patients with prostate cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Journal of Research in Medical Sciences*, 2024, 29: 43.
- [19] Bao J, Wang X, Hu C, *et al.* Differentiation of prostate cancer lesions in the transition zone by diffusion-weighted MRI [J]. *European Journal of Radiology Open*, 2017, 4(9): 123–128.

(收稿日期: 2025-08-09)

修回日期: 2025-09-20