

论 著

MRI多模型扩散加权成像及PSA相关指标诊断前列腺癌的价值*

韩丽莹¹ 何冠勇¹ 喻 晴²
施豪波² 梅颖洁³ 成官迅^{1,*}
梁 文^{2,*}

1.广东省深圳市北京大学深圳医院医学影像科 (广东 深圳 518036)

2.广东省广州市南方医科大学珠江医院影像科 (广东 广州 510280)

3.广东省广州市南方医科大学生物工程学院 (广东 广州 510515)

【摘要】目的 探讨MRI单指数、双指数及峰度模型扩散加权成像的定量参数值及前列腺特异性抗原(PSA)相关指标诊断前列腺癌(Pca)的价值。方法 分析经病理证实的32例Pca患者和43例良性病变患者的MRI图像,包括DWI、IVIM和DKI序列并测量相应的定量参数值。收集患者术前的总PSA(tPSA)、游离PSA(fPSA)、游离/总PSA比率(f/tPSA)、PSA密度(PSAD)值。比较两组MRI定量参数值及PSA指标的差异并进行ROC曲线分析。结果 两组的ADC、D、D*、D_{app}、K_{app}和tPSA、f/tPSA、PSAD值具有统计学差异(P<0.05),相应ROC曲线下面积为0.876、0.867、0.639、0.854、0.840和0.807、0.715、0.859。DWI、IVIM、DKI参数分别与PSA指标联合诊断的效能优于单个参数诊断的效能。结论 ADC值和PSAD值分别是Pca诊断价值最高的MRI定量参数和PSA指标。MRI定量参数与PSA指标联合应用有助于提高Pca诊断价值。

【关键词】扩散加权成像; 体素内不相干运动成像; 扩散峰度加权成像; 前列腺癌; 前列腺特异性抗原

【中图分类号】R445.2; R737.25

【文献标识码】A

【基金项目】深圳市卫生计生系统科研项目-学科建设能力提升项目(SZXJ2018076)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.043

Diagnostic Value of MRI Multi-model Diffusion-weighted Imaging and PSA-related Indicators in Prostate Cancer*

HAN Li-ying¹, HE Guan-Yong¹, YU Qing², SHI Hao-bo², MEI Ying-jie³, CHENG Guan-xun^{1,*}, LIANG Wen^{2,*}.

1.Department of Medical Radiology, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, Guangdong Province, China

2.Department of Radiology, Zhujiang Hospital of Southern Medical University, Guangzhou, 510280, Guangdong Province, China

3.School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the diagnostic value of the quantitative parameters of monoexponential, bi-exponential and kurtosis models of MRI diffusion-weighted imaging and prostate-specific antigen (PSA)-related indicators in prostate cancer (Pca). **Methods** MRI images of 32 patients with pathologically confirmed Pca and 43 patients with benign lesions were analyzed, including DWI, IVIM and DKI sequences, and the corresponding quantitative parameter values were measured. Preoperative total PSA (tPSA), free PSA (fPSA), free/total PSA ratio (f/tPSA), and PSA density (PSAD) values were collected from the patients. The differences in quantitative MRI parameter values and PSA indicators between the two groups were compared and ROC curve analysis was performed. **Results** The ADC, D, D*, D_{app}, K_{app} and tPSA, f/tPSA, and PSAD values of the two groups were statistically different (P<0.05), and the areas under the corresponding ROC curves were 0.876, 0.867, 0.639, 0.854, 0.840, 0.807, 0.715, 0.859. The diagnostic efficacy of the combination of DWI, IVIM, and DKI parameters respectively with PSA indicators was superior to that of the single parameter diagnosis. **Conclusion** The ADC value and PSAD value are the quantitative MRI parameters and PSA indicators with the highest diagnostic value of Pca, respectively. The combination of quantitative MRI parameters and PSA indicators can help improve the diagnostic value of Pca.

Keywords: Diffusion Weighted Imaging; Intravoxel Incoherent Motion Imaging; Diffusion Kurtosis Imaging; Prostate Cancer; Prostate Specific Antigen

前列腺癌(prostate cancer, PCa)是世界男性最常见的第二大肿瘤^[1]。由于人口老龄化、人民寿命延长、饮食习惯改变、筛查普及和诊断水平提高,近年来我国PCa发病率呈逐渐上升趋势^[2],因此提高PCa的检出率及诊断的准确性对改善患者生活质量及寿命的延长至关重要。前列腺多参数磁共振成像(multi-parameter MRI, mpMRI)是目前检测PCa的最佳影像学方法,扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)是前列腺磁共振检查的重要方式,目前常用的拟合模型是单指数拟合模型,而既往研究表明双指数模型拟合的体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)、扩散峰度成像(diffusion kurtosis imaging, DKI)等拟合模型可以反映更多不同的病理生理信息^[3-5]。血清前列腺特异性抗原(Prostate specific antigen, PSA)是目前PCa筛查的首选血清标志物,临床上常用的是血清总的前列腺特异性抗原(total PSA, tPSA)。由于前列腺炎、前列腺增生(benign prostatic hyperplasia, BPH)等因素也会导致tPSA的升高,使得诊断PCa的特异性降低^[6],因此PSA的衍生指标被学者们用于PCa的研究中^[6-7]。本研究同时使用单指数、双指数及扩散峰度模型加权成像的定量参数以及PSA的衍生指标评价PCa,希望能够为临床前列腺疾病的诊疗提供更多有价值的信息。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集本院2017年10月至2018年12月经病理证实的75例前列腺疾病患者的影像资料。其中PCa患者32例(共36个病灶),年龄范围58-82岁,平均年龄为72±6岁,PSA范围4.6~1279ng/mL;良性病变患者43例(选取43个病灶),包括BPH或伴前列腺炎及上皮内瘤变,年龄范围45-87岁,平均年龄为68±9岁,PSA范围4.25-59.15ng/mL。本回顾性研究通过本院机构审查委员会批准,并免除患者知情同意。

纳入标准: 在活检或治疗前进行血清学检查,PSA大于4ng/mL;于本院进行MRI检查后1个月内在本院进行前列腺穿刺活检术或手术,并获得病理结果;扫描MRI图像质量好,病灶显示清晰,能够进行参数测量,包括常规形态学序列和DWI、IVIM、DKI序列。排除标准: MRI扫描前一个月内已进行穿刺活检术或前列腺切除术; MRI扫描前已经确诊为PCa,并接受治疗;病理结果为除外PCa或BPH、前列腺炎、前列腺上皮内瘤变的其他病变。

1.2 检查方法 采用PHILIPS Ingenia 3.0T MR System进行扫描,数据通过32通道体部相控阵线圈采集。患者取仰卧位,脚先进,双手上举置于头部两旁,定位线及线圈

【第一作者】韩丽莹,女,主治医师,主要研究方向:腹部影像学。E-mail: liyinghan912@163.com

【通讯作者】梁 文,男,主任医师,主要研究方向:腹部影像学。E-mail: liangwendoc@163.com

成官迅,男,主任医师,主要研究方向:心血管影像学。E-mail: 18903015678@189.cn

中心位于患者耻骨联合水平。扫描范围包括前列腺及双侧精囊腺。主要扫描序列参数如下：①轴位T₂WI-SPAIR采用脂肪抑制快速自旋回波序列，TR3206ms，TE100ms，层厚3mm，层间距0.3mm，视野(FOV)280mm×280mm。②DWI、IVIM、DKI序列均采用单次激发自旋平面回波序列，TR6000ms，TE55-60ms，层厚3mm，层间距0.3mm，FOV 200mm×249mm，DWI序列的扩散加权系数(b值)为0、1500s/mm²，IVIM 序列b值为0、30、70、120、200、400、600、1000s/mm²，DKI 序列b值为0、500、1000、1500s/mm²。

1.3 血清PSA及相关指标的检测与计算 空腹12小时后晨起抽取前臂静脉血2mL，抽取血样本前应避免进行膀胱镜检查、导尿管放置、前列腺按摩及直肠指检等操作，在1个月内未进行前列腺穿刺术。检测血清的tPSA、游离前列腺特异性抗原(free PSA，fPSA)，并通过计算得到游离/总PSA比率(f/tPSA)及前列腺特异抗原密度(prostate specific antigen density，PSAD)。

1.4 图像分析 在PHILIPS Ingenia 3.0T 后处理工作站Intellispace Portal处理DWI图像获得表观扩散系数(apparent diffusion coefficient，ADC)图并测量病灶ADC值。用PRIDE DWI Tool 1.5软件选择biexpivim模型和kurtosis模型拟合IVIM和DKI，再用Image J软件(NIH，Bethesda，MD，USA)测量参数值，IVIM序列包括真实扩散系数(D)、伪扩散系数(D*)和灌注分数(f)，DKI序列包括非高斯分布扩散矫正的扩散系数(D_{app})和扩散峰度值(K_{app})，使用复制感兴趣区(Region of interest，ROI)的方法保证绘制的ROI大小范围一致。

按照病理结果将患者分为两组，PCa组和良性病变组，PCa组参照穿刺位置、病理结果以及T₂WI、DWI图像确定病灶位置，见图1。良性病变组选取T₂WI为低信号，DWI为高信号，ADC为低信号区域作为ROI。选取每个病灶最大层面绘制ROI，若一个PCa患者有多处病灶，则选取多个ROI，避开出血、血管、钙化及伪影区域，同一病灶不同参数图中ROI的位置、大小需保持一致。

ROI的大小由病灶的大小决定，在尽量覆盖整个组织和病灶的基础上放置在信号均匀部分，不能超出病灶边缘。每个ROI测量三次，取平均值。

在MRI T₂WI轴位图像上测量前列腺最大左右径，在T₂WI矢状位测量最大前后径及上下径，前列腺体积 PV(ml)=π/6×前后径×左右径×上下径。PSAD(ng/ml/cm³)=tPSA/PV。

1.5 统计学分析 使用SPSS 20.0和MedCalc 15.2.2软件进行分析，P<0.05为差异有统计学意义。使用两样本t检验或Mann-Whitney U检验比较两组的各MRI定量参数值及PSA指标是否具有差异，以病理结果为金标准，绘制各MRI定量参数值及PSA指标单独诊断及联合诊断PCa的ROC曲线，评估诊断效能。

2 结果

2.1 两组间MRI扩散成像定量参数及PSA相关指标比较 PCa组的ADC、D、D_{app}值小于良性病变组，PCa组的D*、K_{app}值大于良性病变组，差异具有统计学意义(P<0.05)；PCa组和良性病变的f值没有显著性差异；见表1。

PCa组的tPSA、fPSA、PSAD值大于良性病变组，PCa组的f/tPSA值小于良性病变组，差异具有统计学意义(P<0.01)，见表1。

2.2 MRI扩散成像定量参数及PSA相关指标单独诊断PCa的价值 MRI扩散成像定量参数诊断PCa的ROC曲线下面积(Area under curve，AUC)由高到低依次为ADC、D、D_{app}、K_{app}、D*；PSA相关指标诊断PCa的AUC由高到低依次为PSAD、tPSA、f/tPSA，见表2，图2。

2.3 MRI定量参数及PSA相关指标联合诊断PCa的价值 将DWI、IVIM及DKI序列的定量参数分别与诊断效能较高的PSA指标(PSAD、tPSA)进行联合，诊断PCa的AUC由高到低依次为：ADC+tPSA+PSAD、D+D*+tPSA +PSAD、D_{app}+K_{app}+tPSA+PSAD，见表3、图2。

表1 PCa组与良性病变组MRI定量参数值及PSA指标的检验结果

MRI定量参数/PSA指标	PCa组	良性病变组	t/Z	P
ADC(10 ⁻³ mm ² /s)	0.75±0.16	1.02±0.18	5.736	0.000
D(10 ⁻³ mm ² /s)	0.76±0.19	1.07±0.216	5.589	0.000
f	0.15±0.05	0.17±0.05	1.334	0.182*
D*(10 ⁻³ mm ² /s)	89.03±36.28	78.57±44.39	-2.121	0.034
D _{app} (10 ⁻³ mm ² /s)	1.22±0.29	1.65±0.28	-5.391	0.000
K _{app}	1.14±0.19	0.89±0.16	6.494	0.000
tPSA(ng/mL)	38.00(19.36~231.88)	9.42(6.62~14.17)	-4.526	0.000
fPSA(ng/mL)	3.71(1.53~21.09)	1.42(0.91~2.32)	-3.825	0.000
f/tPSA	0.09±0.05	0.14±0.07	-3.331	0.001
PSAD(ng/mL/cm ³)	0.67(0.31~3.21)	0.15(0.09~0.23)	-5.299	0.000

注：对称分布数据以均值±标准差表示；偏态分布数据以中位数及四分位间距表示；* 代表P>0.05，差异无统计学意义。

表2 MRI定量参数值及PSA指标对PCa的诊断效能

参数值/指标	AUC	截断值	灵敏度	特异度	P
ADC(10 ⁻³ mm ² /s)	0.876	0.86	0.83	0.88	0.000
D(10 ⁻³ mm ² /s)	0.867	0.87	0.78	0.91	0.000
D*(10 ⁻³ mm ² /s)	0.639	84.04	0.64	0.65	0.034
D _{app} (10 ⁻³ mm ² /s)	0.854	1.41	0.78	0.88	0.000
K _{app}	0.840	1.02	0.81	0.81	0.000
tPSA (ng/mL)	0.807	20.75	0.75	0.86	0.000
f/tPSA	0.715	0.115	0.72	0.65	0.002
PSAD (ng/mL/cm ³)	0.859	0.335	0.75	0.91	0.000

表3 MRI扩散成像定量参数值及PSA指标联合对PCa的诊断效能

联合方式	联合的参数、指标	AUC	灵敏度	特异度	P
DWI+PSA	ADC+tPSA+PSAD	0.911	0.84	0.93	0.000
IVIM+PSA	D+D*+tPSA+PSAD	0.900	0.81	0.95	0.000
DKI+ PSA	D _{app} +K _{app} +tPSA+PSAD	0.900	0.88	0.88	0.000

3 讨论

DWI可以反映和测量生物组织内水分子布朗运动的高斯扩散，为单指数衰减模型^[8]，PCa中肿瘤细胞增殖、细胞排列紧密、细胞间隙减小、腺体结构破坏以及细胞核浆比例增大等因素导致水分子弥散受到阻碍，因此在ADC图上表现为低信号，ADC值降低。BPH以上皮和间质增生为特征，腺体结构未遭到破坏，水分

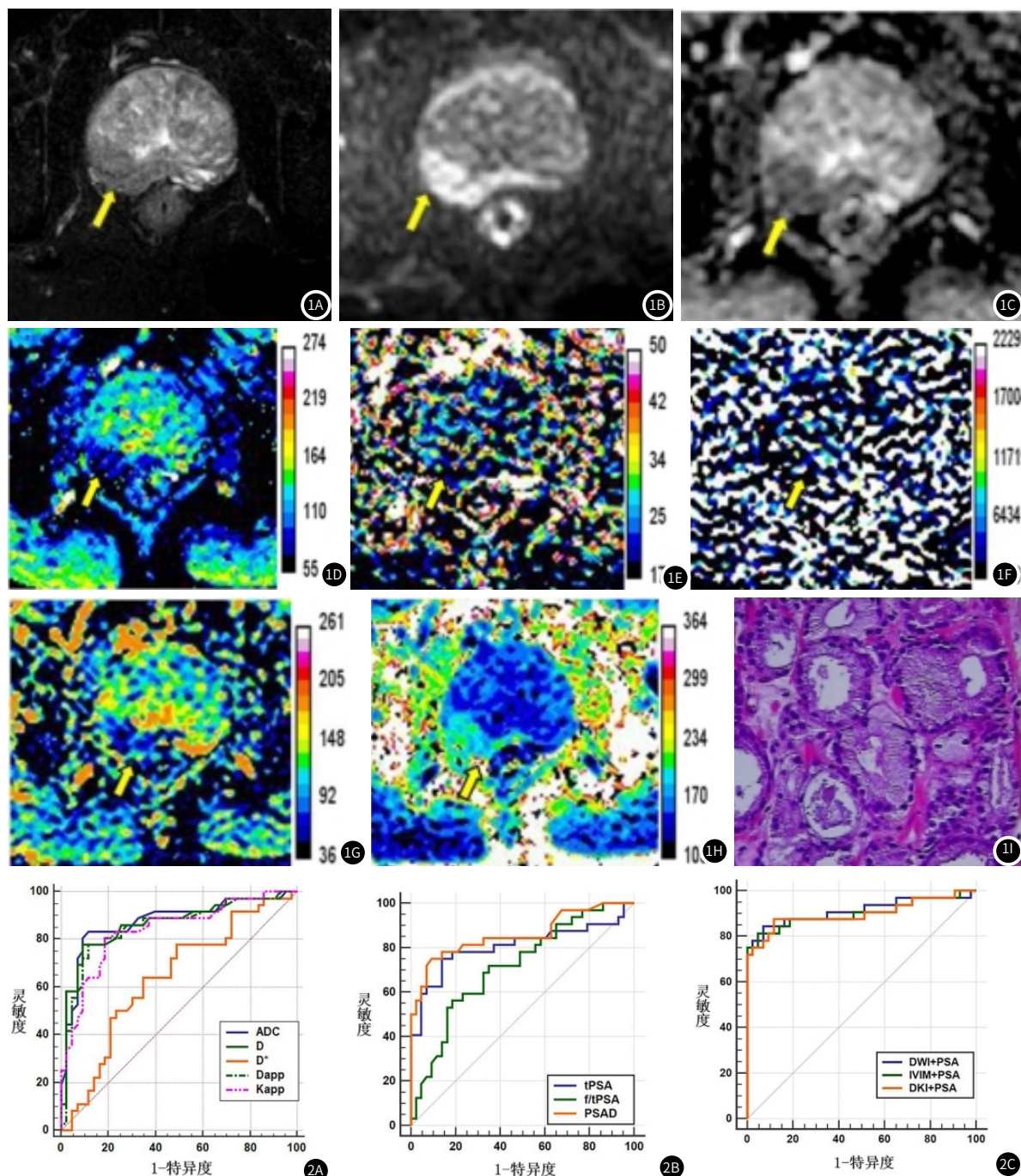


图1 70岁患者, PCa, GS 3+3=6分 轴位T₂WI示6点至9点钟方向低信号区, 累及外周带及移行带(图1A), DWI呈明显高信号改变(图1B), ADC呈低信号(图1C); 图1D-图1H分别代表D、f、D*、D_{app}、K_{app}参数伪彩图, 病灶的ADC值为 $0.831 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, D值为 $0.950 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, f值为0.159, D*值为 $97.62 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, D_{app}值为 $1.33 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, K_{app}值为1.044; 图1I为病理图(HE, $\times 400$)。图2 图2A和图2B分别示MRI参数值及PSA指标单独诊断PCa的ROC曲线; 图2C示MRI扩散成像定量参数值及PSA指标联合对PCa的诊断效能。

子弥散受阻不如PCa明显。与既往研究结果^[3-4]相一致, 本研究中PCa组的ADC值明显低于良性病变组, 并对PCa具有较高的诊断效能。

与单指数模型DWI不同, 多b值拟合的双指数模型IVIM可以同时量化评估组织中纯水分子的扩散和微循环灌注^[8], b值较小时反映的是灌注的效应, b值较大时反映真实的水分子扩散。其定量参数D值反映感兴趣内纯水分子扩散效应, D*值代表局部微循环的灌注所致扩散效应, 灌注分数f反映局部微循环的灌注效应占总体扩散效应的比率。本研究中PCa组的D值明显小于良性病变组, 是由于肿瘤细胞阻碍纯水分子扩散, D值的AUC低于ADC值, 与既往研究结果^[4,9]一致, 而魏磊^[3]、陈海东^[10]等研究结果表明D值诊断PCa的效能高于ADC值, 可能与每个研究中b值的设置

不同相关, 高b值反应纯水分子扩散, 增加D值的准确度^[11], 但总体来说ADC值和D值都是诊断PCa比较稳定的指标, 具有较高的诊断价值。本研究中PCa组的D*值明显高于良性病变组, 与Yao W^[9]、陈海东^[10]等的研究结果一致, 是由于PCa中肿瘤新生血管增加、灌注增高, 但D*值的诊断效能较低, 说明PCa和BPH的D*值仍具有较大的重叠。而部分研究结果^[11-13]表明PCa与BPH的D*值没有差异。本研究中两组间的f值没有统计学差异, 且图像噪声较大, 而既往报道f值对于鉴别前列腺腺恶性病变的研究结果不一致^[3,11-12]。由此可见D*和f值的稳定性较差, 可能的原因是: D*和f值容易受到测量的影响, PCa组织的异质性使得测量重复性差^[14]。

(下转第 152 页)

主要累及结肠、分布范围较弥漫，部分伴有腹腔游离积气，肠壁增厚、腹腔积液及系膜渗出等少见。与既往报道实体脏器^[13-14]或干细胞移植术后^[4, 15]、结缔组织病^[16]或药物性(如类固醇类药物治疗后)引起的肠壁积气CT表现相仿，属良性自限性疾病。本组病例中化疗后出现肠壁积气患者，在给予停药处理后，肠壁积气均逐渐吸收好转。

非化疗相关型肠壁积气患者多有腹痛，多是由于肠梗阻、肠壁缺血坏死、手术后、严重感染等原因引起，其积气范围可局限或弥散分布，肠管多有扩张，小肠受累为主，其他CT征象如腹腔积液、系膜水肿及非受累肠段肠壁增厚、水肿、门脉系统积气等多见。非化疗相关引起的肠壁积气原因复杂，部分是致死性的，单纯依据肠壁积气CT表现判断病情严重程度较为困难，需结合实验室检查及临床体征进行综合分析。既往报道多将肠壁积气合并门脉系统积气作为高危征象^[14, 18]，本组中高危病例同样具有上述表现，但是其他征象如腹腔渗出、肠壁增厚同样对疾病的严重程度具有评估作用。

综上所述，因化疗药物使用引起的肠壁积气，CT表现较有特征性，结合患者病史及临床体征，有助于正确评估病情，减少不必要手术及不良预后的发生。

参考文献

[1] LERNER HH,GAZINAI.Pneumatosis intestinalis:its roentgenologic diagnosis[J].Am J Roentgenol 1946; 56: 464-469.
[2] 吴戈,闫晨,张黎莉.肠壁积气征的研究进展.实用放射学杂志[J],2008(09):1278-1280.
[3] ST PETER SD,ABBAS MA,KELLY KA.The spectrum of pneumatosis intestinalis.Arch Surg[J]. 2003; 138(1): 68-75.
[4] 伊慧明,姚剑峰,李英等.异基因造血干细胞移植后肠壁积气征三例报告并文献复习[J].中华血液学杂志,2019,40(03): 232-234.

[5] KHALIL PN,HUBER-WAGNER S,LADURNER R,et al.Natural history,clinical pattern,and surgical considerations of pneumatosis intestinalis.Eur J Med Res[J]. 2009; 14(6): 231-239.
[6] ASMIS TR,CHUNG KY,TEITCHER JB,et al.Pneumatosis intestinalis:a variant of bevacizumab related perforation possibly associated with chemotherapy related GI toxicity. Invest New Drugs[J]. 2008; 26(1): 95-96.
[7] VIJAYAKANTHAN N,DHAMANASKAR K,STEWART L,et al.A review of pneumatosis intestinalis in the setting of systemic cancer treatments,including tyrosine kinase inhibitors.Can Assoc Radiol[J]. 2012; 63(4): 312-317.
[8] CORIAT R,ROPERT S,MIR O,et al.Pneumatosis intestinalis associated with treatment of cancer patients with the vascular growth factor receptor tyrosine kinase inhibitors sorafenib and sunitinib. Invest New Drugs[J]. 2011; 29(5): 1090-1093.
[9] KUNG D,RUAN DT,CHAN RK,et al.Pneumatosis intestinalis and portal venous gas without bowel ischemia in a patient treated with irinotecan and cisplatin. Dig Dis Sci[J]. 2008; 53(1): 217-219.
[10] KOUZU K,TSUJIMOTO H,HIRAKI S,et al. A case of pneumatosis intestinalis during neoadjuvant chemotherapy with cisplatin and 5-fluorouracil for esophageal cancer†.J Surg Case Rep[J]. 2017(11),rjx227.
[11] 李仲南,汪昱,秦元光.化疗药物对肠屏障功能的损伤机制及防治进展.山东医药[J],2008(26): 113-115.
[12] MANZANO M,BUENO P,RUEDA R,et al.Intestinal toxicity induced by 5-fluorouracil in pigs:a new preclinical model.Chemotherapy[J]. 2007; 53(5): 344-355.
[13] MESAKI K,SUGIMOTO S,OTANI S,et al.Pneumatosis intestinalis after lung transplantation for pulmonary graft-versus-host disease.J Thorac Dis[J]. 2018; 10(10): E42-E45.
[14] TELEGRAF M,STABILE I AA,ANGELELLI G,et al.Reversible pneumatosis cystoides intestinalis after liver transplantation.G Chir[J]. 2017; 38(5): 239-242.
[15] HEPGUR M,AHLUWALIA MS,ANNE N,et al.Medical management of pneumatosis intestinalis in patients undergoing allogeneic blood and marrow transplantation. Bone Marrow Transplant[J]. 2011; 46(6): 876-879.
[16] WANG YJ,WANG YM,ZHENG YM,et al. Pneumatosis cystoides intestinalis:six case reports and a review of the literature. BMC Gastroenterol[J]. 2018; 18(1): 100. Published 2018 Jun 28.
[17] 吴菊芳,习利军,梁立华等.肠出血与缺血疾病CT征象对比研究[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(8): 136-138.
[18] TREYAUD MO,DURAN R,ZINS M,et al.Clinical significance of pneumatosis intestinalis-correlation of MDCT-findings with treatment and outcome.Eur Radiol[J]. 2017; 27(1): 70-79.

(收稿日期: 2021-12-05)
(校对编辑: 姚丽娜)

(上接第 123 页)

f值不仅与灌注信息有关，也可能与腺体的分泌和液体的流动是相关的^[13]。曾桔等^[11]研究表明f值b值依赖性较强，低b值扫描获得的f值更可能具有诊断价值。当PCa继发于慢性前列腺炎时，炎症可能会对肿瘤区域微循环的灌注产生影响^[15]。

与单指数模型相比，高b值拟合的DKI反映了非高斯分布的水分子扩散，更贴合真实组织结构的变化，因为恶性肿瘤病变的发生导致微结构屏障的变化是非常复杂的。K_{app}值的升高代表更大的组织复杂性和对高斯分布的偏离^[16]，矫正的扩散系数D_{app}值反映非高斯分布中水分子弥散的程度。本研究显示DKI定量参数D_{app}、K_{app}值可以区分PCa与BPH等良性病变，PCa组的D_{app}值明显低于良性病变组，PCa组的K_{app}值明显高于良性病变组，与既往研究结果^[5,12]一致，是由于前列腺癌腺体结构的破坏、肿瘤细胞的生成阻碍了水分子扩散并增加了组织的复杂性。本研究中D_{app}和K_{app}诊断PCa的AUC、灵敏度、特异度低于ADC值，与Liu Y^[4]，Wang X^[17]等研究结果一致，而Li C^[12]等研究结果显示D_{app}和K_{app}的AUC高于ADC，原因可能是b值的数量和选取范围不同，本研究DKI序列扫描最大b值为1500s/mm²，冯朝燕等^[18]认为最大b值为2000s/mm²对于DKI模型的拟合最佳。

PCa患者的肿瘤细胞破坏基底膜，使得PSA进入血液中，导致血清中tPSA水平增高，BPH中腺上皮细胞增多，前列腺体积增大，也可以导致tPSA增高，因此tPSA诊断PCa的特异度有待提高。fPSA反映血清中失活的被内蛋白酶水解的PSA，在发生PCa时水解效应下降，fPSA占tPSA的比例下降，PCa患者的f/tPSA水平降低^[6]。PSAD是tPSA与前列腺体积的比值，由于均衡了前列腺体积的影响因素，PSAD可能比tPSA具有更好的特异度。研究表明MRI-PSAD比tPSA具有更好的预测前列腺活检结果的效能^[19]。在本研究中，PCa组的tPSA、PSAD值明显高于良性病变组，PCa组的f/tPSA明显低于良性病变组，PSAD区分PCa与良性病变的诊断效能优于tPSA、f/tPSA，与既往研究结果^[19-21]一致，表明PSAD是检测PCa更有效的指标。因此在临床中除了常规检测tPSA，也应该关注PSAD，以提高对前列腺疾病诊断的准确性。

在本研究中将DWI、IVIM、DKI的定量参数分别与PSAD、tPSA进行联合，发现联合诊断的效能提高，均优于MRI定量参数值与PSA相关指标单独诊断的效能，而Yao W^[22]等研究表明将DKI定量参数与PSA联合可以提高鉴别PCa和BPH的诊断效能，说明在PCa的诊断中，MRI扩散加权成像定量参数与PSA指标进行联合诊断可以带来更高的诊断价值，是值得进一步研究探索的诊断策略。

综上所述，MRI扩散加权成像单指数模型的ADC值、双指数模型的D值和峰值模型的D_{app}值和K_{app}值以及PSA指标中的tPSA、PSAD值对于PCa具有较高的诊断价值，ADC值和PSAD值分别是单独诊断效能最高的MRI定量参数和PSA指标。MRI定量参数与

PSA指标进行联合诊断进一步提高诊断效能。因此在临床实践中，需要将MRI与PSA指标相互结合指导临床决策与干预。

参考文献

[1] Futterer JJ,Briganti A,De Visschere P,et al.Can clinically significant prostate cancer be detected with multiparametric magnetic resonance imaging?A systematic review of the literature[J].European urology, 2015, 68(6): 1045-1053.
[2] 韩苏军,张思维,陈万青,等.中国前列腺癌发病现状和流行趋势分析[J].临床肿瘤学杂志,2013,18(4): 330-334.
[3] 魏磊,刘世超,李颖. DWI单指数模型和IVIM模型参数在前列腺癌诊断中的价值[J].中国CT和MRI杂志,2019,17(2): 47-49.
[4] Liu Y,Wang X,Cui Y,et al.Comparative study of monoexponential, intravoxel incoherent motion,kurtosis, and IVIM-Kurtosis models for the diagnosis and aggressiveness assessment of prostate cancer[J].Frontiers in Oncology, 2020,10: 1763.
[5] 周望,陈桥,贺国庆,等.磁共振扩散峰度成像联合磁共振加权成像在前列腺癌早期诊断中的应用[J].中国CT和MRI杂志, 2021, 19(2): 118-120.
[6] Flores-Fraile MC, Padilla-Fernández BY, Valverde-Martínez S, et al. The association between prostate-specific antigen velocity (PSAV), value and acceleration, and of the free PSA/Total PSA index or ratio, with prostate conditions[J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(11): 3400.
[7] McKaskill F, Lee SM. Diagnostic value of MRI-based PSA density in predicting transperineal sector-guided prostate biopsy outcomes[J]. Oncology, 2017, 49(8): 1335-1342.
[8] Le Bihan D, Turner R. The capillary network: a link between IVIM and classical perfusion[J]. Magnetic resonance in medicine, 1992, 27(1): 171-178.
[9] Yao W, Liu J, Zheng J, et al. Study on diagnostic value of quantitative parameters of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging (IVIM-DWI) in prostate cancer[J]. American Journal of Translational Research, 2021, 13(4): 3696-3702.
[10] 陈海东,张洁,谢丽芬,等.对比单、双指数模型扩散加权成像在鉴别前列腺良恶性病变中的应用研究[J].临床放射学杂志, 2020, 39(6): 1166-1169.
[11] 曾桔,印隆林,孙菊,等.不同b值组合的IVIM成像在前列腺癌诊断中的应用价值研究[J].临床放射学杂志, 2020, 39(7): 1367-1372.
[12] Li C, Chen M, Wan B, et al. A comparative study of Gaussian and non-Gaussian diffusion models for differential diagnosis of prostate cancer with in-bore transrectal MR-guided biopsy as a pathological reference [J]. Acta Radiologica, 2018, 59(11): 1395-1402.
[13] Pesapane F, Patella F, Fumarola BM, et al. Intravoxel incoherent motion (IVIM) diffusion weighted imaging (DWI) in the periferic prostate cancer detection and stratification[J]. Medical oncology, 2017, 34(3): 35.
[14] Kuru TH, Roethke MC, Stieltjes B, et al. Intravoxel incoherent motion (IVIM) diffusion imaging in prostate cancer - what does it add? [J] Journal of computer assisted tomography, 2014, 38(4): 558-564.
[15] Faniel T, Ludemann L, Rudolph B, et al. Evaluation of normal prostate tissue, chronic prostatitis, and prostate cancer by quantitative perfusion analysis using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequence[J]. Investigative radiology, 2008, 43(7): 481-487.
[16] Tamada T, Prabhu V, Li J, et al. Prostate cancer: diffusion-weighted MR imaging for detection and assessment of aggressiveness-comparison between conventional and kurtosis models[J]. Radiology, 2017, 284(1): 100-108.
[17] Wang X, Tu N, Qin T, et al. Diffusion Kurtosis Imaging Combined With DWI at 3-T MRI for Detection and Assessment of Aggressiveness of Prostate Cancer[J]. American journal of roentgenology, 2018, 211(4): 797-804.
[18] 冯朝燕, 闫祥德, 李拔森, 等. 不同b值范围扩散加权成像定量参数在外周带前列腺癌诊断中的价值比较[J]. 影像诊断与介入放射学, 2017, 26(1): 8-14.
[19] Bhat NR, Vetter JM, Andriole GL, et al. Magnetic Resonance Imaging-Defined Prostate-Specific Antigen Density Significantly Improves the Risk Prediction for Clinically Significant Prostate Cancer on Biopsy[J]. Urology, 2019, 126: 152-157.
[20] 孙杨,王绍平. PSA、PSAD、f-PSA/PSA在前列腺癌诊断中的价值分析[J].中国实验诊断学, 2016, 20(01): 113-114.
[21] 洪虎波,董艳霞.超声检测前列腺体积与前列腺特异性抗原联合检测在前列腺癌诊断中的应用意义[J].罕少疾病杂志, 2022, 29(6): 99-101.
[22] Yao W, Zheng J, Han C, et al. Integration of quantitative diffusion kurtosis imaging and prostate specific antigen in differential diagnostic of prostate cancer[J]. Medicine, 2021, 100(35): e27144.

(收稿日期: 2021-10-17)
(校对编辑: 孙晓晴)