

DOI:10.16781/j.0258-879x.2017.02.0212

• 综述 •

多参数磁共振成像对前列腺癌的诊断价值

陈 阳, 阳青松, 王馨蕊, 张 瑜, 陆建平*

第二军医大学长海医院影像科, 上海 200433

[摘要] 前列腺癌是西方国家发病率最高的男性恶性肿瘤,在我国发病率也逐年上升,但其传统筛查及诊断方法价值有限。多参数磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是一种在形态学 MRI 基础上增加 1 项或者多项功能学 MRI 的检查方法,它可以较好地显示组织器官的解剖结构及形态学改变,反映一定的组织学成分信息,无创提供组织细胞病理生理学、生物化学等功能学信息,引导前列腺靶向穿刺活检,对诊断及评估前列腺病变具有较高的应用价值。本文就多参数 MRI 诊断前列腺癌的研究现状作一综述。

[关键词] 前列腺肿瘤;磁共振成像;形态学 MRI;功能学 MRI;活组织检查

[中图分类号] R 737.25 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2017)02-0212-08

Diagnosis value of multiparametric magnetic resonance imaging for prostate cancer

CHEN Yang, YANG Qing-song, WANG Xin-rui, ZHANG Yu, LU Jian-ping*

Department of Radiology, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] Prostate cancer is the most common malignant tumor in men of western countries and its incidence is increasing in China. However, the traditional methods of screening and diagnosing of prostate cancer are of limited value. Multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) is an examination which combines morphologic sequences with one or more functional sequences. Multiparametric MRI can not only display the anatomical structures and morphologic changes of organs, but also reflect some histological components, providing pathophysiological and biochemical information of tissues and guiding prostate targeted biopsy at the same time. These advantages give multiparametric MRI high application value in the diagnosis and evaluation of prostate diseases. This review summarized the recent progress in multiparametric MRI diagnosis of prostate cancer.

[Key words] prostatic neoplasms; magnetic resonance imaging; morphological magnetic resonance imaging; functional magnetic resonance imaging; biopsy

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2017, 38(2): 212-219]

前列腺癌是西方国家发病率最高的男性恶性肿瘤,其死亡率在男性恶性肿瘤中排第 3 位^[1]。与西方国家相比,我国前列腺癌的发病率及死亡率均处于相对较低的水平。然而,随着人口老龄化及生活方式的转变,近年来我国前列腺癌的发病率及死亡率明显上升^[2-3];发病率由 2003 年的 6.53/10 万上升到 2009 年的 9.92/10 万,同期死亡率则由 2.54/10 万上升为 4.19/10 万^[3]。2009 年我国前列腺癌的发病率及死亡率分别位于所有癌症的第 6 位和第 9 位^[3]。

前列腺形如板栗,从上到下分为底部、体部和尖部,横断面上分为外周区、中央区、移行区、尿道外周腺体区。前列腺包膜由纤维肌肉部分包绕而成^[4],周围有血管神经束。95%前列腺癌属于腺癌,起源于前列腺导管腺泡,70%位于外周区、25%位于移行区、5%位于中央区。85%前列腺癌为多灶起源^[5]。大多数前列腺癌生长缓慢^[6-7],早期诊断并积极治疗可以实现完全治愈。传统的前列腺癌筛查及诊断方法包括前列腺特异性抗原(prostate-specific antigen, PSA)检测、直肠指检、经直肠超声

[收稿日期] 2016-07-22 **[接受日期]** 2016-10-28

[基金项目] 上海市卫生和计划生育委员会项目(M20140149)。Supported by Project of Shanghai Municipal Commission of Health and Family Planning (M20140149).

[作者简介] 陈 阳,硕士生. E-mail: chen yang_0028@163.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-31162146, E-mail: cjr. lujianping@vip. 163.com

(transrectal ultrasound, TRUS)引导的系统穿刺活检等,在一定程度上提高了前列腺癌的检出率,但诊断价值均有限。血清 PSA 检测对前列腺癌没有特异性,常造成过度诊断^[8],且部分前列腺癌患者的血清 PSA 水平并不升高^[9]。直肠指检受检查者个体差异影响较大,且对外周带病灶的检出不敏感,阳性预测值低^[10]。TRUS 引导的系统穿刺具有一定的盲目性和随机性,对位于前列腺尖部、前面、侧面的病灶很难评估,且其作为一项有创检查存在术后感染、出血等并发症。

多参数磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)因具有无创、软组织分辨率高、反映组织器官功能学及生化代谢改变等优势,并可以引导前列腺靶向穿刺活检,使其在诊断和评估前列腺癌时表现出较高的应用价值。

形态学 MRI (T_1 WI、 T_2 WI)具有较高的组织分辨率和软组织对比度,能够清晰地显示正常组织及病变部位的解剖结构及形态学改变,也可以提供一定的组织成分信息,如出血等。随着影像设备及后处理技术的发展,在传统的 T_1 WI、 T_2 WI 基础上又增加了弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)、磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)、动态增强磁共振成像(dynamic contrast enhanced MRI, DCE-MRI)等扫描序列,它们能够提供病理生理学、生物化学等方面的信息,明显提高了 MRI 对前列腺癌的诊断价值。DWI 是功能学 MRI 的基础,反映了组织水分子的功能状态,具有扫描时间短、组织分辨率高等优点,在前列腺癌的诊断中具有重要作用。MRS 提供了有关生物化学和代谢环境的重要信息,对前列腺癌诊断具有一定特异性。DCE-MRI 可以反映组织毛细血管功能及血管生成的情况,对于 DCE-MRI 结果的解释有多种模型,涉及多个参数,可以获得多方面的组织血流学信息。多参数 MRI 引导的前列腺靶向穿刺结合了多参数 MRI 的优势,摆脱了系统穿刺的盲目性,减少了穿刺针数,提高了穿刺结果的准确性。

1 形态学 MRI 在前列腺癌诊断中的应用

在 T_2 WI 中,正常的前列腺外周区呈均匀一致

的高信号,随着年龄的增长,外周区逐渐萎缩变薄;典型的外周区前列腺癌表现为 T_2 WI 低信号^[11],在正常外周区 T_2 WI 高信号背景下较易分辨。然而,部分外周区前列腺癌表现为 T_2 WI 等信号,许多良性病变及改变也可呈 T_2 WI 低信号,如前列腺炎、出血、瘢痕、萎缩、治疗后改变等^[12],这些情况降低了 T_2 WI 对外周区前列腺癌诊断的灵敏度及特异性。

前列腺中央区及移行区在 T_2 WI 中难以区分,统称为中央叶。中央叶经常被前列腺增生结节取代,表现为 T_2 WI 不均匀中等信号。腺体型增生结节在 T_2 WI 中表现为高信号、周围有包膜,较易与表现为低信号的前列腺癌区分;然而,前列腺癌、基质型增生结节、感染、瘢痕等均表现为 T_2 WI 低信号,导致 T_2 WI 诊断中央叶前列腺癌的特异性和灵敏度受限^[13]。但是,中央叶前列腺癌仍有一些特殊的影像学特点,如中央叶中有均匀一致 T_2 WI 低信号区、病灶边缘模糊、没有包膜,这些特点有助于前列腺癌的诊断^[14-15]。Akin 等^[15]还提出了前列腺癌可呈类凸透镜形状及可侵犯纤维肌肉的影像学特点。 T_1 WI 对前列腺正常解剖结构及前列腺癌病灶显示欠佳,目前主要用于检测穿刺后出血、提供强化程度的参照、观察前列腺包膜及血管神经束侵犯情况等。

2 功能学 MRI 在前列腺癌诊断中的应用

2.1 DWI DWI 检测的是水分子的布朗运动,提供了组织水分子的功能环境信息,能体现正常及病变组织细胞的功能状态。DWI 对细胞内、外间隙的水分子弥散改变十分敏感。前列腺癌组织细胞数量增加、细胞外间隙减小导致水分子弥散受限, DWI 中信号增加,因此 DWI 可成为区分良、恶性病变的重要序列。

在临床上,组织弥散的程度往往用表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)表现,ADC 值量化的是弥散及毛细血管灌注的综合效益。ADC 值减小代表水分子运动受限,而 ADC 值增大代表水分子运动活跃。随着前列腺癌病灶体积增大及细胞数量增多,细胞内、外间隙减小,ADC 值也相应减小。

病灶的部位可以影响 DWI 诊断前列腺癌的灵敏度。正常前列腺外周区的 ADC 平均值高于移行

区,所以位于外周区的病灶更容易被发现;在中央叶,运用 DWI 诊断前列腺癌的效能尚存在争议。Oto 等^[13]研究表明,腺体型增生结节和基质型增生结节的 ADC 值的平均值($1.73 \times 10^3 \text{ mm}^2/\text{s}$ vs $1.23 \times 10^3 \text{ mm}^2/\text{s}$)差异有统计学意义,ADC 值可以辨别前列腺癌和腺体型增生结节,而前列腺癌的 ADC 值与基质型增生结节的 ADC 值有部分重叠,这与阳青松等^[16]的研究结果相似。Jung 等^[17]研究表明,在 T_2 WI 基础上增加 DWI 扫描可以整体提高移行区前列腺癌的诊断准确率,运用 DWI 区分基质型增生结节和前列腺癌的价值与前列腺癌的评分有关,对于 Gleason 评分 $\geq 3+4$ 的病灶,两者 ADC 值的差异有统计学意义。

值得注意的是,扩散敏感因子(b 值)能直接影响 DWI 探测水分子弥散水平的能力,因此 b 值的设定非常重要。b 值增大,弥散权重增加,弥散敏感性增加;在高 b 值情况下,DWI 图像几乎仅代表水分子的弥散情况。随着 b 值的增加,梯度脉冲延长,引起回波时间增加,导致 DWI 图像质量及信噪比减低;b 值降低,图像质量及信噪比增加,而 T_2 余辉效应及组织灌注效应权重增加。一项关于最优 b 值的研究表明,b 值为 $1500 \text{ s}/\text{mm}^2$ 时 DWI 诊断前列腺癌的效能最高^[18]。

DWI 是功能学 MRI 的基础,多项研究证明 DWI 可以用于区分前列腺癌与前列腺良性病变^[19-22]。前列腺影像报告和数据库系统 2.0 (prostate imaging reporting and data system 2.0, PIRADS 2.0) 中指出,DWI 是诊断外周区前列腺癌的主要序列^[23]。此外,DWI 还具有扫描时间短、组织分辨率高的优点。一项 meta 分析研究表明,单独使用 DWI 诊断前列腺癌的特异性和灵敏度均高于单独使用 T_2 WI,这可能是因为 DWI 在本质上比形态学 MRI 更有优势,或者是因为两者使用了不同的参数^[24]。

2.2 MRS MRS 也称化学位移成像,可以提供组织生物化学和代谢环境的重要信息。在正常的前列腺上皮组织及前列腺液中,枸橼酸盐的浓度相当高^[25],MRS 表现为在 2.6×10^{-6} 处有一个显著高耸的枸橼酸盐峰;在前列腺癌、前列腺炎及出血组织中枸橼酸盐峰可下降^[26]。甲基质子共振代表胆碱,这

些质子共振在 3.2×10^{-6} 处形成了磷脂细胞膜的混合峰。由于细胞膜代谢的活跃及细胞表面积的增加,前列腺癌中胆碱浓度增高,胆碱波峰也相应升高^[27]。然而,在一些良性改变中胆碱峰也可升高。肌酸在 3.0×10^{-6} 处可达到共振,但肌酸水平与能量代谢有关^[28],在前列腺癌中通常无明显改变^[29]。

综上所述,典型的前列腺癌 MRS 表现为胆碱增加和枸橼酸盐减少,即胆碱/枸橼酸盐升高或者(胆碱+肌酸)/枸橼酸盐升高,该变化在前列腺外周区中的运用最为可信。

MRS 的结果是定量的,具有可重复性^[30]。有文献报道,在 PSA 升高且穿刺阴性的患者中,单独使用 MRS 诊断前列腺癌的灵敏度和特异性分别是 92%、76%,高于单独使用 T_2 WI (86%、55%)^[31]。Scheenen 等^[32] 研究结果显示,MRS 可以区分前列腺癌组织及非癌组织。然而,近年来 MRS 在前列腺影像中的重要性有所下降^[33],美国放射学会的研究表明,对于前列腺癌病灶的定位 MRS 并不比 T_2 WI 好^[34]。并且,MRS 扫描时间长、后期处理复杂^[35],在诊断前列腺癌时是否应运用 MRS 还需要更多的研究证明。

2.3 DCE-MRI DCE-MRI 通过动态追踪含钆造影剂获得造影剂在组织及血池中的分布信息,从而反映毛细血管功能及组织血管生成情况。由于前列腺癌组织生长的需要及缺氧环境的刺激,前列腺癌组织较正常组织血管数量增多、通透性增加、排列方式更加紊乱。因此,在行 DCE-MRI 检查时,大部分前列腺癌表现为更早期、更显著的强化,造影剂减退也更快^[36]。

目前,对于 DCE-MRI 结果的解释有多种模式,使用何种模式诊断前列腺癌的价值最高尚没有统一意见。Tan 等^[37] 通过 meta 分析表明,各种模式分析方法对前列腺癌诊断价值的差异无统计学意义;其中 Tofts 的模型是常用的一种模型,其主要描述了造影剂分子在血管内、外微观分布的进程。该模型经过后处理可以得到 3 个参数:血管外细胞外间隙体积百分比 (volume of extravascular extracellular space per unit volume of tissue, V_e),代表单位体积组织内血管外细胞外间隙 (extravascular extracellular space, EES) 的体积百

分比;转运常数(volume transfer constant, K^{trans}),表示单位时间内单位体积组织中从血液进入 EES 的对比剂量;速率常数(rate constant, K_{ep}),表示单位时间内由 EES 进入血管的对比剂量;这 3 个参数的关系为 $K_{\text{ep}}=K^{\text{trans}}/V_e$ [37]。许多文献表明,与正常外周区相比,外周区前列腺癌 K^{trans} 和 K_{ep} 增大 [38-40]。这种定量模型不受机器及成像技术的限制,操作更易规范化。

然而,在前列腺 MRI-DCE 中,最常见的解释方法并非 Tofts 模型,而是时间信号曲线的半定量分析法。时间信号参数是一些描述性的、以经验为主的参数,主要描述组织增强曲线的特点。开始时间是指从造影剂注射开始到造影剂浓度达到 10% 最大浓度的时长;平均斜率是指从最大强化程度的 10% 到 90% 的平均信号改变率;最大信号强度是指整个过程中的最大强化程度。在前列腺癌中,组织强化开始时间缩短,最大信号强度较正常组织增加 [41]。此外,还有一种定性模型可通过观察增强曲线的类型来判断组织强化的特点,其增强曲线分为 3 种类型:流入型、平台型、流出型。前列腺癌最常见的强化方式为流出型 [36]。

Zhang 等 [42] 研究证明,DCE-MRI 诊断前列腺癌的灵敏度、精确度、阴性预测值分别为 91%、85%、86%,高于单独使用 T_2 WI (64%、61%、53%)。DCE-MRI 也有一些不足之处,其不能很好地区分外周区的前列腺炎和前列腺癌,也不能完全区分移行区的良性前列腺增生和前列腺癌。此外,DCE-MRI 现在运用较多的造影剂为钆螯合剂,有报道认为该造影剂可能会造成肾纤维化而影响肾功能 [43]。

3 多序列联合在前列腺癌诊断中的应用

多参数 MRI 功能强大,不同序列分别可以从不同角度区分前列腺癌组织与其他组织,联合使用 2~3 个多参数 MRI 序列较单独使用 1 个序列在前列腺癌诊断中更具优势 [44]。

一项 meta 分析研究表明,在 T_2 WI 基础上增加 DWI 序列可以提高前列腺癌诊断的特异性 [24]。Rosenkrantz 等 [45] 的一项研究中,3 位放射科医师分别运用 DWI ($b=1\ 000\ \text{s}/\text{mm}^2$) 联合 T_2 WI、单独

T_2 WI 诊断移行区前列腺癌的灵敏度分别为 54.8% 和 33.9%、53.2% 和 22.6%、50.0% 和 19.4%,表明联合使用 DWI 和 T_2 WI 可能比单独使用 T_2 WI 诊断移行区前列腺癌的灵敏度更高。Shinmoto 等 [46] 在对 87 例患者的研究中发现,诊断位于前列腺前方的癌灶时,联合使用 DWI 和 T_2 WI 较单独使用 T_2 WI 的灵敏度高。综上可见,联合使用 DWI 和 T_2 WI 可以提高前列腺癌诊断的灵敏度及特异性。多项研究表明,单独使用 DCE-MRI 诊断前列腺癌的灵敏度及特异性分别为 43%~86%、67%~96%,包含 DCE-MRI 的多参数 MRI 可以很好地提高前列腺癌诊断的灵敏度及特异性 [47-50]。Ocak 等 [51] 报道,在 T_2 WI 基础上增加 DCE-MRI 检查,前列腺癌诊断的特异性可由 37% 提高到 88%。Tan 等 [37] 认为,在诊断前列腺癌时建议使用 T_2 WI 联合 DCE-MRI 或者 T_2 WI 联合 DWI,而临床运用中更倾向于后者。但哪种多参数 MRI 序列组合模式诊断前列腺癌的效能最高尚没有达成共识。

4 多参数 MRI 引导下前列腺靶向穿刺活检

多参数 MRI 引导下前列腺靶向穿刺活检包括 3 种方法,即认知融合穿刺活检、MRI 直接引导下穿刺活检和 MRI-TRUS 融合方法。其中 MRI-TRUS 融合方法具备 MRI 成像清晰、定位准确及 TRUS 引导穿刺方便易行等优势,穿刺针数较少,是目前较为理想的前列腺穿刺技术,在欧美国家得到较为广泛的应用。MRI-TRUS 融合方法要求患者在穿刺前先进行多参数 MRI 扫描,标记出感兴趣区(region of interest, ROI);穿刺时,利用 TRUS 重建出前列腺超声容积图像,并与先前的 MRI 图像进行配准融合,实时对 ROI 进行穿刺活检。目前可以用于 MRI-TRUS 融合穿刺的硬件系统较多,涉及 MRI 和 TRUS 图像的有效配准、穿刺针的追踪定位及标记等关键技术。临床上 MRI-TRUS 融合穿刺主要用于初次穿刺活检阴性患者的再次穿刺活检、非临床有意义前列腺癌的主动监测和前列腺前部及尖部的穿刺。

Puech 等 [52] 研究显示,对于临床有意义的前列腺癌,MRI 引导靶向穿刺的检出率为 67%,明显高于系统穿刺活检检出率(52%)。Siddiqui 等 [53] 的研

究也得到相似结论。Ukimura 等^[54]研究表明, MRI-TRUS 融合穿刺活检对前列腺癌整体及临床有意义前列腺癌的检出率分别为 61%、43%, 均高于系统穿刺的检出率(41%、23%)。但是 MRI 靶向穿刺也存在一些不足, 如操作人员需要掌握更多技能、所需设备繁杂、检查费用高等, 而 MRI-TRUS 融合穿刺活检是否能代替系统穿刺活检, 尚需多中心及大规模的数据研究证实。

5 小结及展望

多参数 MRI 能够显示组织器官的解剖结构及形态学改变, 分辨不同的组织成分, 还可以通过定量及定性参数反映组织功能及代谢过程的改变, 以及引导前列腺靶向穿刺活检, 在诊断前列腺癌中具有较高价值。多参数 MRI 作为一种比较准确的前列腺癌诊断方法, 已有大量报道支持运用多参数 MRI 诊断前列腺癌。随着研究的进一步开展, 多参数 MRI 将有望更规范、更高效地运用于前列腺癌的诊断中。

[参考文献]

- [1] TURKBEY B, MANI H, ARAS O, HO J, HOANG A, RASTINEHAD A R, et al. Prostate cancer: can multiparametric MR imaging help identify patients who are candidates for active surveillance? [J]. *Radiology*, 2013, 268: 144-152.
- [2] 董爱生, 左长京. 前列腺癌的影像诊断[J]. *第二军医大学学报*, 2012, 33: 789-793.
DONG A S, ZUO C J. Imaging diagnosis of prostatic cancer [J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2012, 33: 789-793.
- [3] 毕新刚, 韩仁强, 周金意, 张思维, 郑荣寿, 武鸣, 等. 2009年中国前列腺癌发病和死亡分析[J]. *中国肿瘤*, 2013, 22: 417-422.
- [4] AYALA A G, RO J Y, BABAIAN R, TRONCOSO P, GRIGNON D J. The prostatic capsule: does it exist? Its importance in the staging and treatment of prostatic carcinoma[J]. *Am J Surg Pathol*, 1989, 13: 21-27.
- [5] BYAR D P, MOSTOFI F K. Carcinoma of the prostate: prognostic evaluation of certain pathologic features in 208 radical prostatectomies. Examined by the

step-section technique[J]. *Cancer*, 1972, 30: 5-13.

- [6] JOHANSSON J E, HOLMBERG L, JOHANSSON S, BERGSTROM R, ADAMI H O. Fifteen-year survival in prostate cancer. A prospective, population-based study in Sweden[J]. *JAMA*, 1997, 277: 467-471.
- [7] POUND C R, PARTIN A W, EISENBERGER M A, CHAN D W, PEARSON J D, WALSH P C. Natural history of progression after PSA elevation following radical prostatectomy[J]. *JAMA*, 1999, 281: 1591-1597.
- [8] SCHRODER F H, HUGOSSON J, ROOBOL M J, TAMMELA T L, CIATTO S, NELEN V, et al. Screening and prostate-cancer mortality in a randomized European study[J]. *N Engl J Med*, 2009, 360: 1320-1328.
- [9] WALSH A L, CONSIDINE S W, THOMAS A Z, LYNCH T H, MANECKSHA R P. Digital rectal examination in primary care is important for early detection of prostate cancer: a retrospective cohort analysis study[J/OL]. *Br J Gen Pract*, 2014, 64: e783-e787. doi: 10.3399/bjgp14X682861.
- [10] ROBERTS R O, BERGSTRAHL E J, LIEBER M M, JACOBSEN S J. Digital rectal examination and prostate-specific antigen abnormalities at the time of prostate biopsy and biopsy outcomes, 1980 to 1997[J]. *Urology*, 2000, 56: 817-822.
- [11] CLAUS F G, HRICAK H, HATTERY R R. Pretreatment evaluation of prostate cancer: role of MR imaging and ¹H MR spectroscopy[J]. *Radiographics*, 2004, 24(Suppl 1): S167-S180.
- [12] BJURLIN M A, MENDHIRATTA N, WY SOCK J S, TANEJA S S. Multiparametric MRI and targeted prostate biopsy: improvements in cancer detection, localization, and risk assessment[J]. *Cent Eur J Urol*, 2016, 69: 9-18.
- [13] OTO A, KAYHAN A, JIANG Y, TRETIAKOVA M, YANG C, ANTIC T, et al. Prostate cancer: differentiation of central gland cancer from benign prostatic hyperplasia by using diffusion-weighted and dynamic contrast-enhanced MR imaging [J]. *Radiology*, 2010, 257: 715-723.
- [14] LI H, SUGIMURA K, KAJI Y, KITAMURA Y, FUJII M, HARA I, et al. Conventional MRI capabilities in the diagnosis of prostate cancer in the

- transition zone[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2006, 186: 729-742.
- [15] AKIN O, SALA E, MOSKOWITZ C S, KUROIWA K, ISHILL N M, PUCAR D, et al. Transition zone prostate cancers; features, detection, localization, and staging at endorectal MR imaging [J]. *Radiology*, 2006, 239: 784-792.
- [16] 阳青松,陈录广,王振,陈玉坤,马超,高旭,等. 单、双指数模型 DWI 诊断中央叶前列腺癌及前列腺增生的价值[J]. *第二军医大学学报*, 2015, 36: 1063-1068.
YANG Q S, CHEN L G, WANG Z, CHEN Y K, MA C, GAO X, et al. Diagnosis value of monoexponential and biexponential diffusion-weighted imaging for central gland prostate cancer and prostatic hyperplasia[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2015, 36: 1063-1068.
- [17] JUNG S I, DONATI O F, VARGAS H A, GOLDMAN D, HRICAK H, AKIN O. Transition zone prostate cancer; incremental value of diffusion-weighted endorectal MR imaging in tumor detection and assessment of aggressiveness [J]. *Radiology*, 2013, 269: 493-503.
- [18] 阳青松,王振,陈玉坤,陈录广,马超,高旭,等. 3-T MR 扩散加权成像诊断前列腺癌最优 b 值探究[J]. *第二军医大学学报*, 2015, 36: 402-406.
YANG Q S, WANG Z, CHEN Y K, CHEN L G, MA C, GAO X, et al. Investigation of the optimal b value in diffusion weighted MR imaging for diagnosis of prostate cancer at 3-T[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2015, 36: 402-406.
- [19] MANENTI G, SQUILLACI E, DI ROMA M, CARLANI M, MANCINO S, SIMONETTI G. *In vivo* measurement of the apparent diffusion coefficient in normal and malignant prostatic tissue using thin-slice echo-planar imaging [J]. *Radiol Med*, 2006, 111: 1124-1133.
- [20] ISSA B. *In vivo* measurement of the apparent diffusion coefficient in normal and malignant prostatic tissues using echo-planar imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2002, 16: 196-200.
- [21] HOSSEINZADEH K, SCHWARZ S D. Endorectal diffusion-weighted imaging in prostate cancer to differentiate malignant and benign peripheral zone tissue[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2004, 20: 654-661.
- [22] SATO C, NAGANAWA S, NAKAMURA T, KUMADA H, MIURA S, TAKIZAWA O, et al. Differentiation of noncancerous tissue and cancer lesions by apparent diffusion coefficient values in transition and peripheral zones of the prostate[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 21: 258-262.
- [23] TURKBEBY B, CHOYKE P L. PIRADS 2.0: what is new? [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2015, 21: 382-384.
- [24] TAN C H, WEI W, JOHNSON V, KUNDRA V. Diffusion-weighted MRI in the detection of prostate cancer; meta-analysis [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199: 822-829.
- [25] KOBUS T, WRIGHT A J, WEILAND E, HEERSCHAP A, SCHEENEN T W. Metabolite ratios in ^1H MR spectroscopic imaging of the prostate [J]. *Magn Reson Med*, 2015, 73: 1-12.
- [26] BONEKAMP D, JACOBS M A, EL-KHOULI R, STOIANOVICI D, MACURA K J. Advancements in MR imaging of the prostate; from diagnosis to interventions[J]. *Radiographics*, 2011, 31: 677-703.
- [27] ACKERSTAFF E, PFLUG B R, NELSON J B, BHUJWALLA Z M. Detection of increased choline compounds with proton nuclear magnetic resonance spectroscopy subsequent to malignant transformation of human prostatic epithelial cells[J]. *Cancer Res*, 2001, 61: 3599-3603.
- [28] WALLIMANN T, WYSS M, BRDICZKA D, NICOLAY K, EPPENBERGER H M. Intracellular compartmentation, structure and function of creatine kinase isoenzymes in tissues with high and fluctuating energy demands: the 'phosphocreatine circuit' for cellular energy homeostasis[J]. *Biochem J*, 1992, 281 (Pt 1): 21-40.
- [29] SWANSON M G, ZEKTZER A S, TABATABAI Z L, SIMKO J, JARSO S, KESHARI K R, et al. Quantitative analysis of prostate metabolites using ^1H HR-MAS spectroscopy[J]. *Magn Reson Med*, 2006, 55: 1257-1264.
- [30] LAGEMAAT M W, ZECHMANN C M, FUTTERER J J, WEILAND E, LU J, VILLEIRS G M, et al. Reproducibility of 3D ^1H MR spectroscopic imaging of the prostate at 1.5 T[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 35: 166-173.
- [31] MOWATT G, SCOTLAND G, BOACHIE C,

- CRUICKSHANK M, FORD J A, FRASER C, et al. The diagnostic accuracy and cost-effectiveness of magnetic resonance spectroscopy and enhanced magnetic resonance imaging techniques in aiding the localisation of prostate abnormalities for biopsy: a systematic review and economic evaluation[J]. *Health Technol Assess*, 2013, 17: vii-xix, 1-281.
- [32] SCHEENEN T W, FUTTERER J, WEILAND E, VAN HECKE P, LEMORT M, ZECHMANN C, et al. Discriminating cancer from noncancer tissue in the prostate by 3-dimensional proton magnetic resonance spectroscopic imaging: a prospective multicenter validation study[J]. *Invest Radiol*, 2011, 46: 25-33.
- [33] YACOUB J H, OTO A, MILLER F H. MR imaging of the prostate[J]. *Radiol Clin North Am*, 2014, 52: 811-837.
- [34] WEINREB J C, BLUME J D, COAKLEY F V, WHEELER T M, CORMACK J B, SOTTO C K, et al. Prostate cancer: sextant localization at MR imaging and MR spectroscopic imaging before prostatectomy—results of ACRIN prospective multi-institutional clinicopathologic study [J]. *Radiology*, 2009, 251: 122-133.
- [35] SCHEENEN T W, ROSENKRANTZ A B, HAIDER M A, FUTTERER J J. Multiparametric magnetic resonance imaging in prostate cancer management: current status and future perspectives [J]. *Invest Radiol*, 2015, 50: 594-600.
- [36] BERMAN R M, BROWN A M, CHANG S D, SANKINENI S, KADAKIA M, WOOD B J, et al. DCE MRI of prostate cancer[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2016, 41: 844-853.
- [37] TAN C H, HOBBS B P, WEI W, KUNDR A V. Dynamic contrast-enhanced MRI for the detection of prostate cancer: meta-analysis [J/OL]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204: W439-W448. doi:10.2214/AJR.14.13373.
- [38] LI C, CHEN M, LI S, ZHAO X, ZHANG C, LUO X, et al. Detection of prostate cancer in peripheral zone: comparison of MR diffusion tensor imaging, quantitative dynamic contrast-enhanced MRI, and the two techniques combined at 3.0 T[J]. *Acta Radiol*, 2014, 55: 239-247.
- [39] VAN DORSTEN F A, VAN DER GRAAF M, ENGELBRECHT M R, VAN LEENDERS G J, VERHOFSTAD A, RIJPKEMA M, et al. Combined quantitative dynamic contrast-enhanced MR imaging and ¹H MR spectroscopic imaging of human prostate cancer[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2004, 20: 279-287.
- [40] KOZLOWSKI P, CHANG S D, JONES E C, BEREAN K W, CHEN H, GOLDENBERG S L. Combined diffusion-weighted and dynamic contrast-enhanced MRI for prostate cancer diagnosis—correlation with biopsy and histopathology [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2006, 24: 108-113.
- [41] SCIARRA A, PANEBIANCO V, CICCARIELLO M, SALCICCIA S, LISI D, OSIMANI M, et al. Magnetic resonance spectroscopic imaging (¹H-MRSI) and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance (DCE-MRI): pattern changes from inflammation to prostate cancer[J]. *Cancer Invest*, 2010, 28: 424-432.
- [42] ZHANG X, QUAN X, LU S, HUANG F, YANG J, CHAN Q, et al. The clinical value of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging at 3.0 T to detect prostate cancer[J]. *J Int Med Res*, 2014, 42: 1077-1084.
- [43] DERAY G, ROUVIERE O, BACIGALUPO L, MAES B, HANNEDOUCHE T, VRTOVSNIK F, et al. Safety of meglumine gadoterate (Gd-DOTA)-enhanced MRI compared to unenhanced MRI in patients with chronic kidney disease (RESCUE study) [J]. *Eur Radiol*, 2013, 23: 1250-1259.
- [44] EL-SHATER BOSAILY A, PARKER C, BROWN L C, GABE R, HINDLEY R G, KAPLAN R, et al. PROMIS—Prostate MR imaging study: a paired validating cohort study evaluating the role of multiparametric MRI in men with clinical suspicion of prostate cancer[J]. *Contemp Clin Trials*, 2015, 42: 26-40.
- [45] ROSENKRANTZ A B, KIM S, CAMPBELL N, GAING B, DENG F M, TANEJA S S. Transition zone prostate cancer: revisiting the role of multiparametric MRI at 3 T [J/OL]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204: W266-W272. doi:10.2214/AJR.14.12955.
- [46] SHINMOTO H, TAMURA C, SOGA S, OKAMURA T, HORIGUCHI A, ASANO T, et al.

- Anterior Prostate Cancer: Diagnostic Performance of T2-Weighted MRI and an Apparent Diffusion Coefficient Map[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 205: W185-W192.
- [47] AYDIN H, KIZILGOZ V, TATAR I G, DAMAR C, UGAN A R, PAKER I, et al. Detection of prostate cancer with magnetic resonance imaging: optimization of T₁-weighted, T₂-weighted, dynamic-enhanced T₁-weighted, diffusion-weighted imaging apparent diffusion coefficient mapping sequences and MR spectroscopy, correlated with biopsy and histopathological findings [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2012, 36: 30-45.
- [48] FÜTTERER J J, HEIJMINK S W, SCHEENEN T W, VELTMAN J, HUISMAN H J, VOS P, et al. Prostate cancer localization with dynamic contrast-enhanced MR imaging and proton MR spectroscopic imaging[J]. *Radiology*, 2006, 241: 449-458.
- [49] BLOCH B N, FURMAN-HARAN E, HELBICH T H, LENKINSKI R E, DEGANI H, KRATZIK C, et al. Prostate cancer: accurate determination of extracapsular extension with high-spatial-resolution dynamic contrast-enhanced and T₂-weighted MR imaging—initial results [J]. *Radiology*, 2007, 245: 176-185.
- [50] SCIARRA A, PANEBIANCO V, SALCICCIA S, OSIMANI M, LISI D, CICCARIELLO M, et al. Role of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance (MR) imaging and proton MR spectroscopic imaging in the detection of local recurrence after radical prostatectomy for prostate cancer[J]. *Eur Urol*, 2008, 54: 589-600.
- [51] OCAK I, BERNARDO M, METZGER G, BARRETT T, PINTO P, ALBERT P S, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI of prostate cancer at 3 T: a study of pharmacokinetic parameters [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 189: 849.
- [52] PUECH P, ROUVIÈRE O, RENARD-PENNA R, VILLERS A, DEVOS P, COLOMBEL M, et al. Prostate Cancer Diagnosis: Multiparametric MR-targeted Biopsy with Cognitive and Transrectal US - MR Fusion Guidance versus Systematic Biopsy—Prospective Multicenter Study[J]. *Radiology*, 2013, 268: 461-469.
- [53] SIDDIQUI M M, RAIS-BAHRAMI S, TURKBEBY B, GEORGE A K, ROTHWAX J, SHAKIR N, et al. Comparison of MR/ultrasound fusion-guided biopsy with ultrasound-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer[J]. *JAMA*, 2015, 313: 390-397.
- [54] UKIMURA O, MARIEN A, PALMER S, VILLERS A, ARON M, DE CASTRO ABREU A L, et al. Trans-rectal ultrasound visibility of prostate lesions identified by magnetic resonance imaging increases accuracy of image-fusion targeted biopsies[J]. *World J Urol*, 2015, 33: 1669-1676.