

前列腺癌 MRI 诊断技术研究进展

张龙敏 刘爱连

【摘要】 前列腺癌是世界上第二常见的男性恶性肿瘤,我国前列腺癌的发病率亦呈逐年上升趋势。MRI 有着良好的软组织分辨率及多方位成像优势,能较好地显示前列腺的解剖结构及相邻的组织结构,随着 MRI 技术的不断发展,其对前列腺癌的诊断发挥着越来越重要的作用。该文从前列腺癌 MRI 常规序列的影像表现着手,对各种功能 MRI 在前列腺癌的诊断和鉴别诊断中的应用进行了详细地论述,如 MR 灌注加权成像、MR 波谱、MR 扩散加权成像、MR 扩散张量成像、体素内不相干运动扩散加权成像、MR 磁敏感加权成像等,介绍了功能 MRI 相对于常规扫描的优势及其所能提供的更多的影像学资料,通过系列半定量和定量数据,能进一步提供前列腺癌的血流灌注、水分子扩散、微循环状态、物质代谢及生化成分变化等信息。

【关键词】 前列腺肿瘤;磁共振成像;功能显像

Advances in MRI diagnosis of prostate cancer Zhang Longmin, Liu Ailian. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116000, China

Corresponding author: Liu Ailian, Email: cjr.liuailian@vip.163.com

【Abstract】 Prostate cancer is the second most common cancer in the world, and the incidence of prostate cancer in China shows an upward trend. MRI has high soft tissue resolution and multi-dimensional imaging advantages, and it can better show the anatomy of the prostate and adjacent tissue structures. With the development of MR technique, it plays a more and more important role in prostate cancer diagnosis. This review starts from the imaging performance of routine MRI sequence of prostate cancer, and a variety of functional MRI applications in the diagnosis and differential diagnosis of prostate cancer are described in detail, such as MR perfusion-weighted imaging, MR spectroscopy, MR diffusion-weighted imaging, MR diffusion tensor imaging, intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging, MR susceptibility-weighted imaging. Meanwhile this review introduces that functional MRI has more advantages and can provide more image information than routine MRI sequence. According to a series of semi-quantitative and quantitative data, functional MRI can further provide the blood perfusion of prostate cancer, water molecule diffusion and microcirculation state, metabolism and biochemical composition change information.

【Key words】 Prostatic neoplasms; Magnetic resonance imaging; Functional magnetic resonance imaging

前列腺癌(prostate cancer, PC)是世界上第二常见的男性恶性肿瘤,我国 PC 的发病率亦呈逐年上升趋势,已成为危害老年男性生命的重要疾病。传统的前列腺疾病诊断方法主要有直肠指诊、血清前列腺特异性抗原(prostate specific antigen, PSA)检查^[1]、经直肠超声引导下穿刺活检等,但均存在一定的局限性,甚至可能导致严重并发症。MRI 有着良好的软组织分辨力和多方位成像优势,有助于显示前

列腺的内部结构,提高前列腺尖部病灶的检出率^[2];还可以很好地显示膀胱、神经血管束、精囊腺和肛提肌等结构,准确评估肿瘤对上述结构的侵犯,指导 PC 分期^[3]。目前, MRI 已成为 PC 临床影像学检查中最重要的方法^[4]。随着 MRI 技术的进展, MR 灌注加权成像(MR perfusion-weighted imaging, MRPWI)、MR 波谱(MR spectroscopy, MRS)、MR 扩散加权成像(MR diffusion-weighted imaging, MRDWI)、MR 扩散张量成像(MR diffusion tensor imaging, MRDTI)、体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)DWI、MR 磁敏感加权成像(MR susceptibility-

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2014.01.011

作者单位: 116000, 大连医科大学附属第一医院放射科

通信作者: 刘爱连(Email: cjr.liuailian@vip.163.com)

weighted imaging, MRSWI)等新技术已逐步用于 PC 的诊断和研究。在此,对 PC 的 MRI 诊断技术的研究进展综述如下。

1 PC 的 MRI 基本扫描序列

1.1 T1 加权像及 T2 加权像序列

前列腺分为固有腺体和非腺性成分,固有腺体一般分为 4 个区,即中央区、外周区、移行区、尿道周围腺区,临床上常将中央区、移行区及尿道周围腺区合称为中央腺区^[5],75%的 PC 起源于外周区,25%起源于中央腺区^[6]。T1 加权像上前列腺的各区分区不能分辨,癌灶也不易显示;T2 加权像上正常的外周区呈高信号,而 PC 呈结节或斑片状低信号影。因此,T2 加权像对 PC 诊断的灵敏度较高,但特异度不高,因为 T2 加权像上外周区低信号还可见于前列腺炎瘢痕及钙化灶、前列腺穿刺后出血及 PC 放疗后纤维化等。

1.2 动态增强 MRI(dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI)

肿瘤组织毛细血管数量增加、新生毛细血管壁不完整、肿瘤血管通透性加大等因素均可导致行 DCE-MRI 时 PC 与正常组织间的强化模式不同:PC 表现为早期明显强化,快速消退^[7];良性前列腺增生(benign prostatic hyperplasia, BPH)表现为早期明显不均匀强化,持续时间较长,晚期仍为较高信号。DCE-MRI 能提供时间-信号强度曲线(time-signal intensity curves, TIC),PC 多为速升下降型,BPH 主要为缓慢上升型或速升平台型。DCE-MRI 还能提供开始强化时间、达峰时间、强化程度、强化率、廓清率等半定量强化参数。国内研究显示,达峰时间从高至低依次为基质增生为主型 BPH(sBPH)、腺体增生为主型 BPH(gBPH)、PC,强化程度依次为 sBPH、PC、gBPH,强化率依次为 PC、gBPH、sBPH^[8]。国外研究显示,只有廓清率与 Gleason 评分具有负相关性,PC 廓清率明显低于正常中央区和外周区组织;而在 Gleason 评分>6 和≤6 的对比研究中,其受试者工作特征曲线分析的准确率为 88%,廓清率界值点取 0.125/min 时灵敏度和特异度分别为 87%和 78%,有助于判断 PC 的侵袭性^[9]。DCE-MRI 也可提供反映微循环的定量参数,如容积转运常数(K^{trans})、速率常数(K_{ep})、血管外细胞外间隙体积百分数(V_e)。其中, K^{trans} 被认

为是描述肿瘤微血管渗透性最重要的参数^[10]。有研究表明,PC 的 K^{trans} 变化与病理 Gleason 评分呈正相关,可用于评价 PC 的分期和预后^[11]。目前,抗血管生成治疗 PC 快速发展, K^{trans} 有望成为评估血管生成抑制剂治疗效果的有效指标^[12]。国内研究报告,外周区 PC 组、外周区炎症组及外周区正常组 K^{trans} 分别为 $(56.2\pm 45.3)\times 10^{-3}$ 、 $(20.8\pm 9.3)\times 10^{-3}$ 、 $(12.1\pm 8.7)\times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$,组间差异有统计学意义^[10],而外周区炎症组与正常组的 K^{trans} 差异无统计学意义。李春媚等^[13]提出 PC 癌区 K^{trans} 高于中央腺体非癌区,由此得出 K^{trans} 有助于 PC 的诊断及与炎症的鉴别。

2 PC 的 MRI 研究进展

2.1 MRPWI

MRPWI 在显示器官形态学变化的同时可反映血流动力学和组织的微血管密度状况,并能定量分析病灶的微血管及其通透性。MRPWI 比 DCE-MRI 能更好地显示微循环的灌注情况,除可获得组织 TIC 外,还能获得不同感兴趣区的相对负增强积分(negative enhancement integral, NEI)、平均增强时间(mean time to enhance integral, MTE)、达峰时间、最大信号下降斜率,计算出不同感兴趣区的血流速度(NEI/MTE),并由此推算出局部组织的血流灌注情况^[14]。研究显示,PC 的 MRPWI 的 TIC 到达峰值的时间早于 BPH,两者峰值均为倒置,但 PC 的 MRPWI 的 TIC 峰高于 BPH;PC 的 MRPWI 的 TIC 到达峰值后回升迅速,而 BPH 回升相对平缓;PC、BPH、正常前列腺外周区的 NEI 依次减低且差异有统计学意义^[15]。NEI 对 PC 诊断的最佳阈值为 6.44^[16]。PC 的 MTE 和达峰时间明显短于正常前列腺组织,提示 PC 组织的对比剂到达速度和浓度高于正常组织^[15]。最大信号下降斜率代表单位时间内对比剂引起组织信号降低的幅度,其变化可反映组织微循环血流量水平^[15]。因此,通过上述灌注参数能反映出 PC 的微循环变化。

但并不是所有患者都能进行增强和(或)灌注检查,肾功能不全患者注射对比剂有可能导致肾源性系统纤维化。动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)技术是一种新的非侵入性、不用注射对比剂的 MRPWI 技术,研究显示 ASL 检查 PC 癌区灌注值较非癌区明显增高,对因肾功能不良或其他原因

不能进行 MRPWI 检查而疑似 PC 的患者可借助 ASL 检查帮助诊断^[17]。

2.2 MRS

MRS 是目前唯一能无创性检测活体组织能量代谢及生化改变, 并进行化合物定量分析的新技术, 并于 1996 年由 Khrhanewicz 等^[18]率先用于前列腺疾病的诊断。MRS 主要能探测前列腺组织中枸橼酸盐(Cit)、胆碱(Cho)、肌酸(Cre)的生化浓度改变。前列腺 MRS 的病理基础是正常前列腺内高浓度 Zn^{2+} 抑制顺乌头酸酶活性, 使 Cit 在三羧酸循环中氧化受限, 因此前列腺分泌液中含有极高浓度的 Cit。正常成年男性前列腺液中 Cit 的浓度约为血浆中的 360~1600 倍, 且外周区 Cit 浓度明显高于中央腺区, 这与外周区含有较多腺管有关。前列腺的这种代谢特点为 MRS 的检测提供了可靠的物质基础。

BPH 的 MRS 谱线形态与正常前列腺基本一致, 部分 BPH 的(Cho+Cre)/Cit 值略高于正常前列腺。而 PC 与正常前列腺及 BPH 的 MRS 谱线形态相反, 其特异性的 Cit 峰明显降低, 同时 Cho 峰显著升高, 表现为(Cho+Cr)峰高于 Cit 峰。Scheidler 等^[19]提出所有 PC 的(Cho+Cre)/Cit 值均大于正常前列腺外周区比值加 3 倍标准差 (>0.86), 之后制定了以大于正常前列腺外周区 (Cho+Cre)/Cit 值加 2 倍标准差 (>0.75) 为可能癌, 以大于正常前列腺外周区(Cho+Cre)/Cit 值加 3 倍标准差 (>0.86) 为肯定癌的诊断标准。王霄英等^[20]在 2004 年首次提出了中国人 PC 的 MRS 诊断标准, 以正常中国老年人前列腺外周区 (Cho+Cre)/Cit 值加 3 倍标准差为标准, 即将(Cho+Cre)/Cit 值 >0.99 作为诊断标准。

研究证实 PC 的(Cho+Cr)/Cit 值与 Gleason 评分呈正相关, 随着 Gleason 评分的增加, 癌区内 Cho 峰升高而 Cit 峰降低^[21-22]。另外, 研究还发现 MRS 结果与患者的 PSA 水平存在一定的正相关性^[23]。患 PC 时正常前列腺腺体破坏, 导致(Cho+Cr)/Cit 值和 PSA 均升高。然而 PSA 仅具有前列腺组织特异性而不具有 PC 特异性, PSA 升高并不一定患 PC, 且早期局限性 PC 患者血清 PSA 可不升高。杨进军和贾文霄^[24]报道(Cho+Cr)/Cit 值诊断 PC 的灵敏度、特异度、准确率分别为 92.31%、80.65% 和 85.96%。另外, 研究表明对比剂钆喷替酸葡甲胺会影响前列腺 MRS 的线宽及谱线质量, 提示前列腺 MRS 扫描

应该在注入对比剂前进行^[25]。

2.3 MRDWI

MRDWI 作为一种在分子水平上无创性地反映水分子在活体组织中的布朗运动状态的检查技术, 已经广泛应用于临床, 主要评估参数是表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC), ADC 越低说明该区域水分子的扩散度越受限。由于前列腺外周区与中央腺区在组织学上的差异较大, 在 MRDWI 图像上可以清晰辨别: 水分子扩散不受限时, 局部失相位, 信号减低; 反之水分子扩散受限时, 失相位减少, 则信号较高^[26]。ADC 的计算需要 2 个不同扩散敏感系数(b 值)的图像, 公式为 $ADC = \ln(S2/S1)/(b1-b2)$, 式中 S1 与 S2 分别表示 b1 与 b2 扩散成像所测得的信号强度值, ln 为自然对数。b 值是 MRDWI 中的一个重要参数, 通过改变扩散梯度磁场的强度、间隔时间和持续时间来调节, 通过结合至少 2 次以上的不同 b 值所得 MRDWI 即可得到 ADC 图。ADC 图能够真正反映组织内水分子的扩散变化, 使 MR 对水分子扩散变化的观察更直观、更准确。

PC 细胞体积较小、核浆比高, 其间很少有空隙存储黏蛋白及液体, 导致病灶组织内水分子含量相对降低及水分子扩散明显受限, MRDWI 图上表现为高信号, ADC 明显降低。BPH 导致中央腺体体积增大, 间质成分增多, 使水分子扩散低于正常前列腺组织, 因此在 MRDWI 图上信号较正常中央区增高; 但其水分子扩散高于 PC, 在 MRDWI 图上信号较 PC 减低。研究显示正常前列腺外周区、gBPH、sBPH 及 PC 的 ADC 逐渐下降^[8], 而 $ADC \leq 0.97 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 特别是病灶与周围正常外周区 ADC 的相对比值 ≤ 0.62 是诊断 PC 的可靠证据^[27]。ADC 联合 T2 加权像相对于单独应用 T2 加权像更有助于检测中、高级 PC (Gleason 评分 ≥ 7), 但对低级别的 PC (Gleason 评分 ≤ 6), 两者联合的灵敏度和特异度与单独应用 T2 加权像的差别不大^[28]。PC 的 ADC 与 Gleason 评分呈负相关, 提示 ADC 将可能用于无创性预测肿瘤的恶性程度和预后, 检测肿瘤的复发^[29]。

b 值的选择对 MRDWI 尤为重要。b 值越小, MRDWI 扩散权重越小, T2 穿透效应越大, 图像越接近于 T2 加权像; b 值越大, 扩散权重越大, 但同时信号衰减明显, 图像容易变形, 信噪比降低。

有学者在 MRDWI 在不同 b 值下 PC 外周区癌灶 ADC 的参考值范围的报道中指出, b 值为 300、600、1000 s/mm² 时, 外周区 PC 与正常组织之间均存在部分重叠, b 值为 800 s/mm² 时两者之间不存在重叠, 诊断准确率也较高^[30]。至今, MRDWI 在前列腺中应用时的 b 值选取尚无统一标准。

2.4 MRDTI

MRDTI 是在 MRDWI 的基础上施加 6 个以上非线性方向的扩散敏感梯度场而获得的扩散张量图像, 它可检测每个体素水分子扩散的情况, 较 MRDWI 能更准确地反映体内水分子的扩散情况。MRDTI 的主要评价参数为 ADC 和各向异性分数 (fractional anisotropy, FA)。其中, FA 是指水分子各向异性成分占整个扩散张量的比例, FA 的取值为 0~1, FA 趋近于 1 时表示各向异性最大, 趋近于 0 时表示各向同向最大。另外, 纤维示踪图像能三维立体直观地显示组织的纤维走行及形态。

MRDTI 已被广泛应用于大脑结构的研究, 现逐渐应用于腹部研究^[31]。对健康志愿者前列腺中央区和外周区的研究显示, 中央区的 FA 明显高于外周区, ADC 低于外周区^[32], 可用于评估前列腺中央区与外周区的结构差异。BPH 间质成分增多, 水分子受限程度明显低于 PC 而高于正常外周区, 细胞及间质成分不同比例增生使得组织内结构紧密, 但排列紊乱, FA 略高于正常外周区; PC 失去了特征性的腺管形态结构, 缺乏足够的空间储存液体, 细胞间质排列失去正常规则, FA 明显增加, 且明显高于 BPH 和外周区^[33]。纤维示踪图像可初步反映前列腺不同组织内纤维走行的特点。虞丹萍等^[32]对正常前列腺的研究显示, 中央叶和外围叶的纤维束均为 3 种走向, 即前后、左右和头尾, 不同区域前列腺纤维束的疏密不同, 中央叶的纤维排列较外围叶紧密。周洁等^[34]报道 BPH 区纤维分布致密且走行紊乱, 但无破坏、中断, PC 癌区纤维束走行方向极不规则且局限性中断、消失。

2.5 IVIM DWI

IVIM DWI 最初由 Le Bihan 等^[35]于 1986 年提出, 即由于 MRDWI 反映的是体素内的水分子运动变化, 而生物组织内毛细血管网排列无规则, 微循环内血液像水分子一样呈无规律运动, 故活体生物组织内 IVIM DWI 不仅包括水分子扩散, 还包括微循环灌注。当 b 值较低时, 微循环灌注在 MRDWI

的 ADC 中所占的比例较大, 随着 b 值的升高, ADC 中微循环灌注所占比例逐渐减小, 其主要反映组织内真实的水分子扩散情况。IVIM DWI 将微循环灌注和分子扩散区分开来, 因此可以提供更多的信息, 包括灌注分数、纯扩散值、假扩散系数, 其中, 纯扩散值相对真实地反映组织中水分子的扩散状态; 假扩散系数与毛细血管网微循环灌注相关, 主要反映组织毛细血管的流速, 可从功能方面来反映肿瘤灌注功能状态; 灌注分数指体素中毛细血管容积占整个组织容积的比值^[36-37]。研究证明通过 IVIM DWI 可以很好地分析肝脏及胰腺微循环灌注情况^[38-39]。目前, IVIM DWI 在 PC 中的研究报道结论不一。Döpfert 等^[36]报道 PC 组织与前列腺非癌组织的纯扩散值和灌注分数均减小, 两者之间假扩散系数的差异无统计学意义。但该研究存在一定的局限性, 即病例数及 b 值选取较少。另有研究报道 PC 组织与非癌组织相比灌注分数增高、纯扩散值减小^[40-41]。

2.6 MRSWI

MRSWI 是一种利用不同组织间磁化率差异而产生图像的 MRI 技术, 对出血后脱氧血红蛋白、正铁血蛋白和含铁血黄素等顺磁性物质非常敏感, 目前已成为检出脑内微出血灶最灵敏的技术。白岩等^[42]报道了 8 例 PC 患者中 5 例在 MRSWI 上显示肿瘤区出血, 20 例 BPH 患者未发现出血, 所有患者在常规 MRI 和 CT 图像上均未检出出血, 可见 MRSWI 可为 PC 的诊断提供补充信息, 有助于 PC 与 BPH 的鉴别诊断。

2.7 功能 MRI 对 PC 治疗的评价

PC 的治疗主要有根治性前列腺切除、放疗和内分泌治疗。目前, PSA 是应用最广泛的评价 PC 患者疗效的指标, 但不能反映肿瘤微血管的潜在异质性和肿瘤的个体化反应, 故不能监测早期治疗失败和复发。PC 经内分泌治疗和放疗后体积缩小、腺体萎缩、纤维结缔组织增加, 但 MRI 基本扫描序列难以及时评估疗效及复发。Song 等^[43]研究发现, 经放疗后 PC 癌区和非癌区之间 MRDWI 的 ADC 差异无统计学意义。Kim 等^[44]发现 MRDWI 与 T2 加权像合用检出 PC 放疗后局部复发的灵敏度和特异度分别为 62% 和 97%, 高于单独应用 MRDWI (62%、91%) 或 T2 加权像 (25%、57%) 时的检出效能。MRS 也可以帮助鉴别 PC 复发, 术后纤维性结

节 MRS 常呈较低(Cho+Cr)/Cit 值^[45]。另外, PC 治疗后肿瘤体内微血管生成受阻, K^{trans} 值减小, 最大强化程度、强化率降低, 廓清方式以流入型为主^[46]。蔡文超等^[47]报道经内分泌治疗后 PC 癌区对比未治疗组 PC 癌区, 其 IVIM DWI 的纯扩散值增高、灌注分数减小。由此可见, MRI 功能成像能有效评估 PC 治疗反应和肿瘤复发, 在 PC 治疗反应监测中有很好的临床应用前景。

3 结语

MRI 为 PC 的诊断及鉴别诊断提供了较可靠的影像学依据, 功能成像的进展能进一步提供 PC 的血流灌注、水分子扩散、微循环状态、物质代谢及生化成分变化等信息。通过系列半定量和定量数据, MRI 能更加客观地评估 PC 分级、疗效及预后等, 将在 PC 的侵袭性评价、临床治疗方案选择、治疗反应监测及肿瘤的复发评估中发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 徐海青, 段俊, 吴边. 全身骨显像诊断前列腺癌骨转移与 PSA 水平及病理分级的相关性研究. 国际放射医学核医学杂志, 2011, 35(1): 34-37.
- [2] Nix JW, Turkbey B, Hoang A, et al. Very distal apical prostate tumours: identification on multiparametric MRI at 3 Tesla[J]. *BJU Int*, 2012, 110(11 Pt B): E694-700.
- [3] Türkbey B, Bernardo M, Merino MJ, et al. MRI of localized prostate cancer: coming of age in the PSA era[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2012, 18(1): 34-45.
- [4] Soyulu FN, Eggenger S, Oto A. Local staging of prostate cancer with MRI[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2012, 18(4): 365-373.
- [5] 高炜, 袁武, 韩悦, 等. 前列腺解剖带区的断层切片与 MRI 图像对照研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2011, 29(4): 413-417.
- [6] 钱均琪, 张绍渤, 黄受方. 前列腺癌的病理学进展[J]. 中华病理学杂志, 1996, 25(4): 253-256.
- [7] Franiel T, Hamm B, Hricak H. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and pharmacokinetic models in prostate cancer[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(3): 616-626.
- [8] 袁宪顺, 修建军, 宁国庆, 等. 表观扩散系数和 MR 动态增强对前列腺中央腺体疾病的价值[J]. 医学影像学杂志, 2012, 22(4): 639-642, 647.
- [9] Chen YJ, Chu WC, Pu YS, et al. Washout gradient in dynamic contrast-enhanced MRI is associated with tumor aggressiveness of prostate cancer[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 36(4): 912-919.
- [10] 朱海滨, 江柳, 杨学东, 等. MR 动态增强定量参数 K^{trans} 值对前列腺外周带 T2WI 低信号病灶的鉴别诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(12): 1838-1841, 1851.
- [11] 朱海滨, 刘婧, 蔡文超, 等. 前列腺癌 MRI 动态增强定量参数 K^{trans} 值与 Gleason 评分的相关性研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2012, 20(7): 481-484.
- [12] 刘明, 郭志. 动态增强 MRI 在评价前列腺肿瘤微血管生成的临床应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 35(2): 143-146.
- [13] 李春媚, 陈敏, 李飒英, 等. 前列腺癌 MR 动态增强扫描定量分析及其应用[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(5): 508-510.
- [14] 李彦娴, 袁曙光, 赵新湘, 等. 常规 MRI 联合 PWI 对前列腺癌的诊断价值研究[J]. 现代泌尿生殖肿瘤杂志, 2011, 3(5): 264-268.
- [15] 袁宇啸, 王滨, 王锡臻, 等. 前列腺癌 MRI 灌注指标与 ADC 值的相关性研究[J]. 现代生物医学进展, 2010, 10(9): 1692-1694.
- [16] 赵新, 白人驹, 孙浩然, 等. 前列腺癌和良性前列腺增生磁共振灌注加权成像的应用价值[J]. 中华泌尿外科杂志, 2009, 30(3): 207-209.
- [17] 张海彬, 胡道予, 张娟. 3.0T 磁共振动脉自旋标记(ASL)技术诊断前列腺癌[J]. 放射学实践, 2012, 27(6): 645-651.
- [18] Kurhanewicz J, Vigneron DB, Hricak H, et al. Three-dimensional H-1 MR spectroscopic imaging of the in situ human prostate with high(0.24-0.70-cm³) spatial resolution[J]. *Radiology*, 1996, 198(3): 795-805.
- [19] Scheidler J, Hricak H, Vigneron DB, et al. Prostate cancer: localization with three-dimensional proton MR spectroscopic imaging—clinicopathologic study[J]. *Radiology*, 1999, 213(2): 473-480.
- [20] 王霄英, 周良平, 丁建平, 等. MRS 对中国人前列腺癌鉴别诊断标准的初步研究[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(8): 1150-1153.
- [21] Zakian KL, Sircar K, Hricak H, et al. Correlation of proton MR spectroscopic imaging with gleason score based on step-section pathologic analysis after radical prostatectomy[J]. *Radiology*, 2005, 234(3): 804-814.
- [22] 程紫琨, 赵阳, 白玫, 等. MRS 诊断前列腺癌准确率与病理切片 Gleason 评分的相关性研究[J]. 中国临床影像学杂志, 2012, 23(12): 860-863.
- [23] 赵阳, 徐勇, 韩悦, 等. MR 波谱成像对前列腺癌分化程度预估价值的初步研究. 中华放射学杂志, 2011, 45(10): 951-954.
- [24] 杨进军, 贾文霄. MRS 联合 DWI 对前列腺癌的诊断价值[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2011, 3(5): 285-289.
- [25] 杨春, 徐凯, 郑骏年, 等. Gd-DTPA 对前列腺 3T 氢质子波谱影响的初步研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2011, 17(4): 332-334.
- [26] 刘杰, 张辉. GE3.0T 扩散加权成像高 b 值在前列腺癌和非癌组织中的诊断价值[J]. 中国当代医药, 2011, 18(12): 9-10.
- [27] 何海青, 樊树峰, 陈邦文, 等. MR 扩散加权成像在前列腺病变中的诊断价值[J]. 医学影像学杂志, 2009, 19(2): 187-191.
- [28] Doo KW, Sung DJ, Park BJ, et al. Detectability of low and intermediate or high risk prostate cancer with combined T2-weighted and diffusion-weighted MRI[J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(8): 1812-1819.

- [29] 陈志强, 郭雪梅, 王霄英, 等. 前列腺癌扩散加权成像与 Gleason 评分的相关性研究[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(6): 1066-1068.
- [30] 吴建明, 马周鹏, 滕华英, 等. 不同 b 值下前列腺外周带癌灶 ADC 值的初步定量分析[J]. 医学影像学杂志, 2011, 21(6): 890-893.
- [31] 王微微, 刘爱连. 扩散张量成像在腹部的应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2011, 34(3): 257-260.
- [32] 虞丹萍, 王家平, 袁曙光, 等. DTI 在正常前列腺的应用研究[J]. 临床放射学杂志, 2012, 31(2): 232-235.
- [33] 夏国金, 龚洪翰, 曾献军, 等. MR 扩散张量成像在前列腺癌诊断中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(6): 526-528.
- [34] 周洁, 史长征, 王永安, 等. MRI 弥散张量成像对前列腺疾病的诊断价值[J]. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2011, 32(2): 233-237.
- [35] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders[J]. Radiology, 1986, 161(2): 401-407.
- [36] Döpfert J, Lemke A, Weidner A, et al. Investigation of prostate cancer using diffusion-weighted intravoxel incoherent motion imaging [J]. Magn Reson Imaging, 2011, 29(8): 1053-1058.
- [37] 宋琼, 马静, 饶圣祥, 等. MR 全肝 IVIM 灌注分析对肝癌微循环功能状态的影像生物学标记物的评价研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2013, 22(3): 181-184.
- [38] Lemke A, Laun FB, Klaus M, et al. Differentiation of pancreas carcinoma from healthy pancreatic tissue using multiple b-values: comparison of apparent diffusion coefficient and intravoxel incoherent motion derived parameters[J]. Invest Radiol, 2009, 44(12): 769-775.
- [39] Luciani A, Vignaud A, Cavet M, et al. Liver cirrhosis: intravoxel incoherent motion MR imaging—pilot study[J]. Radiology, 2008, 249(3): 891-899.
- [40] Pang Y, Turkbey B, Bernardo M, et al. Intravoxel incoherent motion MR imaging for prostate cancer: an evaluation of perfusion fraction and diffusion coefficient derived from different b-value combinations[J]. Magn Reson Med, 2013, 69(2): 553-562.
- [41] 王岳, 蔡文超, 叶锦棠, 等. 多 b 值 DWI 序列检测前列腺癌扩散和灌注信息的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(12): 1835-1837.
- [42] 白岩, 史大鹏, 王梅云, 等. 磁敏感加权成像在鉴别诊断前列腺癌和良性前列腺增生中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(2): 235-237.
- [43] Song I, Kim CK, Park BK, et al. Assessment of response to radiotherapy for prostate cancer: value of diffusion-weighted MRI at 3 T [J]. AJR Am J Roentgenol, 2010, 194(6): W477-482.
- [44] Kim CK, Park BK, Lee HM. Prediction of locally recurrent prostate cancer after radiation therapy: incremental value of 3T diffusion-weighted MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2009, 29(2): 391-397.
- [45] Coakley FV, Teh HS, Qayyum A, et al. Endorectal MR imaging and MR spectroscopic imaging for locally recurrent prostate cancer after external beam radiation therapy: preliminary experience[J]. Radiology, 2004, 233(2): 441-448.
- [46] 李鹏, 陈志强. 功能磁共振成像无创性评价前列腺癌治疗的研究进展[J]. 医学综述, 2012, 18(17): 2857-2860.
- [47] 蔡文超, 李玮, 李飞宇, 等. 前列腺癌内分泌治疗后体内不均一运动扩散加权成像的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(12): 1823-1826.

(收稿日期: 2013-04-24)

(上接第 18 页)

452758.

- [9] Picolos MK, Habra M, Safdar A, et al. Inactive pulmonary tuberculosis mimicking metastasis from papillary thyroid carcinoma in diagnostic radioiodine whole-body scintigraphy[J]. Thyroid, 2005, 15(9): 1105-1106.
- [10] Matthern M, Staab E. I-131 localization in hematocolpos: a differential diagnosis consideration for pelvic I-131 uptake[J]. Clin Nucl Med, 2007, 32(8): 659-660.
- [11] Rachinsky I, Driedger A. Iodine-131 uptake in a menstruating uterus: value of SPECT/CT in distinguishing benign and metastatic iodine-positive lesions[J]. Thyroid, 2007, 17(9): 901-902.
- [12] Leitha T, Staudenherz A. Frequency of diagnostic dilemmas in ¹³¹I whole body scanning[J]. Nuklearmedizin, 2003, 42(2): 55-62.
- [13] Song HJ, Xue YL, Xu YH, et al. Abnormal ¹³¹I uptake in a benign serous ovarian cystadenoma mimicking bladder physiological uptake[J]. Clin Nucl Med, 2012, 37(3): e59-60.
- [14] Lakshmanan M, Reynolds JC, De Vecchio S, et al. Pelvic radioiodine uptake in a rectal wall teratoma after thyroidectomy for papillary carcinoma[J]. J Nucl Med, 1992, 33(10): 1848-1850.

(收稿日期: 2013-09-22)