

## · 前列腺 MRI 专题 ·

## RS-EPI 序列在前列腺肿瘤 DWI 中的临床应用价值

闵祥德, 王良, 冯朝燕, 李亮, 蔡杰, 邓明, 胡志全, 叶章群, 胡道予

**【摘要】 目的:**通过比较前列腺肿瘤的分段读出平面回波成像(RS-EPI)和单次激发平面回波成像(SS-EPI)的影像表现,探讨 RS-EPI 在前列腺肿瘤诊断中的应用价值。**方法:**回顾性分析 34 例行 3.0T MRI SS-EPI 和 RS-EPI 检查并经穿刺活检确诊为前列腺肿瘤患者的病例资料。由两位影像医生在不提供任何临床及 MRI 序列信息的情况下,针对扩散加权成像(DWI)图像的病灶显示清晰程度、几何变形、空间分辨力、诊断信心四个方面按 5 个等级(1~5 分)进行独立评分,由第三位影像医生在工作站上半定量测量图像的信噪比(SNR)、对比度和对比噪声比(CNR)并进行统计学分析。**结果:**RS-EPI 序列上病灶显示清晰程度( $\kappa=0.649, P<0.001$ )、图像变形( $\kappa=0.599, P<0.001$ )、空间分辨力( $\kappa=0.768, P<0.001$ )、诊断信心( $\kappa=0.622, P<0.001$ )等方面,两位医师的评分具有良好的一致性。SS-EPI 序列上,病灶显示清晰程度( $\kappa=0.587, P<0.001$ )、图像变形( $\kappa=0.554, P<0.001$ )、空间分辨力( $\kappa=0.640, P<0.001$ )、诊断信心( $\kappa=0.597, P<0.001$ )等方面,两位医师的评分具有良好的一致性。RS-EPI 和 SS-EPI 序列的平均分值如下:病灶显示清晰程度分别为 4.56 和 3.85 分,几何变形分别为 4.34 和 3.28 分,空间分辨力分别为 4.41 和 2.84 分,诊断信心分别为 4.34 和 3.74 分,SNR 分别为 173.49 和 234.78,对比度分别为 6.29 和 7.23,CNR 分别为 144.98 和 202.13。**结论:**基于 RS-EPI 序列的高分辨力 DWI 与 SS-EPI 序列相比明显提高了图像质量,更有利于前列腺肿瘤的显示。

**【关键词】** 前列腺肿瘤; 扩散加权成像; 磁共振成像

**【中图分类号】** R737.25; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)05-0491-05

**Clinical application value of readout-segmented echo-planar imaging sequence in prostate tumors with diffusion weighted imaging** MIN Xiang-de, WANG Liang, FENG Zhao-yan, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To compare the clinical utility of readout-segmented echo-planar imaging (RS-EPI) with single-shot echo-planar imaging (SS-EPI) and explore the value of RS-EPI in the diagnosis of prostatic neoplasms. **Methods:** RS-EPI and SS-EPI diffusion weighted images of prostatic neoplasm patients were obtained using 3.0T MR before ultrasound guided systemic biopsy. Two radiologists, unaware of the clinical data and sequences, retrospectively and independently interpreted MR images, which consisted of lesion conspicuity, distortion, resolution, and diagnostic confidence, and these were graded using a 5-point Likert scale. Signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) calculations were made by a third radiologist. **Results:** There was good reader agreement in the scores, RS-EPI sequence: lesion conspicuity ( $\kappa=0.649, P<0.001$ ), distortion ( $\kappa=0.599, P<0.001$ ), resolution ( $\kappa=0.768, P<0.001$ ) and diagnostic confidence ( $\kappa=0.622, P<0.001$ ). SS-EPI sequence: lesion conspicuity ( $\kappa=0.587, P<0.001$ ), distortion ( $\kappa=0.554, P<0.001$ ), resolution ( $\kappa=0.640, P<0.001$ ) and diagnostic confidence ( $\kappa=0.597, P<0.001$ ). The mean scores for SS-EPI and RS-EPI were as follows: lesion conspicuity 4.56 and 3.85, distortion 4.34 and 3.28, resolution 4.41 and 2.84 and diagnostic confidence 4.34 and 3.74. The SNR, C, CNR for RS-EPI were lower than those for SS-EPI. SNR: 173.49 and 234.78, C: 6.29 and 7.23, CNR: 144.98 and 202.13. **Conclusion:** RS-EPI DWI images show improved image quality as compared to SS-EPI for producing high-resolution DWI which favours the manifestation of prostate neoplasms.

**【Key words】** Prostate neoplasms; Diffusion weighted imaging; Magnetic resonance imaging

前列腺肿瘤是危害老年男性健康的最常见恶性肿瘤之一,前列腺肿瘤的治疗及预后主要取决于早期诊断与分期,MRI 被公认为诊断前列腺肿瘤的最佳方法之一,其中扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)是反映活体内水分子运动的无创检查方

法,能对前列腺肿瘤的组织结构和细胞特性进行定性及定量分析,对前列腺肿瘤的诊断及鉴别诊断具有较高的应用价值<sup>[1,2]</sup>。然而,常规单次激发平面回波成像(single-shot echo-planar imaging, SS-EPI)序列在高磁场(如 3.0T)下磁敏感伪影加剧,相位方向图像变形严重,对前列腺局灶小肿瘤无法做出准确诊断。分段读出平面回波成像(readout-segmented echo-planar imaging, RS-EPI)是一种新序列,在头颈及乳腺的运用中展现了短的回波间隙,图像变形小,解剖细节显示

**作者单位:** 430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(闵祥德、王良、冯朝燕、李亮、蔡杰、邓明、胡道予),泌尿外科(胡志全、叶章群)

**作者简介:** 闵祥德(1988-),男,山东淄博人,硕士研究生,主要从事 MRI 与分子影像学研究工作。

**通讯作者:** 王良, E-mail: wangliang2001@gmail.com

清楚<sup>[3]</sup>。RS-EPI 在前列腺肿瘤的诊断及鉴别诊断中尚未见报道,本文旨在初步探讨 RS-EPI 序列在前列腺肿瘤诊断中的应用价值。

## 材料与方法

### 1. 病例资料

回顾性分析 2013 年 8 月—2013 年 12 月间在本院行前列腺 3.0T MR SS-EPI 和 RS-EPI 序列检查并经穿刺活检证实为前列腺肿瘤的 34 例患者的病例资料。前列腺肿瘤患者纳入标准:①临床资料齐全;②前列腺 MR 检查前未经过内分泌、放射治疗等非手术治疗;③MR 检查在前列腺穿刺活检之前进行。34 例患者年龄为 22~79 岁,平均(65.47±11.02)岁。实验室检查前列腺特异性抗原(prostate specific antigen, PSA)为 1.668~1000.000 ng/ml,中位数 100 ng/ml。

### 2. MR 检查方法

采用 Siemens Skyra 3.0T 磁共振扫描仪行常规 MR RS-EPI 和 SS-EPI 检查。常规 MRI 用体线圈为射频发射线圈,以腹部相控阵线圈为接收线圈。扫描前充盈膀胱,患者取仰卧位,扫描中心至耻骨联合上方 2.0 cm 处。前列腺局部行横轴面、矢状面和冠状面快速自旋回波 TSE T<sub>2</sub>WI 扫描,扫描参数:TR 6500 ms, TE 104 ms,层厚 3 mm,层距 0 mm,视野 180 mm×180 mm,激励次数 2,矩阵 384×307。薄层 T<sub>1</sub>WI 扫描参数:TR 750 ms, TE 13 ms,层厚 3 mm,层距 0 mm,视野 300 mm×356 mm,平均次数 1,矩阵 320×380。RS-EPI 扫描参数:TR 4800 ms, TE1 = 59 ms, TE2 = 95 ms,视野 260 mm×185 mm,矩阵 176×176,层厚 3 mm,层间距 0 mm,分段读出次数 13,回波间隙 0.30 ms。SS-EPI 扫描参数:TR 4500 ms, TE 85 ms,视野 260 mm×185 mm,矩阵 90×90,层厚 3 mm,层间距 0 mm,回波间隙 0.30 ms。DWI 扫描 b 值(扩散敏感系数)均采用 800 s/mm<sup>2</sup>。

### 3. 图像分析

主观评价:由两位放射科医师在图像存储与传输系统(picture archiving and communication system, PACS)系统进行独立评分(由第三位影像科医师负责将序列选出),阅片医师不知道患者的临床信息及扫描序列。采用 5 分法对病灶显示清晰程度、几何变形、空间分辨力及诊断信心进行评价<sup>[4]</sup>。①病灶显示清晰程度:1 分,病灶不可见;2 分,病灶模糊可见;3 分,病灶可见,边界模糊;4 分,病灶较清晰;5 分,病灶清晰。②图像变形评分标准:以 T<sub>2</sub>WI 图像为参照标准,观察直肠前列腺边缘是否变形、出现高信号亮线等。1 分,直肠不能辨认;2 分,直肠形态不清,辨认困难;3 分,直肠可以辨认;4 分,直肠前列腺轻微变形;5 分,直肠前列

腺没有变形。③空间分辨力评分标准:观察股骨头、骨小梁、臀大肌、闭孔内肌肌纤维束、脂肪间隙、精囊等结构细节并给出综合评分。1 分,结构不能辨认;2 分,结构模糊,辨别困难;3 分,结构显示欠清,但可辨认;4 分,结构显示尚可;5 分,结构显示清晰。④诊断信心评分标准:1 分,病变不能诊断;2 分,病变诊断困难;3 分,病变尚可诊断;4 分,病变可诊断;5 分,病变清晰诊断。每位放射科医生综合四项指标,评估最佳序列。

客观评价:MR 图像的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、对比度(contrast, C)、对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)由第三位影像科医生使用 Siemens 专业影像工作站进行分析,手动选取 ROI,测量肿瘤组织、闭孔内肌、图像背景内各区域的 MRI 信号强度,选择 ROI 时注意避免坏死区域(大小为 0.33~0.96 cm<sup>2</sup>)。选择图像均匀及图像背景内信号均匀的区域测量噪声强度。按下列公式计算 SNR、CNR 及 C。

$$SNR = \frac{SI_{ROI}}{SD_{noise}}$$

$$CNR = \frac{SI_{ROI} - SI_{muscle}}{SD_{noise}}$$

$$C = \frac{SI_{ROI}}{SI_{muscle}}$$

其中 SI<sub>ROI</sub> 是 b 值 = 800 mm<sup>2</sup>/s 的 DWI 图像中病变区域的信号强度, SI<sub>muscle</sub> 是闭孔内肌的信号强度, SD<sub>noise</sub> 为各图像背景(即空气)信号强度的标准差。

### 4. 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行统计学分析,采用 Kappa 一致性检验分析两位观察者之间的一致性。当数据不满足正态分布且方差不齐时采用秩和检验,满足正态分布且方差齐时采用 *t* 检验。RS-EPI 组的 MRI 评分与 SS-EPI 评分进行两两比较秩和检验, SNR、对比度、CNR 比较采用配对样本 *t* 检验。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 结果

### 1. 影像质量主观评分比较

RS-EPI 序列中,病灶显示清晰程度( $\kappa = 0.649, P < 0.001$ )、图像变形( $\kappa = 0.599, P < 0.001$ )、空间分辨力( $\kappa = 0.768, P < 0.001$ )、诊断信心( $\kappa = 0.622, P < 0.001$ )等方面两位医师的评分具有良好的一致性。SS-EPI 序列中,病灶显示清晰程度( $\kappa = 0.587, P < 0.001$ )、图像变形( $\kappa = 0.554, P < 0.001$ )、空间分辨力( $\kappa = 0.640, P < 0.001$ )、诊断信心( $\kappa = 0.597, P < 0.001$ )等方面两位医师的评分具有良好的一致性。两位观察者取得了中等或较好的一致性。

两位观察者对于 34 例前列腺肿瘤患者的图像质

量评分取均值,RS-EPI 和 SS-EPI 对病灶显示清晰程度分别为 4.56 和 3.85 分,几何变形分别为 4.34 和 3.28 分,空间分辨力分别为 4.41 和 2.84 分,诊断信心分别为 4.34 和 3.74 分。两组之间图像质量主观评分 4 个指标间差异均有统计学意义( $Z$  值分别为  $-3.282$ 、 $-4.804$ 、 $-5.157$ 、 $-3.510$ , $P$  值均 $<0.001$ )。

## 2. 两组 SNR、CNR、对比度的比较

RS-EPI 和 SS-EPI 组的 SNR、对比度、CNR 分别为  $173.49 \pm 66.79$  和  $234.78 \pm 85.53$ ;  $6.29 \pm 1.69$  和  $7.23 \pm 1.85$ ;  $144.98 \pm 57.21$  和  $202.13 \pm 78.59$ 。两组间 SNR、对比度、CNR 差异均有统计学意义( $t$  值分别为  $-4.030$ 、 $-4.379$ 、 $-4.289$ , $P$  值均 $<0.001$ )。

RS-EPI 在减少图像变形方面优于 SS-EPI( $Z = -4.804$ , $P < 0.001$ ),34 例患者中 3 例 SS-EPI 平均评分与 RS-EPI 等同,1 例高于 RS-EPI 评分。RS-EPI 的空间分辨力也高于 SS-EPI( $Z = -5.157$ , $P < 0.001$ )。SS-EPI 图像的 SNR、对比度、CNR 较 RS-EPI 序列有优势(图 1~4),RS-EPI 组较 SS-EPI 组 SNR 降低 26.11%,对比度降低 14.94%,CNR 降低 39.42%。然而,RS-EPI 在评价病灶显示清晰程度( $Z = -3.282$ , $P < 0.001$ )、诊断信心( $Z = -3.51$ , $P < 0.001$ )方面优于 SS-EPI。综合各项指标考虑,病例观察者 1 认为 88.24% (30/34) 的患者更适合采用 RS-EPI 序列,病例观察者 2 认为 85.29% (29/34) 的患者更适合采用 RS-EPI 序列。

## 讨论

目前临床常规使用的 DWI 序列是 SS-EPI,优点是对比度好,成像速度快,缺点是图像分辨力低,解剖结构细节显示不清,图像变形明显,尤其在高场强和高 b 值

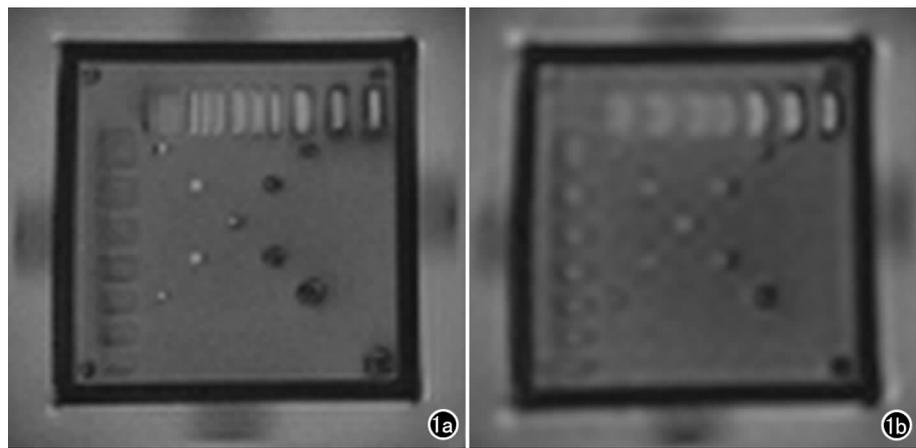


图 1 在体实验参数相同情况下获得的 RS-EPI 和 SS-EPI 图像,RS-EPI 图像变形小,空间分辨力明显高于 SS-EPI。a) RS-EPI 图像; b) SS-EPI 图像。

时<sup>[5]</sup>,不同组织交界面的磁化率差异很大,如直肠与前列腺交界处(70%的前列腺癌发生于前列腺外周带),导致局部出现图像变形和信号缺失,边缘部分出现异常高信号亮线,解剖部位显示不清,发生在这些部位的微小病变就容易被磁敏感伪影掩盖。这些不足在一定

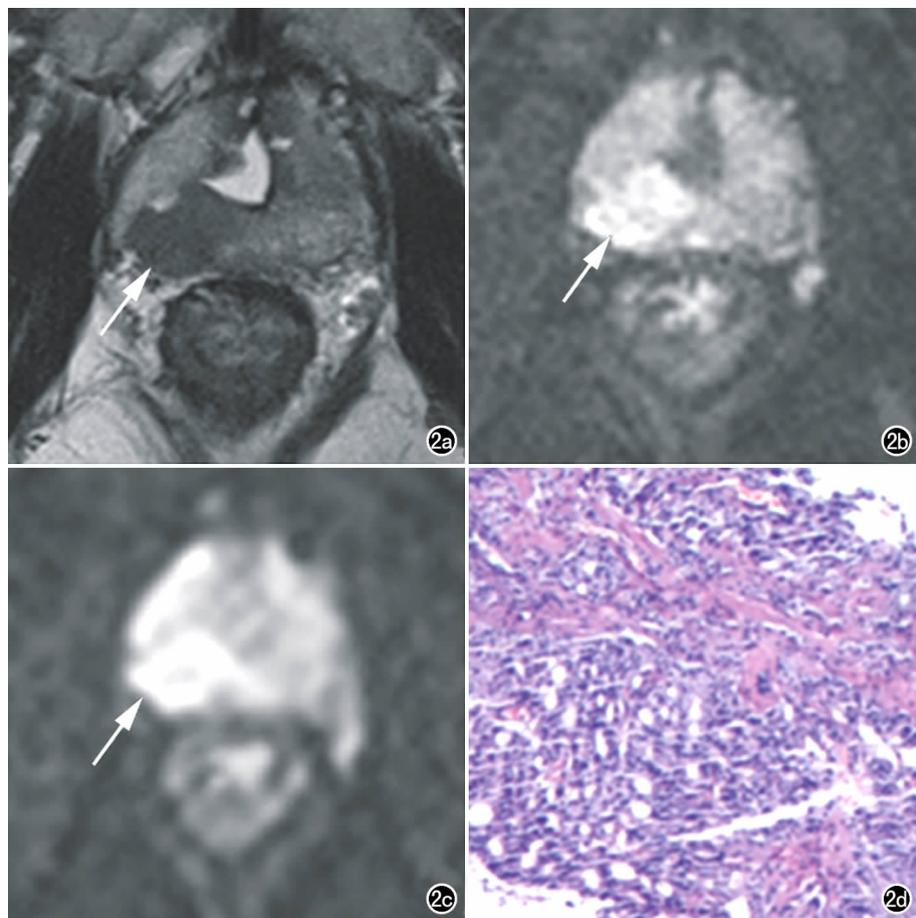


图 2 男,74 岁,前列腺增生经尿道前列腺电切术后前列腺右侧外周带前列腺肿瘤。a) 横轴面  $T_2$ WI 示右侧外周带低信号(箭); b) RS-EPI 图像示右侧外周带弥散受限呈高信号,边界清楚(箭),前列腺变形程度小,直肠黏膜清晰可见; c) SS-EPI 图像示右侧外周带弥散受限呈高信号,边界不清楚(箭),图像质量明显明显低于 SS-EPI; d) 穿刺活检标本镜下显示前列腺癌组织( $\times 200$ ,HE)。

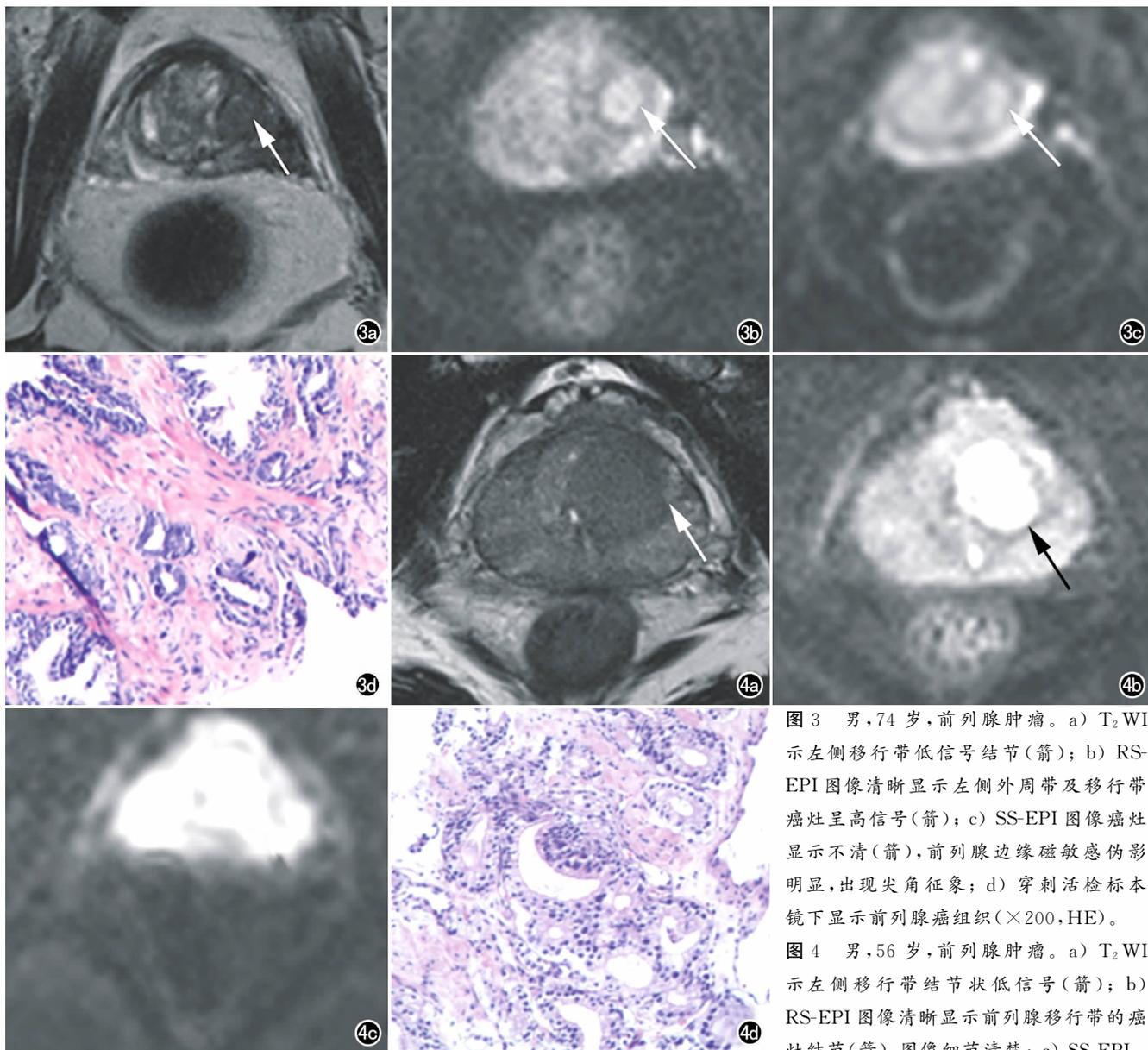


图3 男,74岁,前列腺肿瘤。a)  $T_2$ WI 示左侧移行带低信号结节(箭); b) RS-EPI 图像清晰显示左侧外周带及移行带癌灶呈高信号(箭); c) SS-EPI 图像癌灶显示不清(箭),前列腺边缘磁敏感伪影明显,出现尖角征象; d) 穿刺活检标本镜下显示前列腺癌组织( $\times 200$ , HE)。

图4 男,56岁,前列腺肿瘤。a)  $T_2$ WI 示左侧移行带结节状低信号(箭); b) RS-EPI 图像清晰显示前列腺移行带的癌灶结节(箭),图像细节清楚; c) SS-EPI

图像示前列腺变形明显,后缘磁敏感伪影严重,出现异常高信号亮线,无法辨别是癌灶还是伪影; d) 穿刺活检标本镜下显示前列腺癌组织( $\times 200$ , HE)。

程度上限制了 DWI 在前列腺癌微小病灶检出的应用,而 Porter 等<sup>[6]</sup>提出的 RS-EPI 序列,它包括一个用于采样标准读出分段 EPI 数据的成像回波和一个 2D 导航回波,这种方法在读出方向上使用数个串联的节段,这些节段使得读出梯度脉冲的时间更短,从而减少了由磁敏感导致的畸变。RS-EPI 同时支持全自动校准部分并行采集 (generalized autocalibrating partially parallel acquisition, GRAPPA) 技术,进一步减低了磁敏感伪影。

本研究结果证实,与 SS-EPI 相比,RS-EPI 的病灶显示清晰程度、图像变形、图像分辨率、诊断信心均高于 SS-EPI,提示 RS-EPI 组图像磁敏感伪影少,图像细节信息丰富,变形程度轻微,解剖细节显示清楚,能够提高医生的诊断信心,这与其他学者的研究结果相一

致<sup>[4,7]</sup>。Bogner 等曾经比较了 RS-EPI 与 SS-EPI 在乳腺中的应用,认为 RS-EPI 能够明显提高图像质量,与 SS-EPI 相比,RS-EPI 鉴别乳腺良恶性肿瘤的准确率更高。相关学者尝试将 RS-EPI 应用于颅底疾病的诊断,结果发现 RS-EPI 在减小图像变形、病灶显示清晰程度、提高空间分辨率等方面优势明显,明显提高了医师的诊断信心。RS-EPI 明显降低了图像的磁敏感伪影,提高了图像分辨率,为高场强、高分辨力成像提供了可能性<sup>[8,9]</sup>。

本组结果显示 RS-EPI 的 SNR 稍低于 SS-EPI,这与其他学者的报道相一致<sup>[10]</sup>,这可能与 RS-EPI 序列明显增高了空间分辨率有关<sup>[11]</sup>,SS-EPI 序列图像体素大,信噪比高。本组结果显示,RS-EPI 序列的对比度和 CNR 稍低于 SS-EPI 序列,对于图像质量,良好

的对比度和 CNR 是非常重要的, 因为有价值的图像必须在病灶与周围正常组织之间表现出足够的对比度。然而, 对于前列腺肿瘤而言, 常常因为直肠前列腺交界处的磁敏感伪影而掩盖病灶, 特别是较小的病灶, RS-EPI 图像对病灶细微结构的分辨能力及减少变形能力对病灶的检出意义更大。本研究中, 综合各项指标考虑, 病例观察者 1 认为 88.24%(30/34) 的患者更适合采用 RS-EPI 序列, 病例观察者 2 认为 85.29%(29/34) 的患者更适合采用 RS-EPI 序列。

综上所述, RS-EPI 序列作为一种新的扩散加权成像方式, 明显提高了图像质量, 对前列腺微小病灶的检出具有很大的应用潜能, 未来需要更大样本的深入研究, 必将使得 RS-EPI 序列的临床应用更广泛。RS-EPI 与 SS-EPI 序列相比具有图像变形小、解剖细节显示清楚的优势, 提高了放射科医生的诊断信心, 特别是当病灶较小或直肠内气体干扰前列腺而变形明显时, RS-EPI 是传统 SS-EPI 的一种重要补充序列。

#### 参考文献:

[1] Osugi K, Tanimoto A, Nakashima J, et al. What is the most effective tool for detecting prostate cancer using a standard MR scanner? [J]. Magn Reson Med Sci, 2013, 12(4): 271-280.

[2] Wang L. Incremental value of magnetic resonance imaging in the advanced management of prostate cancer [J]. World J Radiol, 2009, 1(1): 3-14.

[3] Holdsworth SJ, Skare S, Newbould RD, et al. Readout-segmented EPI for rapid high resolution diffusion imaging at 3T [J]. Eur J

Radiol, 2008, 65(1): 36-46.

[4] Yeom KW, Holdsworth SJ, Van AT, et al. Comparison of readout-segmented echo-planar imaging (EPI) and single-shot EPI in clinical application of diffusion-weighted imaging of the pediatric brain [J]. AJR, 2013, 200(5): 437-443.

[5] Frost R, Porter DA, Miller KL, et al. Implementation and assessment of diffusion-weighted partial fourier readout-segmented echo-planar imaging [J]. Magn Reson Med, 2012, 68(2): 441-451.

[6] Porter DA, Heideman RM. High resolution diffusion-weighted imaging using readout-segmented echo-planar imaging, parallel imaging and a two-dimensional navigator-based reacquisition [J]. Magn Reson Med, 2009, 62(2): 468-475.

[7] Holdsworth SJ, Yeom K, Skare S, et al. Clinical application of readout-segmented echo-planar imaging for diffusion-weighted imaging in pediatric brain [J]. AJNR, 2011, 32(7): 1274-1279.

[8] Holdsworth SJ, Skare S, Newbould RD, et al. Robust GRAPPA-accelerated diffusion-weighted readout-segmented (RS)-EPI [J]. Magn Reson Med, 2009, 62(6): 1629-1640.

[9] Reishofer G, Koschutnig K, Langkammer C, et al. Time-optimized high-resolution readout-segmented diffusion tensor imaging [J]. PLoS One, 2013, 8(9): e74156.

[10] Bogner W, Pinker-Domenig K, Bickel H, et al. Readout-segmented echo-planar imaging improves the diagnostic performance of diffusion-weighted MR breast examinations at 3.0T [J]. Radiology, 2012, 263(1): 64-76.

[11] Link TM, Majumdar S, Peterfy C, et al. High resolution MRI of small joints: impact of spatial resolution on diagnostic performance and SNR [J]. Magn Reson Imaging, 1998, 16(2): 147-155.

(收稿日期: 2014-03-14 修回日期: 2014-04-21)

## 《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目, 该栏目以临床上少见或容易误诊的病例为素材, 杂志在刊载答案的同时配发专家点评, 以帮助影像医生更好地理解相关影像知识, 提高诊断水平。栏目开办 6 年来受到广大读者欢迎。《请您诊断》栏目荣获第八届湖北精品医学期刊“特色栏目奖”。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿, 并积极参与《请您诊断》有奖活动, 稿件一经采用稿酬从优。

《请您诊断》来稿格式要求: ①来稿分两部分刊出, 第一部分为病例资料和图片; 第二部分为全文, 即病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等); ②来稿应提供详细的病例资料, 包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料; ③来稿应提供具有典型性、代表性的图片, 包括横向图片(X线、CT 或 MRI 等不同检查方法得到的影像资料, 或某一检查方法的详细图片, 如 CT 平扫和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料, 最好附上病理图片), 每帧图片均需详细的图片说明, 包括扫描参数、序列、征象等, 病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页, 第二部分请参见 2 个月后的杂志最后一页, 如第一部分问题在 1 期杂志正文首页, 第二部分答案则在 3 期杂志正文末页)

栏目主持: 石鹤 联系电话: 027-83662875 15926283035