

## 自适应图像接收线圈应用于仰卧位乳腺磁共振成像研究

李华玲, 曹晓乐, 柳秋风

**【摘要】 目的:**本文探讨了自适应图像接收(AIR)线圈在仰卧位乳腺磁共振成像的可行性。**方法:**纳入 53 例乳腺磁共振检查的患者作为研究对象,仰卧位检查时采用 AIR 线圈,与常规俯卧位乳腺线圈成像进行图像质量对比,包括图像信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、对比度、图像伪影、清晰度和整体评分。同时,对不同体位图像病灶显示能力进行评估,对比不同体位图像病灶 SNR、CNR、病灶边缘清晰度;并比较病灶的最大长径、病灶距乳头和胸骨中点的距离。**结果:**仰卧位 T<sub>2</sub> WI 图像的对比度高于俯卧位(0.59±0.02 vs. 0.54±0.01),DWI 图像脂肪 SNR 高于俯卧位(12.08±2.95 vs. 9.31±0.91),T<sub>2</sub> WI 图像病灶的 SNR 大于俯卧位(120.41±31.86 vs. 34.25±4.60),且仰卧位病灶距离胸骨中点的距离大于俯卧位(113.99±2.03 vs. 86.64±2.14),差异有统计学意义(P<0.05)。仰卧位图像在伪影、清晰度和整体评分与俯卧位无统计学差别。病灶边缘的显示两种体位无差别。**结论:**采用 AIR 线圈的仰卧位乳腺磁共振成像与常规俯卧位图像质量、病灶的评估效能大致相仿,值得推广。

**【关键词】** 乳腺; 磁共振成像; 仰卧位

**【中图分类号】** R323.21;R445.2;R336 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)06-0802-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.06.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Application of adaptive image receiving coil in supine breast imaging: a preliminary study** LI Hua-ling, CAO Xiao-le, LIU Qiu-feng. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China.

**【Abstract】 Objective:** This paper discussed the feasibility and clinical value of adaptive image reception (AIR) coil in supine breast magnetic resonance imaging. **Methods:** A total of 53 patients who underwent MRI examination were included. AIR coil was used during supine MRI examination, and image quality was compared with that in prone position, including image signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), contrast ratio (CR), artifact, sharpness and overall score. The display ability of lesions was evaluated, and the SNR, CNR and edge definition of lesions in different body positions were compared. The maximum length diameter of the lesion and the distance between the lesion and the midpoint of the nipple and sternum were recorded and measured. **Results:** The CR of T<sub>2</sub> images in supine position was higher than that in prone position (0.59±0.02 vs. 0.54±0.01), and the SNR of fat in diffusion weighted image supine position was higher than that in prone position (12.08±2.95 vs. 9.31±0.91). In T<sub>2</sub> images, the signal-to-noise ratio of the lesion in supine position was higher than that in prone position (120.41±31.86 vs. 34.25±4.60), and the distance from the lesion to the midpoint of the sternum in supine position was larger than that in prone position (113.99±2.03 vs. 86.64±2.14), with statistical significance (P<0.05). There was no significant difference in artifacts, sharpness and overall score between supine and prone images. The edge definition of lesions showed no statistical difference between the two positions. **Conclusion:** This study verified the feasibility of AIR coil in supine breast MRI. The use of AIR coil result in the similar image quality between supine and prone position, which is worth for clinical use.

**【Key words】** Mammary glands; Magnetic resonance imaging; Supine position

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

作者简介: 李华玲(1981—), 女, 湖北荆门人, 本科, 主管护师, 主要从事磁共振新技术应用研究。

通讯作者: 柳秋风, E-mail: 810380785@qq.com

基金项目: 湖北省卫生健康委 2023—2024 年度科研项目基金资助项目(WJ2023M012)

乳腺癌是女性最常见恶性肿瘤,对女性身心健康造成严重威胁<sup>[1-3]</sup>。2020 年全球癌症统计报告我国新增乳腺癌患者约 41 万例,占全球新增病例 18%,且呈发病率快速上升、发病年轻化趋势<sup>[4]</sup>。磁共振成像具有无辐射,软组织病变分辨率高的优点。它可提供病变形态学与功能信息,在发现及评价乳腺病灶方面具有很大优势,因而越来越多地用于乳腺癌早期筛查、术前诊断及新辅助化疗的疗效随访<sup>[5-11]</sup>。为保证成像的准确性和可重复性,乳腺磁共振一般采用俯卧位扫描,这与患者手术时的体位不符,存在病变位置信息不匹配的问题<sup>[12,13]</sup>。能否在患者仰卧时获得具有诊断价值的磁共振成像逐渐被越来越多的学者和外科医生所关注。

为了保证图像的信噪比,俯卧位乳腺磁共振采用专用的乳腺线圈,该线圈显然无法进行仰卧位乳腺成像;而传统的体部阵列线圈由较硬的材料构成,贴合度很差,且自重较大,难以广泛应用于仰卧位乳腺成像。近年来,具有高度柔性、重量较轻、高线圈密度(较高的信噪比和较好的图像质量)的自适应图像接收(adaptive image receive, AIR)射频线圈已经逐步应用于肺部、肝脏成像,取得很好的效果<sup>[14-16]</sup>。本文将 AIR 超柔射频线圈应用于仰卧位乳腺磁共振成像,与传统的俯卧位图像进行对比,探讨 AIR 线圈在仰卧位乳腺磁共振成像的可行性。

## 材料与方法

### 1. 研究对象

纳入 2022 年 1—11 月在本院放射科进行乳腺磁共振检查的 53 例女性患者作为研究对象。纳入标准:①磁共振检查前未做手术。②可据引导顺利完成检查。排除标准:①磁共振检查禁忌证如幽闭恐惧症、金属植入物等。②影像资料或临床资料不全者。本研究获得医院伦理委员会批准且所有参与人均签署知情同意书。

### 2. 检查方法

检查设备为一台 3.0T 的磁共振扫描仪(SIGNA, Architect, GE Healthcare)。患者俯卧位检查时采用专用的 16 通道乳腺阵列线圈;俯卧位扫描完成后嘱患者仰卧,采用 30 通道 AIR 超柔线圈进行扫描。扫描的序列包括常规序列和增强序列,俯卧位部分序列参数:①轴面 T<sub>1</sub> 快速自旋回波(fast spin echo, FSE)序列,扫描参数:TR 457 ms, TE 6.4 ms, 带宽 326 Hz, 层厚 5 mm, 层间距 0.5 mm);②轴面 T<sub>2</sub> 压脂(fat saturation, FS)序列,扫描参数:TR 3642 ms, TE 78.4 ms, 带宽 83 Hz, 层厚 5 mm, 层间距 0.5 mm);③轴面弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)序列,扫描

参数:TR 6351 ms, TE 75 ms, 带宽 250 Hz, 层厚 5 mm, 层间距 0.5 mm, b 值 0、1000 s/mm<sup>2</sup>。仰卧位只扫描 T<sub>2</sub> 和 DWI 序列。

### 3. 图像质量评估

将所有图像导入 GE AW4.7 工作站进行后处理。本文评估了在诊断中比较重要的 T<sub>2</sub> 序列和 DWI 序列的图像。由一名具有 10 年乳腺诊断经验的放射科医生和一名具有 15 年诊断经验的医生进行图像质量评估。评价两者的一致性,如不一致讨论后以两者共识为准。图像质量评估分为客观评价和主观评价两部分。

客观评价:测量脂肪组织和腺体组织的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)并计算对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)和对比度(contrast ratio, CR)。测量方法为:选择 3 个连续层面,在腺体和脂肪组织上画圆形兴趣区(region of interest, ROI), ROI 的面积固定为 10 mm<sup>2</sup>,记录腺体组织和脂肪组织的信号强度(signal intensity, SI)和噪声标准差(standard deviation, SD),并计算均值。将脂肪组织的 SD 定义为背景噪声,计算公式:SNR<sub>腺体</sub> = SI<sub>腺体</sub>/SD<sub>腺体</sub>, SNR<sub>脂肪</sub> = SI<sub>脂肪</sub>/SD<sub>脂肪</sub>, CNR = (SI<sub>腺体</sub> - SI<sub>脂肪</sub>)/SD<sub>背景</sub>, CR = (SI<sub>腺体</sub> - SI<sub>脂肪</sub>)/(SI<sub>腺体</sub> + SI<sub>脂肪</sub>)。

主观评价:由两名医生进行图像质量评分。评分采用 4 分制,得分越高越好。①伪影:1 分,伪影严重无法诊断;2 分,有明显伪影;3 分,有轻微伪影;4 分,无伪影。②图像清晰度:1 分,不清晰,无法诊断;2 分:一般清晰;3 分:清晰;4 分:十分清晰。③图像的整体质量:1 分,差;2 分,一般;3 分,较好;4 分,好。

病灶的评估:根据患者的图像信息以及临床信息,筛选出有病灶的患者。在图像上对病灶的边缘清晰度进行评分,采用 4 分制:1 分,不清晰,无法诊断;2 分:一般清晰;3 分:清晰;4 分:十分清晰。分别在 T<sub>2</sub> 和 DWI 图像上测量病灶的 SI 和 SD,方法为,选择病灶最大显示层面,ROI 大小尽量包括整个病灶,记录病灶的 SI 和 SD 并计算病灶的 SNR 和 CNR。计算公式:SNR<sub>病灶</sub> = SI<sub>病灶</sub>/SD<sub>病灶</sub>; CNR<sub>病灶</sub> = (SI<sub>病灶</sub> - SI<sub>腺体</sub>)/SD<sub>背景</sub>。在图像上测量并记录病灶的最大长径、病灶中心距离乳头中心和胸骨中心的距离,测量病灶中心层面与胸骨底部层面之间的轴位间距。必要时采用三维重建。测量病灶和病灶对侧乳腺腺体的表面弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)。

### 4. 统计学方法

采用的统计学软件为 SPSS 23.0。所有数据进行正态性验证,用均值±标准差形式表示。对于仰卧位和俯卧位数据的差别,采用非参数的 Mann-Whitney U 检验。采用 Pearson 检验评价病灶和对侧腺体两种

体位的 ADC 值的相关性。对两位医生的图像评分采用 Kappa 一致性检验,  $Kappa > 0.75$  为一致性良好。 $P < 0.05$  为差别具有统计学意义。

## 结果

根据患者的图像和临床信息, 53 例检查者中最终确定有病灶患者 31 例。其中 2 例具有多病灶, 在数据分析时只选取最大病灶。53 例检查者的平均年龄为  $(42.60 \pm 1.62)$  岁, 31 例有病灶的患者的平均年龄为  $(42.87 \pm 2.64)$  岁。两名医生的图像评分一致性良好 ( $kappa$  值  $0.815 \sim 0.974$ )。图像质量对比中俯卧位  $T_2$  序列脂肪的 SNR 高于仰卧位, 而俯卧位  $T_2$  序列图像的 CR 和 DWI 序列的脂肪的 SNR 均低于仰卧位 ( $P < 0.05$ )。两种体位  $T_2$  序列和 DWI 序列的图像伪影、清晰度和总体评分无统计学差异, 说明仰卧位获得的图像质量与仰卧位一致(表 1)。

病灶显示能力的评估中两组图像的病灶边缘清晰度并无差别,  $T_2$  图像病灶仰卧位的信噪比大于俯卧位。在病灶的大小和位置改变方面, 仰卧位和俯卧位的病灶的最大长径无差别, 仰卧位时病灶离胸骨中点

的距离和乳头的距离均大于俯卧位, 说明病灶有向身体外侧移动的趋势(图 1、2)。从俯卧位到仰卧位病灶层面与胸骨底部层面的层间距无差别, 19 例患者间距增大, 12 例患者间距减小。病灶组织两种体位的 ADC 值显示显著正相关 ( $r = 0.882, P < 0.05$ )。腺体组织的两种体位的 ADC 值也是显著正相关 ( $r = 0.754, P < 0.05$ , 表 2)。

## 讨论

磁共振具有无创、无辐射的优点, 其不受乳腺密度影响, 能清晰显示病变形态、内部结构和周围组织的关系, 在乳腺疾病诊断中具有重要的作用<sup>[17]</sup>。传统的乳腺成像技术为了保证图像的质量, 通常要求患者俯卧位并配有专用的乳腺线圈。手术是治疗乳腺癌的重要方法之一, 尤其是最新兴的保乳术, 更需要精准的掌握患者的病灶信息。术前磁共振具有指导意义, 但俯卧位磁共振的病灶信息与仰卧位有偏差, 影响手术时的判断<sup>[12, 13, 18]</sup>。

影响仰卧位图像质量的重要因素之一是线圈, 仰卧位患者覆盖传统线圈时, 存在贴合度差的问题, 严重

表 1 两种序列不同体位的参数比较

对比的参数	俯卧位	仰卧位	Z 值	P 值
<b><math>T_2</math> 序列</b>				
SNR 脂肪	$11.38 \pm 0.58$	$9.58 \pm 0.56$	-2.493	0.013
SNR 腺体	$13.63 \pm 0.63$	$14.05 \pm 0.80$	-0.028	0.977
CNR	$26.83 \pm 1.39$	$28.31 \pm 1.60$	-0.427	0.670
对比度	$0.54 \pm 0.01$	$0.59 \pm 0.02$	-2.272	0.023
伪影(分)	$3.79 \pm 0.06$	$3.87 \pm 0.05$	-1.030	0.303
图像清晰度(分)	$3.76 \pm 0.07$	$3.87 \pm 0.05$	-1.292	0.196
图像的整体评价(分)	$3.79 \pm 0.06$	$3.93 \pm 0.04$	-1.941	0.052
<b>DWI 序列</b>				
SNR 脂肪	$9.31 \pm 0.91$	$12.08 \pm 2.95$	-2.000	0.046
SNR 腺体	$23.61 \pm 3.04$	$20.51 \pm 2.07$	-0.496	0.620
CNR	$58.79 \pm 10.57$	$105.38 \pm 43.29$	-1.248	0.212
对比度	$0.69 \pm 0.02$	$0.69 \pm 0.02$	-0.066	0.947
伪影(分)	$3.76 \pm 0.07$	$3.89 \pm 0.04$	-1.573	0.116
图像清晰度(分)	$3.74 \pm 0.07$	$3.79 \pm 0.06$	-0.509	0.611
图像的整体评价(分)	$3.76 \pm 0.07$	$3.91 \pm 0.04$	-1.867	0.062

表 2 仰卧位和俯卧位在病灶显示的参数差别

对比的参数	俯卧位	仰卧位	Z 值	P 值
病灶的最大长径(mm)	$17.45 \pm 2.54$	$15.69 \pm 2.44$	-0.908	0.364
病灶与胸骨中点的距离(mm)	$86.64 \pm 2.14$	$113.99 \pm 2.03$	-6.150	0.001
病灶离乳头的距离(mm)	$32.07 \pm 1.89$	$51.57 \pm 2.97$	-0.260	0.001
病灶与胸骨底部的层间距(mm)	$61.61 \pm 3.27$	$65.16 \pm 3.45$	-0.772	0.440
病灶边缘清晰度(分)	$3.84 \pm 0.07$	$3.97 \pm 0.03$	-1.704	0.088
$T_2$ 序列病灶的 SNR	$34.25 \pm 4.60$	$120.41 \pm 31.86$	-5.653	0.001
$T_2$ 序列病灶的 CNR	$27.54 \pm 4.90$	$29.70 \pm 6.69$	-0.458	0.647
DWI 序列病灶的 SNR	$40.49 \pm 7.42$	$55.89 \pm 10.81$	-1.894	0.170
DWI 序列病灶的 CNR	$70.08 \pm 20.89$	$92.19 \pm 25.87$	-0.176	0.860
病灶 ADC 值( $10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ )	$1.12631 \pm 0.08246$	$1.21607 \pm 0.07549$		*
腺体 ADC 值( $10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ )	$1.76145 \pm 0.05894$	$1.79950 \pm 0.05776$		*

注: \* 代表显著正相关, 采用 Pearson 检验, 对于病灶和腺体组织, 两种体位的 ADC 值均具有显著正相关 ( $r = 0.882, P < 0.05, r = 0.754, P < 0.05$ )。

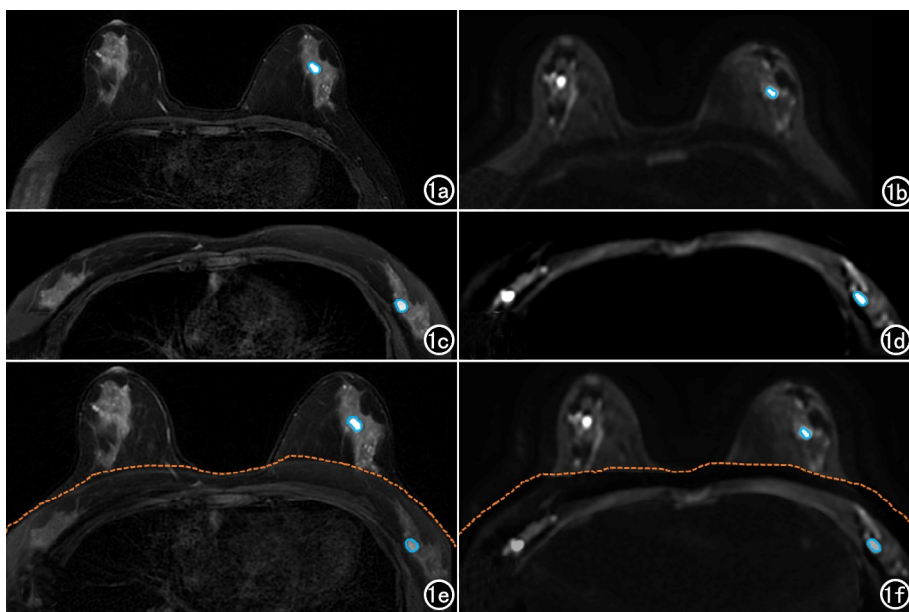


图 1 女,49 岁,仰卧位和俯卧位的图像。图像中蓝色圆圈为患者的病灶,类圆形长  $T_2$  信号灶,伴弥散受限。a) 俯卧位  $T_2$  图像;b) 俯卧位 DWI 图像;c) 仰卧位  $T_2$  图像;d) 仰卧位 DWI 图像;e) 仰卧位和俯卧位图像软件合成的  $T_2$  图像,黄色虚线为皮肤边界;f) DWI 图像的合成图。

影响图像的信噪比。一些自行设计线圈的报道但依然存在贴合性差,信噪比低的问题或者结构过于复杂沉重<sup>[19]</sup>。AIR 线圈以集成电容纤维环作为线圈单元材料,减轻了质量而增加了灵活性,能有效克服线圈单元

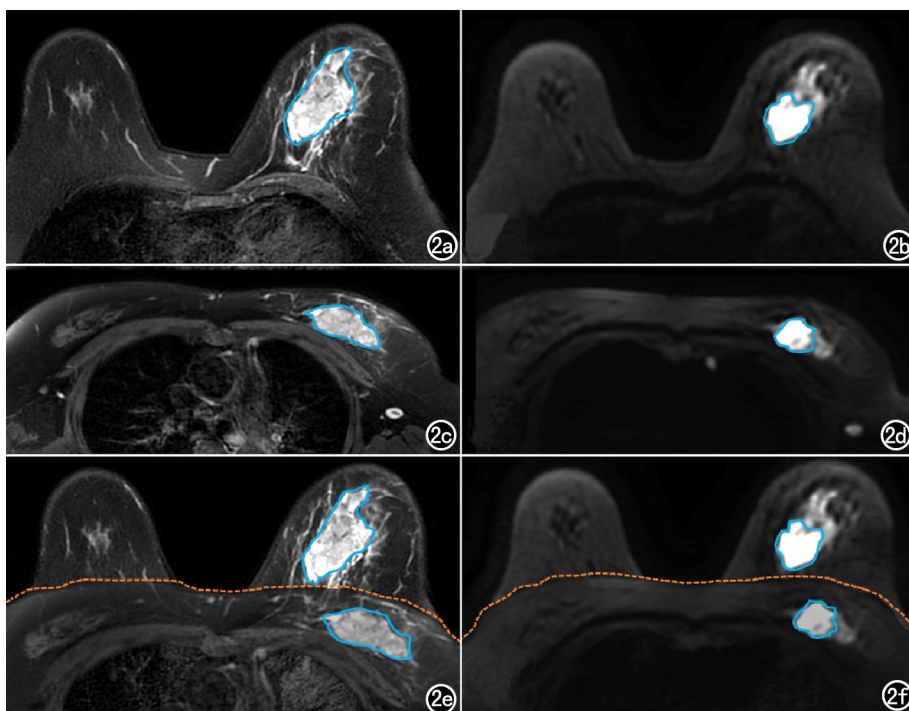


图 2 女,54 岁,乳腺肿瘤患者的仰卧位和俯卧位的图像。图像中蓝色圆圈为患者的病灶。a) 俯卧位  $T_2$  图像;b) 俯卧位 DWI 图像;c) 仰卧位  $T_2$  图像;d) 仰卧位 DWI 图像;e) 仰卧位和俯卧位图像软件合成的示意图,黄色虚线为皮肤边界;f) DWI 图像的合成图。

之间的互感效应,实现最大密度线圈单元通道分布,实现了更多的通道数和更好的贴合性<sup>[20]</sup>,已经被应用于肺部和肝脏的成像中。本文使用 AIR 线圈用于仰卧位磁共振图像采集,并与仰卧位的图像进行对比。对于  $T_2$  图像仰卧位获得图像,乳腺脂肪组织的信噪比低于俯卧位,但腺体组织的信噪比以及腺体与脂肪之间的对比噪声比并无统计学差别,仰卧位的图像对比度高于俯卧位图像。结合图像的主观评分可看出对于  $T_2$  图像,仰卧位与俯卧位的图像质量大致相仿。DWI 序列也有类似的结果,说明如采用 AIR 线圈可获得和俯卧位图像质量接近的仰卧位图像,为仰卧位乳腺磁共振的推广的可行性提供了有力论据。

对于乳腺手术,病灶显示的大小和位置信息非常重要。俯卧位时乳房自然下垂,未受压迫,在手术时,患者采用仰卧位,双手上举,所有组织会皮肤张力而变形,尤其是脂肪。病灶也会产生形变和位移。因此本文分析了不同体位病灶的显示效果和病灶位置的变化。两种体位下病灶的边缘都能清晰的显示, $T_2$  图像病灶的 SNR,仰卧位要远高于俯卧位。病灶的最大长径无差别,与文献的结果相符<sup>[18]</sup>。相对于俯卧位,仰卧位时患者病灶距胸骨中心的距离和乳头中心的距离均变大,这是因为在重力的作用下仰卧位的乳房更加贴近身体,乳房向两侧的延展使病灶向身体外侧移动<sup>[18]</sup>。病灶的中心层面与胸骨底部层面的距离,反应了病灶轴面方向的移动,其中 19 例距离增大,12 例减少,说明仰卧位时病灶趋向头侧,这可能是仰卧位患者手臂上举拉动皮肤的原因。两种体位的图像的 ADC 值具有很好的相关性,为后期的定量测量提供基础。

本文的不足之处:①样本量较小,后期会纳入更多的患者。②本文没有研究增强序列的差别,考虑

到本文是对 AIR 线圈可行性的初步验证,增强序列需要使用对比剂,对患者造成额外负担。所以本文重点分析了可以提供重要诊断信息的 T<sub>2</sub> 序列和 DWI 序列。

本文验证了 AIR 线圈在仰卧位乳腺磁共振的可行性,采用 AIR 线圈的仰卧位图像和采用乳腺线圈的俯卧位图像的图像质量基本相同,AIR 线圈应用于仰卧位乳腺磁共振扫描具有非常大的潜力,值得推广。

#### 参考文献:

- [1] Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Cancer statistics for the year 2020: An overview[J]. *International J Cancer*, 2021, 149(4): 778-789.
- [2] 罗红兵,王春华,刘圆圆,等.乳腺癌术前 MRI 特征对保乳术中切缘阳性的预测价值分析[J]. *放射学实践*, 2022, 37(3): 318-324.
- [3] 徐凡,彭丽君,梁莹莹,等.基于 MR 早期动态增强的影像组学标签鉴别乳腺良恶性病变的价值[J]. *放射学实践*, 2021, 36(1): 66-70.
- [4] 肖佳龙,郑莹.各国乳腺癌筛查指南中一般风险对象筛查方案的比较[J]. *中国肿瘤*, 2021, 30(9): 648-653.
- [5] 陈谦谦,薛恩生.超声钼靶 X 线联合 MRI 在乳腺癌术前评价中的应用[J]. *中国医学影像学杂志*, 2012, 20(2): 148-152.
- [6] Moore SG, Shenoy PJ, Fanucchi L, et al. Cost-effectiveness of MRI compared to mammography for breast cancer screening in a high risk population[J]. *BMC Health Services Research*, 2009, 9: 1-8.
- [7] Turnbull L, Brown S, Harvey I, et al. Comparative effectiveness of MRI in breast cancer (COMICE) trial: a randomised controlled trial[J]. *The Lancet*, 2010, 375(9714): 563-571.
- [8] Uematsu T. MRI findings of inflammatory breast cancer, locally advanced breast cancer, and acute mastitis: T<sub>2</sub>-weighted images can increase the specificity of inflammatory breast cancer [J]. *Breast Cancer (Tokyo, Japan)*, 2012, 19(4): 289-294. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22351245/>
- [9] Tilanus-Linthorst MM, Saadatmand S, Geuzinge AH, et al. Abstract p6-13-01: MRI breast cancer screening compared to mammography in women with a familial risk: a multicenter randomized controlled trial[C]. *Cancer Research*, 2019, 79(4 Supplement): P6-13-01-P6-13-01.
- [10] Houssami N, Cuzick J, Dixon JM. The prevention, detection, and management of breast cancer[J]. *Medical Journal of Australia*, 2006, 184(5): 230-234. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00208.x>
- [11] Al-Hallaq HA, Mell LK, Bradley JA, et al. Magnetic resonance imaging identifies multifocal and multicentric disease in breast cancer patients who are eligible for partial breast irradiation[J]. *Cancer*, 2009, 20(9): 278-279.
- [12] Fausto A, Fanizzi A, Volterrani L, et al. Feasibility, image quality and clinical evaluation of contrast-enhanced breast MRI performed in a supine position compared to the standard prone position[J]. *Cancers*, 2020, 12(9): 2364.
- [13] Joukainen S, Masarwah A, Könönen M, et al. Feasibility of mapping breast cancer with supine breast MRI in patients scheduled for oncoplastic surgery [J]. *Eur radiology*, 2019, 29(3): 1435-1443.
- [14] 梁文瑛,马丽荣,郭家璇,等.对比自适应图像接收线圈与常规前部阵列线圈采集肺结节零回波时间序列图像质量[J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(10): 1556-1560. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2022.10.025.
- [15] Fukui H, Onishi H, Nakamoto A, et al. Impact of adaptive image receive coil technology for liver MR imaging at 3.0 Tesla: Intra-individual comparison with use of conventional coil[J]. *Eur J Radiology*, 2022, 150: 110271.
- [16] Bae K, Jeon KN, Hwang MJ, et al. Application of highly flexible adaptive image receive coil for lung MR imaging using zero TE sequence: comparison with conventional anterior array coil[J]. *Diagnostics*, 2022, 12(1): 148.
- [17] 雷益,朱嘉英,李顶夫,等.乳腺疾病的 X 线钼靶与 MRI 对比研究[J]. *中华放射学杂志*, 2004, 38(8): 864-867. DOI: 10.3760/j.issn:1005-1201.2004.08.018.
- [18] Wang CB, Lee S, Kim T, et al. Breast tumor movements analysis using MRI scans in prone and supine positions[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 4858.
- [19] Siegler P, Holloway CMB, Causer P, et al. Supine breast MRI[J]. *J Magnetic Resonance Imaging*, 2011, 34(5): 1212-1217.
- [20] 宋春虎,陈巧燕,车韶,等.磁共振成像超柔射频接收线圈研究进展[J]. *生命科学仪器*, 2022, 20(2): 4-16.

(收稿日期:2023-05-29 修回日期:2023-11-04)