

自适应图像接收线圈与传统专用线圈在乳腺磁共振检查中的应用比较

彭康强,戴心仪,刘辉明,何妮,江琳玲,钟林昌,谢传森
中山大学肿瘤防治中心影像科/华南恶性肿瘤防治全国重点实验室,广东 广州 510060

【摘要】目的:比较自适应图像接收(AIR)线圈与传统乳腺专用线圈在乳腺磁共振(MR)成像中的应用,以期在保证图像质量的基础上提高受检者乳腺MR检查舒适度,为乳腺MR检查中线圈选择提供新方案。**方法:**对2023年1~3月在中山大学肿瘤防治中心行乳腺MR检查的34例健康女性受检者,分别采用两种射频线圈行乳腺MR检查。检查前后各发放调查问卷1份,收集受检者个人基本信息及检查舒适度情况;对比在两种线圈下T₂WI fs和MUSE-DWI序列中的图像信噪比、表观弥散系数值,并由2名高年资医师对图像质量进行主观评价;分析舒适度及图像质量,比较两种线圈在乳腺MR检查中的优劣。**结果:**AIR线圈舒适度优于乳腺专用线圈,差异有统计学意义($P<0.05$);AIR线圈下T₂WI fs、MUSE-DWI序列信噪比均高于乳腺专用线圈图像,差异有统计学意义($P<0.05$),两组图像表观弥散系数值之间,差异无统计学意义($P>0.05$);AIR线圈下T₂WI fs序列主观图像质量低于乳腺专用线圈图像,差异有统计学意义($P<0.05$),MUSE-DWI序列两组图像主观评价差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**乳腺MR检查中,AIR线圈舒适度优于传统乳腺专用线圈,具有一定的临床应用及推广价值。

【关键词】线圈;乳腺;磁共振成像;舒适度

【中图分类号】R318;R816.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)09-1091-07

Comparison of adaptive image receiving coil and traditional coil in breast magnetic resonance imaging

PENG Kangqiang, DAI Xinyi, LIU Huiming, HE Ni, JIANG Linling, ZHONG Linchang, XIE Chuanmiao

State Key Laboratory of Oncology in South China/Department of Medical Imaging, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To compare the applications of adaptive image receiving (AIR) coil and traditional coil in breast magnetic resonance imaging (MRI) for improving the comfort level of breast MRI on the basis of ensuring image quality, and providing a new selection of radiofrequency coils in breast MRI. **Methods** A total of 34 healthy female subjects who underwent breast MRI in Sun Yat-Sen University Cancer Center from January to March 2023 were enrolled in the study, and two kinds of radiofrequency coils were used for breast MRI. Through questionnaire survey before and after examination, the personal information was collected, and the comfort during breast MRI was investigated. AIR coil and traditional coil were used for MRI using T₂WI fat-suppressed sequence (T₂WI fs) and multiplexed sensitivity encoding diffusion-weighted imaging (MUSE-DWI) sequence. The signal-to-noise ratio (SNR) and apparent diffusion coefficient (ADC) value of the obtained images were compared, and the image quality was evaluated subjectively by two senior physicians. The advantages and disadvantages of two kinds of radiofrequency coils in breast MRI were discussed through the statistical analysis on comfort level and image quality. **Results** The comfort level of AIR coil was superior to that of traditional breast coil ($P<0.05$). The SNR of both T₂WI fs and MUSE-DWI sequences in AIR coil group was higher than that in traditional coil group ($P<0.05$), while there was no statistical difference in ADC values between two groups ($P>0.05$). In terms of subjective evaluation, the image quality of T₂WI fs sequence in AIR coil group was lower than that in traditional coil group ($P<0.05$), while the difference in the subjective evaluation of MUSE-DWI sequence between two groups was trivial ($P>0.05$). **Conclusion** Compared with traditional coil, AIR coil for breast MRI has higher comfort level, worthy of popularization in clinic.

Keywords: coil; breast; magnetic resonance imaging; comfort level

【收稿日期】2023-04-06

【基金项目】国家自然科学基金(82271300);广东省自然科学基金(2023A1515012739)

【作者简介】彭康强,硕士,副主任技师,主要研究方向:磁共振成像技术,E-mail: pengkq@sysucc.org.cn

【通信作者】谢传森,主任医师,博士生导师,E-mail: xiechm@sysucc.org.cn

前言

据最新的全球癌症统计数据显示^[1],2020年全球新发女性乳腺癌病例约226.1万余例,占全球最常见36种癌症的11.7%,超越肺癌成为全球发病率最高的恶性肿瘤。早发现、早诊断、早治疗是乳腺癌良好预后的关键,在乳腺癌常用影像学检查方法中,磁共振(Magnetic Resonance, MR)成像对乳腺癌诊断的敏感性高,其适应症包括:乳腺癌高危人群的筛查、已确诊乳腺癌病变范围的判断等^[2],为乳腺X线检查、超声检查的重要补充^[3]。射频系统是激发、接收磁共振信号的核心部件,是决定MR成像质量的关键。传统乳腺专用线圈存在两个弊端:(1)传统线圈的标准尺寸不适合胸围较大患者;(2)传统线圈下的标准体位难以保证患者检查过程中的舒适度,容易造成图像运动伪影或使受检者难以配合完成检查。近年来,自适应图像接收(Adaptive Image Receive, AIR)超柔射频磁共振线圈走入人们视野,凭借高度柔性、重量较轻、信噪比高等特点^[4],已在头部、肺部和足部的MR检查中取得良好的成像质量^[5-7],而用于乳腺部位的检查较少有相关报道。本研究通过对34名健康受检者分别采用两种线圈进行乳腺MR扫描,探讨AIR线圈在乳腺MR检查中的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集2023年1月~3月在中山大学肿瘤防治中心行乳腺MR检查的34例女性健康受检者的MR图像,年龄21~61岁,平均(38.56±1.98)岁。纳入标准:乳腺无外伤和无手术史者。排除标准:有体内植入物(如

心脏起搏器、电子耳蜗、金属血管夹等),无法配合检查者,孕妇及哺乳期女性。本项目通过中山大学肿瘤防治中心伦理委员会的批准,所有参与受检者均在知情同意的基础上参与此研究。

1.2 问卷调查

于检查前问卷调查收集受检者基本信息(年龄、身高、体质量、胸围等),检查后问卷调查检查过程中受检者的舒适度,包括受检者线圈选择的意愿调查。根据身高和体质量分别计算受检者的身体质量指数(Body Mass Index, BMI)。将受检者年龄段分为20~29岁、30~39岁、40~49岁、≥50岁;BMI<18.5记为消瘦,18.5≤BMI<24记为正常,24≤BMI<27.9记为超重,BMI≥27.9记为肥胖。舒适度问卷主要调查受检者颈、肩、胸、背、腰等身体部位的舒适情况,采用数字疼痛分级法(Numerical Rating Scale, NRS)将受检者舒适度划分为4个等级:分别为无不适;轻度不适,表现为静卧不痛,咳嗽、深呼吸时疼痛;中度不适,表现为静卧疼痛,尚能忍受;重度不适,表现为疼痛持续且剧烈,无法忍受^[8]。

1.3 检查方法

采用GE SIGNA Premier 3.0T磁共振设备,分别使用30通道AIR线圈和8通道乳腺专用线圈对同一受检者行乳腺MR扫描。使用AIR线圈时,受检者采取仰卧、脚先进体位,双手上举,充分暴露腋窝区域,线圈放置于乳房表面,覆盖腋窝及乳房区域;使用乳腺专用线圈时,受检者俯卧于乳腺线圈上,双侧乳腺对称自然悬垂于线圈洞穴内,脚先进体位。以双乳头连线中点为定位中心,常规行横断位扫描,主要序列有T₂WI fs、MUSE-DWI。各序列参数,详见表1。

表1 扫描序列及参数
Table 1 Scanning sequences and parameters

序列	TR/ms	TE/ms	层厚/mm	层间距/mm	FOV/mm ²
T ₂ WI fs	3 212	85.0	5	1	34×34
MUSE-DWI	2 542	53.2	5	1	34×19.2

TR:重复时间;TE:回波时间;FOV:视野

1.4 影像分析

1.4.1 客观评价 采用手工放置感兴趣区域(Region of Interest, ROI)方法,测量T₂WI fs、MUSE-DWI两个序列经过乳头平面的相同层面信号强度,在相应拟合生成的表观弥散系数(Apparent Diffusion Coefficient, ADC)值图像相同层面上测量ADC值,所有图像的测量均在设备配套的AW4.7工作站进行。

(1)信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)。分别在各组图像乳腺腺体避开病变区域勾画4个ROI,计算4个ROI的信号强度平均值作为乳腺腺体信号强度S_b,同时在同层面图像背景区随机勾画4个ROI,计算4个ROI的信号强度平均值作为背景噪声标准差SD_n,ROI形状均为面积1 cm²的类圆形。乳腺腺体的SNR按以下公式计算:SNR=S_b/SD_n^[9]。

(2)ADC。分别在各组图像乳腺腺体区域划定4个面积为1 cm²的类圆形ROI,在相应拟合生成的ADC值图像取4个ROI的信号强度平均值作为乳腺腺体ADC值。

1.4.2 主观评价 由2名高年资的诊断医师对34例受检者的MR图像进行独立质量评价,出现分歧时经协商达成一致。以图像清晰,无伪影,乳腺腺体结构清晰,双侧腋窝淋巴结显示良好,T₂WI fs序列双侧乳腺腺体呈稍高信号,脂肪得到充分抑制,MUSE-DWI序列图像对比清晰,变形少,能明显发现高信号为标准。分别将使用两种射频线圈时T₂WI fs、MUSE-DWI两个序列图像质量划分为优、良、一般、差4个等级。

1.5 统计学分析

选用统计学软件SPSS27.0分析数据。符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示;计数资料用例(%)表示。分别利用卡方检验比较两种射频线圈的

舒适度等级;利用Wilcoxon检验比较两种射频线圈T₂WI fs、MUSE-DWI序列MR图像主观质量评价;利用组间配对t检验比较不同组间MR图像SNR及乳腺腺体ADC值, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受检者舒适度评价

34例受检者中,使用AIR线圈无不适31例,不适3例,其中手臂、头、肩部位不适各为1例;使用乳腺专用线圈无不适16例,不适18例,其中存在手臂、头、颈、肩、胸部位不适分别为1例、4例、2例、3例、8例。

根据舒适度量表进行分组,划分为:无不适(I级)、轻度不适(II级)、中度不适及以上(III级)。两种射频线圈间舒适度比较见表2,结果显示AIR线圈与乳腺专用线圈舒适度差异有统计学意义($\chi^2=15.587$, $P<0.05$)。

表2 两种射频线圈间受检者舒适度比较[例(%)]
Table 2 Comfort level between two kinds of radiofrequency coils [cases (%)]

组别	舒适度等级			χ^2 值	P值
	I级	II级	III级		
AIR线圈组($n=34$)	31(91.18)	2(5.88)	1(2.94)	15.587	<0.01
乳腺专用线圈组($n=34$)	16(47.06)	14(41.18)	4(11.76)		

经汇总统计,14.7%受检者倾向于俯卧位,85.3%受检者倾向于仰卧位。统计显示,年龄与BMI因素对线圈选择影响较大。

2.2 两种射频线圈下各序列图像质量评价

2.2.1 图像质量客观评价 AIR线圈T₂WI fs序列图像平均SNR高于乳腺专用线圈图像,差异有统计学意义($P<0.05$);AIR线圈MUSE-DWI序列图像平均SNR高于乳腺专用线圈图像,差异有统计学意义($P<0.05$),见表3。

AIR线圈图像ADC值略高于乳腺专用线圈图像ADC值,两组扫描序列图像的ADC值比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表4。

2.2.2 图像质量主观评价 AIR线圈T₂WI fs序列主观图像质量低于乳腺专用线圈图像,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表5。

AIR线圈MUSE-DWI序列主观图像质量略低于乳腺专用线圈图像,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表6。

同一女性受检者两种线圈下T₂WI fs以及

表3 两种射频线圈T₂WI fs、MUSE-DWI序列图像信噪比($\bar{x}\pm s$)
Table 3 SNR of T₂WI fs and MUSE-DWI sequence images obtained with two kinds of radiofrequency coils ($Mean\pm SD$)

序列	线圈类型		t值	P值
	AIR线圈	乳腺专用线圈		
T ₂ WI fs	266.36±71.04	201.96±57.95	-5.538	<0.01
MUSE-DWI	469.93±137.13	62.34±11.57	-17.024	<0.01

表4 两种射频线圈下图像ADC值($\bar{x}\pm s$, 10⁻⁶ mm²/s)
Table 4 ADC values of images obtained with two kinds of radiofrequency coils ($Mean\pm SD$, 10⁻⁶ mm²/s)

线圈类型	ADC值
AIR线圈	1 795.90±265.08
乳腺专用线圈	1 776.23±222.62
t值	-0.513
P值	0.611

MUSE-DWI序列扫描图像如图1所示。

表 5 两种射频线圈 T₂WI fs 序列图像主观评价[例(%)]

Table 5 Subjective evaluations of T₂WI fs sequence images obtained with two kinds of radiofrequency coils [cases (%)]

组别	图像主观评价				Z 值	P 值
	优	良	一般	差		
AIR 线圈组(n=34)	21(61.76)	12(35.29)	1(2.94)	0(0)	-2.668	0.008
乳腺专用线圈组(n=34)	31(91.18)	3(8.82)	0(0%)	0(0)		

表 6 两种射频线圈 MUSE-DWI 序列主观评价[例(%)]

Table 6 Subjective evaluation of MUSE-DWI sequence images obtained with two kinds of radiofrequency coils [cases (%)]

组别	图像主观评价				Z 值	P 值
	优	良	一般	差		
AIR 线圈组(n=34)	27(79.41)	6(17.65)	1(2.94)	0(0)	-1.155	0.248
乳腺专用线圈组(n=34)	30(88.24)	4(11.76)	0(0)	0(0)		

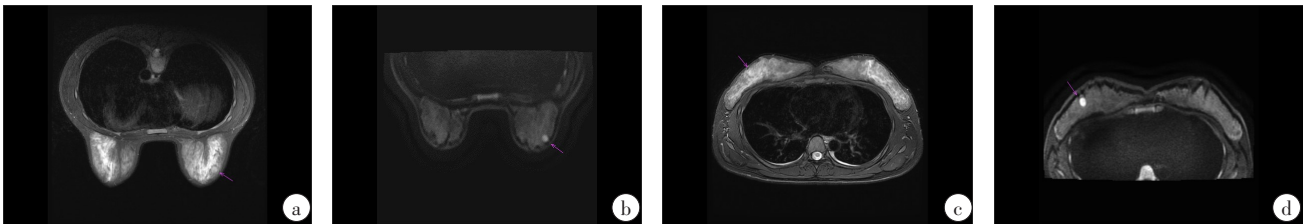


图 1 同一受检者两种线圈下扫描图像

Figure 1 Images of the same subject who was scanned with two kinds of radiofrequency coils

女, 24 岁, 图 a、b 分别为乳腺专用线圈下 T₂WI fs 图像以及 MUSE-DWI 图像; 图 c、d 分别为 AIR 线圈下 T₂WI fs 图像以及 MUSE-DWI 图像。箭头所指处为乳腺纤维腺瘤

3 讨论

3.1 乳腺 MR 平扫序列的选择

乳腺 MR 检查凭借良好的软组织对比度和多平面成像且无辐射等优势, 在乳腺癌的监测与诊断上具有很高的价值^[10]。T₂WI fs 和 DWI 作为 MR 常规平扫的重要序列, 成为本研究图像质量上的比较对象。乳腺癌病灶在 T₂WI fs 序列显示呈等或高信号^[11], 并通过对病变测量区的 ADC 值进行量化分析, 从而对病变性质进行评价。基于复合灵敏度编码的 MUSE-DWI 较常规 DWI 可减少虚影、伪影和几何失真, 具有更好的病变显示能力, 在乳腺疾病的诊断中具有绝对优势^[12-15]。多项研究表明, DWI 序列中 b 值为 800~1 000 s/mm² 时获得的对比 SNR 最高, 故本研究中 MUSE-DWI 序列选取 b 值为 800 s/mm² 的图像进行分析^[16-18]。

3.2 射频线圈对于检查舒适度的影响

受检者在 MR 检查时往往被要求长时间保持制动以减少运动伪影, 提高检查舒适度作为减少运动伪影的重要方式之一, 具有重要研究价值。统计结果显示, 85.3% 受检者倾向于 AIR 线圈行仰卧位检查, 14.7% 受检者倾向于传统乳腺专用线圈行俯卧位检查, 差异较大。原因可能有: (1) 乳腺专用线圈硬度太大, 俯卧位对骨头造成压迫产生不适; (2) 乳腺专用线圈灵活性较低, 无法根据受检者体型进行调整; (3) 检查时间较长, 舒适程度不断降低, 导致受检者难以维持姿势出现运动伪影或无法完成检查, 不适感中以胸部不适为甚。使用 AIR 线圈仰卧位进行检查时, 由于线圈很轻, 几乎没有压迫感, 受检者舒适感、满意度均很高。但仰卧位扫描中, 由于呼吸运动会带来伪影, 本研究中仰卧位扫描中使用呼吸触发的方式, 在保证图像质量的前提下, 有效提升了检查过程中的舒适度。

3.3 射频线圈对图像质量的影响

射频线圈是磁共振设备中最为重要的核心技术部件之一,临床需求的不断提高促进了设备的迭代更新,AIR线圈与传统乳腺专用线圈相比,除了更具适形性和灵活性,还增加了采集通道数^[19]。Kyungsoo等^[20]指出,AIR线圈的SNR和CNR均高于常规线圈,图像清晰度也更高。本研究对比分析两种线圈扫描得到的图像质量,在同一受检者、同一成像系统下,使用AIR线圈获得的T₂WI fs、MUSE-DWI序列图像的SNR均优于乳腺专用线圈,差异有统计学意义($P<0.05$),DWI序列下两种线圈获得图像的ADC值差异无统计学意义($P>0.05$)。符合以往结论。

本研究图像质量主观评价中AIR线圈T₂WI fs序列主观图像质量低于传统乳腺专用线圈图像质量,差异有统计学意义($P<0.05$),主要原因是体位改变带来的乳腺腺体形态的改变,乳腺纤维腺体组成较大程度上影响体位改变后乳腺腺体形态,从而导致乳腺腺体结构显示不清晰,故AIR线圈下的仰卧扫描不适用于涉及导管内病变患者。

3.4 AIR线圈潜在价值

3.4.1 AIR线圈在乳腺手术中的价值 腋窝淋巴结转移是乳腺癌预后的关键因素,术前准确评估淋巴结转移状态有助于制定合理的治疗方案。MR扫描可通过淋巴结形态、大小、淋巴门、周围脂肪间隙、DWI信号和ADC值、强化程度等指标进行淋巴结转移的预测^[21],实现直接评估腋窝淋巴结转移或结合乳腺癌病灶情况辅助预测淋巴结转移^[22]。常规术前乳腺MR检查使用乳腺专用线圈对腋窝覆盖范围扫描具有局限性^[23]。Bode等^[24]使用系统的内置体线圈对胸壁成像,包括胸骨旁两侧、腋窝、锁骨下和锁骨上区域进行全面的区域淋巴结分期评估。而AIR线圈下的大范围扫描实现一次对乳腺病灶以及淋巴结成

像,有望为术前淋巴结转移评估提供更多信息。传统乳腺MR成像采取俯卧位作为常规体位,患者乳腺自由下垂于乳腺线圈内,以减少呼吸运动伪影;乳腺手术时,患者处于仰卧或仰卧斜位,手臂上举于头两侧,以减少乳腺的厚度和移动^[25]。目前,多数研究倾向于通过总结病灶定位径线在MR检查体位与手术体位变化规律为临床提供帮助^[25-26],然而病灶位置随体位改变而改变,且改变程度也与病灶本身分布有关,使研究结论仍存在一定局限性。而使用AIR线圈行仰卧位检查的体位与手术时一致,有望使病灶定位更加精准,更利于手术的进行。

3.4.2 AIR线圈在女性心理健康中的价值 乳腺MR检查不可避免会涉及到受检者的隐私。在生活方式不断改变及乳腺癌发病年龄逐渐年轻化的当下^[27],大部分女性在乳腺检查时存在害羞、恐惧等心理反应,特别在遇到男性医务工作人员时,可能会进一步加重其焦虑的情绪。使用AIR线圈行仰卧位扫描时,穿着要求与胸部MR检查一致,不需要暴露乳腺,在一定程度上更好地保护受检者隐私,缓解其心理压力。AIR线圈的应用可以提高女性对MR检查的接受度,尤其是年轻群体。

3.4.3 AIR线圈在乳腺MR检查可行性中的价值 传统乳腺专用线圈对于少部分人群仍存在局限性,其标准尺寸为50 cm×54 cm×25 cm,难以满足胸围较大的受检者。实际研究过程中有一名体质量为90 kg的受检者,使用乳腺专用线圈行俯卧位扫描时,由于线圈尺寸的限制对其乳腺造成了一定程度的压迫,乳腺形态的改变使MUSE-DWI图像出现了变形、缺失、模糊等问题,但以上问题在使用AIR线圈行仰卧位扫描时得到解决,见图2。另外,对于部分难以行仰卧位进行检查的人群,如孕妇,AIR线圈的应用也为其乳腺MR检查提供了新的思路。

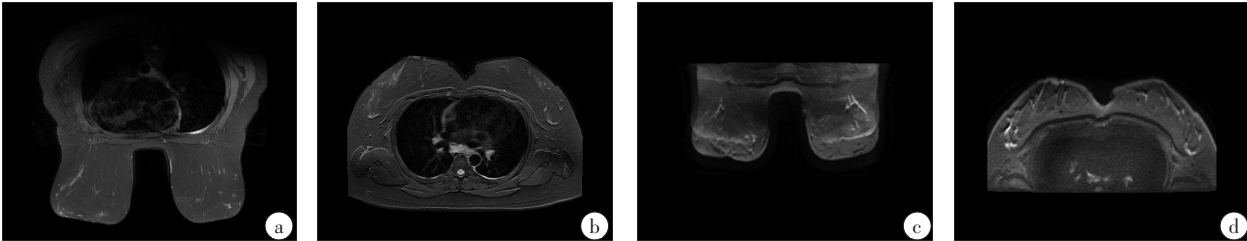


图2 1名体质量为90 kg受检者的图像
Figure 2 Images of a 90 kg subject

图a、b分别为使用乳腺专用线圈行俯卧位和使用AIR线圈行仰卧位检查的T₂WI fs序列图像;c、d分别为使用乳腺专用线圈行俯卧位和使用AIR线圈行仰卧位检查的MUSE-DWI序列图像

3.5 本研究的不足

本研究尚存在一些不足之处。首先,样本量太小,统计分析存在一定误差,导致部分统计学结果与其它文献略有出入;其次,本研究未涉乳腺癌临床病例,无法从诊断角度深入分析两种线圈对于乳腺疾病诊断效能的优劣;再次,MUSE-DWI序列中并行采集技术的使用影响背景噪声值的测量^[28],常规方法测量SNR存在局限性^[29]。今后将扩大样本量,加大研究范围,进一步完善研究。

综上所述,AIR线圈下乳腺MR扫描更灵活、适用性更广,但受体位及乳腺纤维腺体组成影响,图像个体差异较大,诊断存在局限性。基于AIR线圈的仰卧位扫描方案目前仍处于探索研究阶段,发展空间较大,可以作为主流俯卧位扫描方案的补充,具有一定的临床应用及推广价值。

【参考文献】

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] 范文文, 吴培华, 周纯武, 等. 乳腺癌的影像学研究进展[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(2): 323-326.
- [3] Fan WW, Wu PH, Zhou CW, et al. Research progress in imaging of breast cancer[J]. Journal of Medical Imaging, 2020, 30(2): 323-326.
- [4] 刘丹青, 张伟, 王慧颖, 等. 青年女性乳腺癌特征及影像检查手段效能评价[J]. 中国临床医学影像杂志, 2017, 28(5): 331-336.
- [5] Liu DQ, Zhang W, Wang HY, et al. The features of breast cancer in young women and the diagnostic efficacy of imaging means[J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2017, 28(5): 331-336.
- [6] 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.
- [7] Song CH, Chen QY, Che S, et al. Research progress of ultra-flexible radiofrequency receiver coils for magnetic resonance imaging[J]. Life Science Instruments, 2022, 20(2): 4-16.
- [8] McGee KP, Stormont RS, Lindsay SA, et al. Characterization and evaluation of a flexible MRI receive coil array for radiation therapy MR treatment planning using highly decoupled RF circuits[J]. Phys Med Biol, 2018, 63(8): 08NT02.
- [9] 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.
- [10] Liang WY, Ma LR, Guo JX, et al. Comparison on quality of zero echo time sequence images obtained with adaptive image receive coil and conventional anterior array coil for lung nodules[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2022, 38(10): 1556-1560.
- [11] Collick BD, Behzadnezhad B, Hurley SA, et al. Rapid development of application-specific flexible MRI receive coils[J]. Phys Med Biol, 2020, 65(19): 19NT01.
- [12] 张晨滢, 姜洪标, 盛美红, 等. 乳腺MRI检查中双上肢体位对患者舒适度影响的探讨[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(5): 786-790.
- [13] Zhang CY, Jiang HB, Sheng MH, et al. The influence of double upper limb position on patients' comfort in breast MRI examination[J]. Journal of Medical Imaging, 2022, 32(5): 786-790.
- [14] 陈地友, 张玉龙, 陈金华. 4通道与16通道相控阵乳腺专用线圈在乳腺MRI成像的应用比较[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28(5): 867-870.
- [15] Chen DY, Zhang YL, Chen JH. The comparison of 4-channel phased array coils and 16-channel phased array coils in breast MRI imaging[J]. Journal of Medical Imaging, 2018, 28(5): 867-870.
- [16] Kim KW, Kuzmiak CM, Kim YJ, et al. Diagnostic usefulness of combination of diffusion-weighted imaging and T₂WI, including apparent diffusion coefficient in breast lesions: assessment of histologic grade[J]. Acad Radiol, 2018, 25(5): 643-652.
- [17] 李召侠. MR动态增强检查诊断乳腺癌与病理对照分析[J]. 现代医学影像学, 2023, 32(2): 212-215.
- [18] Li ZX. Comparative analysis of MR dynamic enhancement examination in diagnosis of breast cancer and pathology[J]. Modern Medical Imageology, 2023, 32(2): 212-215.
- [19] 刘琴, 周智鹏. 基于复合灵敏度编码的高分辨率磁共振扩散成像原理及其临床应用[J]. 磁共振成像, 2022, 13(1): 167-170.
- [20] Liu Q, Zhou ZP. Principle and clinical application of high resolution magnetic resonance diffusion imaging with multiplexed sensitivity encoding[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2022, 13(1): 167-170.
- [21] Hu YX, Ikeda DM, Pittman SM, et al. Multishot diffusion-weighted MRI of the breast with multiplexed sensitivity encoding (MUSE) and shot locally low-rank (shot-LLR) reconstructions[J]. J Mag Reson Imaging, 2021, 53(3): 807-817.
- [22] Naranjo ID, Lo Gullo R, Morris EA, et al. High-spatial-resolution multishot multiplexed sensitivity-encoding diffusion-weighted imaging for improved quality of breast images and differentiation of breast lesions: a feasibility study[J]. Radiol Imaging Cancer, 2020, 2(3): e190076.
- [23] Iima M, Honda M, Sigmund EE, et al. Diffusion MRI of the breast: current status and future directions[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(1): 70-90.
- [24] 杨文海, 张雪红, 张期莲. DWI在乳腺肿瘤鉴别诊断中的应用价值及b值优化[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(10): 1838-1842.
- [25] Yang WH, Zhang XH, Zhang QL. Value of diffusion-weighted imaging with different b values in the diagnosis of breast tumor[J]. Journal of Medical Imaging, 2020, 30(10): 1838-1842.
- [26] 代海洋, 刘国荣, 翟少智, 等. 不同b值MR扩散加权成像对乳腺良恶性肿瘤鉴别诊断价值研究[J]. 磁共振成像, 2015, 6(11): 829-832.
- [27] Dai HY, Liu GR, Zhai SZ, et al. The study of multi-b value MR diffusion weighted imaging in differentiation of breast benign and malignant tumors[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2015, 6(11): 829-832.
- [28] 温志玲, 全国彪, 周伟文, 等. 弥散加权成像技术在乳腺肿瘤诊断中的临床应用效果观察[J]. 实用医技杂志, 2018, 25(4): 371-372.
- [29] Wen ZL, Quan GB, Zhou WW, et al. Observation of the clinical application effect of diffusion weighted imaging in the diagnosis of breast tumors[J]. Journal of Practical Medical Techniques, 2018, 25(4): 371-372.
- [30] AIR Technology 磁共振射频系统革命[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(10): 181-182.
- [31] MRI radio frequency system revolution of AIR Technology[J]. China Medical Devices, 2021, 36(10): 181-182.
- [32] Kyungsoo B, Nyeojeon K, Moon JH, 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 (Basel), 2022, 12(1): 148.
- [33] 苟军, 胥化虎, 杨桂松, 等. MRI在乳腺癌腋窝前哨淋巴结转移的诊断价值[J]. 放射学实践, 2018, 33(6): 574-578.
- [34] Gou J, Xu HH, Yang GS, et al. The value of MRI in the diagnosis of

- axillary sentinel lymph node metastasis in breast cancer[J]. Radiologic Practice, 2018, 33(6): 574-578.
- [22] 汪媛媛, 余建群. 乳腺癌腋窝淋巴结转移的影像及影像组学研究进展[J]. 放射学实践, 2023, 38(5): 662-666.
- Wang YY, Yu JQ. Advances in imaging and radiomics of axillary lymph node metastasis in breast cancer[J]. Radiologic Practice, 2023, 38(5): 662-666.
- [23] Chai RM, Ma H, Xu MJ, et al. Differentiating axillary lymph node metastasis in invasive breast cancer patients: a comparison of radiomic signatures from multiparametric breast MR sequences[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(4): 1125-1132.
- [24] Bode M, Schradang S, Masoumi A, et al. Abbreviated MRI for comprehensive regional lymph node staging during pre-operative breast MRI[J]. Cancers (Basel), 2023, 15(6): 1859.
- [25] 范金蕾, 秦鑫, 周雪芳, 等. 应用MRI图像分析乳腺肿瘤在仰卧位与俯卧位上的位置变化[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(10): 67-70.
- Fan JL, Qin X, Zhou XF, et al. Analyzing the position changes of breast tumors in supine and prone positions with MRI images[J]. China Medical Devices, 2020, 35(10): 67-70.
- [26] 胡晓欣, 顾雅佳, 肖琴, 等. 乳腺实质性病变的MRI定位研究: 俯卧位与仰卧位对照[J]. 肿瘤影像学, 2017, 26(4): 255-261.
- Hu XX, Gu YJ, Xiao Q, et al. Breast substantial lesion localization on MR imaging: prone posture vs. supine posture[J]. Oncoradiology, 2017, 26(4): 255-261.
- [27] Coughlin SS. Epidemiology of breast cancer in women[J]. Adv Exp Med Biol, 2019, 1152: 9-29.
- [28] 李刚, 罗娜, 欧阳佳裕. 复合灵敏度编码高分辨率扩散加权成像与常规扩散加权成像在头颅检查中的价值比较[J]. 影像技术, 2022, 34(4): 25-28.
- Li G, Luo N, Ouyang JY. Comparison of the value of multiplexed sensitivity encoding diffusion-weighted imaging with conventional diffusion-weighted imaging in brain examination [J]. Image Technology, 2022, 34(4): 25-28.
- [29] Dietrich O, Raya JG, Reeder SB, et al. Measurement of signal-to-noise ratios in MR images: influence of multichannel coils, parallel imaging, and reconstruction filters[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 26(2): 375-385.

(编辑: 薛泽玲)