

# Comparative Study of 3.0T Magnetic Resonance B-FFE and SWI Sequence in Fetal Spine Imaging\*

论 著

LI Hong-en, LIN Xing, WANG Xia, ZENG Yi-hui, JIANG Kui-ming, ZHANG Yan\*.

Department of Radiology, Guangdong Women's and Children's Hospital, Guangzhou 510000, Guangdong Province, China

## 3.0T磁共振B-FFE和SWI序列在胎儿脊柱成像中的对比研究\*

李鸿恩 林兴 王霞  
曾益辉 江魁明 张嫣\*

广东省妇幼保健院放射科(广东广州 510000)

**【摘要】目的** 研究3.0T磁共振平衡式快速场回波(balance fast field echo, B-FFE)和磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)序列在胎儿脊柱方面的诊断价值,为产前诊断提供数据分析及参考。**方法** 甄选我院2019年10月至2020年3月产前诊断提示胎儿脊柱异常并已行超声检查54例孕妇。采用3.0T磁共振进行胎儿脊柱扫描,扫描序列包括轴冠矢三个位置的B-FFE和SWI序列,对两个序列诊断准确率、检查成功率进行对比分析,记录两序列特异性吸收率(the specific absorption rate, SAR)值。**结果** 54例患者中, B-FFE、SWI序列组诊断准确率分别为88.88%、70.37%,差异具有统计学意义( $\chi^2=5.708, P<0.05$ )。检查成功率方面: B-FFE、SWI序列成功率分别为92.59%、55.56%,差异具有显著统计学意义( $\chi^2=21.027, P<0.001$ )。SAR值方面: B-FFE、SWI序列分别为 $2.0\pm 0.05\text{ w/kg}$ 、 $<0.1\text{ w/kg}$ 。**结论** B-FFE与SWI序列对比,两者均能很好的显示胎儿脊柱问题图像,都具有较高的诊断准确率。B-FFE序列检查成功率更高、能获得稳定、清晰图像,在显示胎儿脊柱轮廓稍逊于SWI序列,SWI在显示胎儿腰骶段具有绝对优势,但检查成功率较低,两者结合扫描,能大大提高胎儿脊柱影像诊断准确率及检查完成率。

【关键词】3.0T磁共振; 胎儿脊柱; B-FFE; SWI

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】广州市科技计划项目基金资助

(202002030217)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.02.053

### ABSTRACT

**Objective** To study the diagnostic value of 3.0T MRI balance fast field echo (B-FFE) and susceptibility weighted imaging (SWI) sequence in fetal spine, for prenatal diagnosis Provide data analysis and reference. **Methods** A total of 54 pregnant women were selected from October 2019 to March 2020 in our hospital with prenatal diagnosis indicating fetal spinal abnormalities and ultrasound examinations. Use 3.0T magnetic resonance to scan the fetal spine. The scan sequence includes the B-FFE and SWI sequences at the three positions of the axial coronal vector. The diagnostic accuracy and inspection success rate of the two sequences are compared and analyzed, and the specific absorption rate of the two sequences is recorded (the specific absorption rate (SAR) value. **Results** Among 54 patients, the diagnostic accuracy rates of B-FFE and SWI sequence groups were 88.88% and 70.37%, respectively, and the difference was statistically significant ( $\chi^2=5.708, P<0.05$ ). In terms of inspection success rate: The success rates of B-FFE and SW sequences were 92.59% and 55.56%, respectively, and the difference was statistically significant ( $\chi^2=21.027, P<0.001$ ). In terms of SAR value: B-FFE and SWI sequences were  $2.0\pm 0.05\text{ w/kg}$  and  $<0.1\text{ w/kg}$ , respectively. **Conclusion** B-FFE and SWI sequence comparison, both can display images of fetal spinal problems very well, and both have a high diagnostic accuracy rate. The B-FFE sequence examination has a higher success rate and can obtain stable and clear images. It is slightly inferior to the SWI sequence in showing the fetal spine contour. SWI has an absolute advantage in showing the lumbosacral segment of the fetus, but the examination success rate is lower. It can greatly improve the accuracy of fetal spine imaging diagnosis and the completion rate of examination.

**Keywords:** 3.0T Magnetic Resonance; Fetal Spine; B-FFE; SWI

胎儿产前检查首选超声,但是由于超声检查视野范围小、软组织分辨力低、容易受羊水、胎儿体位影响<sup>[1]</sup>,对胎儿脊柱疾病的敏感性及特异性不高<sup>[2]</sup>。自1983年胎儿磁共振首次被提出<sup>[3]</sup>,随着机器设备的更新及技术的改进,磁共振更多应用于胎儿复杂性疾病筛查中<sup>[4-6]</sup>。目前胎儿磁共振常用序列包括:①单次激发TSE (single-shot TSE, SSh-TSE),②B-FFE,③超快速场回波序列(Turbo Field Echo, TFE)、④扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)<sup>[7]</sup>等。但胎儿脊柱因椎体小,椎体解剖结构显示较难,SSh-TSE及TFE序列在显示胎儿脊柱方面欠佳,目前研究显示DWI序列在显示骨骼方面具有优势,但我院将采用DWI序列应用在胎儿脊柱方面检查,未能得到满意的胎儿脊柱诊断图像。本研究采用B-FFE及SWI序列应用于胎儿脊柱扫描,利用B-FFE成像速度快、磁敏感加权成像序列骨质结构中钙质的强抗磁性引起组织之间相位变化<sup>[8]</sup>等优势,成功获得满意胎儿脊柱骨性结构图像,为临床提供新的胎儿脊柱磁共振扫描技术保障。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 分析2019年10月至2020年3月的磁共振胎儿脊柱检查资料。

纳入标准:产前诊断怀疑胎儿脊柱相关问题;扫描B-FFE及SWI序列。排除标准:体内含有金属起搏器等,精神意识障碍者。本组共分析54例胎儿脊柱孕妇,年龄23~45岁,平均年龄( $27.4\pm 5.48$ )岁,孕周20~37周,平均孕周为( $26.8\pm 3.5$ )周。

**1.2 检查准备、机器及参数** 采用荷兰飞利浦公司Philips Ingenia 3.0T超导磁共振机,梯度场45 mT/m,切换率160 T/(m·s),16通道相控阵线圈,患者仰卧位或侧卧位,足先进,放置呼吸门控在腹部呼吸起伏最高处,训练呼吸。因磁共振检查梯度线圈内的电流快速变化造成MRI噪声<sup>[9-10]</sup>,国际电工委员会规定磁共振噪声限值为140 dB,需要给孕妇耳部带好棉球及隔音耳机,做好噪声防护。定位根据胎儿在宫腔内进行冠状面(显示胎儿脊柱椎体、肋骨对称)为主、矢状面(显示胎儿脊柱全长曲度及连续性)及横断面(显示椎弓根及定位用)为辅扫描。扫描序列①B-FFE:重复时间(TR):3.3ms,回波时间(TE):1.6 ms,翻转角:60°,矩阵(matrix):268×195,视野(FOV):40cm×35cm,层厚(slice thickness):3mm,间隔(gap):0,层数约16层(具体根据胎儿大小确定,范围包全胎儿全脊柱),采集次数(NEX):1次,带宽(bandwidth):1371 Hz/pixel,单次扫描时间约40s。②SWI:TR:85ms,TE:13ms,翻转角:13°,矩阵:256×220,FOV:38cm×38cm,层厚:3mm, gap:0,扫描层数常规6层, NEX:1次,带宽613 Hz/pixel,设置并行采集技术sense为3.4,控制呼吸,1次屏气呼吸扫描,单次扫描时间约13s。

【第一作者】李鸿恩,男,主管技师,主要研究方向:胎儿磁共振诊断及技术。E-mail:137842241@qq.com

【通讯作者】张嫣,女,主任医师,主要研究方向:胎儿及乳腺磁共振诊断。E-mail:doctorzhangyan@vip.163.com

**1.3 图像分析** 由科室2名副高以上MR医师双盲法分析B-FFE及SWI图像,记录序列扫描时的SAR值,比较两医师诊断一致性,分析两序列检查成功率。

**1.4 统计学方法** 采用SPSS 23.0软件进行数据分析,采用卡方检验法比较B-FFE与SWI序列诊断正确率、检查成功率,  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 诊断结果一致性比较** B-FFE及SWI图像均能达到诊断要求(表1),能够较好的显示胎儿脊柱形态及结构,以(引)产后,随访为金标准, B-FFE组诊断准确率88.88%(48/54),其中6例因图像

运动不清晰未能确诊。SWI组诊断准确率70.37%(38/54),其中16例因胎动不清晰及颈胸段显示不清未能确诊。

**2.2 检查成功率对比** 54例胎儿脊柱检查中, B-FFE序列获得满意胎儿脊柱图像成功率为92.59%(50/54),其中4例因胎动伪影造成图像模糊。SWI序列成功率为55.56%(30/54),其中24例因胎动伪影及呼吸不配合造成图像模糊。两组序列对比分析,差异具有显著统计学意义( $\chi^2=21.027, P < 0.001$ )(表2)。

**2.3 SAR比较** 54例检查中B-FFE序列SAR均为 $2.0 \pm 0.05w/kg$ , SWI序列SAR均为 $< 0.1w/kg$ 。

## 3 讨论

表1 B-FFE组与SWI组诊断准确率比较(n=54)

检查部位	“金标准”		B-FFE组诊断结果	SWI组诊断结果
	确诊数量	病例诊断		
胎儿脊柱	54	半椎体12例, 蝴蝶椎9例, 脊柱裂3例, 脊髓圆锥低位5例, 椎体融合3例, 骶尾部畸胎瘤2例, 楔形椎5例, 脊柱正常病例15例	正确诊断48例, 6例因图像运动不清晰未能确诊	正确诊断38例, 16例因胎动不清晰及颈胸段显示不清未能确诊
诊断准确率(%)	100	100.00(54/54)	88.88(48/54)	70.37(38/54)

注: 两组经统计学处理,  $\chi^2=5.708, P=0.017, P < 0.05$ ,有统计学意义

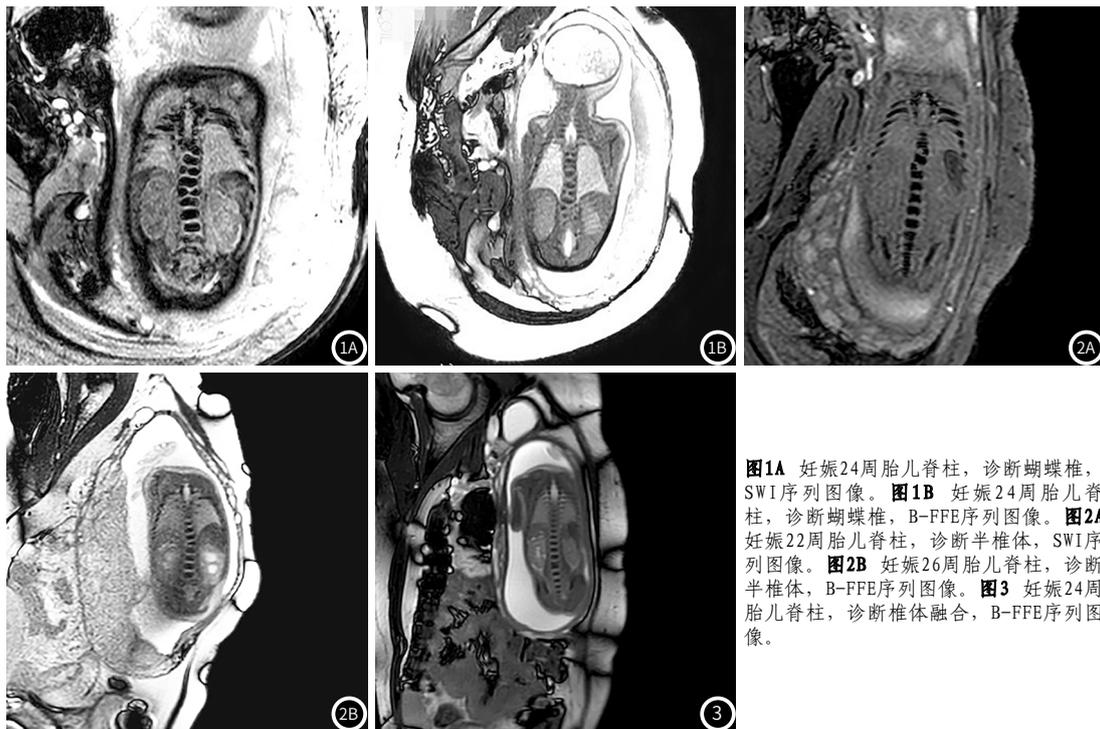


图1A 妊娠24周胎儿脊柱, 诊断蝴蝶椎, SWI序列图像。图1B 妊娠24周胎儿脊柱, 诊断蝴蝶椎, B-FFE序列图像。图2A 妊娠22周胎儿脊柱, 诊断半椎体, SWI序列图像。图2B 妊娠26周胎儿脊柱, 诊断半椎体, B-FFE序列图像。图3 妊娠24周胎儿脊柱, 诊断椎体融合, B-FFE序列图像。

表2 B-FFE组与SWI组成功率比较(n=54)

序列	检查成功(例)	失败(例)	成功率(%)
B-FFE	50	4	92.59
SWI	30	24	55.56

注: 两组经统计学处理,  $\chi^2=21.027, P < 0.001$ ,有显著统计学意义

目前1.5T磁共振胎儿扫描已经形成规范, 2002年3.0T磁共振扫描机器正式在人体应用, 随之在中枢神经系统<sup>[11]</sup>、骨骼肌肉系统<sup>[12]</sup>、腹部<sup>[13]</sup>及其他组织开展应用。因为胎儿脊柱磁共振检查对解剖结构上需要更好的显示, 在1.5T磁共振机上显示欠佳, 因此3.0T磁共振越来越多的使用在胎儿复杂疾病诊断检查中<sup>[14]</sup>。本研

究主要采用B-FFE及SWI序列应用于胎儿脊柱扫描, 为临床提供新的扫描技术支持。

**3.1 胎儿脊柱发育及背景** 胎儿脊柱发育与体节和脊索密切相关, 历经膜内成骨、软骨化骨(脊索降解退化呈髓核)、软骨化骨(椎体骨化中心出现)三期<sup>[15]</sup>, 在妊娠第4周时, 生骨节细胞向中轴3个方向迁移, 向内侧包绕脊索形成软骨, 最后骨化成椎体, 第8~9孕周时, 形成椎体及双侧椎弓的3个骨化中心, 第17~18周时, 骶椎椎体骨化, 第21周后椎弓的骨化。发育过程中内外因素干扰均可引发脊柱发育异常, 如果椎体一侧骨化中心未形成或双侧骨化中心未融合、椎弓骨化中心缺失或未融合均可以导致半椎体、蝴蝶椎、脊柱裂等畸形的发生。目前关于胎儿脊柱发育的研究<sup>[16]</sup>, 多依赖超声及解剖的研究结果, 相比超声及1.5T磁共振, 我院采用3.0T磁共振进行胎儿脊柱检查, 具有更高的软组织分辨力, 更多通道的线圈具有更好的信噪比, 做出来胎儿脊柱图像更

佳,方便诊断胎儿脊柱问题,满足产前诊断临床需要。目前没有任何研究数据证明孕妇在3.0T机器上做检查会对胎儿生长发育有影响<sup>[17]</sup>。我院采用B-FFE及SWI序列应在在胎儿脊柱方面扫描,能更快更高效完成胎儿磁共振检查。

**3.2 B-FFE与SWI序列原理及应用** B-FFE是一种完全平衡的稳定相干成像脉冲序列,序列采用很短的TR、很短的TE和较大的激发角,常规采用TR常小于5ms,TE常小于2ms,采用40°~70°的射频脉冲激发,在这种参数下,组织的信号强度取决于T<sub>2</sub>\*/T<sub>1</sub>的比值<sup>[18-19]</sup>,组织的信号强度不受TR缩短影响,具有成像速度快,单层图像采集时间常在1s以内,因此几乎没有运动伪影,成像分辨率及对比度高<sup>[20]</sup>,本研究显示B-FFE序列检查成功率达92.59%(50/54),成功率明显优于SWI序列组55.56%(30/54),两种序列主要差异在于B-FFE序列孕妇处于平静呼吸状态下,胎儿胎动明显减少,使检查成功率明显提高。该序列各厂家设备命名不同,飞利浦称之为B-FFE,西门子称之为True FISP(true fast imaging with steady-state precession),GE称之为FIESTA(fast imaging employing steady state acquisition)。使用B-FFE扫描时我们要注意通过使用快速的梯度模式,采用半回波技术,增加信号采集带宽和缩小频率编码方向的矩阵可以有效的缩短TR、TE值,从而改善图像的质量,采用较大的偏转角可以增加图像的信号强度,但同时会延长TR值,所以在扫描时,在保证TR值不变的情况下,应尽量增大偏转角来增加图像的信号强度,另外该序列脉冲能量较大,我们在扫描时需密切关注SAR值,本文54例患者B-FFE序列SAR值为2.0±0.05w/kg,相对恒定,SAR值过高时需要通过适当的缩短偏转角来降低SAR值。

SWI是一种利用不同组织间磁敏感差异和血氧水平依赖(BOLD)效应形成影像的磁共振技术,飞利浦称为Veno BOLD静脉血氧水平,西门子称为SWI磁敏感加权成像,GE称为T<sub>2</sub>加权血管造影,由Haacke学者于1997年首次提出,具有高分辨率、高信噪比等特点<sup>[21]</sup>,文献研究显示胎儿脊柱(钙质)具有很强的反磁性,能够导致局部磁场不均匀,引起体积元素(VolumePixel)内质子失相位、T<sub>2</sub>\*值缩短,最终导致体积元素(VolumePixel)内信号降低,使胎儿脊柱与软组织间对比增强,从而更好的显示出胎儿脊柱形态及轮廓。常规SWI采用基于GRE的3D采集,主要用于小静脉、小出血灶、钙铁沉积方面的成像,扫描时间长。因为磁共振胎儿脊柱扫描存在胎动及孕妇呼吸运动伪影,时间过长容易造成运动伪影,我院现采用2D SWI扫描,采用控制呼吸,一次屏气(13s)完成检查,大大降低了胎动及孕妇呼吸运动伪影。

**3.3 B-FFE与SWI序列胎儿脊柱疾病应用** 主要适用于超声检查发现胎儿脊柱异常,再行磁共振检查加以精确诊断,分析结果显示,B-FFE及SWI序列均能很好显示胎儿脊柱椎体形态及结构,在B-FFE序列上,因为序列几乎不受胎动及呼吸运动影响,扫描时间短,扫描层数多,扫描出来图像效果很好,能清晰显示脊柱全长全貌,准确病灶定位及辅助定性,容易获得胎儿脊柱图像。在SWI序列上,显示腰骶段脊柱效果很好,能清晰显示椎体轮廓,显示椎体轮廓方面比B-FFE更优势,在显示胎儿脊柱颈胸段显示欠佳,容易受胎动影响,需要反复扫描。常见病例如下,蝴蝶椎是脊椎发育畸形,对位的椎体软骨化骨中心的一个发育不完全(图1a,图1b),半椎体多是因为染色体异常引起的多发椎体畸形,出生后可能是先天性脊柱侧凸(图2a,图2b),椎体融合又称阻滞椎,是生长发育过程中椎体分节不全所导致,最常见于腰椎和颈椎(图3)。

**3.4 磁共振胎儿检查安全性** Elater等学者在1994年论文中提到目前没有证据证明胎儿磁共振检查与胚胎发育异常存在直接关系<sup>[22]</sup>,我们在做胎儿检查时要考虑SAR值:定义为单位质量的人体组织吸收的高频输出。美国食品和药品管理局(FDA)及国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)标准规定了在胎儿磁共振检查中SAR值在3.0以下<sup>[23]</sup>。本研究54例患者的SAR值,B-FFE扫描SAR值为2.0±0.05w/kg,SWI扫描SAR值为<0.1W/kg,均在安全值范围内,临床生后随访也未发现有关不良反应,因此磁共振检查是相对安全的。

**3.5 研究局限性** 机器方面,3.0T磁共振相比1.5T磁共振检查,

高场强下容易造成磁场不均匀和驻波伪影<sup>[24]</sup>、化学位移伪影、磁敏感伪影<sup>[25]</sup>等。序列方面,B-FFE对磁场不均匀比较敏感,容易出现磁化率伪影,SWI序列扫描对病人控制呼吸、胎动影响较大,需多次重复扫描。

综上所述,胎儿磁共振脊柱扫描在产前诊断胎儿脊柱问题方面具有独特的优势,B-FFE及SWI序列都能很好的显示胎儿脊柱椎体形态及结构,B-FFE在显示胎儿脊柱全长方面具有优势,能简单、快捷获得满意脊柱图像,检查成功率高,但在显示胎儿脊柱轮廓稍逊于SWI序列。SWI在显示胎儿腰骶段具有绝对优势,既能清晰显示椎体形态又能清晰显示椎体轮廓,但检查成功率较低,两者结合扫描能互补双方优势,大大提高胎儿脊柱影像诊断准确率及检查完成率。

## 参考文献

- [1]王瑜,樊燕,熊秀琼,等.二维超声产前诊断胎儿畸形[J].中国医学影像技术,2003(06):785-786.
- [2]李勤,应涛,胡兵.妊娠晚期女性盆膈裂孔结构及大小的三维超声观察[J].中华超声影像学杂志,2011(03):242-244.
- [3]Smith F W,Adam A H,Phillips W D P.NMR IMAGING IN PREGNANCY[J].Elsevier,1983,321(8314-8315).
- [4]王中秋,陈君坤,秦志宏,等.The research of myelination of normal fetal brain with magnetic resonance imaging[J].Chinese Medical Journal,1998(1):71-74.
- [5]Yamashita Y,Namimoto T,Abe Y,et al.MR imaging of the fetus by a HASTE sequence[J].American Journal of Roentgenology,1997,168(2):513-519.
- [6]P,B,Toft,等.Magnetic resonance imaging in juvenile Canavan disease[J].European Journal of Pediatrics,1993.
- [7]谢锋锋,裴江山.胎儿磁共振检查的临床应用探讨[J].基层医学论坛,2017,21(16):2101-2103.
- [8]云,陈欣,单瑞芹,王光彬,等.磁敏感加权成像显示胎儿脊柱解剖及发育畸形的价值[J].中华放射学杂志,2018,52(2):119-124.
- [9]Cho Z H, Park S H, Kim J H, et al. Analysis of acoustic noise in MRI[J]. Magnetic Resonance Imaging, 1997, 15(7): 815-822.
- [10]Hurwitz R, Lane S R, Bell R A, et al. Acoustic analysis of gradient-coil noise in MR imaging[J]. Radiology, 1989, 173(2): 545-548.
- [11]K. Sartor. MR imaging of the brain: tumors[J]. European Radiology, 1999, 9(6).
- [12]Ewa K. Stańcisz, Maria L. Velasco Gallego, Marcin Nowak, Jean-Michel Hatt, Patrick R. Kircher, Inés Carrera. 3.0 Tesla magnetic resonance imaging anatomy of the central nervous system, eye, and inner ear in birds of prey[J]. Veterinary Radiology & Ultrasound, 2018, 59(6).
- [13]Chang K J, Kamel I R, Macura K J, et al. 3.0-T MR imaging of the abdomen: comparison with 1.5T[J]. Radiographics, 2008, 28(7): 1983-1998.
- [14]赵慧,王光彬,林祥涛,等.胎儿腰椎长度发育与孕龄及性别相关性3.0T磁共振研究[J].医学影像学杂志,2015,000(2):330-333,336.
- [15]Widjaja E, Whitby E H, Paley M N, et al. Normal fetal lumbar spine on postmortem MR imaging. AJNR Am J Neuroradiol, 2006, 27(3): 553-559.
- [16]Griffiths P D, Widjaja E, Paley M N, et al. Imaging the fetal spine using in utero MR: diagnostic accuracy and impact on management. Pediatr Radiol, 2006, 36(9): 927-933.
- [17]American College of Radiology, Society for Pediatric Radiology. ACTSPR practice parameter for the safe and optimal performance of fetal magnetic resonance imaging (MRI) [R]. American. 2014.
- [18]Chung H W, Chen C Y, Zimmerman R A, et al. T2 weighted fast MR imaging with true FISP versus HASTE: comparative efficacy in the evaluation of normal brain maturation[J]. Am J Roentgenol, 2000, 175(5): 1375-1380.
- [19]张中伟,罗柏宁,潘碧涛,等.真实稳态进动快速成像T2加权序列在胎儿MRI的应用[J].中国医学影像杂志,2002,12(4):272-275.
- [20]罗海营,周成斌,钟小梅,等.快速平衡稳态进动序列在胎心心脏磁共振成像中的应用价值[J].岭南心血管病杂志,2014,20(4):543-546.
- [21]胡立伟,朱铭,曹厚德,等.磁共振快速采集技术在胎儿检查中的应用[J].生物医学工程学进展,2013,034(4):221-225,233.
- [22]Kanal E, Shellock F G. Policies, guidelines, and recommendations for MR imaging safety and patient management[J]. Journal of magnetic resonance imaging, 1992, 2(2): 247-248.
- [23]Hand J W, Li Y, Thomas E L, et al. Prediction of specific absorption rate in mother and fetus associated with MRI examinations during pregnancy[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2006, 55(4): 883-893.
- [24]Soher B J, Dale B M, Merkle E M. A review of MR physics: 3T versus 1.5T[J]. magnetic resonance imaging clinics of north america, 2007, 15(3): 277-290.
- [25]Erturk S M, Alberich-Bayarri A, Herrmann K A, et al. Use of 3.0-T MR imaging for evaluation of the abdomen[J]. Radiographics, 2009, 29(6): 1547-1563.

(收稿日期:2020-12-24)

(校对编辑:阮靖)