

BSSFP 序列三时相扫描在胎儿心血管系统的应用

陈霞平, 陈春霞, 董海平, 施跃全, 曹文婷, 杨青霞, 郑贤应

(福建省妇幼保健院 福建医科大学妇产临床医学院影像科, 福建 福州 350001)

[摘要] 目的:探讨 BSSFP 序列三时相扫描技术在胎儿心血管系统磁共振检查中的应用价值。材料与方法:回顾性分析 38 例经产前超声提示未见异常的胎儿心血管系统磁共振图像,均行 BSSFP 序列单时相及三时相扫描。由三位 MRI 医师分析两组图像中四腔心、主动脉弓层面解剖结构,并对两组图像进行评分。结果:38 例图像中,对主动脉弓层面的显示,BSSFP 序列单时相和三时相扫描评分差异有统计学意义($P=0.048$);对四腔心层面的显示,两者评分差异无统计学意义($P=0.620$)。结论:BSSFP 序列三时相扫描技术有助于提高胎儿心血管系统图像质量,尤其是主动脉弓层面,能更好显示胎儿心外大血管解剖结构,为胎儿心血管结构的显示提供了一种新的成像思路。

[关键词] 胎儿;心血管系统;磁共振成像

[中图分类号] R714.51;R445.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1008-1062(2024)02-0116-04

DOI:10.12117/jccmi.2024.02.010

Application of three-phase scanning of BSSFP sequence in fetal cardiovascular system

CHEN Xia-ping, CHEN Chun-xia, DONG Hai-ping, SHI Yue-quan, CAO Wen-ting, YANG Qing-xia, ZHENG Xian-ying
(Fujian Maternity and Child Health Hospital, College of Clinical Medicine for Obstetrics & Gynecology and Pediatrics, Fujian Medical University, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Objective: To explore the application value of BSSFP sequence with three-phase in fetal cardiovascular MRI. **Materials and Methods:** The MR images of 38 cases of fetal cardiovascular system with no abnormality revealed by prenatal ultrasound were retrospectively analyzed, and all of them were scanned by BSSFP sequence with single-phase and three-phase. Three MRI doctors analyzed the anatomical structure of the four-chamber view and the transverse aortic arch view and scored them in the two groups of images. **Results:** Statistical differences were found between the single-phase scanning and three-phase scanning scores of the transverse aortic arch view ($P=0.048$). As for the four-chamber view for 38 selected patients, there was no significant difference ($P=0.620$). **Conclusion:** The BSSFP sequence with three-phase is helpful to improve the image quality of fetal cardiovascular, especially at the transverse aortic arch view, which can better display the anatomical structure of fetal extracardiac vessels and provide a new imaging idea for the display of fetal cardiovascular structure.

Key words: Fetus; Cardiovascular System; Magnetic Resonance Imaging

超声心动图是心血管系统异常的首选影像学检查手段,但它易受胎位、孕妇体型、操作者经验等因素的干扰,存在一定的局限性。近年来,随着磁共振成像技术的发展,产前 MRI 诊断胎儿心血管异常已逐渐成为超声重要的补充手段。本文通过平衡稳态自由进动(BSSFP)序列单时相及三时相在胎儿正常心血管系统成像效果的对比,旨在探讨 BSSFP 序列三时相扫描技术的应用价值,为显示胎儿心血管解剖结构提供新的影像学检查思路。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析我院 2022 年 6 月—2023 年 6 月行

产前磁共振检查患者的临床及影像资料,筛选后纳入研究。入组标准:①宫内单胎妊娠,孕 18 周以上;②因胎儿侧脑室增宽、胎盘前置行产前 MRI 检查,超声提示心血管系统无异常;③孕妇状态良好,能够配合完成检查;④无 MR 检查禁忌症。本文入组的孕妇 38 例,年龄 25~44 岁,平均(31.74±4.434)岁;孕周 21~38 周,平均(30.47±3.882)周。本研究经福建省妇幼保健院伦理委员会审批通过(审批编号:2022YJ098),并免除了受试者书面知情同意的要求。

1.2 检查前准备

检查前明确孕周大小和产前超声检查结果,告知孕妇及家属胎儿磁共振检查的安全性及禁忌症。检查前除去随身携带的金属物品,避免激烈运动,提

[收稿日期] 2023-07-21;**[修回日期]** 2023-08-25

[作者简介] 陈霞平(1986-),女,福建福州人,主管技师。E-mail:279850161@qq.com

[通信作者] 郑贤应,福建省妇幼保健院 福建医科大学妇产临床医学院影像科,350001。E-mail:157146087@qq.com

[基金项目] 福建省妇幼保健院科技创新启动基金(引进人才配套科研基金项目),编号:妇幼 YCXY22-01。

前排空膀胱,嘱孕妇平静呼吸,保持放松。

1.3 MRI 扫描方案

采用 GE Signa 1.5T 超导型 MR 仪器扫描,8 通道相控阵表面线圈。孕妇仰卧位或左侧卧位,足先进,双手放于身体两侧,戴好隔音耳罩。定位扫描后先行母体中下腹冠状位、矢状位扫描,再行胎儿胸部横轴位、冠状位、矢状位三方位成像,最后采用 BSSFP 序列行胎儿心血管系统层面横轴位单时相及三时相成像。检查过程中,以前一次扫描图像为准定位后一次扫描,不使用对比剂、镇静剂,不加胎儿心电图门控装置,所有序列都是在母体自由呼吸的情况下进行的。此外,所有采集均控制在 2W/kg 特定吸收率(SAR)的最大限值范围内进行。

MRI 扫描使用 BSSFP 序列,扫描参数:层厚 4~6 mm,层间距-4~0 mm,重复时间(TR)3.5~4.7 ms,回波时间(TE)1.2~1.5 ms,激励次数(NEX)1~2 次,视野(FOV)32 cm×32 cm,矩阵(Matrix)256 mm×256 mm,翻转角(FA)75°,带宽 100 Hz。运用并行成像技术阵列空间敏感性编码技术(ASSET),以减少扫描时间和磁化率伪影。

1.4 MR 图像分析及质量评分

图像分析及质量评分由 3 名从事胎儿磁共振诊断 5 年以上的放射科医生双盲分析完成。分析层面为四腔心、主动脉弓水平横断面,这是显示胎儿心脏和大血管解剖结构最主要的两个切面^[1]。具体方法是 3 名放射科医生先对 38 例单时相的四腔心、主动脉弓水平横断面分别进行分析及评分。完成单时相评分后,再完成 38 例三时相的四腔心、主动脉弓水平横断面进行分析及评分。每一次评分结果取三名放射科医生评分的平均值。评分标准参考^[2]为 5 分制主观评分。4 分:血液和心肌之间的高对比度,精细结构细节清晰显示,并且没有值得注意的伪影;3

分:足够的图像质量来确定大多数心血管结构,一些无关紧要的伪影;2 分:足够的图像质量来确定一些心血管结构,尽管有一些明显的伪影;1 分:明显的伪影,足够的图像质量仅用于确定一般的心室形态;0 分:图像质量不足以可视化整体心血管结构。

1.5 统计学分析

获得的评分数据通过 Excel 2007 表建立数据库,所有数据采用 SPSS 22.0 统计软件分析。放射科医生评分信度分析采用 cronbach alpha 系数评估,以信度>0.7 认为具有内部一致性。数据资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,连续变量比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验。 P 值以 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

38 例图像评分见表 1,单时相四腔心 3 分及以上 26 例(68.42%),主动脉弓层面 10 例(26.32%),平均分为 2.771 9、2.035 1;三时相四腔心 3 分及以上 35 例(92.11%),主动脉弓层面 27 例(71.05%),平均分为 3.285 1、2.912 3。三名放射科医生在不同时相的不同层面的图像评价及质量分析获得的 cronbach alpha 系数均>0.7,有较高的可信度(表 2)。在四腔心层面,单时相和三时相 BSSFP 序列评分差异无统计学意义($F=0.484, P=0.620$),成像效果相仿(图 1)。在主动脉弓层面,两者评分差异具有统计学意义($F=2.924, P=0.048$),三时相扫描技术对主动脉弓层面解剖结构的显示更具优势(图 2)。

3 讨论

先天性心脏病简称先心病,在我国出生缺陷病种中排名首位^[3],其发病率约占活产新生儿的 0.8%~1%^[4]。超声心动图是胎儿心血管系统产前筛查首选的影像学方法,但孕中期先心病检出率仍不高。MRI

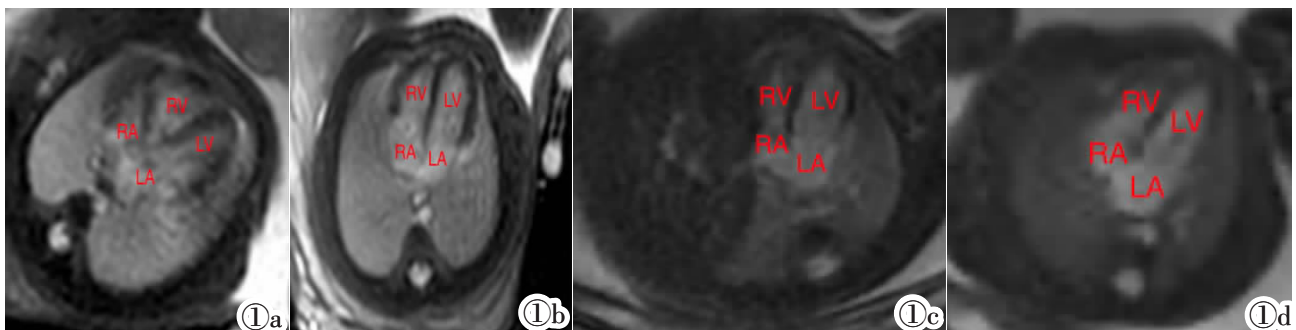


图 1 胎儿 MRI BSSFP 序列四腔心层面。图 1a:孕 32 周,单时相四腔心层面;图 1b:孕 32 周,三时相四腔心层面;图 1c:孕 28 周,单时相四腔心层面;图 1d:孕 28 周,三时相四腔心层面。RV:右心室;LV:左心室;RA:右心房;LA:左心房。

Figure 1. The fetal MR BSSFP four-chamber view image. Figure 1a: A 32-week normal fetus, the single-phase scanning of four-chamber view. Figure 1b: Same case as Figure 1a, the three-phase scanning of four-chamber view. Figure 1c: A 28-week normal fetus, the single-phase scanning of four-chamber view. Figure 1d: Same fetus as Figure 1c, the three-phase scanning of four-chamber view. RV: right ventricle; LV: left ventricle; RA: right atrium; LA: left atrium.

表 1 四组序列图像质量评分比较(n=38)

	图像质量评分					3 分及以上	平均分
	4 分	3 分	2 分	1 分	0 分		
单时相四腔心	3	23	12	0	0	68.42%	2.771 9
单时相主动脉弓	2	8	17	9	2	26.32%	2.035 1
三时相四腔心	16	19	3	0	0	92.11%	3.285 1
三时相主动脉弓	8	19	10	1	0	71.05%	2.912 3

表 2 3 名放射科医师的四组序列图像质量评分可信度分析

组别	医师 1	医师 2	医师 3	cronbach alpha 系数
单时相四腔心	2.79±0.58	2.74±0.69	2.79±0.66	0.850
三时相四腔心	3.45±0.60	3.13±0.67	3.29±0.65	0.902
单时相主动脉弓	1.95±1.01	2.08±0.94	2.08±1.10	0.930
三时相主动脉弓	2.97±0.75	2.92±0.88	2.84±0.86	0.843

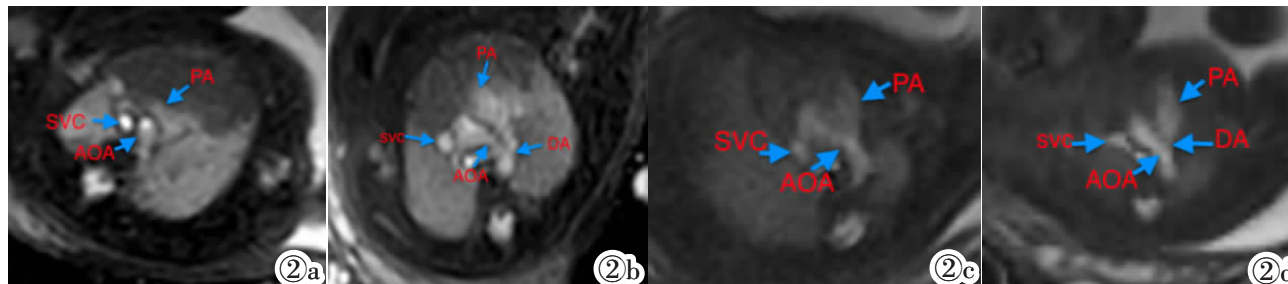


图 2 胎儿 MRI BSSFP 序列主动脉弓层面。图 2a: 孕 32 周, 单时相主动脉弓层面; 图 2b: 孕 32 周, 三时相主动脉弓层面; 图 2c: 孕 28 周, 单时相主动脉弓层面; 图 2d: 孕 28 周, 三时相主动脉弓层面。PA: 肺动脉, DA: 动脉导管, SVC: 上腔静脉, AOA: 主动脉弓。

Figure 2. The transverse aortic arch view of fetal MR BSSFP. Figure 2a: A 32-week normal fetus, the single-phase scanning of transverse aortic arch view. Figure 2b: Same case as Figure 2a, the three-phase scanning of transverse aortic arch view. Figure 2c: A 28-week normal fetus, the single-phase scanning of transverse aortic arch view. Figure 2d: Same fetus as Figure 2c, the three-phase scanning of transverse aortic arch view. PA: pulmonary artery, DA: ductus arteriosus, SVC: superior vena cava, AOA: aortic arch.

作为超声检查之外另一种重要的影像学检查方法, 在胎儿心血管检查中的应用越来越广泛^[5]。MRI 软组织分辨率高, 视野大, 多平面、多方位成像, 不受孕妇体型、胎龄、胎位、羊水量及检查者经验等因素影响^[6-7], 能清晰显示胎儿心外血管解剖结构及毗邻关系, 并提供超声之外更多的信息, 对胎儿正常解剖评价及先天性发育疾病具有重要价值^[8]。

3.1 胎儿磁共振检查安全性

2023 年 ISUOG 实践指南^[9](更新版) 及胎儿 MRI 中国专家共识^[10]明确指出在在使用造影剂的情况下, 在 1.5T 及以下场强的 MRI 检查对中晚期胎儿是安全的。本研究 38 例患者的 SAR 值均在安全值范围内。

3.2 磁共振 BSSFP 序列的应用

BSSFP 序列是超快速梯度回波序列, 采用很短的 TR、TE 及厚层负间隔扫描, 成像速度快, 时间分辨率高, 对运动伪影不敏感, 能产生高质量对比分辨率的胎儿心血管结构图像, 是胎儿心血管系统扫描的必备序列^[10-11], 该序列胎儿心腔和大血管管腔呈高信号, 心室壁、室间隔呈低信号, 形成良好对比。四腔心和主动脉弓层面是胎儿心脏 MRI 评估的重要层面, MRI 对心外大血管的显示明显优于超声, 主动脉弓层面清晰的解剖结构可提高胎儿先天性心脏病的诊断率。本文 38 例图像中, BSSFP 序列三时相扫描技术显示如下特点: ①与单时相扫描相比, 在主动脉弓层面解剖结构的显示上更具优势, 四腔心层面成像效果相仿; ②同一解剖层面上, 三时相扫描得

到的是三组图像, 信息可相互补充, 更好地弥补单时相扫描时图像模糊的不足, 特别在胎动时优势尤为明显。本文中有 2 例单时相扫描主动脉弓层面评分为 0 分, 因胎动造成图像模糊无法显示解剖结构; 三时相扫描评分为 2 分, 足够确定解剖结构。③可简易模拟胎儿心血管电影成像, 动态显示血流、观察胎心搏动状况。

3.3 胎儿心血管 MRI 成像的挑战

与出生后相比, 胎儿心血管磁共振成像更具挑战性。胎儿心脏体积小、搏动快, 在妊娠后期, 胎儿主要血管的直径为 5~10 mm, 每个心室的直径为 10~30 mm^[12], 正常的胎儿心率为 120~160 次/分^[13]。同时, 母体呼吸、不可预测的胎儿运动、缺乏常规心电图和呼吸门控方法等诸多因素使心血管解剖结构常显示模糊。因此, 不断探索新的成像技术, 更清晰显示心脏大血管解剖结构, 提高先心病诊断效能, 是未来胎儿心血管磁共振研究的主要方向。

3.4 本研究局限性

第一, 本研究病例以孕晚期为主, 孕周均在 21~38 周。第二, 胎儿心血管 MRI 仍处于探索阶段, 缺乏充分全面且标准的切面图。第三, 本研究样本量较小且未行胎儿心血管发育异常的 MRI 研究, 研究结果有待于收集更多的病例, 以提高统计学意义、诊断效能。

综上所述, BSSFP 序列三时相扫描技术有助于提高胎儿心血管系统图像质量, 尤其是主动脉弓层面, 能更好显示胎儿心外大血管解剖结构, 为胎儿心

血管结构的显示提供了一种新的成像思路,能够为临床提供更多有用信息。

[参考文献]

- [1] Dong SZ, Zhu M. Pattern-based approach to fetal congenital cardiovascular anomalies using the transverse aortic arch view on prenatal cardiac MRI[J]. *Pediatr Radiol*, 2015, 45(5): 743-750.
- [2] Joshua FP, van Amerom David FA, Lloyd Anthony N, et al. Fetal cardiac cine imaging using highly accelerated dynamic MRI with retrospective motion correction and outlier rejection[J]. *Magn Reson Med*, 2017, 79: 327-338.
- [3] 中华人民共和国卫生部. 中国出生缺陷防治报告(2012)[R]. 北京:中华人民共和国卫生部,2012:1-16.
- [4] Vamder Linde D, Konings EE, Slager MA, et al. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(21): 2241-2247.
- [5] 张国梁,王利顺,王启臣,等. 磁共振成像在产前胎儿先天性发育异常诊断中的应用价值 [J]. *中国妇幼保健*,2018,33 (24):5994-5996.
- [6] 尹春红,庄王玉,宋修峰. 产前超声及 MRI 诊断胎儿脑回畸形的对照分析[J]. *临床放射学杂志*,2021,40(3):578-581.
- [7] 肖伟强,黄莉,陈元凯,等. 胎儿疝囊型膈疝的磁共振诊断与鉴别诊断[J]. *中国临床医学影像杂志*,2022,33(5):359-362.
- [8] 中华医学会放射学分会儿科学组,中华医学会儿科学分会放射学组. 胎儿 MRI 中国专家共识 [J]. *中华放射学杂志*,2020,54(12): 1153-1161.
- [9] Prayer D, Malinger G, De Catte L, et al. On behalf of the ISUOG Clinical Standards Committee. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2023, 61(2): 278-287.
- [10] 刘可,董素贞. 产前 MRI 量化评估孕 20~36 周正常胎儿心室内径价值[J]. *中国临床医学影像杂志*,2022,33(5):354-358.
- [11] 董素贞. 胎儿 MRI 在先心病诊断中的应用[J]. *中国产前诊断杂志(电子版)*,2023,15(1):13-17;34.
- [12] Firpo C, Hoffman JIE, Silverman NH. Evaluation of fetal heart dimensions from 12 weeks to term [J]. *Am J Cardiol*, 2001, 87(5): 594-600.
- [13] Pildner von Steinburg S, Boulesteix AL, Lederer C, et al. What is the "normal" fetal heart rate?[J]. *Peer J*, 2013, 1: e82.

(上接 111 页)

[参考文献]

- [1] 薛恩生. 阴囊及其内容物疾病的超声诊断[M]. 福州:海峡出版发行集团/福建科学技术出版社,2016:77-78.
- [2] Adler DD, Carson PL, Rubin JM, et al. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings [J]. *Ultrasound Med Biol*, 1990, 16(6): 553-559.
- [3] Ma RZ, Tian L, Tao LY, et al. The survival and prognostic factors of primary testicular lymphoma: two-decade single-center experience[J]. *Asian J Androl*, 2018, 20(6): 615-620.
- [4] 曾小科,王学梅,陈治光,等. 超声征象 Logistics 回归鉴别睾丸精原细胞瘤和原发性睾丸淋巴瘤 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2022,33(3):197-200.
- [5] Zucca E, Conconi A, Mughal TI, et al. Patterns of outcome and prognostic factors in primary large-cell lymphoma of the testis in a survey by the International Extranodal Lymphoma Study Group [J]. *J Clin Oncol*, 2003, 21(1): 20-27.
- [6] 李玲,张芳文,王冠男,等. 原发睾丸淋巴瘤的临床特点及预后影响因素分析[J]. *郑州大学学报(医学版)*,2017,52(4):470-474.
- [7] Pollari M, Leivonen SK, Lepp S. Testicular diffuse large B-cell lymphoma-clinical, molecular, and immunological features[J]. *Cancers(Basel)*, 2021, 13(16): 4049.
- [8] Ma RZ, Tian L, Tao LY, et al. The survival and prognostic factors of primary testicular lymphoma: Two-decade single-center experience[J]. *Asian J Androl*, 2018, 20(6): 615-620.
- [9] 蔡沁村,陈琴,周青,等. 原发性睾丸淋巴瘤超声表现及误诊分析 [J]. *中国超声医学杂志*,2020,36(1):93-95.
- [10] 唐秀斌,薛恩生,林礼务,等. 原发性睾丸淋巴瘤的超声表现[J]. *中华超声影像学杂志*,2019,28(11):990-993.
- [11] Bhat S, Sachin J, Ramaprasad D, et al. Striated pattern on scrotal ultrasonography: A marker for Non-hodgkins lymphoma of testis[J]. *Indian J Urol*, 2014, 30(1): 113-114.
- [12] Lock G, Schmidt C, Schrder C, et al. Straight vessel pattern and rapid filling time: characteristic findings on contrast-enhanced sonography of testicular lymphoma [J]. *J Ultrasound Med*, 2016, 35(7): 1593-1599.
- [13] Bertolotto M, Derchi LE, Secil M, et al. Grayscale and color Doppler features of testicular lymphoma [J]. *J Ultrasound Med*, 2015, 34(6): 1139-1145.
- [14] Yang L, Tao Y, Weixin Z, et al. Contrast-enhanced and microvascular ultrasound imaging features of testicular lymphoma: report of five cases and review literature [J]. *BMC Urol*, 2022, 22(1): 6.
- [15] 杨磊,唐灿,彭玉兰. 彩色多普勒超声鉴别睾丸精原细胞瘤与淋巴瘤的应用价值[J]. *临床超声医学杂志*,2021,23(2):123-125.