

Thick-layer negative-spacing technique applied in fetal 3T MR balanced fast field echo sequence scanning

LI Hong'en, HUANG Zhicheng, DONG Chong, ZHANG Yan,
JIANG Kuiming, ZENG Yihui*

(Department of Radiology, Guangdong Province Hospital for Women and
Children Healthcare, Guangzhou 511400, China)

[Abstract] **Objective** To observe the application value of thick-layer negative-spacing balanced fast field echo (B-FFE) sequence in fetal 3T MR examination. **Methods** Fetal head B-FFE sequence images with conventional slice thickness and space (slice thickness 3 mm, slice space 0 mm) and thick slice negative space (slice thickness 6 mm, slice space -3 mm) were acquired in 91 pregnant women. The signal to noise ratio (SNR) of left frontal white matter area and left lateral ventricle posterior horn at the lateral ventricle posterior horn layer, images contrast-to-noise ratio (CNR), image quality score and specific absorption rate (SAR) were compared between different sequence images, and the scanning times were recorded. **Results** SNR of left frontal white matter area and left lateral ventricle posterior horn, as well as CNR of thick-layer negative-spacing B-FFE sequence images were higher than those of conventional slice-thickness and space B-FFE sequence images ($Z = -8.290, -8.290, -8.013$, all $P < 0.001$). The image quality score of thick-layer negative-spacing B-FFE sequence was higher than that of conventional slice-thickness and space B-FFE sequence images ($\chi^2 = 10.966$, $P = 0.004$), while SAR were not different from conventional slice-thickness and space B-FFE sequence image ($Z = -0.362$, $P = 0.717$). The acquisition time of thick-layer negative-spacing B-FFE sequence was 57 s, of conventional slice-thickness and space B-FFE sequence was 37 s. **Conclusion** Application of thick-layer negative-spacing technology in fetal head B-FFE sequence scanning could improve image quality and clearly show the fetal anatomy and the details of lesions.

[Keywords] fetus; magnetic resonance imaging; thick layer negative spacing; balanced fast field echo

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.09.034

厚层负间距技术用于胎儿 3T MR 平衡式快速场回波序列扫描

李鸿恩, 黄志承, 董冲, 张嫣, 江魁明, 曾益辉*

(广东省妇幼保健院放射科, 广东 广州 511400)

[摘要] **目的** 评估厚层负间距平衡式快速场回波(B-FFE)序列在胎儿 3T MR 检查中的应用价值。 **方法** 对 91 名孕妇采集胎儿头部常规层厚间距(层厚 3 mm, 层间距 0 mm)及厚层负间距(层厚 6 mm, 层间距 -3 mm)B-FFE 序列图像, 比较不同序列图像中胎儿侧脑室后角层面左侧额叶白质区(SNR_{额叶白质区})及左侧脑室后角(SNR_{侧脑室后角})的信噪比(SNR)、图像对比噪声比(CNR)、图像质量评分及特异吸收率(SAR), 并记录采集时间。 **结果** 厚层负间距 B-FFE 序列图像的 SNR_{额叶白质区}、SNR_{侧脑室后角} 及 CNR 均高于常规层厚间距 B-FFE 序列图像($Z = -8.290, -8.290, -8.013$, P 均 < 0.001), 其图像质量评分高于常规层厚间距 B-FFE 序列图像($\chi^2 = 10.966$, $P = 0.004$), 而 SAR 与常规层厚间距 B-FFE 序列图像差异无统计学意义($Z = -0.362$, $P = 0.717$)。厚层负间距 B-FFE 序列图像采集时间 57 s, 而常规层厚间距 B-FFE 序列为 37 s。 **结论**

[第一作者] 李鸿恩(1988—), 男, 湖南娄底人, 本科, 主管技师。研究方向: 胎儿 MR 技术。E-mail: 137842241@qq.com

[通信作者] 曾益辉, 广东省妇幼保健院放射科, 511400。E-mail: 710171607@qq.com

[收稿日期] 2020-09-27 [修回日期] 2021-06-09

厚层负间距技术用于胎儿头部 B-FFE 序列扫描有助于提高图像质量,以清晰显示胎儿解剖结构及病变细节。

【关键词】 胎儿; 磁共振成像; 厚层负间距; 平衡式快速场回波

【中图分类号】 R714.5; R445.2 【文献标识码】 A 【文章编号】 1003-3289(2021)09-1415-04

随着 MR 场强增高及新技术不断涌现, MRI 已广泛用于胎儿各系统检查^[1-3]。用于采集胎儿 MR T2WI 的主要序列包括单次激发快速自旋回波(single shot fast spin echo, SS-FSE)和平衡式快速场回波(balanced fast field echo, B-FFE)。B-FFE 采用短 TR、小翻转角成像,以在短 TR 内获得高信噪比(signal to noise ratio, SNR)图像,已普遍用于胎儿 MR 检查;但在胎儿 3T MR 检查中表现不佳,主要原因是 B-FFE 序列本质上是梯度回波序列,易产生磁敏感伪影,以 3.0T MR 仪扫描磁敏感伪影更重;另外,随着场强升高,组织 T1 值升高、T2 值降低,导致 T2/T1 变小,图像对比度降低。本研究评估厚层负间距 B-FFE 序列在胎儿 3T MR 检查中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2019 年 7 月—2020 年 8 月 91 名因超声疑诊胎儿头部发育异常而于广东省妇幼保健院接受胎儿 MR 检查的孕妇,年龄 23~43 岁,平均(26.3±5.5)岁;均为单胎妊娠,孕周 22~38 周,平均(26.2±4.3)周。纳入标准:①接受胎儿常规层厚间距、厚层负间距 B-FFE 序列及其他常规序列扫描;②无 MR 检查禁忌证。排除标准:患高血压、糖尿病及相关疾病,或不能配合完成 MR 检查。本研究经医院伦理委员会批准,检查前孕妇均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Ingenia 3.0T 超导 MR 扫描仪,配备 16 通道体部相控阵线圈。嘱孕妇仰卧或侧卧,足先进,两手置于胸前,行常规层厚间距及厚层负间距 B-FFE 序列及其他常规序列胎儿头部扫描。参数:常规层厚间距 B-FFE 序列,TR 2.7 ms(最短),TE 1.4 ms(最短),矩阵 268×195,FOV 40 cm×35 cm,层厚 3 mm,层间距 0 mm,采集次数 1 次,带宽 1 413.2 Hz/pixel,翻转角度 60°,扫描层数 24 层;厚层负间距 B-FFE 序列,层厚 6 mm,层间距-3 mm,其余参数同常规层厚间距 B-FFE 序列。常规行三平面 B-FFE 序列扫描,以最近一次扫描图像为准定位后次扫描。记录 MR 仪自动显示的常规层厚间距及厚层负间距 B-FFE 序列的采集时间及特异吸收率(specific absorption rate, SAR)。

1.3 图像分析

1.3.1 客观评价 分别于厚层负间距 B-FFE 序列及

常规层厚 B-FFE 序列图像上胎儿侧脑室后角层面左侧额叶白质区及左侧脑室后角、头颅旁空气处放置面积 0.25 cm² 的 ROI,测量左侧额叶白质区及左侧脑室后角信号强度(signal intensity, SI)及头颅旁空气的标准差(standard deviation, SD),计算其 SNR 和图像对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR),SNR = SI/SD_{空气}, CNR = (SNR_{侧脑室后角} - SNR_{额叶白质区})/SD_{空气};其中 SI 指额叶白质区/侧脑室后角 SI,SD_{空气} 为头颅旁气体 SD。

1.3.2 图像质量评分 由 2 名具有 5 年以上 MRI 诊断经验的影像科医师采用双盲法阅片,分析 2 组图像显示胎儿头部解剖结构及病变的能力,并参考文献^[4]评分标准进行评分:①2 分,清晰显示解剖结构及病变细微情况,能明确诊断;②1 分,图像质量一般,尚能显示解剖结构及病变,可用于诊断;③0 分,图像模糊,不能显示解剖结构及病变情况,不能诊断。意见不一时协商得出结果。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 23.0 统计分析软件。以中位数(上下四分位数)表示计量资料,采用 Wilcoxon 符号秩和检验进行比较。以 χ^2 检验法比较厚层负间距与常规层厚间距 B-FFE 序列图像评分的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同序列图像客观评价及 SAR 比较 厚层负间距 B-FFE 序列图像 SNR_{额叶白质区}、SNR_{侧脑室后角} 及 CNR 明显高于常规层厚间距 B-FFE 序列图像(P 均 < 0.001),而其 SAR 与常规层厚间距 B-FFE 序列图像差异无统计学意义($P = 0.717$),见表 1 及图 1。厚层负间距 B-FFE 序列的扫描时间 57 s,较常规层厚间距 B-FFE 序列(37 s)增加 20 s。

2.2 不同序列图像质量评分比较 胎儿厚层负间距 B-FFE 序列图像质量评分多高于常规层厚间距 B-FFE 序列图像($P = 0.004$),见表 2 及图 2。

3 讨论

B-FFE 序列是超快速梯度回波序列,属于完全平衡的稳定相干成像脉冲序列,在 3 个编码梯度场的相反方向施加大小和场强与编码梯度场相同的梯度场,使纵向磁矩在数次脉冲后出现稳定值,即稳态^[5],故组织 T1 值对图像对比度的影响较小;其 TE 远低于组织

表 1 胎儿厚层负间距与常规层厚间距 B-FFE 序列图像客观评价及 SAR 比较[中位数(上下四分位数)]

图像	SNR _{额叶白质区}	SNR _{侧脑室后角}	CNR	SAR 值(W/kg)
厚层负间距 B-FFE 序列	125.50(113.87,159.97)	186.37(156.25,217.50)	6.90(3.84,8.31)	2.00(1.90,2.10)
常规层厚间距 B-FFE 序列	118.25(103.91,130.25)	156.45(136.62,186.00)	5.28(3.84,7.32)	2.00(2.00,2.00)
Z 值	-8.290	-8.290	-8.013	-0.362
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	0.717

表 2 胎儿厚层负间距与常规层厚间距 B-FFE 序列图像质量评分比较(n=91)

图像种类	评分结果(例)		
	2 分	1 分	0 分
厚层负间距 B-FFE 序列	85	4	2
常规层厚 B-FFE 序列	69	12	10
χ^2 值	10.996		
P 值	0.004		

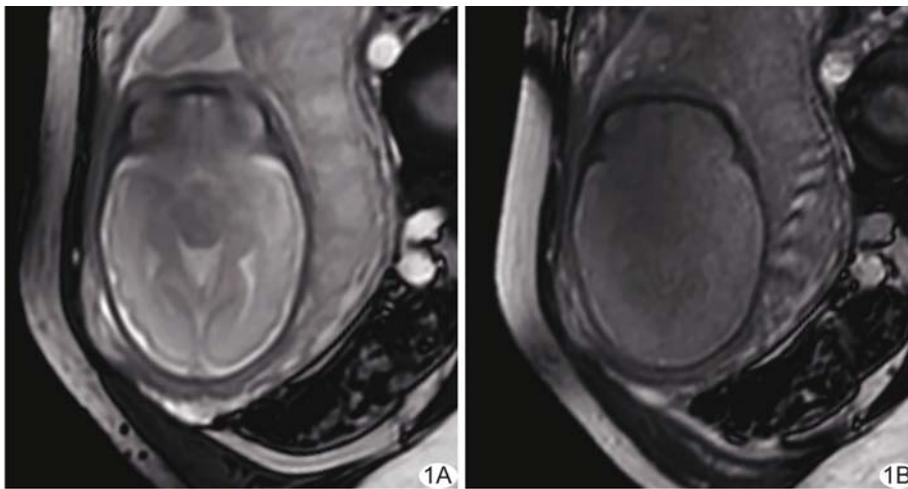


图 1 孕妇,孕 24 周,胎儿头颅 MRI A. 厚层负间距 B-FFE 序列图像清晰显示胎儿颅内结构, SNR_{额叶白质区} 及 SNR_{侧脑室后角} 分别为 101.21 及 147.52, CNR 为 5.788; B. 常规层厚间距 B-FFE 图像显示胎儿颅内结构欠佳, SNR_{额叶白质区} 及 SNR_{侧脑室后角} 分别为 96.90 及 136.62, CNR 为 4.965

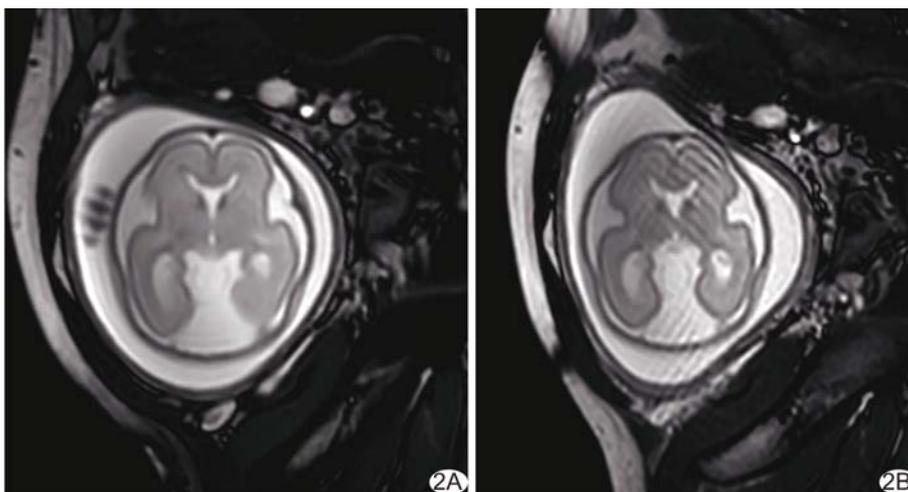


图 2 孕妇,孕 26 周,胎儿头颅 MRI A. 厚层负间距 B-FFE 序列图像清晰显示胎儿颅内结构,未见伪影,图像评分 2 分; B. 常规层厚间距 B-FFE 图像显示胎儿颅内结构欠佳,存在磁敏感伪影,图像评分 1 分

T2* 值,横向磁矩在数次脉冲后出现稳定值,因而组织 T2* 值对图像对比度的影响亦小,图像对比度取决于 T2/T1^[6-7];其优点为扫描速度快、运动伪影少^[8]、流动血液呈高信号、液体与软组织对比好,可用于胎儿全身各部位检查,包括胎儿心脏。因软组织之间 T2/T1 差异小, B-FFE 序列图像软组织对比度差,且对磁场不均匀性较敏感,易产生磁敏感伪影及黑带伪影(相位积累错误)^[9],尤其对于 3T 等高场强 MR 仪,难以维持均匀一致的静态磁场^[10-11],导致 3.0T MR 胎儿常规层厚间距 B-FFE 序列图像质量欠佳。

MR 扫描层厚设置与病灶大小有关,一般要求层厚小于病灶直径之半,以利于观察病灶情况。层厚越厚,图像空间分辨力越低,而体素体积变大,使得图像 SNR 越高,采集层数越少,扫描时间越短。层间距为相邻 2 个层面之间的距离,层间距增加使得层间干扰减少,而采集层数亦减少,易遗漏病灶。提高 MR B-FFE 序列图像 SNR 主要有以下方法:①提高主磁场强度,MR 图像的 SNR 与主磁场强度呈正比,研究^[12-13]表明,3T MR 的图像 SNR 是 1.5T 的 1.7~1.8 倍;②采用表面线圈,尤其相控阵线圈能提高图像 SNR,常规 1.5T MR 仪配备的相控阵线圈为 6 通道,线圈通道越多,采用并行采集技术,采集时间更短^[14],扫描成功率更高;③图像

SNR 与扫描层厚呈正相关,增加扫描层厚有利于提高 SNR。本研究以 3T MR 仪、16 通道相控阵线圈行胎儿头部扫描,采用厚层负间距扫描技术,层厚 6 mm,层间距 -3 mm,结果显示厚层负间距 B-FFE 序列图像的 SNR_{额叶白质区}、SNR_{侧脑室后角}、CNR 及图像评分均高于常规层厚间距 B-FFE 序列图像,可在保证空间分辨力的前提下显著提高胎儿头部 B-FFE 序列图像质量,且不遗漏小病灶、不丢失过多信息。厚层负间距 B-FFE 序列虽致扫描时间增加 20 s,但整体图像 SNR 较常规层厚间距 B-FFE 序列图像提高约 1.95 倍,能更好地显示胎儿头部解剖结构及病变细节。

B-FFE 序列图像出现磁敏感伪影的主要原因在于不同组织成分的磁敏感性、质子进动频率及相位不同。在不同组织交界面,磁敏感性不同导致局部磁场变化出现自旋失相位及信号缺失,尤易见于 3.0T 图像及气体与骨组织交界处,扫描前做好自动匀场、将病变置于扫描野中心及增加扫描层厚等有助于控制上述问题。本研究厚层负间距 B-FFE 序列图像出现磁敏感伪影比例为 2.198%(2/91),低于常规层厚间距 B-FFE 序列图像的 10.989%(10/91)。

目前尚无相关证据表明 MR 检查会影响胎儿生长发育^[15]。SAR 为单位质量的受检组织吸收的射频能量,胎儿 MR 检查 SAR<3.0^[16]。本研究中 B-FFE 序列 TR/TE 变化不大,处于平均及稳定变化区间^[17],2 个序列扫描中 91 名孕妇的 SAR 均<3.0,随访亦未发现新生儿相关异常。

综上所述,厚层负间距技术用于胎儿头部 B-FFE 序列扫描有助于提高图像质量,清晰显示胎儿头部解剖结构及病灶细微情况,可推广用于 3.0T MR 检查胎儿各部位,配合其他常规胎儿扫描序列,为临床诊断提供更多信息。本研究的主要不足之处:厚层负间距扫描导致图像空间分辨力及层面分辨率下降,图像部分容积效应明显,影响病灶与正常组织的对比;扫描时间相对较长,图像质量易受胎动伪影影响。

[参考文献]

[1] 梁艳山,张小安,赵鑫,等. MRI 诊断胎儿脊柱脊髓畸形及序列选

择[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(1):111-115.

[2] 曹亚先,王芮,陈臻,等. MRI 诊断胎儿胎粪性腹膜炎[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(9):1380-1383.

[3] 唐华宇,曾施,谭雅,等. 超声及 MRI 诊断先天性心脏病胎儿神经系统发育异常应用进展[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(11):1712-1715.

[4] YAMASHITA Y, NAMIMOTO T, ABE Y, et al. MR imaging of the fetus by a HASTE sequence[J]. *Ajr Am J Roentgenol*, 1997, 168(2):513-519.

[5] 王建伟,王敏,张廉良,等. SSFSE 和 FIESTA 序列在胎儿 MR 成像中的对比研究[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(12):63-65.

[6] 刘炳光,曹满瑞,张方璟,等. 比较快速自旋回波序列和平衡式快速场回波序列对胎盘植入征象的显示效能[J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(2):302-305.

[7] 马红丽. 快速平衡稳态采集和单次激发快速自旋回波序列产前诊断胎盘植入的价值比较[D]. 重庆:重庆医科大学, 2019:6-11.

[8] 陈晓. 胎儿磁共振——磁共振检查的新领域[J]. 家庭保健, 2020, 36(25):110.

[9] 胡军武,王伟,孙子燕,等. 胎儿磁共振成像序列的对比研究及应用[J]. 放射学实践, 2006, 21(6):623-625.

[10] 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.

[11] 叶锦棠. 3T 磁共振成像在胎儿产前诊断中的应用——机遇与挑战[J]. 中国医刊, 2015, 50(8):16-17.

[12] CHANG K J, KAMEL I R, MACURA K J, et al. 3.0-T MR imaging of the abdomen: Comparison with 1.5 T [J]. *Radiographics*, 2008, 28(7):1983-1998.

[13] BARTH M M, SMITH M P, PEDROSA I, et al. Body MR imaging at 3.0 T: Understanding the opportunities and challenges[J]. *Radiographics*, 2007, 27(5):1445-1462.

[14] GLOCKNER J F, HU H H, STANLEY D W, et al. Parallel MR imaging: A user's guide[J]. *Radiographics*, 2005, 25(5):1279-1297.

[15] HAN R, HUANG L, SUN Z, et al. Assessment of apparent diffusion coefficient of normal fetal brain development from gestational age week 24 up to term age: A preliminary study[J]. *Fetal Diagn Ther*, 2015, 37(2):102-107.

[16] 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.

[17] 黄绮华,高勇,辛学刚. 高场胎儿磁共振成像 SAR 分布及 B₁ 场均匀性研究[J]. 微波学报, 2013, 29(2):91-96.