

Optimal sequence MRI for measurement of fetal femur length

LI Hong'en, ZHANG Li, LIN Xing, ZHANG Yan, ZENG Yihui, JIANG Kuiming*

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

[Abstract] **Objective** To observe the value of MRI in measuring fetal femoral length (FL), and to select the optimal sequence. **Methods** Data of MRI including diffusion weighted imaging (DWI), single shot fast spin echo (SSFSE), fast imaging employing steady-state acquisition (FIESTA) and fast inversion recovery motion insensitive (FIRM) sequence imaging, as well as ultrasound of 205 fetal femurs were retrospectively analyzed. The image quality of MR sequences were scored, and FL values measured with MR sequences and ultrasound were compared. **Results** There were significant differences of image quality scores of fetal femoral shaft and epiphysis between each two MR sequences (all $P < 0.05$). The imaging quality score of DWI was significantly higher than that of SSFSE, FIESTA and FIRM sequence (all $P < 0.05$), while of FIESTA sequence was higher than of SSFSE and FIRM sequence (both $P < 0.05$), of SSFSE sequence was higher than of FIRM sequence (all $P < 0.05$). There was no significant difference of FL values of 205 fetuses measured with DWI and ultrasound ($P > 0.05$), but significant differences of FL values were found among SSFSE, FIESTA and FIRM sequences and ultrasound (all $P < 0.05$). **Conclusion** MRI could provide direct images of fetal femur long axis for clinic. DWI could be used to measure fetal FL more accurately than other MR sequences.

[Keywords] fetus; femur; magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2022.03.029

优选序列 MRI 测量胎儿股骨长度

李鸿恩, 张丽, 林兴, 张嫣, 曾益辉, 江魁明*

(广东省妇幼保健院放射科, 广东 广州 511400)

[摘要] **目的** 评价 MRI 测量胎儿股骨长度(FL)的价值,并选择最优序列。**方法** 回顾性分析 205 胎胎儿股骨 MRI, 包括弥散加权成像(DWI)、单次激发快速自旋回波(SSFSE)、快速稳态梯度回波(FIESTA)及快速反转恢复运动抑制(FIRM)序列图像及超声资料,对各序列图像质量进行评分,比较所测 FL 与超声测值的差异。**结果** 各序列 MRI 显示胎儿股骨干及骨骺端图像质量评分差异具有统计学意义($P < 0.05$);DWI 图像质量评分明显高于 SSFSE、FIESTA 及 FIRM 序列图像(P 均 < 0.05),FIESTA 序列图像质量评分高于 SSFSE 及 FIRM 序列图像(P 均 < 0.05),SSFSE 序列图像质量评分高于 FIRM 序列图像($P < 0.05$)。采用 DWI 测量的 205 胎 FL 结果与超声测值差异无统计学意义($P > 0.05$),而以 SSFSE、FIESTA 及 FIRM 序列图像所测 FL 与超声测值比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.05)。**结论** MR 可为临床提供能够直接显示胎儿股骨长轴的图像;DWI 用于测量胎儿 FL 较其他 MR 序列更为精准。

[关键词] 胎儿; 股骨; 磁共振成像

[中图分类号] R714.51; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2022)03-0449-04

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

[通信作者] 江魁明,广东省妇幼保健院放射科,511400。E-mail: kmjiang64@sina.com

[收稿日期] 2021-07-01 **[修回日期]** 2021-11-06

测量胎儿股骨长度(femur length, FL)及双顶径对准确判断其生长发育具有重要作用,是孕期超声常规检查项目。超声测量胎儿 FL 相关研究^[1]较多,但因检查视野小、软组织分辨力低而易受羊水、孕妇腹腔结构及脂肪层厚度等因素影响^[2],无法直观显示胎儿股骨长轴,且检查者依赖性较高。自 1983 年 SMITH 等^[3]提出胎儿 MRI 以来,MR 已广泛用于产前筛查胎儿各系统疾病^[4]。本研究与超声测量对比,评价不同序列 MRI 测量胎儿 FL 的价值,以优选可精准测量胎儿 FL 的 MR 序列。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2013 年 10 月—2020 年 3 月 205 名于广东省妇幼保健院接受产检的孕妇及其胎儿,孕妇年龄 23~41 岁,平均(28.4±4.4)岁;孕周 23~37 周,平均(26.9±3.5)周。纳入标准:①单胎妊娠;②胎儿超声检查资料完整,与 MR 扫描时间间隔<3 天。排除图像质量不佳者。

1.2 仪器与方法 采用 GE 1.5T MR355 超导 MR 机,配备 8 通道体部相控阵线圈。嘱孕妇仰卧或侧卧,佩戴耳塞,保持放松。采集胎儿股骨 MR 图像,以冠状位及矢状位为主、轴位为辅,冠状位尽量于同一层面内显示双侧股骨,对双侧股骨分别进行矢状面扫描;扫描序列包括单次激发自旋回波-平面回波成像(spin echo-echo planar imaging, SE-EPI)弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、单次激发快速自旋回波(single shot fast spin echo, SSFSE)、快速稳态梯度回波(fast imaging employing steady-state acquisition, FIESTA)及快速反转恢复运动抑制(fast inversion recovery motion insensitive, FIRM)序列,具体参数见表 1;记录扫描时设备显示的特异吸收率(specific absorption rate, SAR)。

1.3 图像分析 由 2 名具有 5 年工作经验的放射科医师各测量 2 次胎儿 FL,取平均值作为结果;观察图像显示胎儿股骨干及骨骺端情况,并对图像质量进行评分:显示清晰,可满意测量 FL 为 3 分;显示稍模糊,尚可测量 FL 为 2 分;显示不清,无法测量 FL 为 1 分。意见出现分歧时,经协商达成一致。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 23.0 统计分析软件。以频数和百分比表示计数资料,采用 χ^2 检验法比较各序列图像质量评分差

异;以 $\bar{x} \pm s$ 表示计量资料,采用配对 t 检验比较各序列 FL 测值与超声测值的差异;采用方差分析比较各 MR 序列的 SAR 差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义,两两比较以 Bonferroni 法校正。

2 结果

2.1 MRI 显示胎儿股骨 DWI 中,胎儿股骨干为低信号,股骨骨骺端呈特征性高信号,与周边界限清晰,骨骼肌为等信号。SSFSE 及 FIRM 序列图像中,胎儿股骨骨干均为低信号,股骨骨骺端为高信号,骨骼肌为等信号。FIESTA 序列图像中,胎儿股骨骨干为低信号,股骨骨骺端为稍高信号,骨骼肌为等信号。SSFSE、FIRM 和 FIESTA 序列图像中,股骨骨骺端与周边组织分界不清。各序列图像显示胎儿股骨干及骨骺端质量评分差异存在统计学意义($\chi^2 = 144.323, P < 0.001$),其中 DWI 质量评分明显高于 SSFSE、FIESTA 及 FIRM 序列($\chi^2 = 83.514, 73.022, 133.926, P$ 均 < 0.001),FIESTA 序列图像质量评分高于 SSFSE 及 FIRM 序列图像($\chi^2 = 6.820, 16.624, P$ 均 < 0.05),SSFSE 序列图像质量评分高于 FIRM 序列图像($\chi^2 = 9.148, P = 0.010$)。见图 1~3 及表 2。

2.2 FL 测值比较 DWI 所测 205 胎 FL 结果与超声测值比较差异无统计学意义($t = -1.315, P > 0.05$),SSFSE、FIESTA 及 FIRM 序列测值与超声测值比较差异均有统计学意义($t = 2.621, 3.667, -33.696, P$ 均 < 0.05),见表 2。

2.3 SAR 205 胎胎儿 MR 检查中,DWI、SSFSE、FIESTA 和 FIRM 序列的 SAR 分别为 $(0.21 \pm 0.15) \text{ W/kg}$ 、 $(0.45 \pm 0.25) \text{ W/kg}$ 、 $(1.12 \pm 0.38) \text{ W/kg}$ 和 $(0.02 \pm 0.01) \text{ W/kg}$,差异有统计学意义($F = 837.128, P < 0.001$),两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.001)。

表 1 不同序列 MR 扫描 205 胎胎儿股骨所用参数

参数	DWI	SSFSE	FIESTA	FIRM
TR(ms)	2 600	4 000	4.7	9.0
TE(ms)	84.2	82.9	1.8	4.2
采集次数	5	1	1	2
层厚(mm)	3	3	3	3
层间距(mm)	0	0	0	0
带宽(Hz/pixel)	—	20.83	100	31.25
矩阵	160×160	285×256	160×224	320×224
FOV(cm)	48×48	48×48	48×48	48×48
b 值(s/mm ²)	1 000	—	—	—
扫描层数	20	20	20	20
采集时间(s)	110	60	20	100

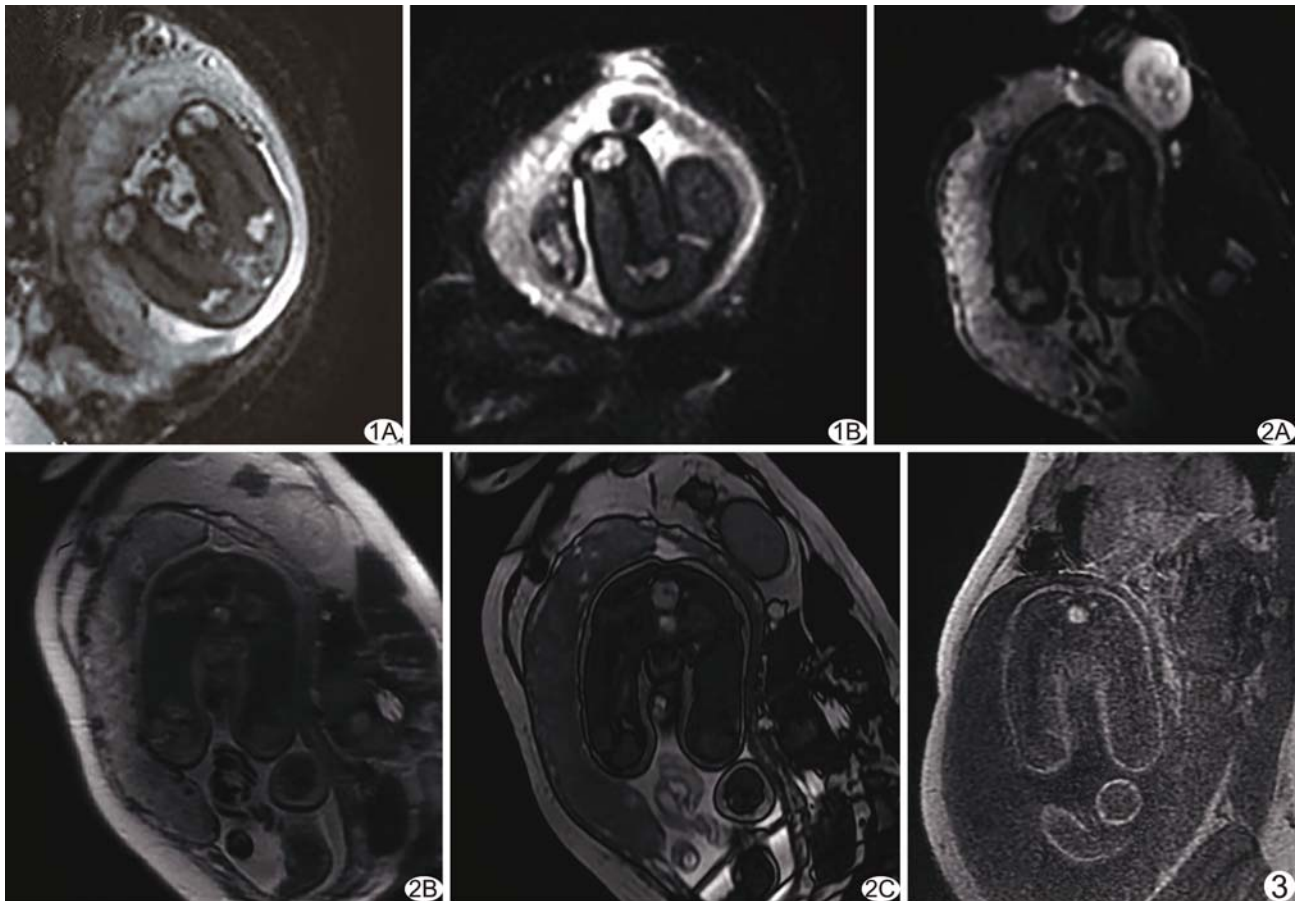


图 1 孕 36 周胎儿 MRI A. 冠状位 DWI; B. 矢状位 DWI 图 2 孕 37 周胎儿冠状位 MRI A. DWI; B. SSFSE 序列; C. FIESTA 序列
图 3 孕 36 周胎儿冠状位 MR FIRM 序列图像

表 2 不同序列 MRI 显示 205 胎儿股骨质量评分及 FL 与超声测值的比较结果($n=205$)

序列/ 检查方法	质量评分[例(%)]			FL(mm)
	3 分	2 分	1 分	
DWI	190(92.68)	10(4.88)	5(2.44)	56.24±6.48
SSFSE	110(53.66)	27(13.17)	68(33.17)	55.83±5.46
FIESTA	115(56.10)	42(20.49)	48(23.41)	55.93±5.90
FIRM	80(39.02)	40(19.51)	85(41.46)	58.83±6.38
超声	—	—	—	56.20±6.47

3 讨论

目前产前多采用超声测量胎儿 FL,故本研究以超声测量 FL 结果作为参考。

DWI 是从细胞及分子水平研究疾病病理生理状态的技术^[5],可选序列较多。本研究采用 SE-EPI DWI,该序列于 90°脉冲激发后,在 180°脉冲前后各施加 1 个强度、持续时间和方向均相同的弥散敏感梯度场,180°复相脉冲产生自旋回波信号,利用 EPI 技术采集其他 MR 信号^[6]。该序列优势在于:①TR 无穷大,

可消除 T1 弛豫对图像对比的污染;②TE 多为 50~100 ms,本研究 TE 为 84.2 ms,扫描速度较快,不易产生受运动影响的伪影;③SE-EPI 能快速切换梯度场,与并行采集技术及触发脉冲技术相结合,可大大缩短扫描时间;④对场强依赖性低,利用低场设备也可获得较好的图像;⑤脂肪抑制

技术可减少脂肪与水之间的化学位移伪影及图像变形伪影。本研究结果显示,DWI 显示胎儿股骨干及骨骺端的质量评分明显高于 SSFSE、FIESTA 及 FIRM 序列。SE-EPI DWI 中,股骨骨骺端表现为特征性的高信号^[7],骨骺端与股骨干、周围软组织形成鲜明对比,可于股骨长轴位图像中准确测量 FL。

利用 SSFSE 序列可在 1 个 90°脉冲后完成全部 K 空间数据采集及充填,具有成像速度快、不易受胎动影响等优势,常用于采集腹部屏气 T2WI 及水成像,

其 T2 对比权重高,显示含水组织效果较好^[8-9]。胎儿股骨含水量少,在 SSFSE 序列图像中表现为低信号,而骨髓肌同样为低信号,二者不易区分^[10]。本研究中仅 53.66%(110/205)SSFSE 序列图像评分为 3 分,不易分辨胎儿股骨形态,不利于测量胎儿 FL。另外,SSFSE 回波链长,易导致模糊效应,T2 对比权重高,但较模糊,图像信噪比低,脂肪信号较高,显示胎儿股骨质量评分明显低于 DWI。FIESTA 序列是在 3 个编码梯度场相反方向施加场强和大小与编码梯度场一致的梯度场,使质子纵向磁化矢量达到平衡,具有时间分辨率高、不易受运动伪影影响等优点,显示液体具有优势^[11],但显示胎儿骨质欠佳。FIESTA 序列图像中,胎儿股骨骨干呈低信号,骨髓端呈稍高信号,骨髓肌呈等信号,图像质量评分较低。FIRM 序列信号弱、分辨率低,仅对显示颅内出血、脂肪信号、钙化或肠道异常等具有一定价值;胎儿股骨骨干在其中呈低信号,骨髓端呈高信号,骨髓肌呈等信号,与周边组织分辨不清,图像质量评分较低。

本研究结果提示,产前胎儿 MR 检查可精准显示胎儿股骨,便于准确测量 FL;其中 DWI 测量结果与超声测值更为接近,而 SSFSE、FIESTA、FIRM 序列测量结果与超声测值差距较大,可能无法准确反映胎儿 FL。SE-EPI DWI 虽为快速成像序列,却无法完全消除胎动伪影,且 DWI 对磁场均匀性要求较高,也可出现磁敏感、N/2 ghost 及化学位移伪影;其对比度、图像空间分辨率及信噪比相对较低,无法较好显示胎儿股骨细节,且扫描过程中梯度震荡,频率高,噪声相对较大,仍存在一定局限性。目前尚无证据直接表明胎儿 MR 检查与胚胎发育异常存在直接关系。本研究各 MR 检查序列平均 SAR 均 <3.0 W/kg,处于规定安全范围内^[12],临床随访未见相关不良反应。

综上所述,MRI 可为临床提供更为直接的胎儿股骨长轴图像用于测量胎儿 FL;DWI 测量胎儿 FL 较其他序列更为精准。受限于样本量,且所纳入孕妇多处

于妊娠中晚期,本研究未能根据不同孕周分组观察胎儿 FL,有待后续进一步完善。

[参考文献]

- [1] 姚远,李胜利,刘菊玲,等.胎儿长骨超声测量准确性的研究[J/CD].中华医学超声杂志(电子版),2008,5(2):283-287.
- [2] 龙玉芳,周海军,张号,等.超声、MRI 在胎儿畸形诊断中的对照研究[J].医学理论与实践,2020,33(14):2368-2370.
- [3] SMITH FW, ADAM A H, PHILLIPS W D. NMR imaging in pregnancy[J]. Lancet, 1983,1(8314-5):61-62.
- [4] 畅银娟,余卫.磁共振成像技术在产科胎儿医学中的应用进展[J/CD].中国产前诊断杂志(电子版),2011,3(3):32-34.
- [5] 徐生芳,杨磊,钱吉芳,等.MRI 扩散加权成像在胎儿颅内出血中的应用价值[J/CD].中国产前诊断杂志(电子版),2019,11(4):50-54.
- [6] PAPADOPOULOU I, LANGAN D, SEBIRE N J, et al. Diffusion-weighted post-mortem magnetic resonance imaging of the human fetal brain in situ[J]. Eur J Radiol, 2016,85(6):1167-1173.
- [7] 李军锋,覃文华,程广.磁共振技术在胎儿临床检查中的应用价值[J].实用医技杂志,2017,24(11):1198-1200.
- [8] 杜金超,肖智博,吕富荣,等.快速平衡稳态采集与单次激发快速自旋回波序列诊断正常胎儿胸腺的价值比较[J].中国医学影像技术,2017,33(10):1526-1530.
- [9] 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 fetal brain maturation[J]. AJR Am J Roentgenol, 2000,175(5):1375-1380.
- [10] 胡晓华,罗先富,陈娟,等.单次激发快速自旋回波序列 MR 检查在正常胎儿中的应用[J].中国医学影像技术,2011,27(6):1256-1259.
- [11] 曹伊.磁共振不同成像序列在产前胎儿诊断成像质量的比较研究[J].西南国防医药,2017,27(1):62-66.
- [12] 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]. Magn Reson Med, 2006,55(4):883-893.