doi:10.11659/jjssx.12E025064

·临床研究·

MRI评估孕晚期孕妇体位对胎盘血流及氧合的影响

马海英[1],叶晓娟[2] (1.武汉市第八医院/武汉市肛肠医院妇产科,湖北 武汉 430010;2.武汉市江岸区妇幼保健院妇产科,湖北 武汉 430014)

[**摘 要**] **目的** 采用相位对比磁共振成像(PC-MRI)协同体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像技术,探究孕晚期孕妇仰卧位、左侧卧位对胎盘血流及氧合功能的影响。**方法** 选取2020年1月至2023年12月武汉市江岸区妇幼保健院收治的20例34~38周健康单胎孕晚期孕妇,先后完成仰卧位、左侧位MRI序列扫描,通过PC-MRI定量检测髂总动脉、脐静脉血流参数,依托体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像技术测定胎盘灌注、胎儿区域伪扩散系数、血氧相关指标,对比两种体位下母胎循环相关参数差异。**结果** 与左侧卧位相比,孕晚期采取仰卧位时,流入子宫的髂总动脉血流量减少23.7%(P<0.001),胎盘输氧量减少6.2%(P=0.038),胎儿区域伪扩散系数降低26.2%(P=0.023);而两种体位下胎儿氧气输送量、胎儿血氧饱和度、脐静脉血流量比较,差异无统计学意义(P>0.05)。**结论** PC-MRI协同体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像技术可无创、精准评估孕晚期不同体位下胎盘血流与氧合变化,临床建议孕晚期孕妇优先采用左侧卧位,以降低胎盘灌注不足、胎儿亚临床缺氧风险。

[**关键词**] 孕妇体位;胎盘血流;胎盘氧合;妊娠;相位对比磁共振成像

[**中图分类号**] R714.56;R455.2 [**文献标志码**] A [**收稿日期**] 2025-12-13

MRI assessment of the effects of maternal postures on placental blood flow and oxygenation in the third trimester

MA Hai-ying[1], YE Xiao-juan[2] (1. Department of Gynaecology and Obstetrics, the Eighth Hospital of Wuhan/Wuhan Anorectal Hospital, Wuhan Hubei 430010, China; 2. Department of Gynaecology and Obstetrics, Wuhan Jiang'an District Maternal and Child Health Hospital, Wuhan Hubei 430014, China)

Abstract: Objective To investigate the effects of supine and left-lateral postures of pregnant women on placental blood flow and oxygenation in the third trimester using phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI) combined with intravoxel incoherent motion-multi-echo T2 relaxation placental imaging. **Methods** Twenty healthy singleton pregnant women at 34 to 38 weeks of gestation in the third trimester who were admitted to Wuhan Jiang'an District Maternal and Child Health Hospital from January 2020 to December 2023 were enrolled. MRI scans were performed sequentially in the supine and left lateral postures. Blood flow parameters of the common iliac artery and umbilical vein were quantitatively measured using PC-MRI. The placental perfusion, fetal pseudo-diffusion coefficient, and blood oxygenation-related parameters were determined by intravoxel incoherent motion-multi-echo T2 relaxation placental imaging. The differences in maternal-fetal circulation parameters between the two postures were compared. **Results** Compared with the left lateral posture, the supine posture in the third trimester resulted in a 23.7% reduction in common iliac artery blood flow to the uterus (P<0.001), a 6.2% decrease in placental oxygen transfer (P=0.038), and a 26.2% reduction in the fetal pseudo-diffusion coefficient (P=0.023). No statistically significant differences were observed between the two postures in fetal oxygen transfer, fetal oxygen saturation, or blood flow of umbilical vein (P>0.05). **Conclusion** PC-MRI combined with intravoxel incoherent motion-multi-echo T2 relaxation placental imaging enables non-invasive and precise evaluation of the changes of placental blood flow and oxygenation in different postures in the third trimester. In clinical practice, the left lateral posture is recommended as the preferred posture for pregnant women in the third trimester, so as to minimize the risk of impaired placental perfusion and subclinical fetal hypoxia.

Keywords: maternal posture; placental blood flow; placental oxygenation; pregnancy; phase-contrast magnetic resonance imaging

孕妇仰卧入睡时,睡眠呼吸障碍发生率较高,易导致缺氧;且仰卧时下腔静脉受压,会减少心输出量,进而引发胎儿缺氧。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)虽非常规妊娠检查手段,但可测量血流动力学功能参数,多数胎盘成像MRI技术源自脑部MRI技术[1]。目前已开发的MRI技术可用于测量胎盘血流和氧合,包括动脉自旋标记MRI、血氧水平依赖MRI、扩散加权成像和动态对比增强磁共振成像(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)[2]。其中DCE-MRI通过静脉注射钆对比剂

[**基金项目**] 国家自然科学基金青年基金(81503180)

追踪血流动力学变化,可精准测定胎盘组织的灌注速率、血容量等核心参数,是目前国际公认的胎盘血流评估金标准;但该技术需使用外源性对比剂,具有潜在的胎儿暴露风险,不适用于妊娠人群的常规筛查与评估[3]。相位对比磁共振成像(phase-contrast magnetic resonance imaging, PC-MRI)可定量大血管血流量,而体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像技术可分析胎盘内部微灌注与氧合状态,多维度评估不同体位对胎盘血流、氧合功能的影响。本研究将体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像技术协同PC-MRI,定量评估孕晚期孕妇仰卧位与左侧卧位对胎盘血流及氧合功能的影响,旨在为临床孕晚期孕妇体位指导提供影像学依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

纳入2020年1月至2023年12月武汉市江岸区妇幼保健院妇产科收治的20例孕妇。所有孕妇均完成仰卧位和左侧卧位MRI扫描,新生儿出生状况良好,出生后1 min和5 min Apgar评分7~10分。纳入标准:①健康单胎妊娠;②孕周34~38周;③孕前体质量指数18~30 kg/m^2。排除标准:①胎儿发育受限(超声评估胎儿体质量低于同孕周10%);②孕妇合并睡眠呼吸暂停综合征;③妊娠期糖尿病(空腹血糖≥5.1 mmol/L或75 g口服葡萄糖耐量试验1 h≥10.0 mmol/L、2 h≥8.5 mmol/L);④妊娠期高血压(收缩压≥140 mmHg和/或舒张压≥90 mmHg);⑤其他可能影响胎盘血流或氧合的母体合并症(如自身免疫性疾病、心血管疾病等)。本研究经武汉市江岸区妇幼保健院伦理委员会批准(批准号:WH8Y-2019-042),符合《赫尔辛基宣言》标准。

1.2 方法

所有MRI扫描均采用1.5T磁共振仪,分别对孕妇进行左侧卧位和仰卧位扫描,以排除顺序或时间因素的系统性干扰。受试者左侧朝向观察者,完成两种体位扫描总时长约1 h,期间持续监测心率和血压。扫描流程:先获取冠状面和轴面定位图像(体素大小0.74 mm×0.74 mm×5 mm),实现胎盘及目标血管的可视化;随后进行髂总动脉PC-MRI、胎儿脐静脉PC-MRI、体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像扫描[3-4]。

PC-MRI使用单层面、常规梯度回波相位对比序列采集髂总动脉及胎儿脐静脉血流量(参数:重复时间57.20 ms,视野450 mm,视野覆盖率69.4%,回波时间3.2 ms,矩阵192×256,venc 50 cm/s,翻转角度20°,体素大小1.6 mm×1.6 mm×5 mm)。轴向扫描层面选择母体髂总动脉分叉下方,涵盖髂内动脉和髂外动脉分支区域,在受试者屏气10~15 s期间采集图像;采用Syngo VIA软件对右侧和左侧髂总动脉及胎儿脐静脉在仰卧位和左侧卧位的PC-MRI图像进行血流量量化分析:创建圆形感兴趣区域(region of interest, ROI),并叠加于同一水平16个心动周期的20张切片上,人工检查每张切片,确保ROI准确覆盖目标血管(以适应血管在心动周期中的搏动)。

体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像(7个b值)和T2成像(10个回波时间),假设胎盘体素由3个区域组成:胎儿区域、母体区域及组织(滋养层和肌层),将3个区域模型与每个体素在不同b值和回波时间组合下的信号变化进行拟合,每个区域获取灌注体积分数、扩散系数和T2弛豫速率。MRI信号模型包含9个参数,其中4个为已知固定值,其余5个参数描述胎盘功能:母体区域扩散系数、胎儿区域伪扩散系数、胎盘T2松弛时间(用于估算胎儿血氧饱和度)、胎盘输氧量、胎儿氧气输送量。

1.3 统计学方法

采用SPSS 25.0软件进行数据分析;连续变量符合正态分布以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用独立样本t检验。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 孕晚期孕妇体位对血流的影响

与左侧卧位相比,仰卧位时胎盘形态无明显变化,但胎儿区域信号强度明显降低(图1),提示胎盘血流灌注减少。

2.2 孕晚期孕妇体位对胎盘灌注及氧合的影响

与左侧卧位相比,孕晚期孕妇仰卧位时流入子宫的髂总动脉血流量降低23.70%(P<0.001),胎盘输氧量降低6.20%(P=0.038),胎儿区域伪扩散系数降低26.20%(P=0.023);两种体位下胎儿氧气输送量、血氧饱和度、脐静脉血流量差异无统计学意义(P>0.05),见表1。

3 讨论

本研究协同PC-MRI与体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像进行分层评估,两种技术侧重点不同,形成了完整的母胎循环评价体系。PC-MRI可直接测定髂总动脉、脐静脉血流量,宏观反映母体向子宫整体供血水平,直观体现仰卧位时下腔静脉受压

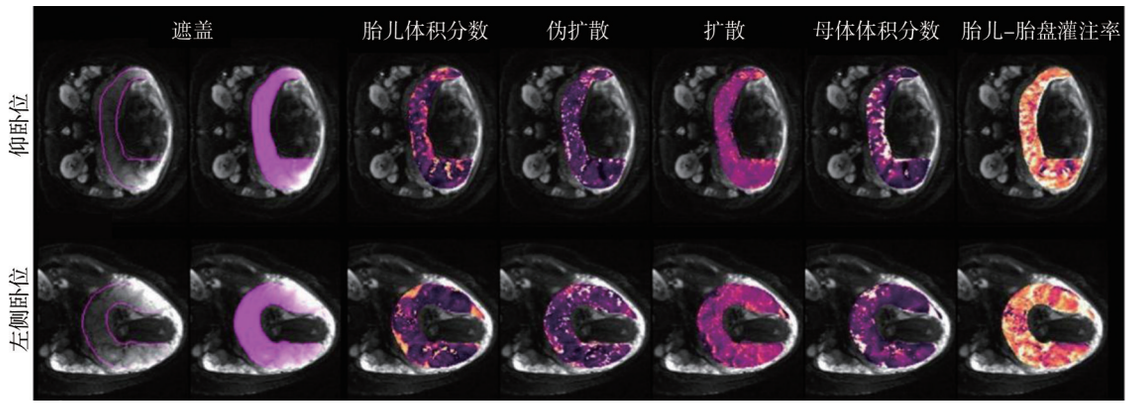


图1 孕晚期孕妇不同体位下胎盘氧合功能MRI图

表1 不同体位下子宫胎盘血流及氧合相关指标具体数据(n=20)

检测指标	左侧卧位	仰卧位	变化百分比(%)	P
右侧髂总动脉血流量(mL/min)	353.00±42.60	281.00±35.80	−19.00	0.001
左侧髂总动脉血流量(mL/min)	400.00±51.30	292.00±40.10	−27.00	<0.001
双侧髂总动脉血流量(mL/min)	753.00±89.70	573.00±72.40	−23.70	<0.001
脐静脉血流量(mL/min)	296.00±80.00	263.00±68.00	−8.40	0.087
胎盘输氧量(%)	67.20±5.30	63.90±4.80	−6.20	0.038
胎儿氧气输送量(mL/min)	199.38±25.60	168.62±22.10	−11.20	0.060
胎儿血氧饱和度(%)	63.90±4.20	61.10±3.90	−4.40	0.079
母体区域扩散系数($\times10^{-3}$ mm^2/s)	1.59±0.12	1.55±0.11	−2.50	0.314
胎儿区域伪扩散系数($\times10^{-3}$ mm^2/s)	0.34±0.04	0.25±0.03	−26.20	0.023

引起的全身血流抑制效应。本研究通过PC-MRI量化得出仰卧位时双侧髂总动脉血流量大幅下降。体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像聚焦胎盘内部微环境,拆分母体区域、胎儿区域灌注参数,可评估大血管流量无显著变化时胎盘局部微循环损伤。本研究结果显示,仰卧位时脐静脉血流量仅下降8.40%,在不同体位间无统计学差异;然而仰卧位时胎儿区域伪扩散系数下降26.20%,提示仅依靠大血管指标会忽略胎盘内部亚临床灌注损伤。而体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像可捕捉早期隐匿氧供下降。故PC-MRI协同体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像具有重要临床价值。既往研究证实,产妇体位与髂总动脉血流变化密切相关[5-7]。子宫动脉受腹主动脉和下腔静脉压迫的间接影响,体位改变可通过调节髂总动脉血流量影响子宫-胎盘的血液供应[8]。由于体素分辨率限制及盆腔解剖结构复杂性,直接成像和分辨子宫动脉存在技术困难,参照文献[9]中的方法,本研究通过测量髂总动脉血流量间接反映子宫总供血量。结果显示,仰卧位时左侧髂总动脉血流量降幅大于右侧(左侧降幅27.00%,右侧降幅19.00%),这与妊娠晚期子宫多呈右旋状态,仰卧位时对左侧髂总动脉压迫更严重的解剖学特点一致。另有研究通过PC-MRI检测到仰卧位时母体心输出量减少16.4%,腹主动脉流量减少32.3%[10-11],证实了仰卧位导致的母体全身循环血流动力学改变是髂总动脉血流量降低的上游机制[12-14]。

本研究观察到,仰卧位时胎盘输氧量降低了6.2%,胎儿氧气输送量降低了11.2%,均属于亚临床水平的变化。其机制在于:仰卧位时子宫右旋压迫下腔静脉及髂总动脉,导致髂总动脉供血量下降,进而使胎盘整体输氧量降低,胎盘侧微血管灌注同步受损,胎儿区域伪扩散系数降低。然而,健康胎儿能够通过多种代偿机制维持总氧气输送量的相对稳定,包括增加脐静脉血氧摄取率、调节心率以重新分配血流、优先保障心脑等重要器官血供等,因此未导致明显的临床不良事件[9,15-16]。但是,仅健康孕妇具有该代偿能力。对于胎盘功能储备不足的高危孕妇,如胎儿生长受限、妊娠期高血压、妊娠期糖尿病、胎盘老化等患者,其代偿能力显著下降,这种亚临床水平的氧供减少可能超出其代偿阈值,长期仰卧位极易导致胎儿窘迫及不良妊娠结局等严重不良事件[10]。值得关注的是,本研究中胎盘输氧量与胎儿氧气输送量的结果并不一致:仰卧位时胎盘输氧量显著降低,但胎儿氧气输送量仅呈下降趋势而未达到统计学显著水平。这一结果恰好揭示了母胎循环的代偿机制:胎盘输氧量是胎盘组织层面的功能指标,直接反映母体血液通过胎盘屏障向胎儿输送氧气的效率,该指标的显著降低证实仰卧位影响了胎盘的氧气转运功能;而胎儿氧气

输送量是最终到达胎儿全身的总氧气量,由脐静脉血流量和胎儿血氧饱和度共同决定[17]。因此,本研究结果与临床实践中多数健康孕妇仰卧位并未发生明显不良妊娠结局的现象并不矛盾[6]。其原因在于,本研究纳入的均为健康孕晚期孕妇,胎盘功能储备良好,胎儿对短暂的体位性氧供减少具有较强的代偿能力[8]。此外,本研究中仰卧位时胎儿区域伪扩散系数的显著降低也进一步证实:虽然胎儿总氧气输送量未发生显著改变,但胎盘内胎儿毛细血管的微灌注已出现明显减低,提示这种代偿是有限的。因此,本研究结果为上述临床现象提供了首个直接的影像学证据,提示仰卧位导致的胎盘氧供减少可能是易受损胎儿发生孕晚期死亡的重要机制之一,这也正是临床强调高危孕妇应严格避免仰卧位的重要原因。体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像协同PC-MRI能够同时反映胎盘功能损伤和胎儿代偿能力,比单一技术能更全面地揭示不同体位对母胎循环的影响,在临床上具有广阔的应用前景。

本研究的局限性:样本量偏小(仅20例),可能存在选择偏倚;仅评估单次短时体位扫描的即时效应,未随访长期睡姿累积影响。后续将开展多中心、大样本量的长期研究,联合更多影像学手段[18-19]及纳入各类高危妊娠孕妇进行分层分析。

综上所述,本研究通过体素内不相干运动-多回波T2弛豫胎盘联合成像协同PC-MRI证实,在健康孕妇的孕晚期妊娠中,仰卧位会导致子宫总供血量显著减少,胎盘输氧量及胎儿毛细血管微灌注降低。健康胎儿可通过自身代偿机制维持总氧气输送量相对稳定,但这种代偿是有限的。本研究结果为临床孕晚期孕妇体位指导提供了重要的循证依据,高危孕妇应尽量避免仰卧位,以降低胎儿不良结局的风险。

[参考文献]

[1] Smith GC, Pell JP, Cameron A, et al. Maternal sleep position in late pregnancy and risk of stillbirth: a case-control study[J]. BMJ, 2019, 366:l4799. doi:10.1136/bmj.l4799.

[2] Cromb D, Slator PJ, De La Fuente M, et al. Assessing within-subject rates of change of placental MRI diffusion metrics in normal pregnancy [J]. Magn Reson Med, 2023, 90(3): 1137-1150. doi: 10.1002/mrm.29665.

[3] 刘 欢,曹 露. 动态对比增强MRI结合扩散加权成像技术预测宫颈癌淋巴结转移的价值分析[J]. 延边大学医学学报,2026,49(6):36-38. doi:10.16068/j.1000-1824.2026.06.011.

[4] Zong M, Pei X, Yan K, et al. Deep learning model based on multi-sequence MRI images for assessing adverse pregnancy outcome in placenta accreta[J]. J Magn Reson Imaging, 2024, 59(2): 510-521. doi:10.1002/jmri.29023.

[5] Ercolani G, Capuani S, Maiuro A, et al. Diffusion-sensitized magnetic resonance imaging highlights placental microstructural damage in patients with previous SARS-CoV-2 pregnancy infection[J]. Placenta, 2024,145:38-44. doi:10.1016/j.placenta.2023.11.017.

[6] 许 莉,沈佳燕,王凌燕,等. 产前超声联合MRI检查对单胎妊娠孕妇分娩方式的预测价值[J]. 医学影像学杂志,2026,36(3):93-97. doi:10.20258/j.cnki.1006-9011.2026.03.018.

[7] Johnson R, Williams C, Brown M, et al. Placental oxygenation during maternal supine and lateral positions in late pregnancy: an MRI BOLD study[J]. J Magn Reson Imaging, 2023, 57(3): 890-898.

[8] Ntafam CN, Sanusi-Musa I, Harris RD. Intramural ectopic pregnancy: an individual patient data systematic review[J]. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol X, 2024, 21: 100272. doi: 10.1016/j.eurox.2023.100272.

[9] Buckley B, Delaney F, Welaratne I, et al. MRI remains highly accurate in the diagnosis of appendicitis in pregnancy when read by radiologists of mixed specialty training and experience[J]. Emerg Radiol, 2023, 30(1):85-91. doi:10.1007/s10140-022-02102-9.

[10] Yang F, Yang X, Jing H, et al. MRI-based scoring model to predict massive hemorrhage during dilatation and curettage in patients with cesarean scar pregnancy[J]. Abdom Radiol (NY), 2023, 48(10): 3195-3206. doi:10.1007/s00261-023-03968-0.

[11] Benson JC, Malyuk DF, Madhavan A, et al. Pituitary volume changes in pregnancy and the post-partum period[J]. Neuroradiol J, 2024, 37(1):39-42. doi:10.1177/19714009231196470.

[12] Wang ZG, Yang FL, Liu CY, et al. Predicting intraoperative hemorrhage during curettage treatment of cesarean scar pregnancy using free-breathing GRASP DCE-MRI[J]. BMC Pregnancy Childbirth, 2024,24(1):22. doi:10.1186/s12884-023-06188-y.

[13] Vlachodimitropoulou E, Mogharbel H, Kuo K, et al. Pregnancy outcomes and iron status in beta-thalassemia major and intermedia: a systematic review and meta-analysis[J]. Blood Adv, 2024, 8(3): 746-757. doi:10.1182/bloodadvances.2023011636.

[14] Suarez AC, Gimenez CJ, Russell SR, et al. Pregnancy-induced remodeling of the murine reproductive tract: a longitudinal in vivo magnetic resonance imaging study[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 586. doi:10.1038/s41598-023-50437-1.

[15] Thompson D, Roberts H, Green J, et al. Fetal physiological responses to maternal supine position in late pregnancy[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2024, 63(2): 256-263.

[16] Spann MN, Alleyne K, Holland CM, et al. The effects of experience of discrimination and acculturation during pregnancy on the developing offspring brain[J]. Neuropsychopharmacology, 2024, 49(2): 476-485. doi:10.1038/s41386-023-01765-3.

[17] Nakao KK, Kido A, Fujimoto K, et al. Placental functional assessment and its relationship to adverse pregnancy outcome: comparison of intravoxel incoherent motion (IVIM) MRI, T2-relaxation time, and umbilical artery Doppler ultrasound[J]. Acta Radiol, 2023, 64(1): 370-376. doi: 10.1177/02841851211060410.

[18] 杨慧慧,郑光美. 超微血流成像技术定量评估正常中晚孕胎盘血流的临床分析[J]. 影像技术,2024,36(5):56-60. doi:10.3969/j.issn.1001-0270.2024.05.011.

[19] 王鑫楠,胡 媛,王 洪,等. 多普勒超声评估高危妊娠胎儿静脉导管血流动力学及其对宫内缺氧的预测价值[J]. 影像科学与光化学,2025,43(4):68-73. doi:10.7517/issn.1674-0475.2025.04.10.

(编辑:刘 艺)