

◆ 专论

Prenatal ultrasonic evaluation on hemodynamics of aortic isthmus in normal fetus during middle and late pregnancy

SUN Hui, XIE Limei*

(Department of Ultrasound, Shengjing Hospital of China Medical University,
Shenyang 110004, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the changes of hemodynamics in fetal aortic isthmus (AOI) and the relationship between end-systolic notch and the development of fetal cerebral vascular using prenatal ultrasound. **Methods** A total of 151 normal fetuses at 23—36⁺₆ gestation weeks were enrolled. Blood flow spectrum of fetal aortic isthmus and middle cerebral artery were collected with CDFI and pulsed Doppler technique. The peak systolic velocity (PSV) and the systolic nadir (NS) of AOI and peak systolic velocity of middle cerebral artery (MCA-S) were measured, and the isthmic systolic index (ISI) was calculated. Their relationship of gestational weeks and PSV, NS, ISI and MCA-S as well as the relationship between NS and MCA-S were analyzed. **Results** The shallow systolic end notch of AOI occurred at 23rd week and deepened gradually as gestational age increased, reaching the baseline at about 30th week, and then reversed. With the gestational weeks increasing, PSV and MCA-S increased, while NS and ISI decreased gradually. With MCA-S increasing, NS showed a decreased trend. The curve equations were established regarding the gestation age as the independent variable X, PSV, NS, ISI and MCA-S as the dependent variable Y, respectively. NS: $Y = -110.982 + 10.975X - 0.242X^2$ ($R^2 = 0.971$, $P < 0.001$); PSV: $Y = -20.077 + 5.840X - 0.073X^2$ ($R^2 = 0.794$, $P < 0.001$); ISI: $Y = -0.705 + 0.087X - 0.002X^2$ ($R^2 = 0.970$, $P < 0.001$); MCA-S: $Y = -67.291 + 4.841X - 0.036X^2$ ($R^2 = 0.911$, $P < 0.001$). A curve equation was established regarding MCA-S as the independent variable X, NS as the dependent variable Y, $Y = 12.757 + 0.580X - 0.020X^2$ ($R^2 = 0.854$, $P < 0.001$). **Conclusion** With gestational age increasing, PSV of fetal AOI and MCA-S increased, while NS and ISI decreased. NS was negatively correlated with MCA-S, indicating that the change of the systolic end notch of fetal AOI is related to the development of fetal cerebral vascular network.

[Key words] Ultrasonography; Fetus; Aortic isthmus; Isthmic systolic index; Middle cerebral artery

DOI:10.13929/j.1003-3289.201803194

产前超声评价正常孕中晚期胎儿主动脉峡部血流动力学变化

孙 慧, 解丽梅*

(中国医科大学附属盛京医院超声科, 辽宁 沈阳 110004)

[摘 要] **目的** 应用产前超声分析胎儿主动脉峡部血流动力学的变化规律及收缩末期切迹与胎儿脑血管发育的关系。**方法** 收集发育正常的 151 胎孕 23~36⁺₆ 周胎儿, 采用 CDFI 和脉冲多普勒技术采集胎儿主动脉峡部及大脑中动脉血流频谱, 测量大脑中动脉收缩期峰值血流速度 (MCA-S)、主动脉峡部收缩期峰值血流速度 (PSV) 和收缩末期最低点血

[第一作者] 孙慧 (1992—), 女, 辽宁抚顺人, 在读硕士, 医师。研究方向: 产科超声诊断。E-mail: 526682127@qq.com

[通信作者] 解丽梅, 中国医科大学附属盛京医院超声科, 110004。E-mail: xielm72@sohu.com

[收稿日期] 2018-03-31 **[修回日期]** 2018-07-04

流速度(NS),计算收缩指数(ISI),并分析 PSV、NS、ISI、MCA-S 与孕周及 NS 与 MCA-S 的相关关系。**结果** 孕 23 周胎儿主动脉峡部频谱可见收缩末期浅切迹,随孕周增加逐渐加深,至孕 30 周左右时到达基线,之后出现反向。随着孕周增加,胎儿主动脉峡部 PSV 和 MCA-S 逐渐增大,而 NS 及 ISI 逐渐减小;随着 MCA-S 增加,NS 呈现降低趋势。以孕周为自变量 X,分别以主动脉峡部 PSV、NS、ISI 和 MCA-S 为因变量 Y 行曲线拟合,获得曲线方程分别为 NS: $Y = -110.982 + 10.975X - 0.242X^2$ ($R^2 = 0.971$, $P < 0.001$); PSV: $Y = -20.077 + 5.840X - 0.073X^2$ ($R^2 = 0.794$, $P < 0.001$); ISI: $Y = -0.705 + 0.087X - 0.002X^2$ ($R^2 = 0.970$, $P < 0.001$); MCA-S: $Y = -67.291 + 4.841X - 0.036X^2$ ($R^2 = 0.911$, $P < 0.001$)。以 MCA-S 为自变量 X, NS 为因变量 Y 进行拟合,获得曲线方程为 $Y = 12.757 + 0.580X - 0.020X^2$ ($R^2 = 0.854$, $P < 0.001$)。**结论** 随孕周增加,胎儿 MCA-S 和主动脉峡部 PSV 增大,NS 和 ISI 均减小。NS 与 MCA-S 呈负相关,推测胎儿主动脉峡部收缩末期减速切迹的变化与大脑血管网的发育有关。

【关键词】 超声检查;胎儿;主动脉峡部;峡部收缩指数;大脑中动脉

【中图分类号】 R714.51; R540.45 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-3289(2018)09-1294-05

胎儿主动脉峡部位于左锁骨下动脉起始部与动脉导管、主动脉交汇处之间,作为胎儿的一个独特的分流结构,连接膈上与膈下的血液循环,根据胎盘供氧程度来调节流向大脑及其他器官的血流量^[1]。主动脉前向血流由左心室射血产生,而右心室射血对其存在减速作用。多种因素作用使得胎儿主动脉峡部血流频谱呈现特殊形状,于收缩末期出现减速切迹,可能是晚孕期大脑血管阻力下降和右心系统逐渐占优势所致^[1]。本研究通过测量胎儿主动脉峡部及大脑中动脉血流多普勒频谱相关参数,分析正常孕中晚期胎儿主动脉峡部血流动力学变化规律及其与大脑血管发育的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2017 年 6 月—2017 年 12 月于我院超声科接受孕中晚期产前检查的 151 胎正常胎儿,孕 23~36⁺6 周,平均(30.12±4.04)周;其中孕 23~24⁺6 周 19 胎,孕 25~26⁺6 周 20 胎,孕 27~28⁺6 周 27 胎,孕 29~30⁺6 周 18 胎,孕 31~32⁺6 周 20 胎,孕 33~34⁺6 周 27 胎,孕 35~36⁺6 周 20 胎。入组标准:①孕 23~36⁺6 周胎儿,发育正常,超声检查无异常,超声测值与孕龄相符;②孕妇身体健康,无不良孕产史,无妊娠期高血压疾病,无妊娠期糖尿病、心血管疾病、哮喘、重度贫血、肾病等;③脐动脉多普勒超声参数正常,无脐带螺旋异常,无胎盘异常。

1.2 仪器与方法 采用 GE Voluson E8、E10 超声仪,设置为产科超声程序,经腹二维探头,频率 1~5 MHz。检查时嘱孕妇仰卧,经腹超声探查,于胎儿稳定状态、无呼吸样运动时采集血流信号。

主动脉峡部多普勒频谱:将探头置于胎儿主动脉弓长轴切面,清晰显示左锁骨下动脉后,将取样窗定位于左锁骨下动脉起始部,使取样线与血流夹角<30°,实时调整取样窗使之位于合适位置,根据各孕周主动脉峡部管径大小调节脉冲多普勒取样容积,采集连续

3 个以上稳定多普勒波形,测量主动脉峡部收缩期峰值血流速度(peak systolic velocity, PSV)和收缩末期最低点血流速度(systolic nadir, NS),测量 3 次,取平均值,计算主动脉峡部收缩指数(isthmus systolic index, ISI): $ISI = NS/PSV$ 。

大脑中动脉多普勒频谱:轻置探头于胎儿丘脑平面,稍向下平移显示大脑脚,放大图像,启动 CDFI,显示胎儿基底动脉环(Willis 环)满意后,将取样框定位于大脑中动脉近端 1/3 接近颈内动脉起始处,使声束与血流夹角尽可能接近 0°,获取 3 个以上稳定多普勒波形,采用自动包络模式测量大脑中动脉收缩期峰值血流速度(MCA-S),测量 3 次,取平均值。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示。绘制胎儿主动脉峡部 PSV、NS、ISI、MCA-S 与孕周及 NS 与 MCA-S 关系的散点图,以孕周为自变量,PSV、NS、ISI 和 MCA-S 为因变量,再以 MCA-S 为自变量,NS 为因变量拟合曲线,并获得回归方程;采用方差分析法对回归方程进行显著性检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

对全部纳入研究的胎儿均成功获得主动脉峡部和大脑中动脉血流频谱。孕 23 周时可见主动脉峡部收缩末期浅切迹,随孕周进展,切迹逐渐加深,至孕 30 周左右时达到基线,之后出现反向(图 1)。

随着孕周增大,胎儿主动脉峡部 PSV 及 MCA-S 均逐渐增大,NS 和 ISI 则逐渐减小;至孕 30 周前后,切迹达到基线,此时 NS 及 ISI 均接近 0,之后随着收缩末期产生反向血流,NS、ISI 为负值,且绝对值逐渐增大(表 1)。

绘制胎儿主动脉峡部 PSV、NS、ISI、MCA-S 与孕周及 NS 与 MCA-S 关系的散点图(图 2),显示其关系为非线性相关,拟合曲线。以孕周为自变量 X,分别以胎儿主动脉峡部 NS、PSV、ISI、MCA-S 为因变量 Y,获

得曲线方程分别为 NS: $Y = -110.982 + 10.975X - 0.242X^2$ ($R^2 = 0.971$, $P < 0.001$); PSV: $Y = -20.077 + 5.840X - 0.073X^2$ ($R^2 = 0.794$, $P < 0.001$); ISI: $Y = -0.705 + 0.087X - 0.002X^2$ ($R^2 = 0.970$, $P < 0.001$); MCA-S: $Y = -67.291 + 4.841X - 0.036X^2$ ($R^2 = 0.911$, $P < 0.001$)。以 MCA-S 为自变量 X, NS 为因

表 1 各孕周胎儿主动脉峡部 PSV、NS、ISI 和大脑中动脉 MCA-S 值 ($\bar{x} \pm s$)

孕周	PSV(cm/s)	NS(cm/s)	ISI	MCA-S(cm/s)
23~24 ⁺ 周 (n=19)	76.34±4.16	13.36±1.59	0.18±0.02	26.90±2.15
25~26 ⁺ 周 (n=20)	81.62±3.83	10.81±1.36	0.13±0.02	32.98±0.80
27~28 ⁺ 周 (n=27)	85.44±3.23	7.65±1.27	0.09±0.02	38.20±1.75
29~30 ⁺ 周 (n=18)	87.62±3.37	4.11±2.74	0.05±0.03	43.48±4.40
31~32 ⁺ 周 (n=20)	91.41±1.87	-4.15±3.26	-0.05±0.03	49.44±4.24
33~34 ⁺ 周 (n=27)	92.31±2.01	-16.85±4.55	-0.18±0.05	55.27±3.61
35~36 ⁺ 周 (n=20)	95.52±3.39	-27.03±5.08	-0.28±0.05	59.15±4.56

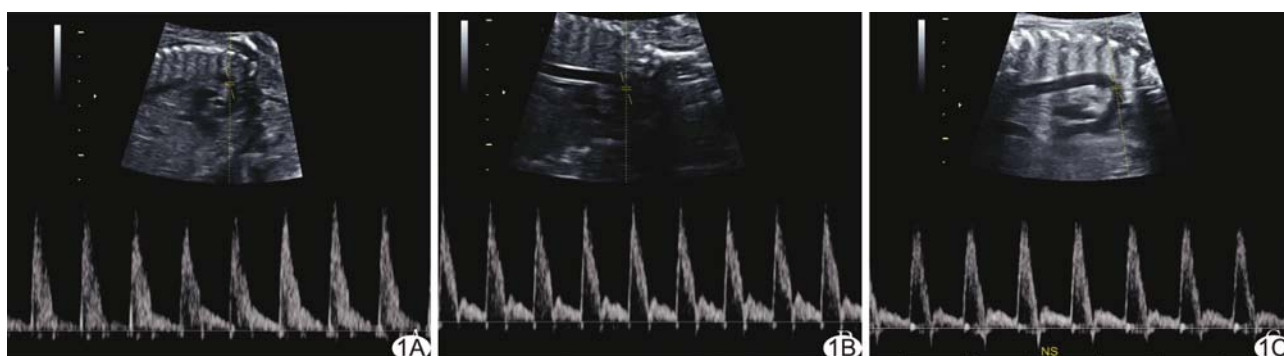


图 1 正常胎儿主动脉峡部血流频谱图像 A. 孕 23 周; B. 孕 29⁺4 周; C. 孕 35⁺1 周

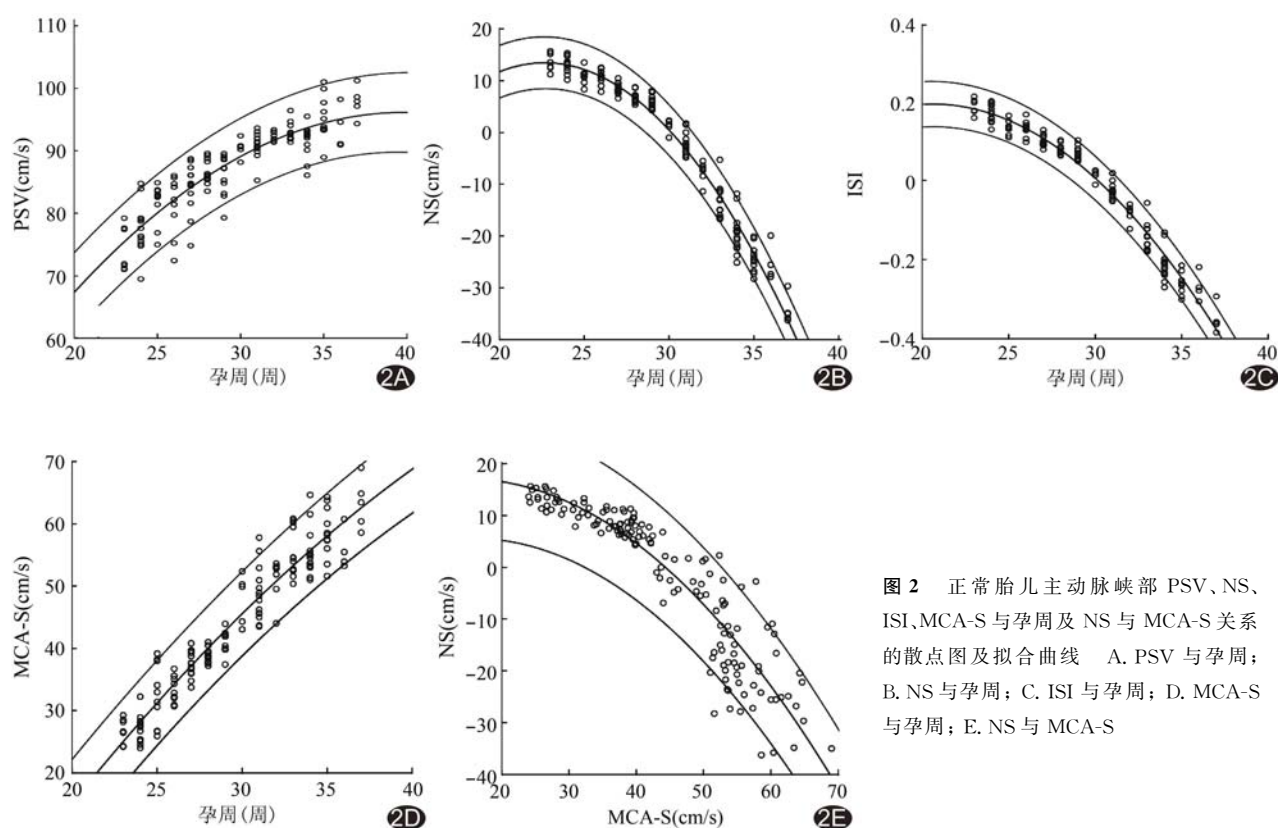


图 2 正常胎儿主动脉峡部 PSV、NS、ISI、MCA-S 与孕周及 NS 与 MCA-S 关系的散点图及拟合曲线 A. PSV 与孕周; B. NS 与孕周; C. ISI 与孕周; D. MCA-S 与孕周; E. NS 与 MCA-S

变量 Y 进行曲线拟合, 获得曲线方程为 $Y = 12.757 + 0.580X - 0.020X^2$ ($R^2 = 0.854$, $P < 0.001$)。由 NS 与 MCA-S 的散点图可见, 随着 MCA-S 增加, NS 呈现降低趋势。

3 讨论

胎儿主动脉峡部起自左锁骨下动脉起始部, 止于主动脉与动脉导管连接处, 由于其特殊的解剖位置及功能, 承担着连接膈上与膈下血液循环的重要作用。在胎儿主动脉长轴切面可清晰显示主动脉峡部, 获取主动脉峡部血流频谱, 可用于评估主动脉峡部血流动力学变化^[2]。Garcia-Canadilla 等^[1]发现, 正常胎儿中, 主动脉峡部在妊娠约 25 周时出现收缩末期切迹, 且随孕周增大而加深, 至 30 周前后达基线水平, 此后形成收缩末期短暂反向血流峰, 可能由于中晚孕期中脑血管阻力下降和右心系统逐渐占优势所致^[3]。正常情况下, 由于胎盘血管阻力较低, 当心脏处于舒张期、半月瓣关闭时, 膈上血管阻力大于膈下, 主动脉峡部内为前向血流^[4-5]。

在胎儿主动脉峡部血流频谱中, 特殊的减速切迹出现于收缩期的后 1/3^[6]。本研究 151 胎胎儿的主动脉峡部频谱中, 孕 23 周前后可见减速浅切迹, 随孕周增加, 切迹逐渐加深, 于孕 30 周前后到达基线后发生反向。这是由于在胎儿期, 左心室射血进入主动脉流经主动脉峡部, 而右心室射血进入肺动脉后, 经动脉导管连接降主动脉, 使血液从右心进入左心系统, 因此主动脉峡部向前的血流由左心室射血引起, 而右心室射血则对其产生减速作用; 同时, 由于胎儿期呈右心优势, 主动脉峡部血流量及方向受到左右心室相对收缩性的影响^[7-9]; 随着孕周增加, 胎儿右心优势逐渐增强, 主动脉峡部减速切迹也随之变化。本研究发现, 主动脉峡部 PSV 随孕周增大而逐渐增加, 由孕 23 周平均 74.29 cm/s 增长至孕 37 周时的 97.83 cm/s, 与既往研究^[10]结果一致, 提示随着孕期进展, 为满足胎儿生长发育所需的氧含量, 胎儿的心输出量增加^[11], 使主动脉峡部灌注的血流量也相应增加。本研究中, 随着孕周增加, NS 和 ISI 均逐渐减小, 于孕 30 周前后接近 0, 随后呈负值, 与孕周呈曲线相关, 与 Chabaneix 等^[11]的报道相近而略有差异, 原因可能在于地区及样本量的不同。

大脑中动脉是颈内动脉主干的直接延续, 提供胎儿大脑半球约 80% 的血液供应, 能够反映颅内血液循环的动态变化情况。本研究采用 MCA-S 反映胎儿脑血管网发育情况, 结果显示胎儿 MCA-S 在孕 23~37

周内随孕周而呈增长趋势, 提示大脑血流量随孕周而逐渐增大, 脑血管网渐趋发育完善, 与程桂静等^[12]的研究结果相似。本研究中 MCA-S 与 NS 呈非线性负相关, 即随着大脑血流量增加, 胎儿主动脉峡部 NS 降低。分析原因, 随着孕周增加, 为满足胎儿脑血管网的发育, 来自左心室的血流大部分经由主动脉弓流向头臂干、左颈总动脉和左锁骨下动脉, 导致流经主动脉峡部的血流量相对减少^[13]; 胎儿脑血流量增加, 使其静脉回流量增加, 并通过上腔静脉完全注入右心房, 进一步增加右心室前负荷和输出量^[14-15], 使得左心室射血对主动脉峡部前向血流的加速作用逐渐弱于右心室对其的减速作用; 在孕晚期, 二者的差异性逐渐增大, 主动脉峡部的减速切迹逐渐加深, 甚至到达基线位置甚至出现反向, 使 NS 成为负值。

当母体子宫胎盘功能不全时, 外周血管阻力增高, 会影响胎儿的静脉回流, 从而对心室前负荷产生影响, 进一步影响心室输出量^[6]。作为主动脉弓与动脉导管的重要连接, 胎儿主动脉峡部的主要功能是调节膈上(心、脑等左心供血器官)与膈下(腹部脏器、下肢等右心主要供血部位)血液平衡。随孕周增长, 胎盘阻力明显下降, 且身体下部器官和组织发育对血流量的需求增加。当胎盘功能不全时, 引起胎儿缺氧, 此时胎儿可通过自身调节功能来保证大脑的血供, 称为“脑保护效应”, 即胎儿下肢、肾脏、肠管等体循环血管收缩, 血管阻力增加, 血流量减少, 而大脑、心脏等重要器官血管代偿性扩张, 血流量增加, 导致胎儿身体上半部分血流量增加, 下半部分血流量减少, 上腔静脉回流量增加^[2, 16]。有学者^[17]指出, 当胎儿发生大脑动静脉畸形时, 上腔静脉回流量随之增加, 进一步影响主动脉峡部, 出现收缩末期血流反向。胎儿主动脉峡部距离心脏的位置较近, 能够快速反映宫内缺氧引起的心输出量的变化^[18], 推测主动脉峡部血流的研究或可为评价胎儿心脑血管发育及宫内缺氧提供信息。

综上所述, 随孕周增加, 胎儿 MCA-S 和主动脉峡部 PSV 增大, NS 和 ISI 均减小; 同时 NS 与 MCA-S 呈负相关关系, 推测胎儿主动脉峡部收缩末期减速切迹的变化与脑血管网的发育有关。

[参考文献]

- [1] Garcia-Canadilla P, Crispi F, Cruz-Lemini M, et al. Understanding the aortic isthmus Doppler profile and its changes with gestational age using a lumped model of the fetal circulation.

- Fetal Diagn Ther, 2017, 41(1):41-50.
- [2] 宋桃桃, 解丽梅. 胎儿期主动脉峡部血流动力学研究进展. 中国医学影像技术, 2018, 34(1):152-155.
- [3] Ropacka-Lesiak M, Swider-Musielak J, Wójcicka M, et al. Retrograde diastolic blood flow in the aortic isthmus is not a simple marker of abnormal fetal outcome in pregnancy complicated by IUGR—a pilot study. Ginek Pol, 2014, 85(7):509-515.
- [4] Thanasuan S, Phithakwatchara N, Nawapan K. Reference values for fetal aortic isthmus blood flow parameters at 24 to 38 weeks' gestation. Prenat Diagn, 2014, 34(3):241-245.
- [5] Abdelrazzaq K, Yeniel AÖ, Ergenoglu AM, et al. Fetal aortic isthmus Doppler measurements for prediction of perinatal morbidity and mortality associated with fetal growth restriction. Acta Obstet Gynecol Scand, 2013, 92(6):656-661.
- [6] 孙慧, 解丽梅. 胎儿中晚期孕期主动脉峡血流动力学变化规律研究进展. 中国医学影像技术, 2018, 34(3):452-455.
- [7] Fouron JC, Sites A, Montanari L, et al. Feasibility and reliability of Doppler flow recordings in the fetal aortic isthmus: A multicenter evaluation. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009, 33(6):690-693.
- [8] Simioni C, Nardoza LM, Araujo Júnior E, et al. Fetal cardiac function assessed by spatio-temporal image correlation. Arch Gynecol Obstet, 2011, 284(1):253-260.
- [9] Callen PW. 妇产科超声学. 常才, 戴晴, 谢晓燕, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2010:501-504.
- [10] Del Rio M, Martínez JM, Figueras F, et al. Reference ranges for Doppler parameters of the fetal aortic isthmus during the second half of pregnancy. Ultrasound Obstet Gynecol, 2006, 28(1):71-76.
- [11] Chabaneix J, Fouron JC, Sosa-Olavarria A, et al. Profiling left and right ventricular proportional output during fetal life with a novel systolic index in the aortic isthmus. Ultrasound Obstet Gynecol, 2014, 44(2):176-181.
- [12] 程桂静, 周柳英, 杨太珠. 彩色多普勒超声对中晚孕胎儿大脑中动脉血流速度参数的测量. 华西医学, 2017, 32(6):894-896.
- [13] 陈桂红, 张燕宏, 米杰, 等. 超声心动图对中晚孕正常胎儿心排量及主动脉峡部血流量的研究. 中华超声影像学杂志, 2014, 23(7):581-585.
- [14] Cabral AC, Reis ZS, Apocalypse IG, et al. Combined use of the cardiofemoral index and middle cerebral artery Doppler velocimetry for the prediction of fetal anemia. Int J Gynaecol Obstet, 2010, 111(3):205-208.
- [15] Acharya G, Tronnes A, Rasanen J. Aortic isthmus and cardiac monitoring of the growth-restricted fetus. Clin Perinatol, 2011, 38(1):113-125.
- [16] Garcia-Canadilla P, Rudenick PA, Ctsipi F, et al. A computational model of the fetal circulation to quantify blood redistribution in intrauterine growth restriction. PLoS Comput Biol, 2014, 10(6):e1003667.
- [17] Cruz-Lemini M, Crispi F, Van Mieghem T, et al. Risk of perinatal death in early-onset intrauterine growth restriction according to gestational age and cardiovascular Doppler indices: A multicenter study. Fetal Diagn Ther, 2012, 32(1-2):116-122.
- [18] Mäkilä K, Jouppila P, Räsänen J. Retrograde aortic isthmus net blood flow and human fetal cardiac function in placental insufficiency. Ultrasound Obstet Gynecol, 2003, 22(4):351-357.

关键词

关键词又称主题词,是位于摘要之后,在论文中起关键作用的、最能说明问题的、代表论文特征的名词或词组。它通常来自于题目,也可以从论文中挑选。一般每篇论文要求 2~5 个关键词。每个关键词都可以作为检索论文的信息,若选择不当,会影响他人的检索效果。医学上现在主要使用美国《医学索引》(Index Medicus)的医学主题词表(Medical Subject Headings, MeSH)最新版作为规范,亦可参考中国医学科学院情报研究所翻译地英汉对照《医学主题词注释字顺表》。非主题词表的关键词为自由词,只有必要时,才可排列于最后。有些新词也可选用几个直接相关的主题词进行搭配。