

胎孕20~36周胎儿多动脉血流动力学参数演变规律及临床应用探索

尚 伟¹, 闫国珍^{2*}, 原志强², 白 彦², 李明娟²

¹内蒙古科技大学包头医学院研究生院, 内蒙古 包头

²内蒙古科技大学包头医学院第一附属医院, 内蒙古 包头

收稿日期: 2025年12月5日; 录用日期: 2025年12月28日; 发布日期: 2026年1月7日

摘 要

目的: 测定孕20~36周孕妇UtA、UA、RA、MCA的血流动力学参数, 研究此孕期UtA、UA、RA、MCA血流演变规律及临床应用探索。方法: 彩色多普勒血流动力学分别测量200例孕20~36周孕妇UtA及胎儿UA、RA、MCA的PSV、EDV、RI、PI、S/D。结果: 胎儿生长发育过程中UA、MCA和RA的PSV与孕周呈正相关, 孕妇UtA的PSV随着孕周增加无明显改变; 胎儿UA、MCA、RA、孕妇UtA的EDV与孕周呈正相关; 胎儿UA、RA、孕妇UtA的RI、PI、S/D与孕周呈负相关, 且组间呈正相关; 胎儿MCA的RI、PI、S/D随着孕周的增加呈现先上升后下降的趋势; 胎儿MCA、UA、RA、孕妇UtA的RI、PI、S/D的组间差异具有统计学意义($P < 0.01$)。结论: 在20~32周, UA血流参数变化为: S/D由 3.40 ± 0.54 逐渐下降至 2.47 ± 0.53 , RI由 0.70 ± 0.05 下降至 0.58 ± 0.08 , PI由 1.16 ± 0.14 下降至 0.87 ± 0.19 。MCA的S/D始终保持在3.0以上, RI保持在0.7以上, PI保持在1.2以上, 并呈现出先上升后下降的规律。UtA血流参数变化为: S/D由 2.34 ± 0.89 下降至 1.84 ± 0.26 , RI由 0.53 ± 0.12 下降至 0.44 ± 0.07 , PI由 0.91 ± 0.42 下降至 0.64 ± 0.16 。RA血流参数变化为: S/D由 8.38 ± 2.41 下降至 7.04 ± 2.34 , RI由 0.87 ± 0.04 下降至 0.84 ± 0.04 , PI由 2.21 ± 0.31 下降至 1.87 ± 0.40 。且RA的RI、PI、S/D处于最高水平, UtA的RI、PI、S/D处于最低水平, MCA的RI、PI、S/D高于UA。本文数据可用作多参数超声监测胎儿宫内发育情况的参考。

关键词

脐动脉, 肾动脉, 大脑中动脉, 子宫动脉

Evolution and Clinical Application of Fetal Polyarterial Hemodynamic Parameters in 20~36 Weeks of Gestation

Wei Shang¹, Guozhen Yan^{2*}, Zhiqiang Yuan², Yan Bai², Mingjuan Li²

*通讯作者。

文章引用: 尚伟, 闫国珍, 原志强, 白彦, 李明娟. 胎孕 20~36 周胎儿多动脉血流动力学参数演变规律及临床应用探索[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 514-521. DOI: 10.12677/acm.2026.161070

¹Graduate School of Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia

²The First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia

Received: December 5, 2025; accepted: December 28, 2025; published: January 7, 2026

Abstract

Objective: The hemodynamic parameters of UtA, UA, RA, and MCA in pregnant women from 20 to 36 weeks of gestation were determined, and the blood flow evolution rules of UtA, UA, RA, and MCA and its clinical application were explored. **Methods:** PSV, EDV, RI, PI and S/D of UtA and fetal UA, RA and MCA were measured by color Doppler hemodynamics in 200 pregnant women at 20~36 weeks. **Results:** The PSV of UA, MCA and RA were positively correlated with gestational age during fetal growth and development. The PSV of UtA did not change with gestational age. The EDV of fetal UA, MCA, RA and UtA were positively correlated with gestational age. The RI, PI and S/D of fetal UA, RA and UtA in pregnant women were negatively correlated with gestational age, and positively correlated with each other. The RI, PI and S/D of fetal MCA increased first and then decreased with the increase of gestational age. There were significant differences in MCA, UA, RA of fetus and RI, PI, S/D of UtA of pregnant women ($P < 0.01$). **Conclusion:** During 20~32 weeks, UA blood flow parameters decreased from 3.40 ± 0.54 to 2.47 ± 0.53 , RI from 0.70 ± 0.05 to 0.58 ± 0.08 , PI from 1.16 ± 0.14 to 0.87 ± 0.19 . MCA S/D is always above 3.0, RI is above 0.7, PI is above 1.2, and it shows a law of first rising and then falling. UtA blood flow parameters decreased from 2.34 ± 0.89 to 1.84 ± 0.26 , RI from 0.53 ± 0.12 to 0.44 ± 0.07 , PI from 0.91 ± 0.42 to 0.64 ± 0.16 . RA blood flow parameters decreased from 8.38 ± 2.41 to 7.04 ± 2.34 , RI from 0.87 ± 0.04 to 0.84 ± 0.04 , PI from 2.21 ± 0.31 to 1.87 ± 0.40 . The RI, PI, and S/D of RA were the highest, the RI, PI, and S/D of UtA were the lowest, and the RI, PI, and S/D of MCA were higher than those of UA. The data in this paper can be used as a reference for monitoring fetal intrauterine development by multi-parameter ultrasound.

Keywords

Umbilical Artery, Renal Artery, Middle Cerebral Artery, Uterine Artery

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

产前筛查对于了解胎儿宫内情况及保障母婴安全具有重要意义, 超声多普勒因其无创性、安全性、可重复性, 成为了解胎儿宫内生长发育情况的重要手段, 近年来, 由于通过单一参数了解胎儿宫内情况的局限性日益突出, 多参数血流动力学超声被广泛应用于临床。研究证实, 胎儿脐动脉(Umbilical Artery, UA)、肾动脉(Renal Artery, RA)、大脑中动脉(Middle Cerebral Artery, MCA)、孕妇子宫动脉(Uterine Artery, UtA)的血流参数均具有重要的临床价值。目前, 国内外已有研究集中于其中几个动脉参数, 同时对于 UA、RA、MCA、UtA 血流参数之间的关系的研究也较少, 且对于整个孕期, 特别是孕 20~36 血流参数的建立目前尚缺乏共识。本研究首次通过对 200 例胎儿 UA、RA、MCA、UtA 四类血流参数的测量, 旨在讨论

各部位血流参数随孕周的变化规律以及它们之间的变化规律,为建立正常血流参数提供依据。

2. 资料与方法

2.1. 临床资料

选取 2023 年 10 月~2024 年 9 月在包头医学院第一附属医院行常规产前检查的 200 名孕妇为研究对象,自愿签署知情同意书,且经后期随访,胎儿出生后均无畸形及先天性疾病,为了保证数据的准确性,设立以下标准:

纳入标准: (1) 单胎妊娠 孕龄 20~36 周; (2) 孕妇平时月经周期规律,且明确末次月经时间; (3) 孕妇不合并高血压、糖尿病等并发症。

排除标准: (1) 胎儿畸形; (2) 存在宫内生长受限; (3) 孕妇在孕期有肝素以及其他药物治疗史。

2.2. 仪器与方法

选用 GE Voluson E8 及 Mindray Resona R8 超声诊断仪,使用凸阵探头,频率 3.5~5.0 MHz,选取产科条件。先行常规产前检查,排除胎儿畸形,测量胎儿双顶径、头围、腹围、股骨长确定孕周,当孕周与末次月经相符时开始数据测量。先选取胎儿丘脑切面,然后向胎儿足侧移动探头,在显示蝶骨大翼时启动彩色多普勒(CDFI),调节探头直到左右 MCA 完全显示,启动脉冲频谱多普勒(PW)在 MCA 根部取样测量。再选取胎儿脊柱冠状切面,向胎儿腹侧移动探头,在显示腹主动脉时启动 CDFI,调节探头使左右 RA 完全显示,启动 PW 在 RA 主干处取样测量。胎儿 UA 的测量选取脐带游离段,在游离段启动 CDFI 显示 UA,并启动 PW 取样测量,以上测量均调节多普勒角度小于 30°。在孕妇双侧腹壁腹股沟处找到髂外动脉,探头向躯体中线移动,启动 CDFI 探测到 UtA 与髂外动脉相交叉,在距髂外动脉 1~2 cm 处启动 PW 并调节多普勒角度 <60°,然后取样测量。所有测量在胎儿安静状态下进行,且获得连续 5 个以上完整的频谱,以自动法或描迹法测量收缩期峰值速度(Peak Systolic Velocity, PSV)、舒张末期流速(End-Diastolic Velocity, EDV)、阻力指数(Resistive Index, RI)、搏动指数(Pulsatility Index, PI)、收缩期峰值速度/舒张末期速度比值(Systolic/Diastolic Ratio, S/D)。

2.3. 统计学方法

采用 SPSS24.0 系统软件进行数据处理,正态或近似正态分布的计量资料采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用方差分析,相关性采用 Pearson 分析,以 $P < 0.05$ 为有统计学意义。

3. 结果

1) 200 例胎儿 UA、MCA、RA、UtA 多普勒全部都被记录(图 1、图 2)其中 20~23 周 50 胎,24~27 周 50 胎,28~31 周 50 胎,32~36 周 50 胎,不同孕周血流参数测量值见表 1~4。

2) 200 例胎儿的 UA、MCA 和 RA 的 PSV 与孕周呈正相关,不同孕周组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$),而 UtA 的 PSV 随着孕周的增加没有明显改变,不同孕周之间比较差异没有统计学意义($P > 0.05$)。UA、MCA、RA 和 UtA 的 EDV 与孕周呈正相关,不同孕周组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。UA、RA、UtA 的 RI、PI、S/D 与孕周呈负相关,不同孕周组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$);且 UtA-RI、UA-RI、RA-RI 之间呈正相关($P < 0.05$),UtA-PI、UA-PI、RA-PI 之间呈正相关($P < 0.05$),UtA-S/D、UA-S/D、RA-S/D 之间呈正相关($P < 0.05$),MCA 的 RI、PI、S/D 随着孕周的增加呈现先上升后下降趋势;并且 UA、MCA、RA 和 UtA 的 RI、PI、S/D 组间差异具有统计学意义($P < 0.05$);MCA、RA 和 UtA 左右两侧血流参数差异没有统计学意义($P > 0.05$)。

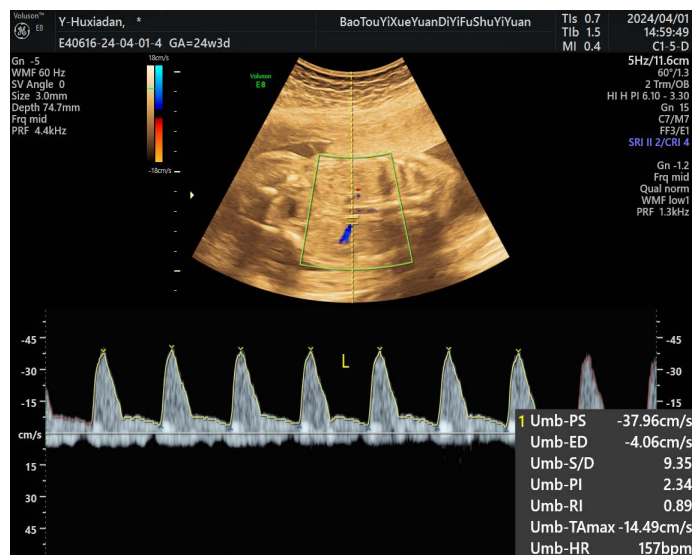


Figure 1. Left RA spectrum of a normal fetus at 24w3d of gestation
图 1. 孕 24w3d 正常胎儿左侧 RA 频谱图

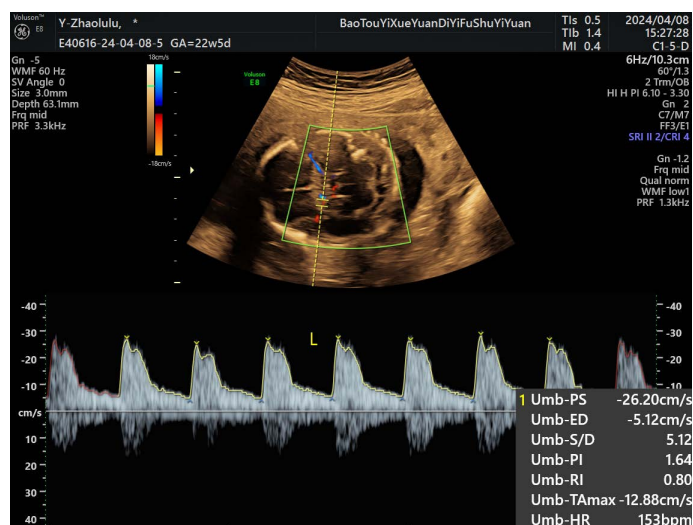


Figure 2. Left MCA spectrum of normal fetus at 22w5d of pregnancy
图 2. 孕 22w5d 正常胎儿左侧 MCA 频谱图

Table 1. Range of UtA blood flow parameters (mean $\pm$ standard deviation)
表 1. UtA 血流参数范围(平均值 $\pm$ 标准差)

孕周	20~24 (n = 50)	24~28 (n = 50)	28~32 (n = 50)	32~36 (n = 50)	F	P
左侧 PSV	71.40 $\pm$ 28.54	71.50 $\pm$ 22.96	67.57 $\pm$ 22.42	79.50 $\pm$ 28.61	1.891	0.132
EDV	33.86 $\pm$ 16.23	39.24 $\pm$ 15.23	35.57 $\pm$ 14.97	43.28 $\pm$ 16.56	3.519	$P < 0.05$
RI	0.53 $\pm$ 0.11	0.45 $\pm$ 0.10	0.48 $\pm$ 0.09	0.45 $\pm$ 0.08	6.151	$P < 0.05$
PI	0.89 $\pm$ 0.38	0.69 $\pm$ 0.29	0.73 $\pm$ 0.23	0.67 $\pm$ 0.19	6.607	$P < 0.05$
S/D	2.28 $\pm$ 0.76	1.93 $\pm$ 0.57	1.99 $\pm$ 0.41	1.88 $\pm$ 0.30	5.629	$P < 0.05$

续表

右侧 PSV	66.63 ± 25.42	59.02 ± 21.31	62.12 ± 21.41	68.53 ± 27.36	1.612	0.188
EDV	31.57 ± 17.48	30.97 ± 13.34	33.60 ± 14.44	38.02 ± 14.24	2.273	$P < 0.05$
RI	0.54 ± 0.13	0.48 ± 0.10	0.47 ± 0.10	0.44 ± 0.06	8.091	$P < 0.05$
PI	0.93 ± 0.47	0.72 ± 0.22	0.71 ± 0.26	0.63 ± 0.12	9.564	$P < 0.05$
S/D	2.40 ± 1.02	1.99 ± 0.43	1.97 ± 0.51	1.81 ± 0.21	8.463	$P < 0.05$

Table 2. Range of RA blood flow parameters (mean ± standard deviation)

表 2. RA 血流参数范围(平均值 ± 标准差)

孕周	20~24 ($n = 50$)	24~28 ($n = 50$)	28~32 ($n = 50$)	32~36 ($n = 50$)	F	P
左侧 PSV	33.10 ± 7.56	37.47 ± 8.24	46.91 ± 9.23	55.62 ± 8.76	56.346	$P < 0.05$
EDV	4.20 ± 1.16	4.89 ± 1.76	7.26 ± 2.43	8.37 ± 2.44	47.287	$P < 0.05$
RI	0.87 ± 0.06	0.87 ± 0.04	0.85 ± 0.04	0.85 ± 0.04	3.535	$P < 0.05$
PI	2.20 ± 0.37	2.17 ± 0.26	2.08 ± 0.25	1.90 ± 0.41	8.148	$P < 0.05$
S/D	8.46 ± 2.94	8.21 ± 2.08	7.08 ± 2.37	7.13 ± 2.40	4.227	$P < 0.05$
右侧 PSV	35.97 ± 9.07	41.46 ± 8.45	49.63 ± 10.85	54.87 ± 11.50	44.992	$P < 0.05$
EDV	4.40 ± 0.92	5.47 ± 1.66	7.63 ± 2.39	8.55 ± 2.73	43.591	$P < 0.05$
RI	0.87 ± 0.03	0.87 ± 0.04	0.85 ± 0.04	0.84 ± 0.05	7.760	$P < 0.05$
PI	2.23 ± 0.24	2.17 ± 0.37	2.03 ± 0.24	1.85 ± 0.40	13.471	$P < 0.05$
S/D	8.32 ± 1.76	8.05 ± 2.29	6.91 ± 1.79	6.95 ± 2.30	6.315	$P < 0.05$

Table 3. MCA blood flow parameter range (mean ± standard deviation)

表 3. MCA 血流参数范围(平均值 ± 标准差)

孕周	20~24 ($n = 50$)	24~28 ($n = 50$)	28~32 ($n = 50$)	32~36 ($n = 50$)	F	P
左侧 PSV	29.91 ± 8.39	36.97 ± 11.46	36.82 ± 12.12	46.04 ± 10.50	19.082	$P < 0.05$
EDV	6.62 ± 2.11	8.04 ± 2.70	8.16 ± 3.13	10.40 ± 4.02	12.959	$P < 0.05$
RI	0.77 ± 0.06	0.78 ± 0.06	0.77 ± 0.06	0.78 ± 0.06	0.052	0.984
PI	1.55 ± 0.32	1.56 ± 0.30	1.55 ± 0.27	1.53 ± 0.29	0.074	0.974
S/D	4.79 ± 1.55	4.77 ± 1.14	4.80 ± 1.63	4.81 ± 1.35	0.006	0.999
右侧 PSV	29.84 ± 7.63	36.61 ± 10.88	36.77 ± 12.56	44.50 ± 11.52	15.363	$P < 0.05$
EDV	6.60 ± 2.04	8.03 ± 2.93	8.39 ± 3.26	10.44 ± 3.92	12.985	$P < 0.05$
RI	0.78 ± 0.06	0.78 ± 0.06	0.77 ± 0.06	0.77 ± 0.06	0.478	0.698
PI	1.56 ± 0.29	1.57 ± 0.34	1.54 ± 0.30	1.51 ± 0.30	0.435	0.728
S/D	4.71 ± 1.07	4.82 ± 1.37	4.68 ± 1.59	4.52 ± 1.04	0.462	0.709

Table 4. Range of UA blood flow parameters (mean $\pm$ standard deviation)**表 4.** UA 血流参数范围(平均值 $\pm$ 标准差)

孕周	20~24 (n = 50)	24~28 (n = 50)	28~32 (n = 50)	32~36 (n = 50)	F	P
PSV	32.77 $\pm$ 5.12	36.64 $\pm$ 7.33	43.74 $\pm$ 8.27	45.06 $\pm$ 9.33	28.602	$P < 0.05$
EDV	9.81 $\pm$ 1.99	12.43 $\pm$ 3.588	18.17 $\pm$ 5.09	19.11 $\pm$ 5.81	52.542	$P < 0.05$
RI	0.70 $\pm$ 0.05	0.66 $\pm$ 0.06	0.59 $\pm$ 0.07	0.58 $\pm$ 0.08	37.358	$P < 0.05$
PI	1.16 $\pm$ 0.14	1.05 $\pm$ 0.18	0.88 $\pm$ 0.16	0.87 $\pm$ 0.19	34.426	$P < 0.05$
S/D	3.40 $\pm$ 0.54	3.07 $\pm$ 0.63	2.49 $\pm$ 0.43	2.47 $\pm$ 0.53	36.609	$P < 0.05$

4. 讨论

在胎儿的生长发育过程中, UtA 是供给子宫和胎盘最主要的动脉。大部分血液通过 UA 回到胎盘, 与母亲血液在胎盘进行物质交换, 最后通过脐静脉回到胎儿体内, 完成循环, UtA 和 UA 是评价胎盘功能的主要动脉, 而 MCA 和 RA 是评价胎儿大脑发育和肾脏发育的主要动脉。

本研究首次同时通过对 UA、MCA、RA、UtA 四类动脉参数的测量来探索血流演变规律, 并建立正常范围, 为临床诊断胎儿宫内发育异常提供参考, 有助于我们更好的了解胎儿与母体之间的循环状态以及胎儿生长发育情况。

1) 脐带是联系胎儿与母亲的纽带, 而 UA 是胎儿与母亲进行物质交换的关键血管, UA 将胎儿体内产生的代谢废物等运输至胎盘, 通过母亲排出体外。我们的研究显示: 随着孕周的增加, UA 的 PSV 与 EDV 随着孕周的增加而上升, 呈现出显著的正相关($r = 0.539, 0.667$), RI、PI、S/D 随着孕周的增加而下降, 呈现出显著的负相关($r = -0.610, -0.582, -0.589$), 这与王玲等[1]的研究结果相符。UA 的血流参数 S/D、RI、PI 是对脐动脉血流动力学的监测指标, 临床已经广泛用于监测母胎之间的血流动力学情况, 韩春苗[2]等人报道孕 35~36 周 UA-RI > 0.68 , UA-PI > 0.96 , UA-S/D > 2.95 诊断妊娠结局不良的诊断效能最好, 郑新等[3]的研究也指出当晚孕期 S/D > 3.0 时, 则可能提示胎儿宫内生长受限或胎盘功能不良。对比本研究数据表明: 在胎儿的生长发育中 S/D 在孕 20~32 周内由 3.40 ± 0.54 逐渐下降至 2.47 ± 0.53 , 28 周后下降完全至 3.0 以下; RI 由 0.70 ± 0.05 下降至 0.58 ± 0.08 , 28 周后完全下降至 0.65 以下; PI 由 1.16 ± 0.14 下降至 0.87 ± 0.19 , 28 周后完全下降至 1.1 以下, 这与出现妊娠结局不良的胎儿血流参数基本吻合。

2) MCA 是胎儿脑 Willis 环的主要分支, 是胎儿颅内血液供应较丰富的血管, 其血流动力学状态可反应胎儿脑循环的变化, MCA 的多普勒测速是一种评估胎儿大脑循环血流阻抗/阻力的方法, 我们的研究结果显示: MCA 的 PSV 与 EDV 随着孕周的增加而上升, 呈现出显著的正相关(左侧: $r = 0.461、0.410$ 右侧: $r = 0.415、0.410$), 而 RI、PI、S/D 值在 20~28 周呈现出上升趋势, 28 周~32 周呈下降趋势, 其中以 PI 值变化最为明显, 这与罗支农[4]等的研究结果相符, 这种变化趋势是由妊娠中期胎儿脑血管尚未完全发育, 胎盘血管床未完全扩张[5], 而妊娠晚期胎儿脑血管发育成熟, 胎儿心脏功能增强, 循环系统效率提高有关[6]所造成。当胎儿发生宫内窘迫时, 胎儿通过激活交感神经和释放血管活性物质使 MCA 血管舒张[7], MCA 的血管舒张被认为反映了一种通常被称为“大脑保护效应”的代偿现象, MCA 的 PI、RI、S/D 可以作为诊断 FGR 的敏感指标[8], 在代偿期 RI、PI 及 S/D 减低, 而当进入失代偿期时血管收缩反而会升高[9]。对比本研究数据表明: 在孕 20~36 周中胎儿 MCA 的 S/D 始终保持在 3.0 以上, RI 保持在 0.7 以上, PI 保持在 1.2 以上, 这表明如果妊娠晚期 MCA 血流参数呈现出先下降后上升的规律, 就可能提示胎儿存在“脑保护效应”。

3) 胎儿的生长发育依赖于母亲的血液供应,而母胎之间的子宫-胎盘循环是母胎进行物质交换的关键位置,UtA 血流动力学改变也可以反应这一循环的变化,我们的研究结果显示:随着胎儿的生长发育,PSV 随着孕周的增加没有明显改变,EDV 随着孕周的增加而上升,呈现出显著的正相关(左侧 $r = 0.180$ 右侧 $r = 0.161$),而 RI、PI、S/D 随着孕周的下降,呈现出显著的负相关(左侧 $r = -0.233$ 、 -0.266 、 -0.260 右侧 $r = -0.332$ 、 -0.343 、 -0.320),这与高薪茹[10]等的研究结果相符。UtA 的血流变化规律提示:妊娠中期,胎盘绒毛膜发育完成,血管床扩张,且母体心输出量增加,使得 UtA 舒张末期血流灌注增加,子宫螺旋动脉血管平滑细胞被滋养细胞取代,血管重塑基本完成,血管扩张,阻力逐渐降低[11]。当胎儿发生宫内窘迫时,PI > 1.2 做用作 UtA 血流异常的诊断标准[12],对比本研究数据表明:在胎儿的生长发育中 S/D 在孕 20~32 周由 2.34 ± 0.89 下降至 1.84 ± 0.26 ,其中 32 周后完全下降至 2.2 以下;RI 由 0.53 ± 0.12 下降至 0.44 ± 0.07 ,32 周后完全下降至 0.6 以下;PI 由 0.91 ± 0.42 下降至 0.64 ± 0.16 ,24 周之后完全下降至 1.2 以下,32 周后完全下降至 0.9 以下。

4) 胎儿肾脏在胎儿排泄、体液平衡和清除等生理功能中发挥重要作用,而 RA 是胎儿肾脏主要的供血来源,RA 的血流动力学改变可以直接反应胎儿肾脏的功能,我们的研究结果显示:随着胎儿的生长发育,RA 的 PSV 与 EDV 随着孕周的增加而上升,呈现出显著的正相关(左侧: $r = 0.738$ 、 0.638 右侧: $r = 0.579$ 、 0.629);而 RI、PI、S/D 随着孕周的下降,呈现出显著的负相关(左侧 $r = -0.162$ 、 -0.277 、 -0.202 右侧 $r = -0.328$ 、 -0.406 、 -0.286),这与 Gallarreta FM [13][14]等的研究结果相符。RA 的血流变化规律提示:妊娠早期,胎儿肾脏尚未完全发育,肾小球和肾小管结构不成熟,肾脏血流灌注较少,阻力较高[15];而妊娠中期时肾小球和肾小管数量增加,胎儿心输出量增加,肾脏血流灌注增加,阻力降低[5]。而当胎儿发生宫内窘迫时,神经保护作用的产生导致肾灌注血流量减少,肾血管处于收缩状态,RI、PI、S/D 值升高,PSV 随着宫内窘迫的严重程度而降低[16][17],对比本研究数据表明:在胎儿的生长发育中 S/D 在孕 20~32 周由 8.38 ± 2.41 下降至 7.04 ± 2.34 ,孕 32 周后下降至 9.5 以下,RI 由 0.87 ± 0.04 下降至 0.84 ± 0.04 ,孕 32 周后下降至 0.9 以下,PI 由 2.21 ± 0.31 下降至 1.87 ± 0.40 ,孕 32 周后下降至 2.4 以下。

5) 本研究通过组间对比,可以看出 UA、RA、UtA 和 MCA 的 RI、PI、S/D 差异具有统计学意义。近年来,许多多普勒组合被用作了解胎儿宫内发育情况的指标,如:脑胎盘率(CPR)、脐脑比率(UCR)、大脑-胎盘-子宫比率(CPUR = $CPR/UtA-PI$)等,但是对于 UCR、CPUR 的诊断效能尚且需要更多的研究来证明,目前关于 CPR 的诊断效能研究较多,但是存在的争议也较多,有的学者认为 CPR 在妊娠 30~34 周不良围产儿结局常规筛查中的表现较差[18],但是大量研究证明正常妊娠时 $CPR > 1$,这也与本研究的数据相符。本研究表明:在孕 20~36 周正常胎儿发育过程中各血流参数的关系内 RA 的 RI、PI、S/D 处于最高水平,UtA 的 RI、PI、S/D 处于最低水平,MCA 的 RI、PI、S/D 高于 UA。

本研究仍有一些局限性,需要在今后的工作中加以解决。本研究的样本量有待增加,且研究为单中心设计,未来的研究应考虑纳入较大样本量的多中心数据,以提高外部验证。本研究属于回顾性研究,未来计划收集前瞻性数据进行分析,以便更准确验证结论的准确性。

5. 结论

综上所述,胎儿 UA、RA、UtA、MCA 是反应胎儿生长发育情况的重要血管,了解其在胎儿生长过程中的血流变化情况有助于我们更好地评估胎儿的宫内情况,建立正常胎儿血流参数范围,可为超声诊断胎儿宫内发育异常提供理论依据。

参考文献

- [1] 王玲,张炽敏,李嘉,苏俊,高亚琴. 超声观察中晚孕期正常胎儿脐动脉和脑、肾动脉血流动力学[J]. 中国医学

- 影像技术, 2010, 26(11): 2145-2148.
- [2] 韩春苗, 李雪娇. 高危妊娠晚期胎儿脐动脉与大脑中动脉及主动脉弓峡部血流参数变化与不良妊娠结局的关系[J]. 中国超声医学杂志, 2022, 38(7): 807-811.
- [3] 郑新, 赵乐. 胎儿脐动脉、大脑中动脉及产前子宫动脉多普勒超声参数联合血清胎盘生长因子对胎儿生长受限的预测价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(15): 75-77.
- [4] 罗支农, 韦怀新, 郭会平, 等. 正常中孕胎儿大脑中动脉血流参数的正常值范围[J]. 中国超声医学杂志, 2000(12): 56-57.
- [5] Mari, G. and Deter, R.L. (1992) Middle Cerebral Artery Flow Velocity Waveforms in Normal and Small-for-Gestational-Age Fetuses. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **166**, 1262-1270. [https://doi.org/10.1016/s0002-9378\(11\)90620-6](https://doi.org/10.1016/s0002-9378(11)90620-6)
- [6] Baschat, A.A. and Gembruch, U. (2003) The Cerebroplacental Doppler Ratio Revisited. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **21**, 124-127. <https://doi.org/10.1002/uog.20>
- [7] Giussani, D.A. and Davidge, S.T. (2013) Developmental Programming of Cardiovascular Disease by Prenatal Hypoxia. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, **4**, 328-337. <https://doi.org/10.1017/s204017441300010x>
- [8] 杨玉英, 江森, 张薇, 等. 监测胎儿脑血流阻力指标预测胎儿宫内缺氧[J]. 中国超声医学杂志, 1997(4): 25-27.
- [9] 颜媛, 邹翰琴, 周克松, 等. 胎儿脐动脉、肾动脉及大脑中动脉血流动力学与胎儿宫内缺氧的相关性研究[J]. 四川医学, 2018, 39(9): 1057-1060.
- [10] 高新茹, 张喻, 王颖金, 等. 中晚孕期正常胎儿母体子宫动脉血流动力学研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2011, 22(2): 134-136.
- [11] Khong, Y. and Brosens, I. (2011) Defective Deep Placentation. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, **25**, 301-311. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2010.10.012>
- [12] 符建, 杨月华, 陈亮, 等. 子宫动脉和脐动脉血流动力学参数对晚发型胎儿宫内生长受限的预测价值[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(9): 1035-1039.
- [13] Gallarreta, F.M.P., Martins, W.D.P., Morais, E.N.D., Ferreira, A.D.C., Nicolau, L.G., Barra, D.D.A., et al. (2008) Evaluation of Blood Flow in the Fetal Renal Artery between the 22nd and 38th Week in Normal Pregnancies. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, **30**, 494-498. <https://doi.org/10.1590/s0100-72032008001000003>
- [14] 李涛, 冯泽平, 田艾军, 袁红霞, 周永. 超声观察正常胎儿肾动脉的血流动力学参数及其临床价值[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(5): 974-977.
- [15] Veille, J.C., Hanson, R. and Sivakoff, M. (1993) Fetal Renal Artery Flow Velocity Waveforms in Normal and Abnormal Pregnancies. *Obstetrics & Gynecology*, **81**, 560-564.
- [16] Wang, Q., Wang, L., Hu, M., Yang, S., Zhang, W., Chen, H., et al. (2024) Comprehensive Evaluation of Fetal Renal Ultrasound Parameters for Fetal Growth Restriction. *Heliyon*, **10**, e36687. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36687>
- [17] Stigter, R.H., Mulder, E.J.H., Bruinse, H.W. and Visser, G.H.A. (2001) Doppler Studies on the Fetal Renal Artery in the Severely Growth-Restricted Fetus. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **18**, 141-145. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2001.00493.x>
- [18] Bakalis, S., Akolekar, R., Gallo, D.M., Poon, L.C. and Nicolaides, K.H. (2015) Umbilical and Fetal Middle Cerebral Artery Doppler at 30 - 34 Weeks' Gestation in the Prediction of Adverse Perinatal Outcome. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **45**, 409-420. <https://doi.org/10.1002/uog.14822>