

脐动脉搏动指数在生长受限胎儿中的检测价值



高 杰, 涂 昊

恩施土家族苗族自治州中心医院超声影像科 (湖北恩施 445000)

【摘要】目的 探讨双侧脐动脉 (UA) 搏动指数 (PI) 异常对生长受限 (FGR) 胎儿围产结局的影响及预测价值。**方法** 以 2022 年 7 月至 2024 年 6 月在恩施土家族苗族自治州中心医院分娩的 FGR 胎儿及其母亲为研究对象。根据产妇产前最后 1 次检查时 UA-PI 值将其分为双侧 UA-PI 均正常、单侧 UA-PI 异常、双侧 UA-PI 均异常 3 组, 比较 3 组产妇的一般资料、超声特征及新生儿围产结局, 分析新生儿围产结局与双侧 UA-PI 异常的关联。**结果** 共纳入 516 对产妇和 FGR 胎儿, 其中单侧 UA-PI 异常组 91 例 (17.64%), 双侧 UA-PI 均正常组 349 例 (67.64%), 双侧 UA-PI 均异常组 76 例 (14.73%)。与双侧 UA-PI 均正常组相比, 单侧和双侧 UA-PI 异常组有较差的超声参数和围产结局, 尤以双侧 UA-PI 异常组更为严重。UA-PI 对 8 个胎儿不良围产结局的预测 AUC 值在 0.670~0.778 范围内, 其中对早产 < 34 孕周和因胎儿窘迫行剖宫产两个结局的预测价值相对较高。**结论** 异常 UA-PI 值的数量与不良围产期结果呈“剂量反应”关系, 并对不良围产结局具有一定的预测效能。

【关键词】 脐动脉搏动指数; 生长受限; 围产结局; 预测价值

【中图分类号】 R445.1; R714.5 **【文献标识码】** A

Detection value of umbilical artery pulsatility index in growth-restricted fetuses

GAO Jie, TU Hao

Department of Ultrasonic Imaging, The Central Hospital of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi 445000, Hubei Province, China

Corresponding author: TU Hao, Email: enshi_tu@163.com

【Abstract】Objective To investigate the impact and predictive value of bilateral umbilical artery (UA) pulsatility index (PI) abnormalities on perinatal outcomes in fetuses with fetal growth restriction (FGR). **Methods** FGR fetuses and their mothers who delivered at the Central Hospital of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture from July 2022 to June 2024 were included in this study. Based on the UA-PI at the last prenatal examination, the mothers were divided into three groups: normal bilateral UA-PI group, abnormal unilateral UA-PI group, and abnormal bilateral UA-PI group. General information, ultrasound characteristics, and neonatal perinatal outcomes were compared among the three groups, and the association between neonatal perinatal outcomes and bilateral UA-PI abnormalities was analyzed. **Results** A total of 516 maternal pairs and FGR fetuses were included. Among them, 91 cases with unilateral abnormal UA-PI (17.64%), 349 cases with normal bilateral UA-PI (67.64%), and 76 cases with abnormal bilateral UA-PI (14.73%). Compared with the group with normal bilateral UA-PI, the groups with abnormal unilateral and bilateral UA-PI had poorer ultrasound parameters and perinatal outcomes, especially the

group with abnormal bilateral UA-PI. The predictive AUC values of UA-PI for adverse perinatal outcomes of 8 fetuses ranged from 0.670 to 0.778, with relatively high predictive value for preterm birth <34 weeks of gestation and cesarean section due to fetal distress. **Conclusion** The number of abnormal UA-PI values showed a dose-response relationship with adverse perinatal outcomes and had a certain predictive power for adverse perinatal outcomes.

【Keywords】 Umbilical artery pulsatility index; Fetal growth restriction; Perinatal outcome; Predictive value

胎儿生长受限 (fetal growth restriction, FGR) 在妊娠中发生率高达 10%^[1]。胎盘疾病是 FGR 常见的潜在病因之一^[2], FGR 与胎盘形成受损和子宫胎盘血流异常密切相关^[3], 胎盘功能障碍引起的严重早发 FGR 可显著增加围产期死亡率和新生儿发病率^[4]。研究指出, 妊娠晚期超声检查指标如脐动脉 (umbilical artery, UA) 多普勒血流参数、脑胎盘比、严重羊水过少和临界羊水过少对新生儿不良结局预测性能有限^[5]。因此, 明确可预测不良围产结局的妊娠晚期超声指标, 对于改善胎儿预后具有重要意义。近年来, 有报道指出脐静脉血流率与 UA 搏动指数 (pulsatility index, PI) 比值异常与中晚孕期正常胎儿的不良围产结局相关^[6], 提示 UA-PI 与胎儿的围产结局之间可能存在关联。研究显示部分正常生长胎儿的 2 个脐动脉之间存在超声影像差异^[7], 因此有必要在 FGR 的情况下进一步对成对的脐动脉进行评估, 但目前 FGR 时的脐动脉超声检查通常仅在其中 1 条脐动脉中进行评估。据此本研究旨在明确与双侧 UA-PI 值均正常妊娠相比, 单侧 UA-PI 值异常 (一侧正常, 一侧异常) 和双侧 UA-PI 值均异常是否与合并 FGR 的新生儿不良结局风险相关。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以 2022 年 7 月至 2024 年 6 月在恩施土家族苗族自治州中心医院分娩的 FGR 胎儿及其母亲为研究对象。胎儿纳入标准: ①超声影像清晰、标准; ②双侧 UA 均可测量; 排除标准: ①先天性解剖、生理结构异常; ②孕 22 周前出生。母亲纳入标准: ①停经史准确; ②产前检查和住院分娩资料完整、规范, 无重要数据缺失; ③单胎妊娠; 排除标准: ①终止妊娠; ②胎死宫内。FGR 依据参考文献^[8]进行诊断: 出生体重低于同胎龄平均体重第 10 百分位数的新生儿, 也被

称为小于孕龄儿 (small for gestational age infant, SGA); 严重 FGR 指估测的胎儿出生体重小于同胎龄平均体重第 3 百分位数。本研究经恩施土家族苗族自治州中心医院医学伦理委员会审批 (批号: 20240825)。

1.2 资料收集

回顾性收集产妇产前检查和分娩资料, 包括: ①社会人口学特征: 年龄、教育年限; ②孕前体格检查: 身高、体重; ③孕产史: 孕次、产次、初产妇; ④合并症: 糖尿病、高血压; ⑤围产期并发症: 妊娠期糖尿病、妊娠期高血压、妊娠期甲状腺功能异常; ⑥分娩方式: 计划剖宫产; ⑦孕前生活方式: 吸烟、饮酒; ⑧围产结局: 分娩孕周、计划外剖宫产、因胎儿窘迫行剖宫产、出生体重、5 min 阿氏评分、败血症; ⑨产妇超声检查资料: 超声检查孕周、胎儿腹围 (abdominal circumference, AC)、胎儿预估体重 (estimated fetal weight, EFW)、大脑中动脉 (middle cerebral artery, MCA)-PI、胎儿静脉导管 (ductus venosus, DV)-PI、羊水最大深度 (maximal vertical pocket, MVP)、胎儿生物物理评分 (fetal biophysical profile, BPP) 等指标。

1.3 超声检查

应用非凡影像多普勒超声诊断仪 (美国飞利浦公司), 超声频率为 3.5 MHz, 孕妇微向左倾斜 5° 卧位或平卧, 检测相关指标。本研究中 PI 值异常主要关注分娩前最后 1 次超声检查双侧 UA-PI 结果不一致的情况。超声医师对孕妇行超声扫查, 从声像图中确定胎方位, 并顺着解剖结构扫查脐动脉。在无胎动时采集 ≥ 3 个均匀一致的心动周期波形, 测量 PI 值。当典型的脐动脉血流音被闻及并于荧光屏上出现脐动脉血流波形时, 冻结波形并行分析计算。PI 值 = (收缩期峰值速度 - 舒张末期流速) / 时间平均最高流速, PI 值 ≥ 0.9 为异常^[9]。本研究仅纳入清晰可辨的、位置不同但距离相近的 UA 进行评估。

根据产妇产前最后 1 次检查时 UA-PI 值分为 3 组：双侧 UA-PI 均正常组、单侧 UA-PI 异常（1 侧 UA-PI 值正常，1 侧 UA-PI 值异常）组、双侧 UA-PI 均异常组。

1.4 统计学分析

使用 SPSS 23.0 软件处理数据。计量数据以平均数和标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，多组间比较采用单因素方差分析，进一步两两比较采用 LSD-*t* 检验。计数资料以例数和率（*n*，%）表示，多组间比较采用卡方检验或校正卡方检验。采用非条件 Logistic 回归分析进行影响因素分析；采用受试者操作特征（receiver operator characteristic，ROC）曲线下面积（area under the curve，AUC）评估 UA-PI 指标的预测价值。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

共纳入 516 对产妇和 FGR 胎儿，其中单侧 UA-PI 异常组 91 例（17.64%），双侧 UA-PI 均正常组 349 例（67.64%），双侧 UA-PI 均异常组 76 例（14.73%）。三组在生育史三项指标上差异

有统计学意义（ $P < 0.001$ ），具体表现为单侧和双侧 UA-PI 异常的产妇孕次、产次偏低，但初产比例偏高，详见表 1。三组在围产结局指标上差异具有统计学意义，尤其在早产 < 37 孕周、早产 < 34 孕周、计划外剖宫产、因胎儿窘迫行剖宫产、胎儿呼吸窘迫综合征发生上，双侧 UA-PI 异常组比例均显著高于双侧 UA-PI 正常与单侧 UA-PI 异常组（ $P < 0.025$ ），详见表 2。

2.2 超声检查情况

与双侧 UA-PI 均正常组相比，单侧和（或）双侧 UA-PI 异常组超声检查孕周数偏少、超声检查至分娩间隔时间偏短，BPP < 8 分、MVP < 2 cm 者占比较大，且除超声检查孕周外，双侧 UA-PI 均异常组在其他指标上均更甚，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。单侧和双侧 UA-PI 异常组在超声参数的百分位数分布区位指标比例上均显著高于双侧 UA-PI 正常组，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。但在 DV-PI $>$ 第 95 百分位数指标上，单侧 UA-PI 异常组占比最低，双侧 UA-PI 异常组占比最高，详见表 3。

2.3 UA-PI对胎儿围产结局的影响

以胎儿围产结局各指标为因变量（是 =1，

表1 产妇一般资料比较（*n*，%）
Table 1. Comparison of general maternal data (*n*，%)

特征	双侧UA-PI正常组 (<i>n</i> =349)	单侧UA-PI异常组 (<i>n</i> =91)	双侧UA-PI异常组 (<i>n</i> =76)	<i>F</i> / χ^2 值	<i>P</i> 值
年龄（岁）*	31.14 ± 5.37	31.47 ± 5.12	31.39 ± 5.84	0.084	0.920
年龄>35岁	86 (24.64)	25 (27.47)	21 (27.63)	0.501	0.778
教育年限（年）*	10.94 ± 2.38	10.86 ± 2.57	11.01 ± 2.44	0.043	0.957
孕前BMI（kg/m ² ）*	25.39 ± 6.63	26.82 ± 5.51	25.94 ± 6.18	1.358	0.258
孕前肥胖	67 (19.20)	22 (24.18)	17 (22.37)	1.278	0.528
生育史					
孕次（次）*	2.13 ± 0.44	1.86 ± 0.47 ^a	1.69 ± 0.52 ^a	28.328	<0.001
产次（次）*	2.89 ± 0.67	2.40 ± 0.32 ^a	2.02 ± 0.38 ^{ab}	79.268	<0.001
初产妇	122 (34.96)	46 (50.55) ^a	43 (56.58) ^a	16.335	<0.001
合并症					
糖尿病	10 (2.87)	6 (6.59)	3 (3.95)	2.846	0.241
高血压	6 (1.72)	4 (4.40)	1 (1.32)	2.763	0.251
围产期并发症					
妊娠期糖尿病	39 (11.17)	12 (13.19)	6 (7.89)	1.198	0.549
妊娠期高血压	21 (6.02)	6 (6.59)	4 (5.26)	0.130	0.937
妊娠期甲状腺功能异常	17 (4.87)	4 (4.40)	4 (5.26)	0.069	0.966
计划剖宫产	88 (25.21)	23 (25.27)	23 (30.26)	0.855	0.652
孕前生活方式					
吸烟	32 (9.17)	8 (8.79)	7 (9.21)	0.014	0.993
饮酒	16 (4.58)	4 (4.40)	4 (5.26)	0.081	0.960

注：*为计量数据以平均数和标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示；^a为与双侧UA-PI正常组比较 $P < 0.025$ ；^b为与单侧UA-PI异常组比较 $P < 0.025$ 。

否=0)，以 UA-PI 为自变量（以双侧 UA-PI 正常组为对照），校正产妇年龄、教育年限、孕前 BMI、孕前肥胖、孕次、产次、糖尿病、高血压等变量，结果显示，与双侧 UA-PI 均正常组相比，单侧和（或）双侧 UA-PI 异常组在围产结局指标上表现较差，尤以双侧 UA-PI 异常组更为严重（ $P < 0.05$ ），详见表 4。

2.4 UA-PI对胎儿不良围产结局的预测价值

ROC 分析结果显示，UA-PI 值对 8 个胎儿不良围产结局指标均有一定的预测价值。阈值点为 2 个 UA-PI 值均异常水平，对应的 AUC 值在 0.670~0.778 范围内，其中对早产 < 34 孕周和因胎儿窘迫行剖宫产两个结局的预测价值最高，详见表 5。

表2 胎儿围产结局比较 (n, %)

Table 2. Comparison of perinatal outcomes in fetuses (n, %)

围产结局	双侧UA-PI正常组 (n=349)	单侧UA-PI异常组 (n=91)	双侧UA-PI异常组 (n=76)	χ^2 值	P值
早产<37孕周	42 (12.03)	19 (20.88) ^a	34 (44.74) ^{ab}	44.881	<0.001
早产<34孕周	97 (27.79)	40 (43.96) ^a	59 (77.63) ^{ab}	67.478	<0.001
计划外剖宫产	68 (19.48)	29 (31.87) ^a	35 (46.05) ^{ab}	25.434	<0.001
因胎儿窘迫行剖宫产	41 (11.75)	18 (19.78) ^a	30 (39.47) ^{ab}	34.109	<0.001
出生体重<第10百分位数	161 (46.13)	42 (46.15)	48 (63.16) ^b	7.516	0.023
5 min阿氏评分<7	23 (6.59)	7 (7.69)	14 (18.42) ^b	11.298	0.004
呼吸窘迫综合征	35 (10.03)	16 (17.58) ^a	30 (39.47) ^{ab}	41.185	<0.001
败血症	4 (1.15)	2 (2.20)	8 (10.53) ^b	20.915	<0.001

注：^a为与双侧UA-PI正常组比较 $P < 0.025$ ；^b为与单侧UA-PI异常组比较 $P < 0.025$ 。

表3 产妇/胎儿超声特征比较 (n, %)

Table 3. Comparison of maternal/fetal ultrasonographic features (n, %)

特征	双侧UA-PI正常组 (n=349)	单侧UA-PI异常组 (n=91)	双侧UA-PI异常组 (n=76)	F/χ^2 值	P值
超声检查孕周(周) [*]	35.13 ± 3.64	32.81 ± 4.06 ^a	33.09 ± 3.55 ^a	14.370	<0.001
超声检查至分娩间隔时间(d) [*]	6.73 ± 1.94	5.86 ± 1.67 ^a	4.17 ± 0.53 ^{ab}	66.460	<0.001
超声检查至分娩间隔时间<7 d	276 (79.08)	77 (84.62) ^a	72 (94.74) ^{ab}	10.914	0.004
BPP<8分	102 (29.23)	31 (34.07) ^a	36 (47.37) ^{ab}	9.413	0.009
羊水过少(MVP<2 cm)	52 (14.90)	7 (7.69) ^a	16 (21.05) ^{ab}	6.066	0.048
胎儿腹围					
AC<第3百分位数	193 (55.30)	71 (78.02) ^a	55 (72.37) ^{ab}	19.988	<0.001
AC<第5百分位数	217 (62.18)	73 (80.22) ^a	60 (78.95) ^a	15.816	<0.001
AC<第10百分位数	249 (71.35)	77 (84.62) ^a	63 (82.89) ^a	9.556	0.008
胎儿预估体重					
EFW<第3百分位数	241 (69.05)	73 (80.22) ^a	64 (84.21) ^a	10.052	0.007
EFW<第5百分位数	276 (79.08)	78 (85.71) ^a	67 (88.16) ^a	4.673	0.097
EFW<第10百分位数	338 (96.85)	90 (98.90) ^a	75 (98.68) ^a	1.764	0.414
MCA-PI<第5百分位数	53 (15.19)	19 (20.88) ^a	40 (52.63) ^{ab}	51.537	<0.001
DV-PI>第95百分位数	32 (9.17)	6 (6.59) ^a	16 (21.05) ^{ab}	11.174	0.004

注：^{*}为计量数据以平均数和标准差($\bar{x} \pm s$)表示；^a为与双侧UA-PI正常组比较 $P < 0.025$ ；^b为与单侧UA-PI异常组比较 $P < 0.025$ ；BPP.胎儿生物物理评分；MVP.羊水最大深度；AC.胎儿腹围；EFW.胎儿预估体重；MCA-PI.大脑中动脉PI；DV-PI.静脉导管PI。

表4 UA-PI对胎儿围产结局影响的Logistic回归分析

Table 4. Logistic regression analysis of the impact of UA-PI on perinatal outcomes in fetuses

围产结局	组别	β 值	SE值	Wald χ^2 值	OR值 (95%CI)	P值
早产<37孕周	单侧UA-PI异常组	0.491	0.173	8.086	1.634 (1.164, 2.294)	0.004
	双侧UA-PI异常组	0.593	0.144	16.865	1.809 (1.364, 2.399)	<0.001
早产<34孕周	单侧UA-PI异常组	0.545	0.215	6.438	1.725 (1.132, 2.628)	0.001
	双侧UA-PI异常组	0.692	0.228	9.216	1.997 (1.278, 3.123)	0.002
计划外剖宫产	单侧UA-PI异常组	0.376	0.153	6.028	1.457 (1.079, 1.966)	0.014
	双侧UA-PI异常组	0.527	0.140	14.076	1.693 (1.287, 2.229)	<0.001

续表4

围产结局	组别	β值	SE值	Wald χ^2 值	OR值 (95%CI)	P值
因胎儿窘迫行剖宫产	单侧UA-PI异常组	0.108	0.059	3.320	1.114 (0.992, 1.251)	0.068
	双侧UA-PI异常组	0.463	0.157	8.716	1.589 (1.168, 2.161)	0.003
出生体重<第10百分位数	单侧UA-PI异常组	0.009	0.005	3.230	1.009 (0.999, 1.019)	0.072
	双侧UA-PI异常组	0.362	0.134	7.253	1.436 (1.104, 1.868)	0.007
5 min阿氏评分<7	单侧UA-PI异常组	0.014	0.007	3.861	1.014 (1.000, 1.028)	0.049
	双侧UA-PI异常组	0.254	0.114	5.000	1.289 (1.031, 1.612)	0.025
呼吸窘迫综合征	单侧UA-PI异常组	0.112	0.052	4.631	1.119 (1.010, 1.239)	0.031
	双侧UA-PI异常组	0.410	0.135	9.273	1.507 (1.157, 1.963)	0.002
败血症	单侧UA-PI异常组	0.070	0.038	3.369	1.073 (0.996, 1.155)	0.066
	双侧UA-PI异常组	0.520	0.162	10.282	1.682 (1.224, 2.311)	0.001

注：均以双侧UA-PI均正常组为参照。

表5 UA-PI对胎儿不良围产结局的预测价值

Table 5. ROC analysis results of UA-PI for predicting adverse perinatal outcomes in fetuses

围产结局	AUC (95%CI)	灵敏度	特异度	约登指数	准确度
早产<37孕周	0.713 (0.470, 0.933)	0.676	0.703	0.379	0.700
早产<34孕周	0.778 (0.580, 0.947)	0.761	0.736	0.497	0.739
计划外剖宫产	0.670 (0.400, 0.938)	0.648	0.690	0.338	0.685
因胎儿窘迫行剖宫产	0.751 (0.526, 0.947)	0.718	0.719	0.437	0.719
出生体重<第10百分位数	0.708 (0.418, 0.977)	0.662	0.711	0.373	0.705
5 min阿氏评分<7	0.672 (0.392, 0.937)	0.662	0.657	0.319	0.658
呼吸窘迫综合征	0.678 (0.393, 0.968)	0.690	0.674	0.364	0.676
败血症	0.696 (0.413, 0.977)	0.704	0.684	0.388	0.687

3 讨论

脐带通常包含两条动脉和一条静脉，静脉将含氧血液从胎盘运送至胎儿，动脉将缺氧的血液和废物从胎儿运送至胎盘^[10]。胎儿-胎盘血流动力学恶化是胎儿FGR的关键因素^[11]。国外学者认为，妊娠晚期UA超声对SGA具有中等的预测准确性，但对非选择性和低风险妊娠的新生儿发病指标预测准确性欠佳^[12]。针对普通孕妇的研究发现，UA-PI一致组和不一致组的出生结局差异无统计学意义^[13]，但本研究结果发现，UA-PI对FGR胎儿不良围产结局具有一定的预测价值。导致这一研究结论差异的原因，推测可能与纳入研究对象的差异有关。

围产期并发症是导致胎儿不良结局的重要因素之一，多项研究已证实脐动脉血流变化和围产期并发症之间存在关联，例如有Meta分析揭示了妊娠合并糖尿病时子宫和脐动脉存在血流动力学改变情况^[14]；妊娠期高血压患者的UA-PI数值升高^[15]；脐动脉超声血流动力学结合血清脂联素水平有助于预测重度子痫前期患者的不良妊娠结局^[16]。本研究结果显示，异常UA-PI数值与胎儿

不良围产期结果间呈“剂量反应”关系，即单侧和（或）双侧UA-PI异常组在围产结局指标上较双侧UA-PI均正常组表现较差，尤以双侧UA-PI异常组更为严重。首先，脐带异常通常与胎儿血管灌注不良有关^[17]。胎儿FGR时脐带血氧化应激标志物与脐动脉搏动相关^[18]，而脐动脉血流异常是胎儿窘迫的诊断指标之一^[19]。PI可反映UA的阻力^[20]，异常的PI和脐动脉舒张末期血流速度缺失或逆转相关^[21]。其次，UA的超声指数是胎盘功能的替代指标^[22]。胎盘缺血性形态学改变与胎盘胎儿侧和母体侧动脉血流阻力增加的多普勒超声征象相关^[23]。糖尿病孕妇的胎儿脑-胎盘比值更多受UA-PI的影响而非大脑中动脉PI^[24]。胎盘血管异常与许多妊娠并发症有关^[25]。既往成本效益证据显示，在常规护理基础上增加晚期妊娠超声检查在降低胎儿FGR方面并无太高的成本效益比^[26]，但本研究结果强调了UA-PI的超声测量在评估高危妊娠中胎儿健康的重要性。通常认为AUC范围为0.7~0.8时预测价值一般，0.8~0.9为良好，0.9以上为优秀^[27]。本研究中，UA-PI对胎儿各项不良围产结局的预测AUC均不到0.8，预测价值一般，这可能是由于单指标预测的缘故。

既往研究发现, UA-PI 对子痫前期围产结局预测具有良好的特异性, 但灵敏度较低^[28]。

FGR 与较低的儿童期认知结局相关^[29], 成年后更易患代谢性疾病和心血管疾病^[30-31]。本研究阐明了双侧 UA-PI 值和不良围产结局之间的关系, 建议临床医生考虑将 2 个 UA 血管的超声测量纳入评估方案, 可提供更准确的胎儿健康评估, 并有助于识别不良结局风险较高的妊娠。但本研究也存在一定局限性, 单中心设计可能限制了结果在更广泛人群中的推广; 此外, 本研究未对具体的作用机制进行探讨, 脐带和胎盘等潜在联系病理资料缺失。未来研究应评估胎儿发育期间暴露于双侧异常 UA-PI 环境下婴儿的长期结局, 并进一步探讨双侧异常的 UA-PI 值和不良围产期结果之间潜在的作用机制。

伦理声明: 本研究经恩施土家族苗族自治州中心医院医学伦理委员会审核批准 (批号: 20240825)

作者贡献: 论文撰写: 高杰; 数据收集、整理和统计分析、论文审定: 涂昊

数据获取: 本研究中使用和 (或) 分析的数据可联系通信作者获取

利益冲突声明: 无

致谢: 向研究期间协助收集产妇病历资料并进行整理的数位硕士研究生表示感谢

参考文献

- 1 Society for Maternal-Fetal Medicine (SMFM), Martins JG, Biggio JR, et al. Society for Maternal-Fetal Medicine Consult Series #52: Diagnosis and management of fetal growth restriction[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2020, 223(4): B2-B17.
- 2 Kingdom J, Ashwal E, Lausman A, et al. Guideline No. 442: fetal growth restriction: screening, diagnosis, and management in singleton pregnancies[J]. *J Obstet Gynaecol Can*, 2023, 45(10): 102154.
- 3 Groten T, Lehmann T, Städtler M, et al. Effect of pentaerythritol tetranitrate (PETN) on the development of fetal growth restriction in pregnancies with impaired uteroplacental perfusion at midgestation—a randomized trial[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2023, 228(1): 84. e1-84. e12.
- 4 Pels A, Derks J, Elvan-Taspinar A, et al. Maternal sildenafil vs placebo in pregnant women with severe early-onset fetal growth restriction: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(6): e205323.
- 5 Smith GC, Moraitis AA, Wastlund D, et al. Universal late pregnancy ultrasound screening to predict adverse outcomes in nulliparous women: a systematic review and cost-effectiveness analysis[J]. *Health Technol Assess*, 2021, 25(15): 1-190.
- 6 黄欢, 黎新艳, 庞彩英, 等. 正常胎儿脐静脉血流率与脐动脉搏动指数比值的研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2022, 31(5): 394-399. [Huang H, Li XY, Pang CY, et al. Study on the ratio of normal fetal umbilical vein blood flow rate to umbilical artery pulsatility index[J]. *Chinese Journal of Ultrasound Imaging*, 2022, 31(5): 394-399.]
- 7 Steller JG, Driver C, Gumina D, et al. Doppler velocimetry discordance between paired umbilical artery vessels and clinical implications in fetal growth restriction[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2022, 227(2): 285. e1-285. e7.
- 8 王泽华, 李淑文. 妇产科学 (第 9 版) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 135. [Wang ZH, Li SW, Duan T. *Obstetrics and Gynecology* (9th edition) [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2018: 135]
- 9 吴艳, 谢穗. 1 531 例孕妇中高危妊娠脐动脉搏动指数测定联合胎心监护对胎儿预后的评估 [J]. *安徽医药*, 2011, 15(2): 206-208. [Wu Y, Xie S. Fetal umbilical pulsatility index and non-stress test for the evaluation of fetal prognosis in high risk pregnancy[J]. *Anhui Pharmaceutical*, 2011, 15(2): 206-208.]
- 10 Ramesh S, Hariprasath S, Anandan G, et al. Single umbilical artery[J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2015, 7(Suppl 1): S83-S84.
- 11 Lin W, Lai Y, Zhuang S, et al. The effects of prenatal PM_{2.5} oxidative potential exposure on feto-placental vascular resistance and fetal weight: a repeated-measures study[J]. *Environ Res*, 2023, 234: 116543.
- 12 Moraitis AA, Bainton T, Sovio U, et al. Fetal umbilical artery doppler as a tool for universal third trimester screening: a systematic review and Meta-analysis of diagnostic test accuracy[J]. *Placenta*, 2021, 108: 47-54.
- 13 Cahill LS, Mercer GV, Jagota D, et al. Doppler ultrasound of the fetal descending aorta: an objective tool to assess placental blood flow resistance in pregnancies with discordant umbilical arteries[J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(4): 899-905.
- 14 Perkovic-Kepeci S, Cirkovic A, Milic N, et al. Doppler indices of the uterine, umbilical and fetal middle cerebral artery in diabetic versus non-diabetic pregnancy: systematic review and Meta-Analysis[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2023, 59(8): 1502.
- 15 Mahajan KS, Dewani D, Duragkar S. Umbilical artery doppler indices in hypertensive disorders of pregnancy: impact on fetal outcomes[J]. *Cureus*, 2023, 15(12): e50876.
- 16 Zhang Z, Liu F, Zhang Q, et al. Umbilical artery ultrasound haemodynamics combined with serum adiponectin levels can aid in predicting adverse pregnancy outcomes in patients with severe pre-eclampsia[J]. *J Obstet Gynaecol*, 2023, 43(2): 2232656.
- 17 Stanek J. Single umbilical artery umbilical cord is associated with high-grade distal fetal vascular malperfusion[J]. *Pediatr Dev Pathol*, 2024, 27(1): 52-58.
- 18 Guvendag Guven ES, Karcaaltincaba D, Kandemir O, et al. Cord blood oxidative stress markers correlate with umbilical artery pulsatility in fetal growth restriction[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2013, 26(6): 576-580.
- 19 Liu Q, Li B. The diagnostic value of ultrasound detection of the fetal middle cerebral artery, umbilical artery blood flow and fetal movement reduction in fetal distress[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(4): 3529-3535.
- 20 Lin Y, Yan R, He A, et al. Double-to-single umbilical artery with a low pulsatility index leading to fetal death: a case report and review of literature[J]. *Cureus*, 2023, 15(12): e51273.
- 21 Martins JG, Kawakita T, Barake C, et al. Rate of deterioration of umbilical artery Doppler indices in fetuses with severe early-onset fetal growth restriction[J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2024, 6(3): 101283.
- 22 Kaur K, Acharya G, Chen H, et al. Impact of fetal trisomy 21 on umbilical artery Doppler indices[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*,

- 2022, 35(25): 8364–8371.
- 23 Thuring A, Maršál K, Laurini R. Placental ischemia and changes in umbilical and uteroplacental arterial and venous hemodynamics[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2012, 25(6): 750–755.
- 24 Gibbons A, Flatley C, Kumar S. The fetal cerebro-placental ratio in diabetic pregnancies is influenced more by the umbilical artery rather than middle cerebral artery pulsatility index[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2017, 211: 56–61.
- 25 Saghian R, Cahill L, Rahman A, et al. Interpretation of wave reflections in the umbilical arterial segment of the feto-placental circulation: computational modeling of the feto-placental arterial tree[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2021, 68(12): 3647–3658.
- 26 Henrichs J, de Jonge A, Westerneng M, et al. Cost-effectiveness of routine third trimester ultrasound screening for fetal growth restriction compared to care as usual in low-risk pregnancies: a pragmatic nationwide stepped-wedge cluster-randomized trial in the netherlands (the IRIS study)[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(6): 3312.
- 27 Schönnagel L, Caffard T, Vu-Han TL, et al. Predicting postoperative outcomes in lumbar spinal fusion: development of a machine learning model[J]. *Spine J*, 2024, 24(2): 239–249.
- 28 Rani S, Huria A, Kaur R. Prediction of perinatal outcome in preeclampsia using middle cerebral artery and umbilical artery pulsatility and resistance indices[J]. *Hypertens Pregnancy*, 2016, 35(2): 210–216.
- 29 Sacchi C, Marino C, Nosarti C, et al. Association of intrauterine growth restriction and small for gestational age status with childhood cognitive outcomes: a systematic review and Meta-analysis[J]. *JAMA Pediatr*, 2020, 174(8): 772–781.
- 30 Manapurath R, Gadapani B, Pereira-da-Silva L. Body composition of infants born with intrauterine growth restriction: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2022, 14(5): 1085.
- 31 Elsheikh M, El Amrousy D, El-Mahdy H, et al. Lipid profile after omega-3 supplementation in neonates with intrauterine growth retardation: a randomized controlled trial[J]. *Pediatr Res*, 2023, 94(4): 1503–1509.
- 收稿日期: 2024 年 11 月 16 日 修回日期: 2025 年 04 月 07 日
本文编辑: 李绪辉 曹 越

引用本文: 高杰, 涂昊. 脐动脉搏动指数在生长受限胎儿中的检测价值[J]. 医学新知, 2026, 36(1): 30–36. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202411119.
Gao J, Tu H. Detection value of umbilical artery pulsatility index in growth-restricted fetuses[J]. *Yixue Xinzhi Zazhi*, 2026, 36(1): 30–36. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202411119.