

Doppler 超声检测胎儿缺氧

吕国荣^{*1,2} 何韶铮² 吴家祥^{1,2}

(1. 泉州医学高等专科学校,福建 泉州 362100; 2. 福建医科大学附属第二医院 超声科,福建 泉州 362000)

【中图分类号】 R445.1 【文献标识码】 A

doi: 10.13470/j.cnki.cjpd.2014.03.007

胎儿缺氧常见,是引起围生期残障和死亡的主要原因^[1,2]。更重要的是,近年来的研究证实了胎儿宫内慢性缺氧是日后成人慢性疾病包括肥胖、高血压、糖尿病、代谢综合征、动脉粥样硬化的主要易感因素之一^[3-9]。因此,产前 Doppler 超声检测胎儿缺氧并加以干预具有重要的意义。本文主要介绍 Doppler 超声检测胎儿缺氧方法及其注意事项,如何分析并诊断,如何定量评价胎儿宫内缺氧及其严重程度。

1 Doppler 超声检测胎儿缺氧方法及参数

胎儿血流动力学紊乱可分为 3 类^[2]:①高阻低动力状态的疾病,如胎儿宫内慢性缺氧;②低阻高动力状态的疾病,如胎儿贫血和动静脉瘘;③混合动力状态的疾病,即早期低阻高动力状态,中期和晚期呈现高阻低动力状态的血流紊乱,如胎儿炎症反应综合征。Doppler 超声可通过检测外周和心脏的血流动力学状况来表征这 3 类胎儿血流动力学紊乱^[1]。外周血流动力学主要的检测参数有:①收缩期峰值流速(S),舒张末期血流最低速度(D),平均血流速度(Vm),S/D 比值。这些参数都有探测角度的依赖性;②阻力指数(RI), $RI = (S-D)/S$,这一参数无明显角度依赖性,故在临床上较常用;③搏动指数(PI), $PI = (S-D)/Vm$,这一参数探测也无角度依赖性,反映了整个心动周期的血流情况,而且反映了所检测下游血流的阻力,故这一参数在产科超声更为常用;④其他重度参数或指标,如大脑中动脉

(MCA)PI/脐动脉(UmA)PI<1.08 或 MCA-RI/UmA-RI<1.0,提示脑保护效应。脐动脉和静脉导管舒张末期血流缺失(ADF)或反向舒张期血流(RDF)和脐静脉血流搏动性改变,这些指标均提示胎儿血流严重紊乱,胎儿处于高危状态^[2,10-15]。

胎儿慢性缺氧引起血流再分布的多普勒血流动力学改变可分为 4 期:①多普勒静止期;②血流再分布早期;③血流再分布晚期;④失代偿期^[2]。通过检测多部位的血管可反映这些血流动力学特点并进行血流紊乱严重程度的分期(表 1)。

表 1 胎儿慢性缺氧引起血流再分布的不同时期血流动力学特点

胎儿血管	多普勒静止期	血流动力学再分布早期	血流动力学再分布进展期	失代偿期
大脑中动脉 M ₂ 段	=↓	↓	↓	↑
大脑中动脉 M ₁ 段	=↓	↓	↓	↑
大脑前动脉	=↓	↓	↓	↑
大脑后动脉	=↓	↓	↓	↑
颈内动脉	=↓	↓	↓	↑
颈总动脉	=↓	↓	↓	↑
主动脉	=↑	↑	↑(ADF)	↑(RDF)
脐动脉	=↑	↑	↑(ADF)	↑(RDF)
肾动脉	=↑	↑	↑	↑
髂外动脉	=↑	↑	↑	↑
股动脉	=↑	↑	↑	↑
肺动脉瓣	=	↑	↑	↑
主动脉瓣	=	↓	↓	↑
二尖瓣	=	=	=	↑
三尖瓣	=	=	=	↑
下腔静脉	=	=	↑=	↑
静脉导管	=	=	↑=	↑(RDF)
脐静脉	=	=	=	↑(搏动性改变)

注: =: 无改变; ↑: 升高; ↓: 降低。ADF: 舒张期血流缺失; RDF: 舒张期血流反向

应该特别提醒注意的是,检测这些部位的血流应该尽可能使声束的探测方向与所探测血管内的血

基金项目:国家自然科学基金(81271587)
* 通讯作者:吕国荣,E-mail:lgr_feus@sina.com

流方向平行或相同或呈相反向(即 0°或 180°),尽可能不使用角度校正。临床上不可能同时对这么多部位的血流都进行检测。一般说来常规检测脐动脉和大脑中动脉,若有不能解释的血流动力学改变,可进一步测量静脉导管和心脏的血流。

国际妇产科协会提出的 MCA 超声检测规范如下:①蝶骨大翼水平获取胎儿颅脑横断面,CDFI 确认 Willis 环;② Willis 环放大;③彩色框要包绕 MCA;④超声束的方向尽可能与 MCA 血流束方向平行或相向;⑤测量 MCA-PSV 最高点;⑥获取连续 5 个形态相近的频谱时进行检测,检测 3 次(图 1)。

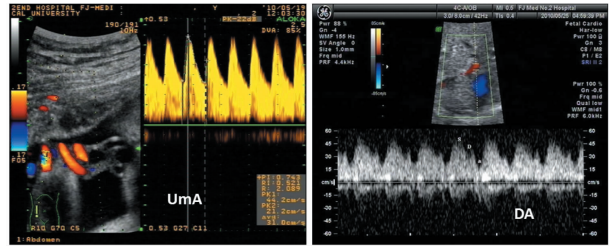


图 2 检测 UmA、静脉导管声像图

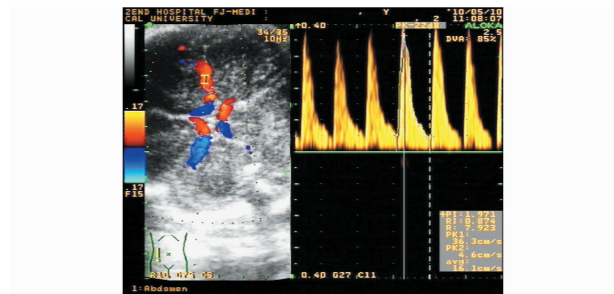


图 1 检测 MCA 声像图

UmA、静脉导管检测的规范:①脐带游离圈检测脐动脉血流;在脐水平胎儿腹部横切面显示 DV;②放大图像进行检测;③尽可能使声束的角度与脐血流或 DV 的方向平行或相向(图 2);④获取 5 个形态相近的血流频谱时方可检测;⑤一般检测 3 次(图 2)。

2 Doppler 超声检测胎儿血流时的注意事项

Doppler 超声检测 MCA 极易引起血流频谱的假阳性改变,这是因为胎儿 MCA 对不同环境或生理条件做出的反应很敏感^[15-21]。检测时应特别注意以下几点^[19,21]:①胎儿出现 MCA-ADF 或 MCA-RDF 与 UmA 或 DV 出现的 ADF 或 RDF 意义有所不同。胎儿 MCA 出现 ADF 或 RDF 多数情况下为胎儿孕周小,或属功能性表现,其发作时间短,随生理状态而发生,一般仅数分钟。常见于三尖瓣生理性反流,胎儿呃逆,心律减慢或失常,胎头受压或母体情绪改变。少数情况下属器质性 MCA-RDF (ADF),常见于缺氧、脑积水,胎儿贫血及心脏病。其发作时间长或持续性。②探头扫查时压力过重可引起 MCA PI 升高甚至出现 MCA-RDF^[16]。因此在晚期妊娠的体瘦孕妇,尤其是合并羊水过少时,扫查动作应当轻柔。③胎动频繁或探头反复在孕妇腹壁滑行可引起 MCA-PI 降低,因此超声检测胎儿血流应先于常规超声检查,在胎儿安静时优先行 MCA 检测^[18](见图 3)。

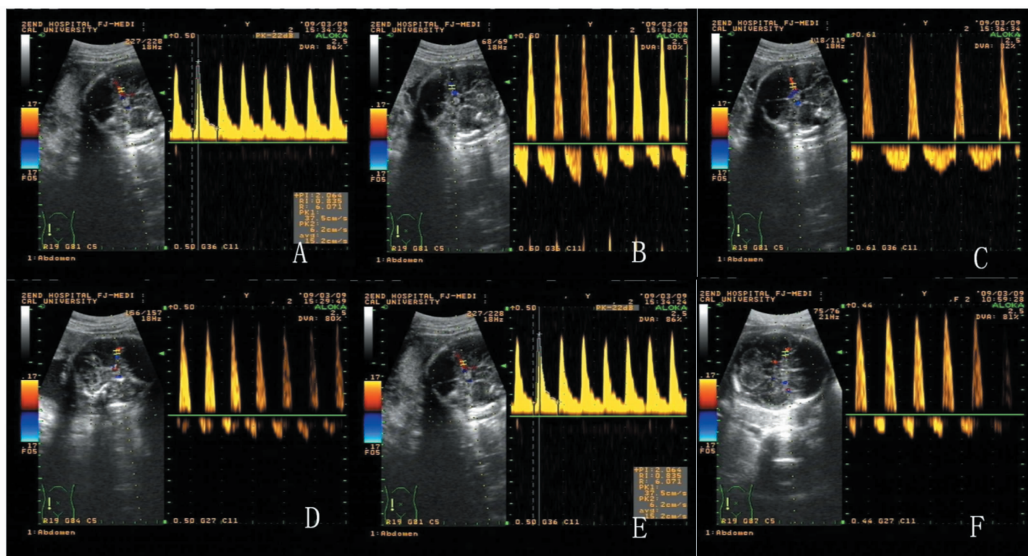


图 3 几种常见 MCA-RDF 血流频谱

注:A、正常胎儿;B、加压;C、心动过缓(A、B、C属同例胎儿);D、胎儿呃逆(呼吸样运动);E、胎儿呃逆停止;F、CHD 胎儿(左室发育不良综合征)

静脉导管的超声多普勒亦容易受外界因素的影响^[17]。①Valsalva 试验会引起 DV PI 或 RI 的升高。因此 Doppler 超声检测孕妇时最好不要使用 Valsalva 动作。②孕妇长时间的仰卧位可因增大子宫压迫下腔静脉引起孕妇回心血量减少,继而胎盘血流减少,导致 DV PI 或 RI 的降低。

脐动脉血流较少受外界因素及胎儿本身生理性改变的影响,因此,UmA 的血流频谱较少出现假阳性改变。

3 胎儿 Doppler 超声血流动力学改变的分析方法

3.1 综合分析方法 新近,有许多作者采用 Doppler 超声联合监测多支血管的血流动力学改变

来评估宫内胎儿的安危^[21-24],尤其是胎儿宫内生长受限(intrauterine growth retardation, IUGR);也有一些作者采用心血管评分体系(cardiovascular profile score, CVPS)用于监护和评估胎儿水肿^[2]。他们认为这种联合监测和评分体系对 IUGR 和胎儿水肿的安危评估具有重要意义。但是这些方法均仅能评估某些(部分)患有疾病的胎儿的安危。基于 Apgar 评分体系、胎儿生物物理评分法(biophysical profile score, BPS)及 CVPS 的构成和临床应用的效果和经验,我们则提出多普勒超声评分体系(Doppler ultrasound profile score, DUPS),见表 2,并将之用于所有晚孕胎儿的宫内安危评估,取得了显著的临床效果^[22]。

表 2 胎儿多普勒超声评分标准

项目	2 分	1 分	0 分
脑循环	MCAPI 无异常	低于相同孕周正常胎儿平均值的两个标准差	MCA-PI/UmA-PI<1
心脏循环	大小(CA/TA) 功能 >0.20, ≤0.35 二尖瓣和三尖瓣活动自如,呈 双相舒张期充盈	0.35~0.50 三尖瓣全收缩期反流	>0.50 或 <0.20 二尖瓣全收缩期反流,单相舒张期充盈
胎盘循环	UmA-PI 无异常	高于相同孕周正常胎儿平均值的两个标准差	舒张期血流缺失或反向血流
肝脏循环	UV 或 DV 无异常	DVPI 高于相同孕周正常胎儿平均值的两个标准差	UV 呈搏动性改变或 DV 出现反向血流频谱

3.1.1 DUPS 的依据和科学性 人的生命体征包括呼吸、脉搏、血压和体温,其实质集中体现了心、脑、肺的功能调节。Apgar 评分作为判定新生儿窒息严重程度的指标已广泛应用于产科临床并作为选择指导治疗和判断预后的依据,其 5 项构成其实也集中反映了心脏循环、中枢神经、肺功能和外周循环情况。胎儿生物物理评分法(BPS)包括胎儿紧张性、运动、呼吸、羊水量、心率,同样也反映了中枢神经、肺功能、心功能和外周血流灌注情况。近年来许多研究表明 UmAPI、MCAPI、MCAPI/UmAPI、DVPI、UV 搏动性、Tei 指数与 IUGR 和围生期结局不良有明显的相关性^[2,19,13,14,22]。由于不同血管对缺氧和应急的反应不同,不同缺氧和应急程度对同一血管的作用方式也不同,因而多数作者主张采用联合多支血管的多普勒超声检测来评估胎儿宫内窒息及围生期结局不良。胎儿水肿是一种具有很高围生期死亡率(>72%)的严重的胎儿疾病,其发病的

病因可以由遗传性、代谢性、炎症性或相关畸形所致。研究表明心血管评分体系(CVPS)对水肿胎儿的监护和评估具有重要的临床意义^[2]。其评分的 5 项标准包括水肿程度、心脏增大程度、心功能改变、脐动脉和脐静脉及静脉导管超声 Doppler 频谱改变。我们提出新的多普勒超声体系是在 CVPS 的基础上,结合 Apgar 评分作相应修改,包括体现了脑循环、心脏循环、胎盘循环(相当于出生后肺循环)和肝循环(相当于出生后外周血管循环)等 5 项指标(表 2)。任何胎儿疾病,不论是先天性还是后天性,也不论是代谢性、炎症性还是特发性,其疾病恶化的最终共同通道都是反映在上述 4 个重要器官的功能上,都有可能通过上述循环表现出血流动力学的异常,这些异常亦可以通过超声多普勒得以检测。因此,新的 DUPS 可以用于晚孕胎儿全面系统的评估。

3.1.2 DUPS 的应用价值及局限性 先前我们的研究结果表明,DUPS 在预测晚孕期胎儿的围生期

结局不良包括提早终止妊娠和发生宫内死胎或新生儿死亡具有重要的临床价值。DUPS \leq 8分时,其晚期孕胎儿具有相对危险性,应当在加强监测的同时适时终止妊娠;当DUPS \leq 6分时,其发生宫内死胎或新生儿死亡会增多,应及时终止妊娠。但DUPS仍应与二维超声及其他胎儿监护方法结合,以进一步提高其预测的准确性^[22]。

3.2 动态分析方法 不同的血管对胎儿缺氧严重程度的反应不同。一般说来,血流动力学改变累及的顺序为大脑中动脉 \rightarrow 脐动脉 \rightarrow 肾动脉 \rightarrow 主肺动脉 \rightarrow 静脉导管 \rightarrow 下腔静脉 \rightarrow 脐静脉。因此分析这些胎儿血管的动力学改变必须采用动态联合分析方法。此外,还应特别提醒的是,胎儿缺氧时其血流发生3次重要转移:①颅脑内血流向大脑皮质转移,表现为MCA M₁段PI/MCA M₂段PI $<$ 1,这是早期代偿的表现;②胎盘内血流向大脑转移,表现MCA-PI/UmA-PI $<$ 1,这是中期代偿的表现;③心输出量从右心向左心转移,右心输出量/左心输出量 $<$ 1,这是晚期代偿的表现。

3.3 定量分析方法 Jugovic 和 Arbeille^[23]提出了新的多普勒超声预测脑损伤的缺氧指数(hypoxia index, HI),结果表明了HI是预测胎儿脑损伤的一个重要指标。 $HI = [1 - (MCA - RI / UmA - RI)] \times 100$,将每天观察的HI进行累加即可获得观察周期内(一般为2周)的HI(图4)。研究表明当HI $>$ 74时,会发生胎儿脑损伤的可能性很大。HI最大的优点即针对性强(脑损伤),并考虑到了缺氧损伤的时间累积效应。但是,公式内MCA-RI是呈双相改变的(胎儿缺氧早期MCA-RI降低,而胎儿严重缺氧时MCA-RI可能正常或升高);同时不论UmA血流缺失的严重程度如何,当UmA舒张末期血流为零或缺失或反向时UmA-RI均取值为1。因此,HI同样也忽视不同程度缺氧水平的影响。研究显示,宫内缺氧不但影响大脑循环,也对胎盘循环、肝脏循环产生作用。因此,HI指数也可用于评价宫内缺氧所致的胎盘循环、肝脏循环变化,从而更全面地提示宫内缺氧程度。目前已有通过胎盘循环的变化来预测胎儿宫内死亡危险的报道。Kontopoulou等^[24]检测脐动脉舒张末期血流缺失的比例(AEDV% =

AEDV/心动周期 $\times 100\%$)来预测选择性胎盘异常吻合血管激光凝固术供血胎儿死亡的可能性。其结果提示,若AEDV% $\geq 30\%$,供血胎儿宫内死亡危险性增加4.3倍,其敏感性和阴性预测值分别为77%和81.3%。因此,我们提出了基于HI指数和AEDV%的计算方法,作为检测大脑循环、胎盘循环、肝脏循环变化指标,建立评估胎儿缺氧严重程度的多普勒量化的评分体系(图4~6)。

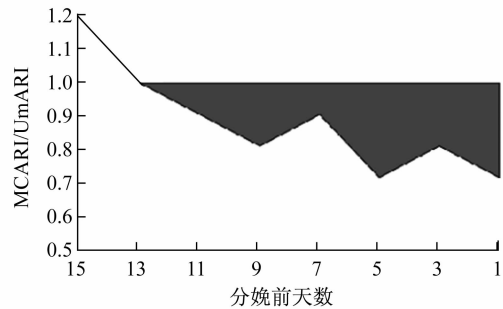


图4 脑损害缺氧指数(HI)的计算方法示意图

HI值是通过将观测期间每日C/U比率(MCARI/UmARI)与1的差值(以百分比表示)求和计算而成。以上图为例,在产前第12天,C/U比率为0.95,与1的差值表示为5%;在第11天,差值为10%,以此类推,产前15天的HI值就是5+10+15+20+15+10+20+30+25+20+25+30=225

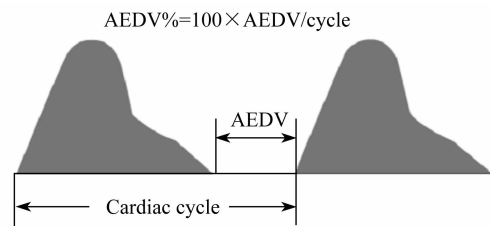


图5 脐动脉舒张末期血流缺失示意图及计算公式
注:AEDV:舒张末期血流缺失;cardiac cycle:心动周期

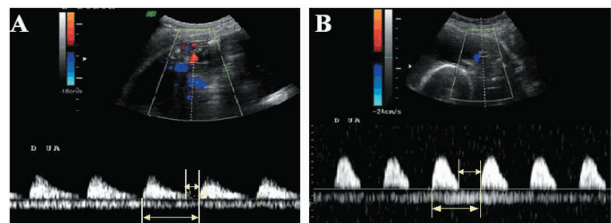


图6 脐动脉舒张末期血流缺失频谱图

A、脐动脉血流缺失(AEDV% $<$ 30%);B、脐动脉血流明显缺失(AEDV% $>$ 30%)

脑循环改变(相当于新生儿体温和肌张力):MCA-RI/UmA-RI降低但 ≥ 1 ,为脑保护效应前期,

未得分,之后每降低 1%得 1 分。

胎盘循环改变(相当于新生儿呼吸):UmA-RI 或 PI 升高,但未出现舒张末期血流缺失,未得分,之后 AEDV%每升高 1%得 1 分。

肝脏循环改变(相当于新生儿的心功能):静脉导管(DV)PI 升高或 a 波为零未得分,出现反向 a 波占整个心动周期的比例每增加 1%得 1 分。

我们可以每天监测分娩前 2 周以来胎儿脑循环、胎盘循环、肝脏循环多普勒量化分值情况,绘制脑循环、胎盘循环、肝脏循环多普勒量化分值变化曲线(类似护理病历的体温单所记录的体温、脉搏、呼吸曲线),这样可以非常直观地了解胎儿的缺氧程度(图 7)。

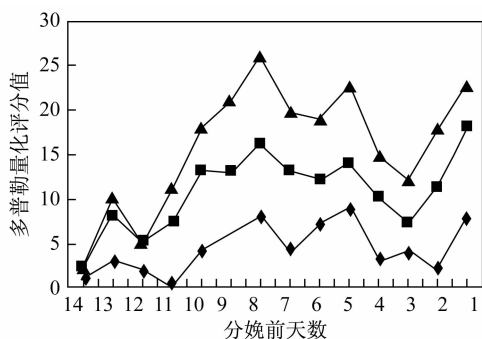


图 7 胎儿脑循环、胎盘循环、肝脏循环多普勒量化分值变化曲线
▲: 肝脏循环多普勒分值; ■: 胎盘循环多普勒分值; ◆: 脑循环多普勒分值

4 多普勒频谱分析时应注意的几个原则

产科 Doppler 超声检测对于评估宫内胎儿的安危,尤其是评估胎儿缺氧、贫血、水肿、感染(胎儿炎症反应综合征)、胎儿先天性心脏病、心力衰竭等严重情况具有重要的临床价值。但是在进行产科

Doppler 超声检查和评估胎儿宫内安危时应注意一些重要原则。

4.1 注意局部与整体关系的原则 检测不同部位血管的血流动力学频谱,只是反映该部位或器官的血流循环状况。Doppler 超声检测子宫动脉血流动力学的变化只是反映母体侧妊娠子宫的胎盘循环功能的状况;检测脐动脉血流动力学的变化只是反映胎儿侧胎盘循环功能的状态;检测大脑中动脉血流动力学的变化只是反映局部脑血流循环的状况;检测中心静脉系统的血流动力学的变化如 IVC、DV、HV 只是反映心脏功能及中心静脉顺应性改变的状况。因此在评估宫内胎儿安危时,必须将多条动脉的血流频谱综合起来进行分析,必须将动脉和静脉血流频谱联合起来进行分析,以综合判断宫内胎儿情况。一般说来,动脉多普勒频谱的改变要早于静脉多普勒频谱改变;越多的动脉或静脉多普勒频谱异常,胎儿的预后和新生儿结局越差。出现静脉多普勒频谱异常的胎儿其预后和新生儿结局较仅出现动脉频谱异常的胎儿明显更差。笔者曾采用 UmA-PI(>2SD)、MCAPI(<2SD)、UmAPI/MCAPI(>2SD)以及 UmAPI 联合 MCAPI 来预测新生儿缺血性缺氧性脑病(HIE),结果显示,联合两条动脉来预测 HIE 其敏感性、特异性、总符合率及 Youden 指数更佳(表 3)^[10]。若联合 UmAPI、MCAPI、Tei 指数来预测新生儿窒息,其联合诊断的效果也明显更佳(表 4)^[14]。Baschat 等^[2]研究显示胎儿动脉和静脉血流频谱改变数目越多,其新生儿裸核红细胞越多,围生期结局(包括围生期死亡率、呼吸窘迫、支气管肺发育不良、脑室出血、坏死性小肠结肠炎、循环衰竭、酸中毒)越差。

表 3 UmAPI、MCAPI、UmAPI/MCAPI 及 UmAPI 联合 MCAPI 的诊断 HIE 分析结果

	敏感性(%)	特异性(%)	误诊率(%)	漏诊率(%)	总符合率(%)	Youden 指数
UmAPI	35.0	100.0	0.0	65.0	83.1	0.350
MCAPI	30.0	100.0	0.0	70.0	81.8	0.30
UmAPI/MCAPI	45.0	91.2	8.8	55.0	79.2	0.362
UmAPI 联合 MCAPI	50.0	100.0	0.0	50.0	87.0	0.500

4.2 注意功能与结构改变关系的原则 一般说来,某动脉血流动力学频谱异常改变越严重,其结构损害可能会更严重。但是结构的损害还受多种因素的

影响,尤其是时间因素。例如脑/脐比值(即 MCAPI/UmAPI)<1.08 提示胎儿脑保护效应,脑循环功能受损,并不意味着存在脑水肿或脑结构损害,但

表4 脐动脉 PI、大脑中动脉 PI、Tei 指数及其联合应用诊断新生儿窒息

指 标	敏感性(%)	特异性(%)	误诊率(%)	漏诊率(%)	总符合率(%)	Youden(指数)
UmA PI	51.3	93.4	6.6	48.7	77.6	0.447
MCA PI	59.1	91.8	8.2	10.6	79.6	0.512
左室 Tei 指数	67.6	83.6	16.1	32.4	77.6	0.512
右室 Tei 指数	75.7	86.9	13.1	24.3	82.7	0.626
UmA PI 联合 MCA PI	78.3	86.9	13.1	21.7	83.7	0.652
UmA、MCA PI 联合 Tei 指数	83.8	90.2	9.8	16.2	87.8	0.740

随着时间的延长,脑水肿或脑结构损害的可能性就越大。因此,多普勒检测或频谱分析应有动态的观念。简而言之,在中晚孕高危胎儿,若胎儿多支动、静脉血流动力学频谱无异常时,建议每2~3周进行一次 Doppler 超声检测;若胎儿动脉血流频谱有异常,建议每2~3天进行一次 Doppler 超声检测;若 MCAPI/UmAPI<1.08 或 DVPI 异常,建议每天进行1~2次的 Doppler 超声检测。

4.3 注意具体问题具体分析的原则 宫内胎儿缺氧出现 DV a 波的缺失或反向,提示宫内胎儿处于危险状态。但是,若先天性心脏病右心室梗阻性病变或房室瓣畸形胎儿出现 DV a 波缺失或反向,并不完全提示宫内胎儿处于明显的危险状态,它可能是房室瓣功能不全的一种继发性频谱改变。宫内 CHD 胎儿出现 MCAPI/UmAPI<1.08,可能提示胎儿处于相对危险状态,但若是宫内缺氧胎儿尤其是伴有胎盘功能不全,出现 MCAPI/UmAPI<1.08,提示脑保护效应,胎儿可能并未处于危险状况,因为胎盘功能不全时 UmAPI 可能明显增高, MCAPI/UmAPI<1.08 可能是 UmAPI 明显增高所致的。因此,不同疾病频谱分析的侧重点不一样。产前 Doppler 超声检测和分析必须注意具体问题具体分析。例如宫内胎儿贫血采用 MCA-PSV 来判断贫血的严重程度;水肿胎儿或心力衰竭胎儿采用多普勒超声心血管评分体系(CVPS)来判定胎儿宫内安危;双胎输血综合征采用 Quintero 分期方法来判定宫内胎儿安危的严重程度。

4.4 注意结合临床或其他检查结果综合判断的原则 采用超声评估宫内胎儿安危主要有两种方法即多支血管 Doppler 超声评估和生物物理学评分方法(biophysical profile scoring, BPS)。为了探索这两种方法评估 IUGR 的有效性和相互关系, Baschat

等^[2]对 328 例 IUGR 胎儿进行危险程度分级并评估两者之间的互相关系,结果表明,多支血管 Doppler 超声及 BPS 均可用于 IUGR 危险风险的分类,但是 Doppler 超声和 BPS 的结果并不显示出一致性关系,心血管多普勒超声的异常要先于 BPS,两种方法评估胎儿恶化程度似乎是互相独立的,因此,联合两种方法效果要优于单一种方法。

Baschat 等^[2]对 121 例 IUGR 胎儿的围生期结局进行研究,结果显示胎儿出现脑保护效应与新生儿窒息的发生有关;静脉血流频谱异常与新生儿酸中毒相关;围生期结局不良包括死亡率和发病率均与静脉频谱相关。此外产科 Doppler 超声检查还必须结合孕龄情况进行综合判断。

在预测胎儿生长受限(FGR)围生期死亡方面,脐动脉(UA)血流频谱具有较高的敏感性和阴性预测值,而 DV 特异性和阳性预测值较高,两者各有优势,应对 UA 血流异常的 FGR 胎儿进行 DV 血流多普勒监测,以判断胎儿是否能从继续妊娠中受益。对 UA 出现 ARED 血流的病例临床处理上,应结合母儿情况及妊娠周综合分析判断,对妊娠周尚小者,可积极进行宫内治疗,促胎肺成熟,并定期复查胎儿动静脉血流变化,结合胎心率监护、羊水指数、胎儿生物物理评分及胎儿发育曲线等多项指标进行综合监护,可望延长胎龄及改善胎儿预后。在积极治疗与监护下,可能会出现血流 ARED 减轻甚至消失。但多数病例,由于胎儿—胎盘循环不良,经母体治疗往往效果不很理想,如在 UA 出现 ARED 血流的基础上同时出现 DV 血流 a 波缺失或反向,多项指标提示胎儿窘迫而经治疗不见缓解,且胎儿已初步具备体外生存能力者,应尽早行剖宫产,使胎儿摆脱不良的宫内环境,进行新生儿体外治疗。

参 考 文 献

- [1] 吕国荣,姜立新. 胎儿超声心动图学[M]. 北京:北京大学医学出版社,2003:40-101.
- [2] 吕国荣. 胎儿颅脑和心脏畸形超声诊断[M]. 北京:北京大学医学出版社,2010:378-454.
- [3] Wang Z, Huang Z, Lu G, et al. Hypoxia during pregnancy in rats leads to early morphological changes of atherosclerosis in adult offspring[J]. American Journal of Physiology, 2009, 296(5):H1321-1328.
- [4] 王振华,黄子扬,吕国荣,等. 宫内慢性缺氧对子代大鼠血压的影响[J]. 中国动脉硬化杂志, 2010, 18(8):617-620.
- [5] 王振华,黄子扬,吕国荣. 宫内慢性缺氧对子代大鼠血管内皮功能的影响[J]. 中国动脉硬化杂志,2010, 18(9):696-700.
- [6] 王振华,黄子扬,吕国荣. 宫内慢性缺氧对子代大鼠中老年期血管内皮功能及一氧化氮合酶表达的影响[J]. 中华高血压杂志,2011,19(7):678-682.
- [7] 林惠通,吕国荣,王振华,等. 慢性宫内缺氧对子代兔成年期血管内皮舒张功能及内膜病理改变的影响[J]. 中国动脉硬化杂志,2009, 17(2):93-96.
- [8] 林惠通,吕国荣,王振华,等. 慢性宫内缺氧增强子代兔成年期腹主动脉C反应蛋白和单核细胞趋化因子1的表达[J]. 中华高血压杂志,2009, 17(4):328-333.
- [9] 苏瑞娟,吕国荣,王振华,等. 宫内缺氧对子代大鼠脂肪肝病的影响[J]. 世界华人消化杂志, 2006, 14(1):1048-1051.
- [10] 吕国荣,王振华,苏瑞娟,等. 多普勒超声检测脐动脉和大脑中动脉血流频谱预测新生儿缺血缺氧性脑病[J]. 中国医学影像技术,2005, 21(10):1552-1555.
- [11] 何韶铮,吕国荣,王振华等. 胎羊间断性脐带闭塞的血气及血流动力学变化分析[J]. 中华超声影像学杂志,2006, 15(11):860-863.
- [12] 何韶铮,吕国荣,王振华,等. 间断脐带闭塞对胎儿DVPI、Tei指数、NSE、S100B的影响及相关性分析[J]. 中华围产医学杂志,2007, 10(5):331-335.
- [13] Guorong L, Shaozheng H, Zhenghua W, et al. Tei index for prenatal diagnosis of acute fetal hypoxia due to intermittent Umbilical cord occlusion in an animal model[J]. Prenat Diagn, 2007, 27(9):817-823.
- [14] 吕国荣,金鹏,李少辉,等. 脐动脉和大脑中动脉搏动指数联合 Tei 指数预测新生儿窒息[J]. 中华超声影像学杂志, 2007, 16(10):914-915.
- [15] 李丽雅,金鹏,吕国荣,等. 定量组织速度成像与组织多普勒及脉冲多普勒检测胎儿左心室 Tei 指数的对比研究[J]. 中华超声影像学杂志,2008, 17(3):267-268.
- [16] Su YM, Lv GR, Chen XK, et al. Ultrasound probe pressure but not maternal Valsalva maneuver alters Doppler parameters during fetal middle cerebral artery Doppler Ultrasonography[J]. Prenat Diagn, 2010, 30(12-13):1192-1197.
- [17] 陈晓康,吕国荣,林惠通. 应用多普勒超声观察母体 Valsalva 干预对胎儿的影响[J]. 中国超声医学杂志,2010, 26(7):651-653.
- [18] 吕国荣,赵艳春,刘金蓉,等. 产前超声检查顺序对胎儿大脑中动脉及脐动脉血流动力学的影响[J]. 中国超声医学杂志, 2011, 7(27):653-655.
- [19] 吕国荣,李少辉,林惠通,等. 中晚期妊娠胎儿大脑中动脉舒张期反向血流的临床意义[J]. 中华超声影像学杂志,2010, 19(2):177-178.
- [20] Guorong L, Shaohui LR, Peng J, et al. Cerebrovascular blood flow dynamic changes in fetuses with congenital heart disease[J]. Fetal Diagn Ther, 2009, 25(1):167-172.
- [21] Chen Y, Lv G, Li B, et al. Cerebral Vascular resistance and left ventricular myocardial performance in fetuses with Ebsteins anomaly[J]. Am J perinat, 2009, 26(4):253-258.
- [22] 吕国荣,金鹏,吴怀阳. 多普勒超声评分体系在晚孕胎儿监护中的应用及意义. 中国医学影像技术,2007, 23(9):1369-1372.
- [23] Jugovic D, Tumbri J, Medic M, et al. New Doppler index for prediction of perinatal brain damage in growth-restricted and hypoxic fetuses[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 30(3):303-311.
- [24] Kontopoulos EV, Quintero RA, Chmait RH, et al. Percent absent and diastolic velocity in the umbilical artery waveform as a predictor of intrauterine fetal demise of the donor twin after selective laser photocoagulation of communicating vessels in twin-twin transfusion syndrome[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 30(1):35-39.

(收稿日期:2014-08-15)

编辑:宋文颖