doi:10.11659/jjssx.06E021100

·临床研究·

胎儿超声三血管气管切面联合肺静脉血流频谱诊断胎儿心脏大血管畸形的临床研究

于婷芹,叶春秀,刘玮玮,蒋 霞 (德州市妇幼保健院超声科,山东 德州 253100)

[摘 要] **目的** 探讨胎儿超声三血管气管切面(3VT)联合肺静脉血流(PVF)频谱对胎儿心脏大血管畸形的诊断价值。**方法** 回顾性分析1 248名孕妇的临床资料,根据心脏大血管畸形的诊断标准,将孕妇分为正常组(1 208例)和异常组(40例)。比较2组孕妇的一般资料;统计超声3VT对胎儿心脏大血管畸形的检出情况;比较2组胎儿的PVF相关参数;比较超声3VT、PVF频谱单独使用及二者联合使用对胎儿心脏大血管畸形诊断的符合率及诊断价值。**结果** 2组孕妇年龄、家族史、既往妊娠史、妊娠期合并症、孕期使用抗生素比较,差异均具有统计学意义($P<0.05$);病理检查诊断出40例心脏大血管畸形胎儿;超声3VT共检查出30例,血管管径大小异常、位置异常、数量异常的检出率分别为73.68%、80.00%和72.73%;PVF频谱共检测出28例异常胎儿,其中8例心房收缩期速度(A)波缺失(20.00%),8例A波反向(20.00%),12例PVF频谱呈连续波形改变(30.00%)。异常组胎儿的A波明显低于正常组,收缩期峰值流速(S)/A、(S-A)/舒张期峰值流速(D)、(S-A)/S明显高于正常组,差异均具有统计学意义($P<0.05$);超声3VT联合PVF频谱诊断的符合率、特异度、阳性预测值明显高于3VT、PVF频谱单独诊断($P<0.05$)。**结论** 胎儿超声3VT联合PVF频谱能够明显提高胎儿心脏大血管畸形诊断的符合率和准确性,较3VT、PVF频谱单独诊断更具优势。

[关键词] 胎儿;三血管气管切面;肺静脉血流;心脏大血管畸形;诊断;超声

[中图分类号] R714 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-06-21

Clinical study of fetal ultrasound three vessels trachea view combined with pulmonary venous flow spectrum in the diagnosis of fetal cardio-macrovascular malformation

YU Ting-qin, YE Chun-xiu, LIU Wei-wei, JIANG Xia (Department of Ultrasonography, Dezhou Maternal and Child Health Hospital, Dezhou Shandong 253100, China)

Abstract: Objective To explore the diagnostic value of fetal ultrasound three vessels trachea view (3VT) combined with pulmonary venous flow (PVF) spectrum on fetal cardio-macrovascular malformation. **Methods** The clinical data of 1 248 pregnant women were retrospectively analyzed, they were divided into the normal group (1 208 cases) and the abnormal group (40 cases) according to the diagnostic criteria of cardio-macrovascular malformation. The general data of pregnant women in the two groups were compared; the examination results of fetal cardio-macrovascular malformation by ultrasound 3VT was counted; the PVF related parameters of fetuses in the two groups were compared; the coincidence rate and diagnostic value of single use of ultrasound 3VT, PVF spectrum and combined use of them in the diagnosis of fetal cardio-macrovascular malformation were compared. **Results** There were statistically significant differences in age, family history, previous pregnancy history, pregnancy complications, and the use of antibiotic during pregnancy of pregnant women between the two groups ($P<0.05$).

[基金项目] 德州市妇幼保健院临床科学研究培育计划(DFYKY-201903)

[通信作者] 叶春秀,E-mail:1499834473@qq.com

[14] 孙仁虎,吴大鹏,张其德,等.食管黏膜病变经内镜黏膜下剥离术术后食管狭窄发生风险的观察[J].现代消化及介入诊疗,2019,24(9):999-1003.doi:10.3969/j.issn.1672-2159.2019.09.014.

[15] Li Z, Leng S, Halaweish AF, et al. Overcoming calcium blooming and improving the quantification accuracy of percent area luminal stenosis by material decomposition of multi-energy computed tomography datasets[J]. J Med Imaging (Bellingham), 2020, 7(5): e053501. doi:10.1117/1.JMI.7.5.053501.

[16] 陈 磊,朱 振,王 璐,等.内镜黏膜下隧道法剥离术治疗早期食管癌伴黏膜下层纤维化的临床观察[J].中华消化内镜杂志,2020,37(6):429-434.doi:10.3760/cma.j.cn321463-20191210-00253.

[17] Honda M, Hori Y, Nakada A, et al. Use of adipose tissue-derived stromal cells for prevention of esophageal stricture after circumferential EMR in a canine model[J]. Gastrointest Endosc, 2011, 73(4): 777-784.doi:10.1016/j.gie.2010.11.008.

[18] Takahashi K, Sato Y, Takeuchi M, et al. Changes in esophageal motility after endoscopic submucosal dissection for superficial esophageal cancer: a high-resolution manometry study[J]. Dis Esophagus, 2017, 30(11): 1-8.doi:10.1093/dote/dox057.

[19] 邱 钰,冯亚东,杨超虎,等.糖皮质激素预防食管内镜黏膜下剥离术后狭窄的临床观察[J].中华消化内镜杂志,2021,38(2):143-148.doi:10.3760/cma.j.cn321463-20200229-00144.

(编辑:贺绍梅)

Pathological examination found 40 fetuses with cardio-macrovascular malformation; and ultrasound 3VT found 30 cases, whose examination rates of abnormal vessel diameter, position, and number were 73.68%, 80.00%, and 72.73%, respectively; PVF spectrum found 28 abnormal fetuses, including 8 cases (20.00%) with disappeared atrial systolic velocity (A) wave, 8 cases (20.00%) with reversed A wave, and 12 cases (30.00%) with continuous waveform changes of PVF spectrum. A wave of fetuses in the abnormal group was significantly lower than that in the normal group, and the ratio of peak systolic flow rate (S)/A, the ratio of (S-A)/diastolic peak flow rate (D), the ratio of (S-A)/S were significantly higher than those in the normal group, with statistically significant differences ($P<0.05$). The coincidence rate, specificity, and positive prediction value of combined diagnosis of ultrasound 3VT and PVF spectrum were significantly higher than those of single diagnosis of 3VT and PVF spectrum ($P<0.05$). **Conclusion** Fetal ultrasound 3VT combined with PVF spectrum in the diagnosis of fetal cardio-macrovascular malformation can significantly improve the coincidence and accuracy, which has more advantages than single diagnosis of 3VT and PVF spectrum.

Keywords: fetus; three vessels trachea view; pulmonary venous flow; cardio-macrovascular malformation; diagnosis; ultrasound

胎儿先天性心脏病是一种常见的胎儿畸形,发病率为0.4%~1.3%,是导致新生儿死亡的主要原因[1]。而心脏大血管畸形是胎儿先天性心脏病中较为复杂的类型之一,临床上主要表现为血管管径大小异常、位置异常和数量异常[2]。产前检查是筛查先天心脏畸形的重要途径,对降低畸形胎儿的出生率、提高分娩质量具有重要意义[3]。但由于心脏的解剖结构复杂,大血管较多,导致产前对胎儿心脏大血管畸形的筛查较为困难[4]。超声三血管气管切面(three vessels trachea view,3VT)能够清晰地显示胎儿心脏大血管的位置和结构形态,具有操作简单、价格低廉、准确率高、可重复检查的优势,已广泛应用于胎儿心脏大血管畸形的筛查[5]。但单纯使用超声3VT进行筛查可能导致误诊和漏诊,亟需寻找一种准确度及灵敏度较高的诊断方法与超声3VT进行联合诊断,以提高胎儿心脏大血管畸形诊断的准确率,降低误诊率和漏诊率[6]。随着胎儿心脏超声技术的发展,超声检查大大提高了肺静脉的显示率,能够获得满意的肺静脉血流(pulmonary venous flow,PVF)频谱[7]。胎儿的PVF能够反映某些先天性心脏病[8]。有报道显示,PVF频谱的改变对胎儿心脏异常具有较高的诊断价值[9],但PVF频谱对胎儿心脏大血管畸形的诊断价值鲜见报道。因此,本研究拟探讨超声3VT联合PVF频谱对胎儿心脏大血管畸形的诊断价值,以期为临床该病的筛查提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析2018年6月至2020年6月于我院检查的1 248名孕妇的临床资料。根据《心血管畸形胚胎学基础与超声诊断》[10]中关于心脏大血管畸形的诊断标准将孕妇分为正常组(1 208例)和异常组(40例),正常组孕妇年龄21~40岁,平均(26.24±6.75)岁,孕周18~35周,平均(26.42±3.64)周;异常组孕妇年龄22~40岁,平均(29.28±6.82)岁,孕周18~36周,平均(26.55±4.12)周。本研究经我院医学伦理委员会审批(20180427-L)。异常组孕妇纳入标准:①经尸检或产后超声检查确诊胎儿为心脏大血管畸形;②单胎妊娠;③理解并配合检查。排除标准:①有检查禁忌证;②伴有精神疾病;③存在语言沟通障碍;④胎儿合并其他异常;⑤存在凝血功能障碍;⑥有传染病史;⑦临床资料不完整。

1.2 方法

1.2.1 一般资料收集 收集所有孕妇入院检查时的资料,包括年龄、家族史、既往妊娠史、产次、妊娠期合并症及妊娠期是否使用抗生素等。

1.2.2 检查方法 超声3VT检查:采用GE彩超Voluson E8(南京贝登医疗股份有限公司)及iU-22彩色多普勒超声诊断仪(荷兰Philips公司)依次对胎儿、胎盘及羊水进行超声检查,容积探头、超声检查探头的频率分别设置为3.5~5.0 MHz和2.5~6.0 MHz。检查的标准切面包括四腔心切面、胎儿上腹部横断切面、肺动脉分支切面、心底在短轴方向切面、左右心室流道切面、上下腔静脉切面、主动脉弓长轴向切面、动脉导管弓在长轴方向的切面、3VT。3VT以四腔心为基础,朝胎儿头侧平行移动进行探查,主要观察上纵隔的横切面,记录胎儿心脏大血管的内径、位置及数量。所有超声3VT检查均由同一位经验丰富的高年资医师完成。

PVF频谱检查方法:应用GE彩超Voluson E8,凸阵探头,探头频率为1.0~5.0 MHz,进行常规胎儿检测后,转换为心脏模式,严格规范化切面。PVF频谱检测取横切心脏四腔心切面,胎儿呼吸平稳时于肺静脉左房入口处测量取样容积,取样角度<30°。肺静脉检测参数包括心室收缩期峰值流速(peak systolic velocity,S)、心室舒张期峰值流速(peak diastolic velocity,D)和心房收缩期速度(atrial systolic velocity,A),均为正向波,计算峰值流速指数[(S-A)/D]、前负荷指数

[(S－A)/S]、S/A。[(S－A)/D]正常范围为0.55～0.80,平均0.67;S/A正常范围为2.00～3.00,平均2.61。心脏大血管畸形胎儿的PVF频谱特点:A波流速明显降低、消失甚至反向;S波与D波之间的平台消失,出现1个切记,或尖锐或圆钝;(S－A)/D、(S－A)/S、S/A值明显增加。所有PVF频谱检查均由同一位经验丰富的高年资医师完成。

1.3 尸检及随访确诊

胎儿经产前超声检查并最终确诊为心脏大血管畸形后,根据医学伦理学相关原则,医务人员向胎儿父母告知具体病情,尊重其意愿,选择是否继续妊娠。若终止妊娠,在引产后对胎儿进行尸体解剖,确定是否存在心脏大血管畸形;若选择继续妊娠,则嘱咐孕妇分娩前均需定期复查超声,复查间隔时间为4～6周,分娩后通过彩色多普勒超声对新生儿进行复查。

1.4 误诊率、漏诊率和诊断符合率

以病理检查结果作为金标准,分析并比较超声3VT、PVF频谱及超声3VT联合PVF频谱诊断的误诊率、漏诊率和诊断符合率。误诊率=误诊例数/总例数×100%,漏诊率=漏诊例数/总例数×100%,符合率=(真阳性例数+假阴性例数)/总例数×100%。

1.5 统计学方法

数据分析采用SPSS 19.0统计软件。采用四格表资料计算诊断性试验评价指标,灵敏度=真阳性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%,特异度=真阴性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%,阳性预测值=真阳性例数/(真阳性例数+假阳性例数)×100%,阴性预测值=真阴性例数/(真阴性例数+假阴性例数)×100%。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立t检验;计数资料组间比较采用χ^2检验。$P<0.05$表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 孕妇一般资料比较

2组孕妇年龄、家族史、既往妊娠史、妊娠期合并症、孕期使用抗生素比较,差异均具有统计学意义($P<0.05$);2组孕妇的产次比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 孕妇一般资料比较[例(%)]

指标		正常组(n=1 208)	异常组(n=40)	χ^2	P
年龄	>36岁	558(46.19)	33(82.50)	20.473	<0.001
	≤36岁	650(53.81)	7(17.50)		
家族史	有	9(0.75)	2(5.00)	8.024	0.005
	无	1 199(99.25)	38(95.00)		
既往妊娠史	有	477(39.49)	31(77.50)	23.180	<0.001
	无	731(60.51)	9(22.50)		
产次	≥2次	243(20.12)	13(32.50)	3.642	0.056
	<2次	965(79.88)	27(67.50)		
妊娠期合并症	有	335(27.73)	24(60.00)	19.674	<0.001
	无	873(72.27)	16(40.00)		
孕期使用抗生素	有	21(1.74)	7(17.50)	43.855	<0.001
	无	1 187(98.26)	33(82.50)		

2.2 超声3VT检出情况

产后病理检查共诊断出心脏大血管畸形40例,其中血管管径大小异常19例,血管位置异常10例,血管数量异常11例;产前超声3VT共检查出30例心脏大血管畸形胎儿,其中血管管径大小异常14例(检出率为73.68%),血管位置异常8例(检出率为80.00%),血管数量异常8例(检出率为72.73%),见表2。

表2 超声3VT检出情况(例)

病理检查结果	分类	异常情况	n	超声3VT检出
血管管径大小异常	主动脉大小异常	主动脉狭窄	6	4
		主动脉弓缩窄	3	2
	肺动脉大小异常	肺动脉狭窄	9	7
		肺动脉瓣狭窄	1	1
血管位置异常	位置顺序异常	大动脉转位	7	5
		镜面右心位	2	2
	与气管位置异常	右位主动脉弓	1	1
血管数量异常	血管数量增加	永存左上腔静脉	8	6
		肺静脉异位引流	2	1
	血管数量减少	永存动脉干数量	1	1

2.3 胎儿PVF相关参数比较

PVF频谱共检测出28例心脏大血管畸形胎儿。8例A波缺失,其中主动脉弓缩窄2例,主动脉狭窄2例,肺动脉狭窄3例,右位主动脉弓1例;8例A波反向,其中肺动脉狭窄2例,主动脉弓缩窄2例,大动脉转位4例;12例PVF频谱呈连续波形改变(肺静脉异位引流)。异常组胎儿的A波明显低于正常组,S/A、(S－A)/D、(S－A)/S值均高于正常组,差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表3。

表3 胎儿PVF相关参数比较

参数	正常组(n=1 208)	异常组(n=40)	t	P
S波/(m·s^{-1})	31.68±6.25	29.78±5.71	1.897	0.058
D波/(m·s^{-1})	28.95±6.49	27.18±5.47	1.705	0.088
A波/(m·s^{-1})	9.87±2.56	7.83±2.42	4.967	<0.001
S/D	1.09±0.18	1.10±0.16	0.347	0.729
S/A	2.72±1.62	3.80±1.84	2.256	0.024
(S－A)/D	0.75±0.15	0.85±0.12	2.503	0.012
(S－A)/S	0.69±0.10	0.74±0.11	3.101	0.002

2.4 超声3VT、PVF频谱单独诊断及二者联合诊断的符合率比较

3种诊断方法的误诊率比较,差异无统计学意义($\chi^2=3.337$,$P=0.342$)。超声3VT联合PVF频谱的漏诊率明显低于3VT、PVF频谱单独诊断($\chi^2=3.796$、5.433,$P=0.049$、0.020),诊断的符合率明显高于超

声 3VT、PVF 频谱单独诊断,差异具有统计学意义(χ^2 =4.026、6.417,P =0.045、0.011);超声 3VT 联合 PVF 频谱的误诊率、漏诊率、诊断符合率与病理检查结果比较,差异无统计学意义(χ^2 =1.000、3.004、3.986,P =0.317、0.083、0.052),见表 4。

表 4 超声 3VT、PVF 频谱单独诊断及二者联合诊断的符合情况比较[例(%)]

检查方法	误诊	漏诊	符合
超声 3VT	2(0.16)	10(0.80) *#	1 236(99.04) *#
PVF 频谱	3(0.24)	12(0.96) *#	1 233(98.80) *#
3VT 联合 PVF 频谱	1(0.08)	3(0.24)	1 244(99.68)
病理检查	0(0)	0(0)	1 248(100)
χ^2	3.337	15.558	18.749
P	0.342	<0.001	<0.001

*:与超声 3VT 联合 PVF 频谱相比,P <0.05;#:与病理检查相比,P <0.05

2.5 超声 3VT、PVF 频谱单独诊断及二者联合诊断的价值

超声 3VT、PVF 频谱、超声 3VT 联合 PVF 频谱诊断的真阳性例数分别为 30 例、28 例、37 例,假阳性例数分别为 2 例、3 例、1 例,真阴性例数分别为1 206 例、1 205 例、1 207 例,假阴性例数分别为 10 例、12 例、3 例。超声 3VT 联合 PVF 频谱诊断胎儿心脏大血管畸形的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 97.37%、99.75%、92.50% 和 99.92%,3 种诊断方法的灵敏度、阴性预测值比较,差异无统计学意义(P >0.05);超声 3VT 联合 PVF 频谱诊断的特异度、阳性预测值均明显高于超声 3VT 和 PVF 频谱单独诊断,差异具有统计学意义(χ^2 =5.285、5.382、4.501、6.646,P =0.046、0.020、0.034、0.010),见表 5。

表 5 超声 3VT、PVF 频谱单独诊断及二者联合诊断的价值[例(%)]

检查方法	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值
超声 3VT	30(93.75)	1 206(99.18) *	30(75.00) *	1 206(99.83)
PVF 频谱	28(90.32)	1 205(99.01) *	28(70.00) *	1 205(99.75)
超声 3VT 联合 PVF 频谱	37(97.37)	1 207(99.75)	37(92.50)	1 207(99.92)
χ^2	1.525	5.346	6.771	1.002
P	0.467	0.042	0.034	0.606

*:与超声 3VT 联合 PVF 频谱相比,P <0.05

3 讨论

胎儿心脏大血管畸形是一种临床常见的胎儿先天性心血管畸形,但在产前检查中不容易被发现[11]。胎儿心脏大血管畸形主要包括简单型病变和复杂型病变[12]。简单型心脏大血管畸形胎儿在出生后通过药物治疗或手术治疗基本可治愈,对日常生活不会造成严重影响;复杂型心脏大血管畸形严重影响胎儿出生后的日常生活,甚至会导致胎儿宫内死亡或出生后死亡,但目前尚缺乏有效的治疗手段[13]。因此,产前对胎儿进行心脏大血管畸形筛查尤为重要,可降低心脏大血管畸形新生儿的出生率,提高新生儿的生活质量。彩色多普勒超声检查是临床上胎儿心脏大血管畸形的常用筛查方法,其中超声 3VT 能够显示胎儿心脏大血管的内径、空间排序状况以及各心脏大血管之间的关系和心脏血流状况,且图像清晰、直观[14]。但由于心脏的解剖结构较为复杂,仍需寻找另一种诊断符合率较高的检查方法进一步确认,避免误诊或漏诊。胎儿肺循环血约占全部循环血的 13% ~25%,且随孕周的变化而变化,在心输出量的再分布上起重要的作用[15]。PVF 频谱主要受左心房压力的影响,其变化可反映某些先天性心脏病,对胎儿心脏异常具有较高的诊断价值[16]。胎儿循环系统血流动力学的改变与胎儿心脏大血管畸形有关,而肺循环血占全部循环血的比例较大[17],因此,PVF 频谱可能成为判断胎儿心脏大血管畸形的重要方法,但目前鲜见关于 PVF 频谱诊断胎儿心脏大血管畸形的报道。

胎儿心脏大血管畸形主要包括血管管径大小异常、位置异常及数量异常,其中心脏大血管管径大小异常包括主动脉大小异常和肺动脉大小异常,心脏大血管位置异常包括位置顺序异常及与气管位置异常,心脏大血管数量异常包括心脏大血管数量增加或减少[18]。超声 3VT 是一种在常规四腔心检查的基础上采用探头在胎儿头侧平移检查的方式,可清晰、直观地显示胎儿心脏大血管的内径、位置及数量,已广泛应用于胎儿心脏大血管畸形的筛查诊断中[19]。潘柳芬[20]探究了超声 3VT 在胎儿心脏大血管异常检查中的应用价值,结果显示,超声 3VT 诊断血管管径大小异常的检出率为 97.14%,血管数量异常的检出率为 93.75%,血管位置异常的检出率为 95.00%。在本研究中,产前超声 3VT 共检查出 30 例(75.00%)心脏大血管畸形胎儿,其中血管管径大小异常检出率为 73.68%,血管位置异常检出率为 80.00%,血管数量异常检出率为 72.73%。提示超声 3VT 诊断胎儿心脏大血管畸形仍存在漏诊和误诊等问题。

PVF 频谱可判断胎儿心律失常、胎儿窘迫、心脏结构异常等情况[21]。余健彬等[22]探讨了彩色多普勒超声检测 PVF 频谱在评价胎儿心脏结构异常中的应用价值,结果显示,先心病组的 A 波明显低于正常组和妊娠期糖尿病组,(S - A)/D 值明显高于正常组和妊娠期糖尿病组,仅存在 1 例左心发育不良漏诊情况,表明 PVF 频谱可辅助诊断先天性心脏病。李天刚等[23]

探讨了 PVF 频谱检测对妊娠高血压胎儿左心舒张功能的评估价值,结果显示,重度子痫前期组血流参数 A 波低于健康对照组,S/A、(S-A)/D 及(S-A)/S 值高于健康对照组,表明通过对胎儿行 PVF 频谱检测能够定性及定量判断胎儿左心舒张功能的改变。在本研究中,异常组胎儿的 A 波明显低于正常组,S/A、(S-A)/D、(S-A)/S值明显高于正常组,表明 PVF 频谱可反映胎儿心脏大血管畸形情况。此外,本研究比较了超声 3VT、PVF 频谱单独及二者联合使用对胎儿心脏大血管畸形诊断的符合率及诊断价值,结果显示,超声 3VT 联合 PVF 频谱诊断的符合率、特异度、阳性预测值均明显高于超声 3VT 和 PVF 频谱单独诊断,表明超声 3VT 联合 PVF 频谱可提高胎儿心脏大血管畸形诊断的准确性,具有较高的诊断价值。

综上所述,胎儿超声 3VT 联合 PVF 频谱能够明显提高胎儿心脏大血管畸形诊断的符合率和准确性,较超声 3VT、PVF 频谱单独诊断更具优势,可为临床上胎儿心脏大血管畸形的诊断提供参考。

[参考文献]

[1] Gong Y,Zhang Y,Zhu H,et al. Fetal congenital heart disease echocardiogram screening based on DGACNN:adversarial one-class classification combined with video transfer learning[J]. IEEE Trans Med Imaging,2020,39(4):1206-1222. doi:10.1109/TMI.2019.2946059.

[2] Sherman F,Wodrich M,Zampi JD,et al. Phenotypic features of ciliary dyskinesia among patients with congenital cardiovascular malformations[J]. Pediatr Pulmonol,2020,55(10):2674-2682. doi:10.1002/ppul.24959.

[3] Williams SG,Nakev A,Guo H,et al. Association of congenital cardiovascular malformation and neuropsychiatric phenotypes with 15q11.2(BP1-BP2) deletion in the UK Biobank[J]. Eur J Hum Genet,2020,28(9):1265-1273. doi:10.1038/s41431-020-0626-8.

[4] Shruthi M,Gupta N,Jana M,et al. Conventional *vs* virtual autopsy with postmortem MRI in phenotypic characterization of stillbirths and fetal malformations[J]. Ultrasound Obstet Gynecol,2018,51(2):236-245. doi:10.1002/uog.17468.

[5] Li TG,Li QL,Ma B,et al. Prenatal diagnosis of complete vascular ring using high-definition flow render mode and spatiotemporal image correlation[J]. Echocardiography,2021,38(3):488-492. doi:10.1111/echo.14919.

[6] Ma M,Li Y,Chen R,et al. Diagnostic performance of fetal intelligent navigation echocardiography (FINE) in fetuses with double-outlet right ventricle (DORV)[J]. Int J Cardiovasc Imaging,2020,36(11):2165-2172. doi:10.1007/s10554-020-01932-3.

[7] Lantz J,Gupta V,Henriksson L,et al. Impact of pulmonary venous inflow on cardiac flow simulations:comparison with in vivo 4D flow MRI[J]. Ann Biomed Eng,2019,47(2):413-424. doi:10.1007/s10439-018-02153-5.

[8] Lin H,Yan J,Wang Q,et al. Outcomes of the Warden procedure for partial anomalous pulmonary venous drainage[J]. Pediatr Cardiol,2019,41(4):134-140. doi:10.1007/s00246-019-02235-8.

[9] Aggarwal V,Petit CJ,Glatz AC,et al. Stenting of the ductus arteriosus for ductal-dependent pulmonary blood flow-current techniques and procedural considerations[J]. Congenit Heart Dis,2019,14(1):110-115. doi:10.1111/chd.12709.

[10] 李巧荣,龙湘党,姚 穗,等.112 例单脐动脉胎儿合并心血管畸形情况及其妊娠结局分析[J].医学临床研究,2019,36(10):1881-1882. doi:10.3969/j.issn.1671-7171.2019.10.003.

[11] Liao HY,Shi XQ,Li YF. Metabolic and genetic assessments interpret unexplained aggressive pulmonary hypertension induced by methylmalonic acidemia:a case report[J]. World J Clin Cases,2020,8(6):1137-1141. doi:10.12998/wjcc.v8.i6.1137.

[12] 张春妤,魏 瑗,赵扬玉.单绒毛膜单羊膜囊双胎妊娠的临床特点及妊娠结局分析[J].中华妇产科杂志,2020,55(9):627-632. doi:10.3760/cma.j.cn112141-20200531-00462.

[13] Krzyżanowski A,Swatowski D,Gęca T,et al. Prenatal diagnosis of persistent right umbilical vein-incidence and clinical impact. A prospective study[J]. Aust N Z J Obstet Gynaecol,2019,59(1):77-81. doi:10.1111/ajo.12791.

[14] Mcgahan JP,James G,Hedriana H,et al. Key features on the 3-vessel view and 3-vessel tracheal view of isolated right aortic arch anomalies[J]. Ultrasound Q,2020,36(3):235-239. doi:10.1097/RUQ.0000000000000498.

[15] Bhide A,Alanne L,Rasanen J,et al. Effect of sildenafil on pulmonary circulation and cardiovascular function in near-term fetal sheep during hypoxemia[J]. Reprod Sci,2019,26(3):337-347. doi:10.1177/1933719118773412.

[16] Toba S,Mitani Y,Yodoya N,et al. Prediction of pulmonary to systemic flow ratio in patients with congenital heart disease using deep learning-based analysis of chest radiographs[J]. JAMA Cardiol,2020,5(4):449-457. doi:10.1001/jamacardio.2019.5620.

[17] Merlocco A. Fetal hemodymanic effects on ductus arteriosus development and influences on postnatal management in infants with ductal-dependent pulmonary blood flow[J]. Congenit Heart Dis,2019,14(1):100-104. doi:10.1111/chd.12719.

[18] Yu PA,Tran EL,Parker CM,et al. Safety of antimicrobials during pregnancy:a systematic review of antimicrobials considered for treatment and postexposure prophylaxis of plague[J]. Clin Infect Dis,2020,70(1):S37-S50. doi:10.1093/cid/ciz1231.

[19] Pasternok M,Nocun A,Knafel A,et al. "Y Sign" at the level of the 3-vessel and trachea view:an effective fetal marker of aortic dextroposition anomalies in the first trimester[J]. J Ultrasound Med,2018,37(8):1869-1880. doi:10.1002/jum.14533.

[20] 潘柳芬.三血管气管切面在胎儿心脏大血管异常检查中的应用价值[J].生物医学工程与临床,2017,21(4):373-376. doi:10.13339/j.cnki.sglc.20170706.007.

[21] Abadir S,Waldmann V,Dyrda K,et al. Feasibility and safety of cryoballoon ablation for atrial fibrillation in patients with congenital heart disease[J]. World J Cardiol,2019,11(5):149-158. doi:10.4330/wjc.v11.i5.149.

[22] 余健彬,胡 颖,吴义浪,等.彩色多普勒超声检测肺静脉血流频谱在评价胎儿心脏结构异常中的应用[J].微创医学,2020,15(5):79-81. doi:10.11864/j.issn.1673.2020.05.23.

[23] 李天刚,聂 芳,李振东,等.肺静脉血流检测对妊娠高血压疾病胎儿左心舒张功能的评价[J].中国超声医学杂志,2018,34(10):43-46. doi:10.3969/j.issn.1002-0101.2018.10.011.

(编辑:龙小芬)