

联合四腔心切面与三血管切面对胎儿 CHD 的诊断效能分析及图像辅助识别系统构建

姜银玲

(汤阴县人民医院超声科, 河南安阳 456150)

【摘要】目的 比较四腔心切面 (FCV) 与三血管切面 (3VV) 在胎儿产前先天性心脏病 (CHD) 筛查中的诊断效能, 并构建辅助识别系统, 为优化 CHD 筛查策略提供依据。**方法** 回顾性分析 2023 年 1 月至 2024 年 12 月在汤阴县人民医院接受产前超声筛查的 70 例胎儿, 均于产后获得明确心脏结构诊断。分别统计 FCV 与 3VV 在不同 CHD 类型中的检出情况, 评估两种方法的敏感性、特异性、阳性预测值、阴性预测值和一致性 (Kappa 值), 并分析假阳性与假阴性分布。构建基于深度学习的胎儿心脏图像辅助识别系统, 评估图像识别模型的敏感性、特异性与曲线下面积 (AUC)。**结果** 35 例胎儿确诊为 CHD。FCV 检出 22 例, 3VV 检出 28 例。FCV 对室间隔缺损、单心室、左心发育不良等心脏结构异常识别率较高, 3VV 在识别法洛四联症、大动脉转位等大血管畸形方面更具优势。3VV 敏感性高于 FCV (80.00% vs. 62.86%, $P < 0.05$) ; Kappa 值亦高于 FCV (0.752 vs. 0.584, $P < 0.05$)。误诊分析显示, FCV 假阴性以血管异常为主, 3VV 假阳性多因静脉误判或图像干扰引起。图像辅助识别系统整体敏感性为 85.71%, 特异性为 91.43%, 阳性预测值 88.89%, 阴性预测值 89.74%, AUC 值为 0.883, 表现出较优的筛查准确性与一致性。**结论** FCV 与 3VV 在胎儿 CHD 筛查中各具优势, 单独应用存在一定局限。建议在产前超声中联合使用两种标准切面, 以提高不同类型 CHD 的识别率和筛查准确性。基于深度学习的胎儿心脏图像辅助识别系统具有较高的敏感性和特异性, 具有一定的临床推广价值。

【关键词】先天性心脏病 (CHD); 四腔心切面 (FCV); 三血管切面 (3VV); 超声筛查; 图像辅助识别系统

【中图分类号】R714.5

【文献标志码】A

文章编号: 1674-1242 (2025) 06-0858-08

Analysis of the Diagnostic Efficacy of Combined Four-Chamber View and Three-Vessel View for Fetal CHD and Construction of an Image-Assisted Identification System

JIANG Yinling

(Department of Ultrasound, People's Hospital of Tangyin County, Anyang, Henan 456150, China)

【Abstract】Objective To compare the diagnostic efficacy of the four-chamber view (FCV) and three-vessel view (3VV) in prenatal screening for congenital heart disease (CHD) in fetuses, and to construct an auxiliary identification system for optimizing CHD screening strategies. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 70 fetuses that underwent prenatal ultrasound screening at People's Hospital of Tangyin County between January 2023 and December 2024. All of the fetuses received a definitive cardiac structural diagnosis postpartum. The detection rates of FCV and

收稿日期: 2025-07-30。

作者简介: 姜银玲 (1978—), 本科, 副主任医师, 从事胎儿 CHD 筛查诊断。邮箱: baoyanyang2024@163.com。

3VV were analyzed separately across different types of CHD, and the sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and Kappa value of the two methods were evaluated. The distribution of false positives and false negatives was also analyzed. A deep learning-based fetal cardiac image-assisted identification system was developed and the sensitivity, specificity and area under the curve (AUC) of the image recognition model were assessed. **Results** A total of 35 fetuses were diagnosed with CHD. FCV detected 22 cases and 3VV detected 28 cases. FCV was more accurate at identifying structural abnormalities such as ventricular septal defects, single ventricle and hypoplastic left heart syndrome. In contrast, 3VV was better at identifying major vascular malformations such as Tetralogy of Fallot and Transposition of the Great Arteries. The sensitivity of 3VV was higher than that of FCV (80.00% vs. 62.86%, $P < 0.05$), as was the Kappa value (0.752 vs. 0.584, $P < 0.05$). Misdiagnosis analysis showed that false negatives in FCV were primarily due to vascular abnormalities, whereas false positives in 3VV were mainly caused by misinterpreting veins or image interference. The image-assisted identification system demonstrated superior screening accuracy and consistency, with an overall sensitivity of 85.71%, a specificity of 91.43%, a positive predictive value of 88.89%, a negative predictive value of 89.74%, and an AUC of 0.883. **Conclusion** Both FCV and 3VV have its own advantages in fetal CHD screening, but their use alone has certain limitations. It is recommended that both standard sections be used in combination in prenatal ultrasound to improve the detection rate and screening accuracy of different types of CHD. A deep learning-based fetal heart image-assisted identification system has high sensitivity and specificity and has certain clinical application value.

【Key words】Congenital Heart Disease (CHD); Four-Chamber View (FCV); Three-Vessel View (3VV); Ultrasound Screening; Image-Assisted Identification System

0 引言

先天性心脏病 (Congenital Heart Disease, CHD) 是最常见的先天性结构性畸形之一, 发病率占活产婴儿的 0.8% ~ 1.2%。其临床类型复杂多样, 若产前未能及时识别, 常导致围产期管理失误, 严重者可引发新生儿死亡或致残^[1]。因此, 建立高效可靠的产前筛查体系对提高出生人口质量具有重要意义。

胎儿超声心动图是当前最常用的 CHD 筛查手段, 其中心脏四腔心切面 (Four-Chamber View, FCV) 作为常规产前超声的核心内容, 能够有效显示心脏发育、心室对称性及房室连接情况^[2]。近年来, 随着超声技术的发展, 三血管切面 (Three-Vessel View, 3VV) 逐渐被纳入标准产前心脏评估流程, 其可直接观察大血管的数目、排列及相对位置, 尤其在识别大动脉畸形方面具有重要价值^[3]。已有研究表明^[4], 单一切面检查存在一定漏诊率, 尤其在复杂或非典型 CHD 筛查中表现不足。多切面联合评估可在一定程度上弥补视角盲区, 提高整体检出效率。然而, 目前关于 FCV 与 3VV 在不同 CHD

类型识别效果上的差异仍缺乏系统研究, 临床操作中对两者联合使用的认识亦不充分。近年来, 人工智能在医学影像领域的发展为胎儿心脏筛查提供了新的辅助手段。尤其是在 FCV 与 3VV 的标准图像识别、特征提取与异常模式判别方面, 基于深度学习的自动识别与智能分割算法已初步应用于临床研究中。如卷积神经网络 (CNN) 可实现对 FCV 图像中心腔结构的自动识别与定量分析, 而 U-Net 结构则常用于血管区域的精准分割, 提升图像判读的客观性与一致性。因此, 在常规超声检查基础上引入图像辅助识别系统, 有望提高 CHD 的早期筛查效率与诊断准确性。

本研究拟通过对近两年 70 例胎儿产前筛查病例的回顾性分析, 比较 FCV 与 3VV 在 CHD 筛查中的诊断效能与一致性, 探讨两者在不同畸形类型中的识别特点及误判模式, 以期为临床优化胎儿心脏筛查路径提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性队列分析, 纳入 2023 年 1 月

至2024年12月在汤阴县人民医院超声科接受产前超声筛查的70例孕妇。所有孕妇均在孕中期（孕20~28周）接受胎儿心脏结构常规筛查，均完成FCV及3VV两个切面的标准化图像采集，且具备胎儿出生后心脏彩超或手术等明确诊断依据。

纳入标准：①单胎妊娠，孕周在22~28周；②孕妇常规产检资料完整，图像质量符合诊断标准；③新生儿出生后3个月内完成心脏结构性评估。

排除标准：①孕妇合并严重系统性疾病（如糖尿病、心肾功能不全等）；②检查过程中因体位或羊水过少等因素导致图像不清晰者；③孕期存在明确染色体异常提示者或合并严重非心脏结构畸形；④流产、死胎、失访等不能获得完整随访信息者。

本研究经医院伦理委员会批准，所有参与者均签署知情同意书。

1.2 超声检查方法

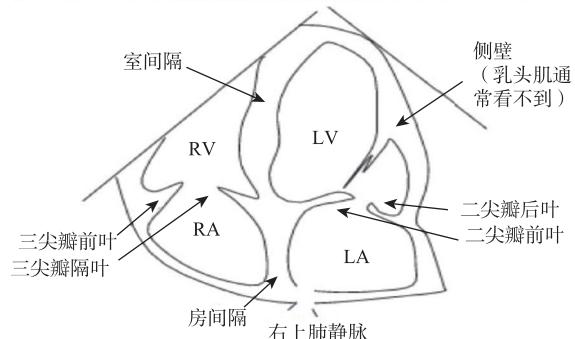
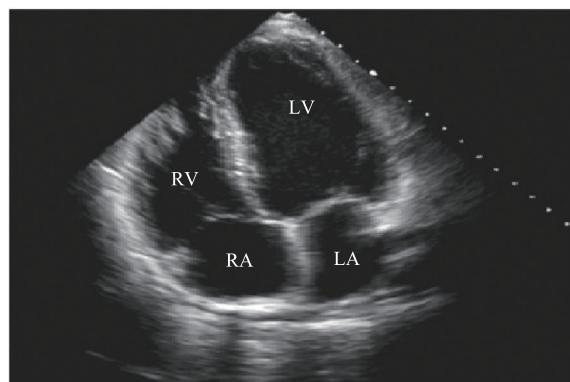
本研究所有检查均在孕中期（孕22~28周）进行，使用美国GE公司Voluson E10彩色多普勒超声诊断仪，配备腹部探头（3.5~5.0MHz），由具备胎儿心脏检查资质的高级超声医师完成。孕妇常规取仰卧或左侧卧位，根据胎儿方位调整探头角度，以获取清晰、标准化图像。

1.2.1 四腔心切面（FCV）

操作者沿胎儿胸廓横断面扫查，获取心脏横轴位图像，明确心尖指向，逐步调整探头直至心腔结构清晰可见。标准FCV图像应包括左、右心房与心室、室间隔、房间隔、房室瓣（包括三尖瓣与二尖瓣）等结构，并评估以下要点：①心腔数目是否完整，大小是否对称；②室间隔与房间隔是否连续，有无中断或缺损；③卵圆孔是否存在异常开放；④房室瓣开合节律是否一致，是否伴反流；⑤心尖构成及心脏轴线是否偏移。必要时联合彩色多普勒模式观察流入道血流的对称性与方向性，识别穿隔血流、双向流或反流信号，辅助判断房室连接关系异常或瓣膜结构缺陷。FCV示意图见图1。

1.2.2 三血管切面（3VV）

在获得FCV图像后，操作者将探头向胎头方向轻微平移，即可获得显示主动脉、肺动脉及上腔静脉的横断面图像。标准3VV图像显示从左至右



注：RA—Right Atrium（右心房）；LA—Left Atrium（左心房）；RV—Right Ventricle（右心室）；LV—Left Ventricle（左心室）。

图1 FCV示意图

Fig.1 Schematic diagram of the FCV

依次为：肺动脉（最大）、升主动脉（中等）、上腔静脉（最小），三者位置近似于倒置的“V”形结构。主要观察内容包括：①三条大血管的数量、大小比例、排列顺序是否正常；②是否存在血管缺如、互换、扭转等位置异常；③彩色多普勒显示血流方向是否一致，有无反向流或交叉血流；④是否存在异常血管，如迷走锁骨下动脉、主动脉弓缩窄、血管环等征象。3VV示意图见图2。

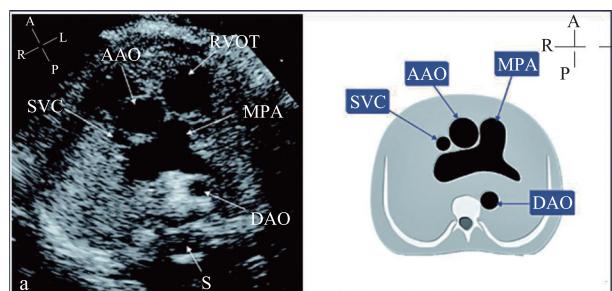


图2 3VV示意图

Fig.2 Schematic diagram of the 3VV

1.3 诊断标准与随访

1.3.1 诊断标准

本研究以胎儿出生后3个月内的心脏结构性评

估结果作为诊断金标准，包括以下两种方式：

(1) 经专业机构行新生儿心脏彩色多普勒超声检查：根据具有儿科心脏专科资质的超声医师出具的结构性心脏检查报告，判定是否存在 CHD 及其类型。

(2) 确诊病例经手术或尸检病理证实：部分复杂 CHD 病例如经新生儿心外科干预或因终止妊娠行尸检，相关病理资料作为最终判定依据。

将产前超声筛查结果与上述诊断金标准进行逐一比对，判定为：①真阳性 (True Positive, TP)：产前超声筛查阳性，出生后诊断为 CHD；②假阳性 (False Positive, FP)：筛查阳性，出生后无 CHD；③真阴性 (True Negative, TN)：筛查阴性，出生后无 CHD；④假阴性 (False Negative, FN)：筛查阴性，出生后诊断为 CHD。

依据上述分类，计算筛查方法的敏感性、特异性、阳性预测值 (Positive Predictive Value, PPV)、阴性预测值 (Negative Predictive Value, NPV)、准确率及 Kappa 一致性指数。

1.3.2 随访方法

所有筛查对象均纳入系统随访流程：

(1) 筛查阳性者：根据孕妇意愿及胎儿医学伦理原则，进行染色体检查、MRI 评估或三级产前超声评估，并建议定期复查心脏结构直至分娩；出生后优先安排新生儿心脏超声评估，并记录是否接受心外科手术或保守治疗。

(2) 筛查阴性者：建议孕中晚期继续进行胎儿系统超声筛查，如未发现结构异常，则随访至分娩，并于出生后 3 个月内完成新生儿心脏彩超以排除假阴性。

(3) 终止妊娠者：若产前筛查提示严重心脏畸形并选择引产，经家属同意后可进行尸体解剖或产后影像学分析以获取确切诊断依据。

随访数据统一记录在胎儿超声数据库中，确保每例孕妇及胎儿具有明确的妊娠结局与产后心脏结构验证结果。

1.4 观察指标

本研究围绕不同超声切面在胎儿 CHD 筛查中的诊断价值进行评估，主要观察以下指标。

1.4.1 主要诊断效能指标

(1) 检出率 (Detection Rate)：FCV、3VV 及两者联合三种方法对 CHD 的阳性识别例数占确诊总例数的比例。

(2) 敏感性 (Sensitivity, Se) $Se = TP / (TP + FN)$ ，反映筛查手段对 CHD 的检出能力。

(3) 特异性 (Specificity, Sp)： $Sp = TN / (TN + FP)$ ，反映筛查手段识别正常结构的准确性。

(4) PPV： $PPV = TP / (TP + FP)$ ，反映筛查阳性结果的可信度。

(5) NPV： $NPV = TN / (TN + FN)$ ，反映筛查阴性结果的可靠性。

(6) 准确率 (Accuracy, Acc)：正确判断例数 ($TP + TN$) 占总例数的比例，衡量综合诊断能力。

(7) 一致性分析 (Kappa 值)：评估超声诊断结果与胎儿出生后确诊结果之间的一致性， $Kappa > 0.75$ 为高度一致。

1.4.2 图像表现指标

(1) 标准图像获取成功率：统计 FCV 与 3VV 图像在检查中能否按技术标准成功获取，分析两种切面的操作可行性与技术要求。

(2) 典型畸形识别特征：记录常见 CHD 类型：[如室间隔缺损 (Ventricular Septal Defect, VSD)、大动脉转位 (Transposition of the Great Arteries, TGA)、法洛四联症 (Tetralogy of Fallot, TOF) 和左心发育不良综合征 (Hypoplastic Left Heart Syndrome, HLHS) 等] 在不同切面中的表现特征，包括结构异常、血流紊乱、排列异常等，分析各切面对不同病变的识别优势。

1.4.3 补充指标

(1) 误诊与漏诊情况：记录假阳性与假阴性例数，结合图像回顾分析可能原因 (如心位不佳、图像伪影、解剖变异等)。

(2) 妊娠结局与干预率：统计筛查阳性后终止妊娠、手术干预或出生后持续治疗等转归情况，评价筛查对临床决策的引导作用。

1.5 图像辅助识别系统设计

为提升 FCV 与 3VV 图像在胎儿 CHD 筛查中

的客观识别效率,本研究探索构建基于深度学习的胎儿心脏图像辅助识别系统。首先,采集70例胎儿的标准FCV与3VV图像,构建包含结构标注的训练数据集。图像标注由两名高级超声医师完成,重点标注心腔边界、室间隔、三大血管轮廓与典型异常区域。系统选用U-Net结构实现二维图像分割,输出各结构区域的像素级概率图;同时基于ResNet50构建FCV/3VV图像分类模型,实现对正常与异常心脏图像的二分类判别。系统训练采用五折交叉验证策略,优化损失函数为Dice loss与交叉熵的加权组合。在本研究数据集中,评估图像辅助识别系统的Se、Sp与AUC值,并对图像辅助识别系统在不同CHD类型上的识别能力进行初步验证。胎儿心脏图像辅助识别系统流程见图3。

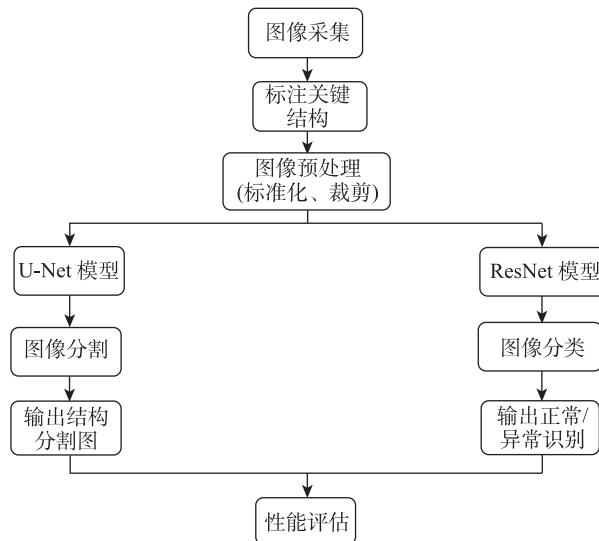


图3 胎儿心脏图像辅助识别系统流程图

Fig. 3 Flow chart of fetal heart image-assisted identification system

1.6 统计学方法

使用SPSS 26.0统计软件进行统计分析。计数资料以频数和百分比[n (%)]表示,采用卡方检验或Fisher精确检验进行组间比较;连续变量以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用t检验。筛查方法诊断效能采用Se、Sp、PPV、NPV计算;一致性分析采用Kappa值评估,Kappa>0.75为一致性好,0.4~0.75为一致性中等,<0.4为一致性差。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入70例单胎妊娠孕妇,最终确诊CHD胎儿35例,占比50.0%。其余35例胎儿经出生后心脏超声随访无异常。所有病例均完成标准FCV与3VV图像采集,图像质量良好,无因技术因素中断的病例。

2.1 两种切面方法对CHD的检出情况

在35例确诊病例中,FCV检出22例,3VV检出28例,联合切面检出33例。FCV对心腔结构异常(如VSD、单心室)识别较好,而3VV在识别大血管畸形(如TGA、TOF)方面更具优势。不同类型CHD在FCV、3VV中的检出对比见表1。

表1 不同类型CHD在FCV、3VV中的检出对比(n=35)

Tab. 1 Comparison of detection of different types of CHD in FCV and 3VV (n=35)

畸形类型	金标准	FCV检出	3VV检出
室间隔缺损	12	10 (83.33%)	4 (33.33%)
法洛四联症	5	2 (40.00%)	5 (100.00%)
大动脉转位	6	2 (33.33%)	6 (100.00%)
左心发育不良	3	3 (100.00%)	2 (66.67%)
单心室	2	2 (100.00%)	1 (50.00%)
主动脉弓缩窄	2	1 (50.00%)	2 (100.00%)
肺动脉闭锁	2	0 (0%)	2 (100.00%)
三尖瓣下移	1	1 (100.00%)	0 (0%)
血管环	2	0 (0%)	2 (100.00%)

2.2 Se与Sp分析

3VV的Se显著高于FCV($P<0.05$),Sp也高于FCV,但差异无统计学意义($P>0.05$)。在PPV和NPV方面,3VV均优于FCV,但仅在NPV上差异具有统计学意义($P<0.05$)。FCV与3VV筛查CHD的诊断效能比较详见表2。

表2 FCV与3VV筛查CHD的诊断效能比较(n=70)

Tab. 2 Comparison of diagnostic efficacy between FCV and 3VV in screening for CHD (n=70)

指标类别	Se (%)	Sp (%)	PPV (%)	NPV (%)
FCV	62.86	91.43	88	71.11
3VV	80	94.29	93.33	82.5
χ^2 值	4.47	0.39	1	4.15
P值	0.034	0.533	0.317	0.041

2.3 假阳性与假阴性分布

FCV共出现假阳性3例、假阴性13例,误判

多见于小型室间隔缺损、血流信号较弱或结构近似伪影；3VV 共出现假阳性 2 例、假阴性 7 例，漏诊多与大血管走行不清、胎位干扰有关。总体来看，FCV 假阴性率较高，3VV 在识别大血管畸形方面表现更佳。FCV 与 3VV 筛查的假阳性与假阴性分布情况见表 3。

表 3 FCV 与 3VV 筛查的假阳性与假阴性分布情况
Tab. 3 Distribution of false positives and false negatives in FCV and 3VV screening

畸形类型	FCV 假阴性 (例)	3VV 假阴性 (例)	FCV 假阳性 (例)	3VV 假阳性 (例)
室间隔缺损	2	8	1	0
法洛四联症	3	0	1	0
大动脉转位	4	0	0	1
左心发育不良	0	1	0	0
单心室	0	1	0	0
主动脉弓缩窄	1	0	1	0
肺动脉闭锁	2	0	0	0
血管环	1	1	0	1
三尖瓣下移	0	0	0	0
合计	13	7	3	2

2.4 不同 CHD 类型在切面中的识别差异

FCV 对 VSD、HLHS、单心室识别率较高，表现为心腔不对称、室间隔中断或粗大单腔结构。3VV 对 TGA、TOF、肺动脉闭锁、血管环识别更敏感，表现为大血管排列异常、血管内径不对称、“V”形结构消失或反向血流。不同类型 CHD 在 FCV 与 3VV 中的识别情况见表 4。

表 4 不同类型 CHD 在 FCV 与 3VV 中的识别情况 (n=35)
Tab. 4 Identification of different types of CHD in FCV and 3VV (n=35)

畸形类型	FCV 主要表现	3VV 主要表现
室间隔缺损	室间隔回声中断、穿隔血流	血管排列正常，部分无异常
大动脉转位	心腔结构正常，心轴偏移	两大动脉平行走行、“V”形消失
法洛四联症	室间隔中断、心尖右偏	主肺动脉内径不等，主动脉扩张
左心发育不良	左心腔室显著缩小或缺失	主动脉变细、“V”形不对称
单心室	单一心室结构，室间隔缺失	三血管难以分辨
主动脉弓缩窄	房室连接正常，血流动力未见异常	主动脉细窄，“V”形失衡
肺动脉闭锁	四腔心结构正常	肺动脉不显，血流信号缺失
三尖瓣下移	三尖瓣低位附着、房室不对称	血管排列未见明显异常
血管环	四腔心结构正常	血管走行绕气管、“V”形偏离或交叉

2.5 图像获取成功率与操作效率比较

FCV 在图像获取成功率和平均获取时间上与 3VV 对比，差异无统计学意义 ($P>0.05$)。FCV、3VV 两种切面图像获取情况比较见表 5。

表 5 FCV、3VV 两种切面图像获取情况比较
Tab. 5 Comparison of image acquisition between FCV and 3VV

检测方法	成功率 (%)	平均获取时间 (s)
FCV	97.1 (68/70)	41.3±6.2
3VV	94.3 (66/70)	49.8±7.4
t/χ^2 值	0.421	1.825
P 值	0.516	0.072

2.6 各类型 CHD 在不同方法中的识别一致性

Kappa 一致性检验显示，各筛查方法与确诊结果间的一致性不同。FCV 识别与终诊一致性中等 ($Kappa=0.584$)，3VV 一致性较好 ($Kappa=0.752$)。

2.7 图像辅助识别系统诊断性能评估

对系统在测试集中识别 CHD 的诊断性能进行评价，结果显示：系统整体 Se 为 85.71%，Sp 为 91.43%，PPV 为 88.89%，NPV 为 89.74%，AUC 值为 0.883，表现出较优的筛查准确性与一致性。图像辅助识别系统筛查胎儿 CHD 的诊断性能见图 4。

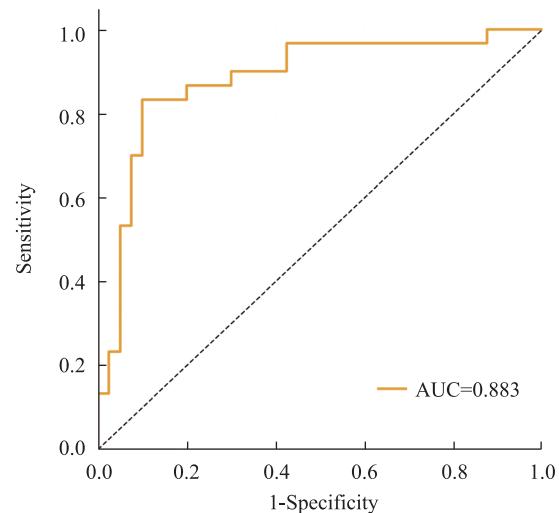


图 4 图像辅助识别系统筛查胎儿 CHD 的诊断性能
Fig. 4 Diagnostic performance of the image-assisted identification system for screening fetal CHD

3 讨论

胎儿 CHD 具有发病率高、临床异质性强的特点，随着产前超声技术的发展，结构性心脏畸形的早期识别成为产前筛查的关键环节^[5-6]。本研究通

通过对 70 例孕中晚期胎儿的系统分析, 比较了 FCV 与 3VV 在不同 CHD 类型识别、诊断效能及一致性方面的差异, 为临床优化筛查路径提供了数据支持。

结果显示, FCV 对心腔结构类畸形识别率较高, 尤其是左心发育不良综合征 (HLHS) 和单心室识别率达 100%。这与 FCV 直接显示心室大小、对称性及室间隔结构密切相关。相比之下, 3VV 在显示大血管解剖关系方面更具优势, 对法洛四联症、大动脉转位、血管环等畸形的检出率明显高于 FCV, 识别率均达 100%。两种切面在不同畸形类型上的表现差异明确, 提示联合应用更有助于全面评估胎儿心脏结构。从整体诊断效能来看, 3VV 的 Se 为 80.00%, 明显高于 FCV 的 62.86%, 差异具有统计学意义; 在 Sp 方面, 两者均较高 (91.43% vs. 94.29%), 差异无统计学意义。Kappa 一致性分析进一步证明了 3VV 的稳定性高于 FCV, 提示 3VV 不仅检出能力更强, 而且判断结果更接近最终确诊, 具有较强的重复性和临床可推广性^[7]。FCV 共出现 13 例假阴性, 主要集中在大血管畸形和血管环病变中, 提示该切面难以全面显示血管走行与连接结构; 3VV 假阴性为 7 例, 主要为小型室间隔缺损或胎儿姿势限制造成图像质量不佳所致。在假阳性方面, FCV 误诊 3 例, 多为室间隔回声增强或假腱索误判; 3VV 误判 2 例, 可能与静脉误入视野或局部走行异常有关。上述结果表明, 单一切面存在识别盲区, 联合评估有助于互补验证、减少误判。两种切面在图像获取成功率与平均获取时间方面差异不显著, 其中 FCV 成功率为 97.1%, 平均获取时间为 (41.3 ± 6.2) s; 3VV 成功率为 94.3%, 平均获取时间略长, 为 (49.8 ± 7.4) s。说明两者均可在常规超声时间内完成, 具备临床推广操作条件。除标准超声解剖切面的临床对比外, 近年来人工智能辅助超声图像识别技术的引入, 为胎儿 CHD 筛查带来了新的可能。本研究引入基于 FCV 与 3VV 图像的辅助识别系统, 对图像中的关键结构进行自动标注与病变预测, 初步评估其在提高筛查一致性与效率方面的可行性。系统表现出较高的结构分割精度及良好的分类准确率, 尤其在大血管畸形识别中具备较强的敏感性。该探索为后续构建大规模、标准化、

可视化的胎儿心脏筛查辅助平台提供了工程基础, 未来研究有望结合实时超声工作站集成使用, 提升 CHD 产前筛查的自动化与精度水平。

综上所述, FCV 和 3VV 各具结构识别优势, 分别擅长不同类型 CHD 的筛查。3VV 在 Se、一致性方面表现更优, 而 FCV 在心腔结构评估方面仍不可替代。建议在常规产前超声检查中, 标准化联合使用两种切面, 提高 CHD 早期检出率, 指导后续产科管理与新生儿干预决策。基于深度学习的胎儿心脏图像辅助识别系统具有较高的敏感性和特异性, 具有一定的临床推广价值。

参考文献

- [1] MELLER CH, GRINENCO S, AIELLO H, et al. Congenital heart disease, prenatal diagnosis and management[J]. *Arch Argent Pediatr*, 2020, 118(2): e149-e161.
- [2] 石剑, 王燕捷, 王军艳, 等. 超声心动图联合孕妇血清 β -hCG、N-proBNP 水平检测对胎儿先天性心脏病的早期诊断价值 [J]. *东南大学学报(医学版)*, 2025, 44 (1) : 138-143.
SHI Jian, WANG Yanjie, WANG Junyan, et al. The early diagnostic value of echocardiography combined with serum β -hCG and N-proBNP levels in pregnant women for fetal congenital heart disease[J]. *Journal of Southeast University (Medical Science Edition)*, 2025, 44 (1): 138-143.
- [3] 马明明. 人工智能在胎儿超声心动图三血管切面筛查中的应用 [C]//中国超声医学工程学会成立四十周年暨第十四次全国超声医学学术大会. 浙江, 2024.
MA Mingming. Application of artificial intelligence in three-vessel view screening of fetal echocardiography[C]//The 40th Anniversary of the Establishment of the Chinese Association of Ultrasound in Medical and Engineering and the 14th National Ultrasound Medical Academic Conference, Zhejiang, 2024.
- [4] 曹俊萍, 姚建锋, 斯维维. 产前超声四腔心切面与三血管切面筛查孕早期胎儿心脏畸形的价值 [J]. *湖北民族大学学报(医学版)*, 2024, 41 (1) : 64-67.
CAO Junping, YAO Jianfeng, JIN Weiwei. The value of prenatal ultrasound four-chamber view and three-vessel view in screening fetal cardiac malformations in early pregnancy[J]. *Journal of Hubei Minzu University (Medical Edition)*, 2024, 41 (1): 64-67.
- [5] 宋鑫, 李燕, 贾颖辉, 等. 常规超声检查结合胎心检查在胎儿先天性心脏病产前筛查中的应用价值 [J]. *生物医学工程学进展*, 2017, 38 (4) : 227-229.

- SONG Xin, LI Yan, JIA Yinghui, *et al*. The application value of conventional ultrasound examination combined with fetal heart examination in prenatal screening of congenital heart disease in fetuses[J]. **Progress in Biomedical Engineering**, 2017, 38 (4): 227-229.
- [6] 龙煜, 邝海燕, 骆迎春, 等. 产前超声筛查孕 12~13+6 周胎儿先天性心脏病的价值 [J]. **中国医学影像学杂志**, 2022, 30 (3) : 254-260.
- LONG Yu, KUANG Haiyan, LUO Yingchun, *et al*. The value of prenatal ultrasound screening for congenital heart disease in fetuses at 12-13+6 weeks of pregnancy[J]. **Chinese Journal of Medical Imaging**, 2022, 30(3): 254-260.
- [7] 朱文峰, 李力, 胡丽琳. 四腔心切面+左右心室流出道切面+三血管切面在胎儿心脏畸形筛查中的应用价值 [J]. **现代诊断与治疗**, 2023, 34 (5) : 657-659, 694.
- ZHU Wenfeng, LI Li, HU Lilin. The application value of four-chamber view+left and right ventricular outflow tract view+three-vessel view in screening fetal cardiac malformations[J]. **Modern Diagnosis and Treatment**, 2023, 34 (5): 657-659, 694.