

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.11.022

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220222.1710.014.html\(2022-02-23\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220222.1710.014.html(2022-02-23))

基于 CDU 影像特征的 3 种模型在先天性心脏病诊断中的应用价值研究*

吴贻怡,肖湘,罗琼

(桂林市人民医院超声科,广西桂林 541000)

[摘要] **目的** 探讨基于彩色多普勒超声(CDU)影像特征的 3 种模型在先天性心脏病(简称先心病)诊断中的应用价值。**方法** 选取 2017 年 3 月至 2020 年 1 月在该院进行先心病筛查的 455 例孕妇进行产前 CDU 检测。采用问卷调查、体格检查及实验室检查,建立 logistic 回归分析、反向传播(BP)神经网络及决策树模型。比较 3 种模型检测的灵敏度、特异度及准确度,以及 3 种模型检测的受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC),分析 3 种模型对先心病的诊断价值。**结果** 455 例孕妇中 61.32% 的孕妇血糖正常,93.63% 的孕妇早期未服用致畸药物,63.52% 的新生儿出生体重超过 2 800 g,91.21% 的新生儿出生时 Apagr 评分大于 8 分,95% 以上的三尖瓣返流程度、肺动脉瓣返流程度、主动脉瓣返流程度均正常。logistic 回归分析模型、BP 神经网络模型、决策树模型检测的灵敏度、特异度、准确度及 AUC 分别为 84.82%、61.57%、81.79%、0.742、93.28%、81.68%、84.25%、0.786、86.46%、56.83%、81.02%、0.728,BP 神经网络模型的灵敏度、特异度及准确度均高于 logistic 回归分析模型及决策树模型。3 种模型的 AUC 比较,logistic 回归分析模型与 BP 神经网络模型比较及 BP 神经网络模型与决策树模型比较差异均有统计学意义($P < 0.01$),而 logistic 回归分析模型与决策树模型比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 相较于 logistic 回归分析模型与决策树模型,BP 神经网络模型诊断先心病灵敏度、特异度与准确度更高。

[关键词] 彩色多普勒超声;影像特征;logistic 回归分析模型;反向传播神经网络模型;决策树模型;先天性心脏病;诊断价值

[中图法分类号] R445.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2022)11-1912-05

Application value of three models based on color Doppler ultrasound image features in diagnosis of congenital heart disease*

WU Yiyi, XIAO Xiang, LUO Qiong

(Department of Ultrasound, Guilin Municipal People's Hospital, Guilin, Guangxi 541000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the application value of three models based on color Doppler ultrasound (CDU) image features in the diagnosis of congenital heart disease (CHD). **Methods** A total of 455 pregnant women undergoing the congenital heart disease screening in this hospital from March 2017 to January 2020 conducted the prenatal CDU detection. The questionnaire survey, physical examination and laboratory detection were carried out. The logistic regression analysis, backpropagation (BP) neural network and decision tree model were established. The sensitivity, specificity and accuracy and the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC) detected by 3 models were compared among the three models. The diagnostic value of the three models for CHD was analyzed. **Results** Among 455 pregnant women, 61.32% of the pregnant women had normal blood glucose, 93.63% of the pregnant women did not take teratogenic drugs in the early pregnant stage, 63.52% of the fetal birth weight was more than 2 800 g, 91.21% of the fetuses had the Apagr score > 8 points at birth, and more than 95% of degrees of tricuspid valve regurgitation, pulmonary valve regurgitation and aortic valve regurgitation were normal. The sensitivity, specificity, accuracy and AUC of logistic regression analysis model, BP neural network model and decision tree model were 84.82%, 61.57%, 81.79%, 0.742, 93.28%, 81.68%, 84.25%, 0.786, 86.46%, 56.83%, 81.02%, 0.728, respectively. The

sensitivity, specificity and accuracy of the BP neural network model all were higher than those of the logistic regression analysis model and decision tree model. In the comparison of AUC among 3 models, the comparisons between the logistic regression analysis model and BP neural network model and between the BP neural network model and decision tree model had statistical significance ($P < 0.01$), but the comparison between the logistic regression analysis model and decision tree model had no statistical significance ($P > 0.05$). **Conclusion** Compared with the logistic regression analysis model and decision tree model, the BP neural network model has higher sensitivity, specificity and accuracy in diagnosing CHD.

[Key words] color Doppler ultrasound; image features; logistic regression analysis model; backpropagation neural network model; decision tree model; congenital heart disease; diagnostic value

先天性心脏病(简称先心病)是临床上常见的一种儿科疾病,也是胎儿多种先天性发育畸形中较为常见的一种,据相关统计,在活产新生儿中,先心病的发病率为 3%~8%^[1]。不仅对其生命健康产生严重威胁,也对患儿家庭造成了巨大影响。随着医学超声诊断设备的不断进步,医疗设备的不断改善,产前检查技术不断提高,使得能够在妊娠期便给予有效措施进行干预成为可能,这可使神经管缺损、发育异常等各种畸形疾病的发生率明显降低^[2]。在多种出生缺陷中,先心病的发病率已处于前列。因此,寻找能够早期有效诊断先心病的方法已成为产科医生们的重点研究问题。心脏大血管异常是造成先心病的重要原因,而产前超声检查是检测胎儿时期心脏大血管发育异常的主要方法,具有诊断方便、安全性高的特点^[3-4]。但超声检测影响因素较多,具有一定的局限性。随着计算机辅助系统及数字挖掘技术的逐渐发展,其能够从海量的数据中提取隐含的信息。数字挖掘技术包括 logistic 回归分析、神经网络及决策树等方法^[5]。本研究中收集 455 例临床相关彩色多普勒超声(color doppler ultrasound, CDU)影像图像资料,分别建立 logistic 回归分析、反向传播(back propagation, BP)神经网络及决策树模型,通过比较,旨在探究诊断先心病的最佳模型。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2017 年 3 月至 2020 年 1 月在本院进行先心病筛查的 455 例孕妇产前 CDU 检测图像资料。其中孕妇平均年龄(27.58±1.72)岁,平均孕周(13.04±2.03)周。纳入标准:(1)胎儿心率正常;(2)无先心病生育史;(3)无染色体异常现象;(4)临床资料完整;(5)胎儿家属知情同意并签订知情同意书;(6)本研究经医院伦理委员会同意批准,并签订知情同意书。排除标准:(1)以先心病转入本院;(2)具有心脏手术史;(3)对行 CDU 检查不配合者。

1.2 方法

1.2.1 CDU 检测

采用 GE VOLUSON E8、E10 CDU 仪进行检测,孕妇取仰卧位及侧卧位,调整探头角度,探头频率 3.5 MHz。监测胎儿心率、胎儿心脏外形、位置、结构、功

能状态及心脏瓣膜功能。

1.2.2 资料录入

采用问卷调查、体格检查及实验室检查,由经过专业培训的人员进行调查,包括孕妇的年龄、孕周、孕妇血糖、是否早期服用致畸药物史、新生儿出生孕周、新生儿性别、出生体重、Apgar 评分,以及三尖瓣返流(tricuspid regurgitation, TR)、肺动脉瓣返流(pulmonary regurgitation, PR)、主动脉瓣返流(aortic regurgitation, AR)程度等。将所收集的资料录入计算机数据库,各项指标均严格按照变量的定义进行数据录入,所有数据均采用 Epidate3.1 软件,分两人分次录入,相互检查校正。

1.2.3 建立数学模型

采用 SPSS Clementine13.0 软件将 455 例彩超资料的建模指标进行分析,并建立 logistic 回归分析(表 1)、BP 神经网络及决策树模型,分别计算 3 个数学模型的准确度、灵敏度及特异度。利用 Medcal 软件分别绘制 logistic 回归分析、BP 神经网络及决策树模型 3 个数学模型的受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under curve, AUC)。

表 1 先心病发生影响因素的变量赋值

代码	变量	赋值
X1	孕妇年龄	0=≤30 岁, 1=>30 岁
X2	孕周	0=≤12 周, 1=>12 周
X3	孕妇血糖	0=正常, 1=异常
X4	早期服用致畸药物史	0=否, 1=是
X5	胎儿出生孕周	0=>38 周, 1=≤38 周
X6	新生儿性别	0=男, 1=女
X7	出生体重	0=>2800g, 1=>2800g
X8	Apgar 评分	0=>8 分, 1=3~8 分, 2=≤3 分
X9	TR 程度	0=正常, 1=轻度, 2=中度
X10	PR 程度	0=正常, 1=轻度, 2=中度
X11	AR 程度	0=正常, 1=轻度, 2=中度

1.2.4 观察指标

(1)记录研究对象的临床基本资料;(2)比较 3 种模型检测的灵敏度、特异度及准确度;(3)比较 3 种模

型检测的 ROC 曲线 AUC;(4)采用 Medcal 软件对 3 种模型的 AUC 进行比较,分析 3 种模型对先心病的诊断价值。

1.3 统计学处理

采用 SPSS19.0 软件进行统计学数据分析,计数资料以率表示。logistic 回归分析、BP 神经网络及决策树模型 3 个数学模型的 AUC 比较,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象的临床基本资料

455 例研究对象中 61.32% 的孕妇血糖正常,93.63% 的孕妇早期未服用致畸药物,63.52% 的新生儿出生体重超过 2 800 g,91.21% 的新生儿出生时 Apagr 评分大于 8 分,95% 以上的新生儿 TR 程度、PR 程度、AR 程度均正常,见表 2、图 1~3。

表 2 研究对象的临床基本资料[n(%),n=455]

项目	构成	项目	构成
孕妇年龄		新生儿性别	
>30 岁	211(46.37)	男	236(51.87)
≤30 岁	244(53.63)	女	219(48.13)
孕妇孕周		出生体重	
>12 周	215(47.25)	>2 800 g	289(63.52)
≤12 周	240(52.75)	≤2 800 g	166(36.48)
孕妇血糖		TR 程度	
正常	279(61.32)	正常	442(97.14)
异常	176(38.68)	轻度	10(2.20)
致畸药物史		中度	3(0.66)
是	29(6.37)	PR 程度	
否	426(93.63)	正常	455(100.00)
出生孕周		轻度	0
>38 周	131(28.79)	中度	0
≤38 周	324(71.21)	AR 程度	
Apagr 评分		正常	453(99.56)
>8 分	415(91.21)	轻度	2(0.44)
3~8 分	37(8.13)	中度	0
<3 分	3(0.66)		



图 2 12 周胎儿的颈项透明层图像

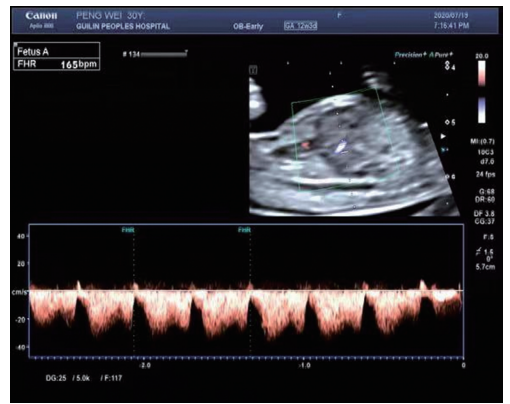


图 3 胎儿静脉导管血流频谱

2.2 3 种模型检测的灵敏度、特异度及准确度

logistic 回归分析模型、BP 神经网络模型、决策树模型检测的灵敏度、特异度及准确度分别为 84.82%、61.57%、81.79%,93.28%、81.68%、84.25%,86.46%、56.83%、81.02%,BP 神经网络模型的灵敏度、特异度及准确度均明显高于其他两种,见表 3。

表 3 3 种模型检测的灵敏度、特异度及准确度 (%)

模型	灵敏度	特异性	准确度
logistic 回归分析模型	84.82	61.57	81.79
BP 神经网络模型	93.28	81.68	84.25
决策树模型	86.46	56.83	81.02

2.3 3 种模型检测的 AUC 比较

logistic 回归分析模型、BP 神经网络模型、决策树模型 3 种模型的 AUC 分别为 0.742、0.786、0.728,BP 神经网络模型的 AUC 明显高于 logistic 回归分析模型及决策树模型 ($P < 0.01$);而 logistic 回归分析模型与决策树模型的 AUC 比较,无统计学意义 ($P > 0.05$),见表 4、5。

表 4 3 种模型检测的 AUC

模型	AUC	标准误	95%CI
logistic 回归分析模型	0.742	0.036	0.692~0.782
BP 神经网络模型	0.786	0.026	0.738~0.814
决策树模型	0.728	0.034	0.696~0.780



图 1 12 周胎儿的头臀径

表 5 3 种模型的 AUC 比较

模型	Z	标准误	P
logistic 回归分析模型 vs. BP 神经网络模型	2.858	0.014	0.005
logistic 回归分析模型 vs. 决策树模型	0.315	0.007	0.760
BP 神经网络模型 vs. 决策树模型	3.046	0.014	0.001

3 讨 论

先天性心脏病属于先天性畸形中最常见的一种,其主要的致病原因主要是由于胎儿时期心脏发育障碍所引起。在年龄越小的人群中,先天性心脏病的发病率越高,病死率越高,且先天性心脏病手术的成功与否,在很大程度上取决于术前的诊断^[6]。因此,早期诊断先天性心脏病,并予以及时治疗,对于改善患儿的预后意义重大。CDU 作为早期诊断胎儿心脏形状、位置及功能的重要方法,具有无痛、无创且重复性较好的优势,但其对于某些复杂先天性心脏病的诊断较为费时,诊断率较低,且仍有部分先天性心脏病无法在产前被诊断出^[7]。因此,有必要针对先天性心脏病的 CDU 影像检查结果,通过建立数学模型来早期诊断先天性心脏病,从而降低患儿病死率,改善患儿预后。

数学模型包括神经网络、logistic 回归分析、决策树等多种方法,其中,决策树是一类算法的总称,包括 CHAID、CART、ID3、SLIQ 及 C5.0 等多种算法,其能够根据某种规则将研究对象分为不同亚群,使每个亚群中的因变量取值基本一致^[8]。决策树模型能够分析出每个影响因素与因变量关系的密切程度,其在处理定性资料时能够生成直观的且容易理解的结果。logistic 回归分析根据因变量的资料类型可以分为二分类、多分类等^[9],其中,二分类是较为常用的一种,其能够从众多复杂的因素中筛选出具有统计学意义的因素,并对各因素间的相互作用进行深入分析,从而评价疾病与各因素间的定量关系^[10]。侯继文^[11]在轻度认知障碍影响因素分析及决策树模型研究中发现,决策树分析结果显示受教育年限、受教育程度与痴呆的发病率明显相关,且经常饮茶能够保护老年人的认知功能,而 logistic 回归分析未能体现出来。认为决策树分析较 logistic 回归分析能够更为细致地发现影响痴呆发生的危险因素与保护因素。

神经网络使给予对人脑组织结构、活动机制的初步认识而提出的一种新型信息处理体系,BP 神经网络属于神经网络的一种,包括输入层、隐层、输出层,各层神经元仅与相邻层神经元相连^[12]。韩颖^[13]在预测儿童急性髓系白血病的预后研究中,结果显示,相较于 logistic 回归分析,BP 神经网络有着更高的准确度。灵敏度、特异度与准确度作为重要的评价指标对有效诊断先天性心脏病具有重要作用。本研究结果发现,BP

神经网络模型的准确度均明显高于 logistic 回归分析模型及决策树模型。BP 神经网络模型对于先天性心脏病的诊断具有更高的准确度。

有研究证实,AUC 的大小与实验的识别算法能正确区分正确与错误目标能力的大小关系密切^[14-15]。本研究中建立 logistic 回归分析、BP 神经网络及决策树模型 3 个数学模型,通过分析不同数学模型的 AUC,结果发现,BP 神经网络 AUC 明显高于 logistic 回归分析模型与决策树模型;此外,通过采用 Medical 软件对 3 种模型的 AUC 进行比较,结果发现,logistic 回归分析模型与 BP 神经网络模型比较及 BP 神经网络模型与决策树模型比较差异有统计学意义($P < 0.01$),而 logistic 回归分析模型与决策树模型比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。表明 BP 神经网络模型能够更为准确地诊断先天性心脏病的发生。

综上所述,相较于 logistic 回归分析模型与决策树模型,BP 神经网络模型诊断先天性心脏病灵敏度、特异度与准确度更高。但在临床实际应用中,可根据不同情况选择多种模型结合的方法进行疾病的诊断,以期能够更为准确地诊断疾病的发生。

参考文献

- [1] WOILE J M, DIRKS S, DANNE F, et al. Mismatch between self-estimated and objectively assessed exercise capacity in patients with congenital heart disease varies in regard to complexity of cardiac defects[J]. *Cardiol Young*, 2021, 31(1): 77-83.
- [2] WANG Y, WEI J, LIU G, et al. Effect of regular third-trimester ultrasound examination on antenatal detection and perinatal outcomes of small for gestational age infants[J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(2): 300060521989204.
- [3] KANDA T, NAKAJIMA A, SEKIGUCHI R, et al. Efforts to improve the accuracy of abdominal ultrasonic examination at screening[J]. *Nihon Shoukaki Gan Kenshin Gakkai zasshi*, 2019, 57(2): 177-185.
- [4] RYMARCYK T, GOBEK M, RYMARCYK P, et al. Examination of the impact of tank material on ultrasonic measurements[J]. *J Phys Conf Ser*, 2021, 1782(1): 012032.
- [5] MANDA-MVULA E, KAUNDA R B. Structural data collection for slope stability analysis using digital technology-a case study of melbur pit, UK[J]. *J Min Sci*, 2019, 55(1): 105-115.

- [6] QU Y, YANG B, LIN S, et al. Associations of greenness with gestational diabetes mellitus: The Guangdong Registry of Congenital Heart Disease (GRCHD) study[J]. *Environ Pollut*, 2020, 266(Pt 2):115127.
- [7] DELLA P G, DI B R, LATOUR K, et al. Combined use of color doppler ultrasound and contrast-enhanced ultrasound in the intraoperative armamentarium for arteriovenous malformation surgery[J]. *World Neurosurg*, 2021, 147(1): 150-156.
- [8] JIANG J F, ZHU X Y, HAN G J, et al. A dynamic trust evaluation and update mechanism based on C4.5 decision tree in underwater wireless sensor networks [J]. *IEEE Trans Veh Technol*, 2020, 69(8):9031-9040.
- [9] IMURA T, IWAMOTO Y, INAGAWA T, et al. Decision tree algorithm identifies stroke patients likely discharge home after rehabilitation using functional and environmental predictors [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(4): 105636.
- [10] YI Y, LI X, JIA J, et al. Effect of behavioral factors on severity of female pattern hair loss: an ordinal logistic regression analysis[J]. *Int J Med Sci*, 2020, 17(11):1584-1588.
- [11] 侯继文. 轻度认知障碍影响因素分析及决策树模型研究[D]. 青岛:青岛大学, 2020.
- [12] HE H, YAN H, LIU W. Intelligent teaching ability of contemporary college talents based on BP neural network and fuzzy mathematical model[J]. *J Intell Fuzzy Sys*, 2020, 39(9):1-11.
- [13] 韩颖. 应用人工神经网络构建儿童急性髓系白血病预后模型[D]. 长春:吉林大学, 2020.
- [14] AKTER O, MONI M A, ISLAM M M, et al. Lung cancer detection using enhanced segmentation accuracy[J]. *Applied Intelligence*, 2021, 51(6): 3391-3404.
- [15] YIN J, MUTISO F, TIAN L. Joint hypothesis testing of the area under the receiver operating characteristic curve and the Youden index[J]. *Pharm Stat*, 2021, 20(3):657-674.

(收稿日期:2021-09-08 修回日期:2022-02-21)

(上接第 1911 页)

- [6] 徐文俊, 刘强晖, 施林燕, 等. 肺部感染控制窗确定序贯通气转换时机在重症肺炎伴呼吸衰竭疗效及预后中的作用[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2021, 16(8):891-894.
- [7] 冯丽伟, 赵岳, 王斌, 等. 机械通气患者二次插管的影响因素分析[J]. *天津医科大学学报*, 2020, 26(1):22-27.
- [8] 李勋济, 柳俊杰, 欧阳长法, 等. 便携式纤维支气管镜引导经鼻气管插管在抢救呼吸衰竭患者中的应用[J]. *广东医学*, 2020, 41(6):580-584.
- [9] 林应川, 马雪松, 于瀛, 等. 气管插管相关并发症及气管内局部用药的研究进展[J]. *中国急救医学*, 2019, 39(5):497-501.
- [10] 李镇, 郑辉才. 无创正压机械通气治疗急性加重期慢性阻塞性肺疾病合并 II 型呼吸衰竭的效果[J]. *中国老年学杂志*, 2018, 38(2):378-380.
- [11] 杨平, 蒲亨萍, 刘榜英, 等. 无创正压通气治疗对急性呼吸衰竭患者拔管后再插管和病死情况的影响[J]. *中国现代医学杂志*, 2018, 28(30):88-92.
- [12] 单梦田, 兰超, 陈荣昌, 等. 头罩与面罩无创通气在急性呼吸衰竭中的随机对照研究[J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(8):1010-1016.
- [13] 刘晓娟, 曹大伟, 张新日. 高流量氧疗和无创通气在 COPD 伴轻度 II 型呼吸衰竭患者中的应用比较[J]. *中国实验诊断学*, 2019, 23(9):1581-1582.
- [14] 刘欣, 周发春, 刘筑, 等. 经鼻高流量氧疗预防术后呼吸衰竭疗效的 meta 分析[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2018, 25(3):237-241.
- [15] WANG Y, NI Y, SUN J, et al. Use of high-flow nasal cannula for immunocompromise and acute respiratory failure: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Emerg Med*, 2020, 58(3): 413-423.
- [16] MACÉ J, MARJANOVIĆ N, FARANPOUR F, et al. Early high-flow nasal cannula oxygen therapy in adults with acute hypoxemic respiratory failure in the ED: A before-after study[J]. *Am J Emerg Med*, 2019, 37(11):2091-2096.

(收稿日期:2021-09-27 修回日期:2022-02-25)