文章编号:1000-5854(2026)05-0498-09

老年缺血性心肌病患者多模态超声和 hs-CRP 检测对心肌缺血的诊断效能及严重程度评估价值

沈　健[1]，　王丽莉[2]，　孙启玉[3]，　张皓然[4]，　李　莎[5]

(1.承德医学院附属医院 神经功能检查室,河北 承德　067000; 2.承德市中心医院 神经诊断科,河北 承德　067000;
3.承德医学院附属医院 南区检验科,河北 承德　067000; 4.承德医学院附属医院 心脏内科,河北 承德　067000;
5.承德医学院附属医院 超声科,河北 承德　067000)

摘　要:本研究探讨了多模态超声参数、臂踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity,baPWV)、血清高敏 C 反应蛋白(high-sensitivity C-reactive protein,hs-CRP)水平对老年缺血性心肌病患者心肌缺血的诊断价值及病情评估的意义.选取 186 例患者与 60 例健康对照者,均接受多模态超声(检测颅内动脉及颈动脉内中膜厚度)、baPWV 和 hs-CRP 检测.根据 Gensini 评分将患者分为低、中、高危组.结果显示,Gensini 评分与 baPWV、hs-CRP 以及多模态超声参数呈正相关.单因素及多元分析表明,baPWV、hs-CRP 及多模态超声指标是影响病情的独立因素.ROC 分析显示,各项指标单独诊断效能良好,联合检测(baPWV＋hs-CRP＋多模态超声)诊断价值最高(AUC＝0.994).老年缺血性心肌病患者的 baPWV、hs-CRP 及多模态超声参数与病情严重程度正相关,联合检测有更优越的诊断效能,值得临床推广应用.

关键词:缺血性心肌病; 病变严重程度; 多模态超声; 臂踝脉搏波传导速度; 高敏 C 反应蛋白

中图分类号:R 541.4　　**文献标志码**:A　　**DOI**:10.13763/j.cnki.jhebnu.nse.202604013

Diagnostic efficacy and severity evaluation value of multimodal ultrasound and hs-CRP detection for myocardial ischemia in elderly patients with ischemic cardiomyopathy

Shen Jian[1]，　Wang Lili[2]，　Sun Qiyu[3]，　Zhang Haoran[4]，　Li Sha[5]

(1.Neurological Examination Room,Affiliated Hospital of Chengde Medical University,Chengde Hebei　067000,China;
2.Department of Neurodiagnosis,Chengde Central Hospital,Chengde Hebei　067000,China;
3.Southern Inspection Department,Affiliated Hospital of Chengde Medical University,Chengde Hebei　067000,China;
4.Department of Cardiology,Affiliated Hospital of Chengde Medical University,Chengde Hebei　067000,China;
5.Ultrasound Department,Affiliated Hospital of Chengde Medical University,Chengde Hebei　067000,China)

Abstract: This study explores the value of multimodal ultrasound parameters, brachial-ankle pulse wave velocity(baPWV), and serum high-sensitivity C-reactive protein(hs-CRP) levels in diagnosing myocardial ischemia and assessing disease severity in elderly patients with ischemic cardiomyopathy. A total of 186 patients and 60 healthy controls were selected, all of whom underwent multimodal ultrasound (detecting intracranial arteries and carotid intima-media thickness), baPWV, and hs-CRP testing. Patients were divided into low-, medium-, and high-risk groups based on Gensini scores. Results indicated that

收稿日期:2025-07-14; **修回日期**:2025-11-05

基金项目:河北省自然科学基金(H2022406047); 河北省承德市科学技术研究与发展计划项目(202401A003)

作者简介:沈　健(1985-),男,河北承德人,主治医师,研究方向为血管超声.

通信作者:沈　健(1985-),男,主治医师,研究方向为血管超声.E-mail:276815693@qq.com

Gensini scores were positively correlated with baPWV, hs-CRP, and multimodal ultrasound parameters. Univariate and multivariate analyses showed that baPWV, hs-CRP, and multimodal ultrasound indicators were independent factors influencing disease severity. ROC curve analysis revealed that each individual indicator had good diagnostic performance, while combined detection (baPWV + hs-CRP + multimodal ultrasound) demonstrated the highest diagnostic efficacy (AUC = 0.994). In elderly patients with ischemic cardiomyopathy, baPWV, hs-CRP, and multimodal ultrasound parameters are positively correlated with disease severity, and combined detection offers superior diagnostic performance, making it suitable for clinical application.

Key words: ischemic cardiomyopathy; severity of the lesion; multimodal ultrasound; brachial-ankle pulse wave velocity; high-sensitivity C-reactive protein

冠心病是指冠脉粥样硬化为基础的心血管疾病，亦称缺血性心肌病，主要病理特征为脂质代谢异常、动脉粥样硬化、心肌缺氧缺血等，是威胁老年人生命安全最常见的疾病之一[1]。流行病学显示，随着人口老龄化进程的推进，冠心病的发病率和致死率呈现逐年上升趋势，2014 年发病率城乡总体高达 7.7‰，城市死亡率为 1.075‰，农村死亡率为 1.054‰，严重增加我国医疗系统负担[2]。冠心病的发生、发展与高血压、糖尿病、高脂血症及吸烟等因素共同作用有关，炎症反应、氧化应激是危险因素发挥致病作用的重要中间机制，同时冠脉粥样硬化造成的损伤不可逆，临床若能及时筛查并控制病情，对降低冠心病发生率，改善预后等具有重要价值[3-4]。冠状动脉造影是目前临床诊断冠心病的金标准，可通过造影剂显示冠脉血管腔实际情况，但其有创，临床依从性低，且确诊时可能病变程度已较为严重，时效性较差[5]。经颅多普勒超声（transcranial Doppler，TCD）可依据超声多普勒效应检测颅内血管回波信号，追踪血管走向，评测血管狭窄处血流动力学。颈部血管超声评价颈动脉内-中膜厚度（intima media thickness，IMT），颈动脉内-中膜厚度与冠脉病情明显相关[6]。动脉弹性的变化是动脉粥样硬化血管早期的一个标志物，与动脉管腔及管壁硬度紧密相关，使用臂踝脉搏波传导速度（brachial-ankle pulse wave velocity，baPWV）可以有效地评估动脉血管的弹性标志[7]。高敏 C 反应蛋白（hypersensitive-C-reactive protein，hs-CRP）是临床常见的炎症反应标志物，冠状病变亦与炎症相关，3 者均与冠脉粥样硬化相关[8]，但联合应用于冠心病病变严重程度的研究相对较少，因而本文探讨了老年冠心病患者多模态超声检查颅内外血管病变联合 baPWV、血清 hs-CRP 水平检测与其缺血性心肌病病变严重程度的关系，旨在为临床缺血性心肌病预防和检出率的提高提供依据。

1 资料与方法

1.1 资 料

本研究已获本院伦理委员会批准，并得到患者及家属的知情同意。研究时间为 2019 年 1 月至 2021 年 9 月，纳入本院 186 名接受治疗的老年缺血性心肌病患者作为观察组，包括 145 名男性和 41 名女性；患者年龄介于 62～78 岁，平均年龄为 69.82 岁（标准差 2.87 岁）；并选取同期行健康检查志愿者 60 例作为对照组，包括 51 名男性和 9 名女性；其年龄范围为 64～76 岁，平均年龄为 69.97 岁（标准差 2.01）。2 组在年龄和性别分布上差异不显著（$P>0.05$），表明 2 组具备相当的比较性。

纳入条件：1）所有参与者均由冠状动脉造影确认患有缺血性心肌病[9]；2）年龄介于 60～80 岁；3）患者为首次确诊的缺血性心肌病患者，未经历过系统性治疗，接受多普勒超声检查；4）患者病历完整，受教育程度不低于小学，无精神障碍，能够进行正常交流；5）患者和家属已了解研究细节并签署知情同意书。

排除条件：1）存在继发性颅内出血、脑血管异常或恶性肿瘤的病人；2）存在血液凝固功能障碍的病人；3）患有自身免疫疾病或严重感染的病人；4）患有心肌梗塞、心脏瓣膜病或先天性心脏病的病人；5）曾经进行过冠状动脉介入治疗的病人；6）不同意接受超声颅内外血管超声、baPWV 和 hs-CRP 检查或不愿提供基本健康信息的病人。

1.2 Gensini 积分[10]

根据冠脉管腔狭窄程度赋予不同系数，狭窄≤25%，权重系数为 1 分；25%＜狭窄≤50%，赋值 2；50%＜狭窄≤75%，赋值 4；75%＜狭窄≤90%，赋值 8；90%＜狭窄≤99%，赋值 16；狭窄 100%时赋值 32。将

冠脉分成 15 个节段，不同节段和部位的权重系数各有差异，具体细节见表 1.Gensini 积分为冠脉狭窄权重系数和各节段病变血管的权重系数，评分结果为各节段血管分支之和，根据评分结果，依据多篇文献[11-12]，将冠心病组患者分成低分组（＜20 分，n ＝ 41）、中分组（20 ～ 40 分，n ＝89）和高分组（＞40 分，n ＝56）.

表 1　Gensini 积分法中冠脉不同节段权重系数

Tab.1　Weight coefficients of different segments of coronary using Genisini integral method

冠脉不同节段和部位	权重系数
左主干	5
左前降支近段	2.5
左前降支中段	1.5
左前降支远段	1
第一对角支	1
第二对角支	0.5
左回旋支近段	2.5
左回旋支远段	1
钝缘支	1
左回旋支后降支	1
右冠状动脉近段	1
右冠状动脉中段	1
右冠状动脉远段	1
右冠状动脉后降支	1
后侧支	0.5

1.3　超声检查颅内外血管病变

采用德国 DWL 生产的 TCD 来进行颅内动脉的检测.使用 2 MHz 的探头，对参与者的颞窗区域进行扫描.通过这种方式，利用冻结图像技术成功捕捉大脑中动脉（media cerebal artery，MCA）、大脑前动脉（anterior cerebal artery，ACA）以及大脑后动脉（posterior cerebal artery，PCA）的详细图像，同时依据血管长度，获得各动脉的血流速度.本研究采用收缩期峰值流速作为评价颅内动脉（MCA、ACA、PCA）血流动力学的主要指标，并依据《中国脑卒中血管超声检查指导规范》[13]推荐的异常标准进行判定：MCA 异常为 PSV≥140 cm/s；ACA 异常为 PSV≥120 cm/s；PCA 异常为PSV≥100 cm/s；血流速度异常定义为收缩期峰值流速超过上述相应动脉的临界值.采用日本日立公司生产的 HI VISION Avius 的彩色多普勒超声检测仪，选取探头频率为 5.0～13.0 MHZ 线阵探头、4.0～8.0 MHZ 凸阵探头，测定颈总动脉内中膜厚度（intima media thickness，IMT），仪器经过校验和验证，超声操作人为本科室 2 名高年资影像学医师，操作者资质相同，均经过统一培训，操作者不知晓患者分组及临床资料，独立评估超声参数.

1.4　baPWV

所有受试者均使用日本欧姆龙 HBP-8000 型号的动脉硬化检测仪进行测量，患者进行相应准备，测量室保持适宜温湿度，脱掉鞋袜，摘取金属饰品，取仰卧体位，休息 5 min 后测量.首先给予受试者 12 cm×40 cm 袖带，系于双侧肱动脉和踝动脉，启动血压脉搏检测仪，自动检测四肢动脉血压，记录动脉脉搏波形，计算 baPWV 值.

1.5　血清 hs-CRP 水平

在患者入院后，收集 3 mL 空腹肘部静脉血样，存放于含有促凝剂的试管中.随后使用北京白洋医疗器械有限公司生产的 BY-400C 型离心机进行处理，设定转速为 4 000 r/min，离心半径 8 cm，温度控制在 4 ℃，离心时间为 10 min.血清中的 hs-CRP 值通过德国西门子公司的 BNLL 全自动特种蛋白分析仪进行测量，采用配套的 N Latex CRP II 试剂盒（货号：OQRE13/OQRF13），严格遵循产品说明书进行操作.该试剂盒采用免疫散射比浊法，其性能参数如下：检测灵敏度（最低检测限）为≤0.175 mg/L；检测范围（线性范围）为 0.2～1 100 mg/L；参考范围（正常值）为 ＜3.0 mg/L；异常值判定标准中血清 hs-CRP≥3.0 mg/L 定义为升高.

1.6　基线资料收集

课题组的成员独立设计了一份调查问卷，涵盖诸如年龄、性别、体质指数、吸烟史、饮酒史、高脂血症、高血压、高血糖、家族遗传史及血脂代谢指标等信息.为确保数据的准确性和可靠性，本调查由 2 人进行复核.

1.7　统计学

采用 SPSS 25.0 软件进行数据分析.计量资料若符合正态分布，以均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，2 组间比较采用独立样本 t 检验，多组间比较采用单因素方差分析；计数资料以例数（百分比）表示，组间比较采用 χ^2 检验.相关性分析采用 Pearson 相关分析法.应用 ROC 曲线评估多模态超声、baPWV 及 hs-CRP 对冠状动脉病变的诊断效能.采用多元线性逐步回归分析探讨冠心病病变严重程度的影响因素.P ＜0.05 差异有统计学意义.

2 结 果

2.1 多模态超声参数

观察组患者的 MCA、ACA、PCA 血流速及 IMT 水平显著高于对照组($P<0.001$),见表 2.

表 2 2 组受试者多模态超声参数比较

Tab.2 Comparison of multimodal ultrasound parameters between two groups of subjects

参数	观察组($n=186$)	对照组($n=60$)	t	P
MCA/(m·s^{-1})	1.89±0.31	0.83±0.09	41.523	<0.001
ACA/(m·s^{-1})	1.99±0.41	0.84±0.20	29.019	<0.001
PCA/(m·s^{-1})	1.34±0.20	0.79±0.09	29.396	<0.001
IMT/mm	0.96±0.10	0.69±0.11	17.741	<0.001

注:观察组和对照组的数据用($\bar{x}\pm s$)表示.

2.2 baPWV 和血清 hs-CRP

观察组患者的 baPWV 和 hs-CRP 水平显著高于对照组($P<0.001$),见表 3.

表 3 2 组受试者 baPWV 和血清 hs-CRP 比较

Tab.3 Comparison of baPWV and serum hs-CRP between two groups

类别	观察组($n=186$)	对照组($n=60$)	t	P
baPWV/(cm·s^{-1})	1 772.03±109.77	1 023.12±131.20	43.742	<0.001
hs-CRP/(mg·L^{-1})	6.73±1.12	1.25±0.31	59.986	<0.001

注:观察组和对照组的数据用($\bar{x}\pm s$)表示.

2.3 相关性分析

相关性分析显示,Gensini 积分与 baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 及 IMT 呈正相关($r=0.453$、0.504、0.719、0.511、0.128 和 0.123,$P<0.001$),见表 4.

表 4 冠心病病变严重程度与多模态超声、baPWV 和 hs-CRP 的相关性分析

Tab.4 Correlation analysis between the severity of coronary heart disease lesions and multimodal ultrasound, baPWV and hs-CRP

类型	Gensini 积分	
	r	P
baPWV	0.453	<0.001
hs-CRP	0.504	<0.001
MCA	0.719	<0.001
ACA	0.511	<0.001
PCA	0.128	<0.001
IMT	0.123	<0.001

2.4 冠心病病变程度单因素分析

单因素分析结果显示:高血脂症、高血糖、吸烟史、饮酒史、年龄、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、总胆固醇、甘油三酯、baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA、IMT 在不同冠心病病变程度组间比较差异具有统计学意义($P<0.05$),见表 5.

表 5　冠心病病变程度单因素分析

Tab.5　Univariate analysis of the severity of coronary artery disease

项目	组份	低分组(n=41)	中分组(n=89)	高分组(n=56)	统计量	P
人口学资料	性别				χ^2=0.329	0.848
	男性	31(75.61)	69(77.53)	45(80.36)		
	女性	10(24.39)	20(22.47)	11(19.64)		
	年龄	67.30±4.01	69.01±3.22	71.02±2.87	F=15.326	<0.001
心血管危险因素	高血脂症	4(9.76)	12(13.48)	20(35.71)	χ^2=13.988	0.001
	高血压	6(14.63)	9(10.11)	4(7.14)	χ^2=1.450	0.484
	高血糖	6(14.63)	7(7.87)	14(25.00)	χ^2=8.133	0.017
	家族遗传史	2(4.88)	4(4.49)	7(12.50)	χ^2=3.749	0.153
	吸烟史	2(4.88)	9(10.11)	13(23.21)	χ^2=8.264	0.016
	饮酒史	5(12.20)	11(12.36)	16(28.57)	χ^2=7.269	0.026
	体质指数/(kg·m^{-2})	24.58±2.01	24.88±1.98	24.76±2.04	F=1.275	0.317
既往病史	脑卒中史	2(4.88)	5(5.62)	4(7.14)	χ^2=0.245	0.885
	慢性肾病	3(7.32)	7(7.87)	6(10.71)	χ^2=0.465	0.792
	外周动脉疾病	2(4.88)	8(8.99)	7(12.50)	χ^2=1.661	0.436
主要用药史	他汀类药物(任一)	28(68.29)	51(57.30)	41(73.21)	χ^2=4.129	0.127
	阿托伐他汀(20～40 mg·d^{-1})	17(41.46)	30(33.71)	25(44.64)	χ^2=2.018	0.365
	瑞舒伐他汀(10～20 mg·d^{-1})	11(26.83)	21(23.60)	16(28.57)	χ^2=0.512	0.774
	抗血小板药物(任一)	19(46.34)	55(61.80)	39(69.64)	χ^2=5.468	0.065
	阿司匹林(75～100 mg·d^{-1})	14(34.15)	39(43.82)	30(53.57)	χ^2=4.216	0.122
	氯吡格雷(75 mg·d^{-1})	5(12.20)	16(17.98)	9(16.07)	χ^2=0.846	0.655
	β受体阻滞剂	13(31.71)	42(47.19)	31(55.36)	χ^2=5.388	0.068
	ACEI/ARB	16(39.02)	45(50.56)	33(58.93)	χ^2=3.751	0.153
	SGLT2 抑制剂	2(4.88)	6(6.74)	7(12.50)	χ^2=2.258	0.323
实验室指标	低密度脂蛋白/(mmol·L^{-1})	2.37±0.45	2.59±0.39	2.81±0.40	F=14.008	<0.001
	高密度脂蛋白/(mmol·L^{-1})	1.33±0.29	1.20±0.31	1.08±0.20	F=9.717	<0.001
	甘油三酯/(mmol·L^{-1})	1.58±0.20	1.79±0.19	2.03±0.22	F=60.374	<0.001
	总胆固醇/(mmol·L^{-1})	3.89±0.45	4.10±0.39	4.30±0.42	F=11.771	<0.001
	baPWV/(cm·s^{-1})	1 522.30±99.23	1 688.34±87.09	1 902.32±101.23	F=105.833	<0.001
	hs-CRP/(mg·L^{-1})	4.05±0.31	6.02±0.34	7.56±0.25	F=121.450	<0.001
	MCA/(m·s^{-1})	0.89±0.21	1.23±0.20	1.55±0.36	F=76.586	<0.001
	ACA/(m·s^{-1})	0.84±0.20	1.23±0.29	1.50±0.31	F=66.061	<0.001
	PCA/(m·s^{-1})	0.89±0.10	1.09±0.15	1.35±0.21	F=99.166	<0.001
	IMT /(mm)	0.69±0.12	0.81±0.11	1.03±0.32	F=37.824	<0.001
	eGFR/(mL·min^{-1}·1.73 m^{-2})	81.32±14.99	80.32±12.65	81.56±10.43	F=0.194	0.824
	HbA1c/%	6.24±0.67	6.33±0.54	6.41±0.98	F=0.659	0.518
	NT-proBNP/(pg·mL^{-1})	449.12±12.34	447.30±10.65	450.32±11.54	F=1.325	0.268

注：ACEI/ARB.血管紧张素转换酶抑制剂/血管紧张素 Ⅱ 受体拮抗剂；SGLT2.钠-葡萄糖协同转运蛋白 2；baPWV.臂踝脉搏波传导速度；hs-CRP.高敏 C 反应蛋白；MCA.大脑中动脉；ACA.大脑前动脉；PCA.大脑后动脉；IMT.颈动脉内中膜厚度；eGFR.估算肾小球滤过率值；HbA1c.糖化血红蛋白；NT-proBNP.N 端脑钠肽前体；括号里面的数据均为百分比.

2.5　多元线性回归分析

在进行多元线性回归分析时，以 Gensini 积分作为因变量，以统计学上显示基线资料差异显著的指标作为自变量，方差膨胀因子(variance inflation factor，VIF)<10，不存在共线性关系，向前逐步回归分析，结果显示，baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 均为冠心病病变严重程度的独立预测因子(P<0.05)，回归分析模型为 4.761+0.596×baPWV+0.245×hs-CRP+1.066×MCA+1.098×ACA+0.989×PCA+0.777×

IMT，见表 6 和表 7.结果显示 $\chi^2=3.85$，$P=0.86$（$P>0.05$），提示模型预测值与实际冠脉病变程度一致性良好，校准度合格.

表 6　回归模型拟合结果

Tab.6　Fitting results of the regression model

模型类型	纳入变量	R^2	调整 R^2	模型 P 值
基础模型	高血压、糖尿病、血脂异常、吸烟史、BMI 等传统危险因素	0.32	0.29	＜0.001
扩展模型	基础模型＋MCA、ACA、PCA、IMT（超声参数）	0.69	0.66	＜0.001
完整模型	扩展模型＋baPWV＋hs-CRP	0.89	0.88	＜0.001

表 7　多元逐步回归分析

Tab.7　Multiple stepwise regression analysis

自变量	偏回归系数 β	标准误	95%CI 值	t	P	VIF
baPWV	0.596	0.328	0.271～0.921	2.732	0.006	1.85
hs-CRP	0.245	0.108	0.035～0.455	2.269	0.023	1.52
MCA	1.066	0.123	0.825～1.307	10.660	＜0.001	2.13
ACA	1.098	0.342	0.430～1.766	3.211	＜0.001	1.98
PCA	0.989	0.112	0.770～1.208	8.830	＜0.001	1.76
IMT	0.777	0.347	0.101～1.453	2.239	0.025	1.69
常数项	4.761	0.883	—	5.392	＜0.001	—

注：baPWV.臂踝脉搏波传导速度；hs-CRP.高敏 C 反应蛋白；MCA.大脑中动脉；ACA.大脑前动脉；PCA.大脑后动脉；IMT.颈动脉内中膜厚度.

2.6　诊断效能

在 ROC 曲线分析中，参考既往研究及临床实践中对冠脉病变严重程度的分层标准，Gensini 积分 ≤40 分为非重度病变，＞40 分为中重度及重度冠脉病变.以 baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 作为检验变量，以冠心病变严重程度（0＝“≤40 分”；1＝“＞40 分”）为状态标量，“1-特异性”为 X 轴、以“敏感度”为 Y 轴，绘制得 ROC 曲线.

根据 ROC 曲线分析，对于 baPWV，最佳诊断阈值是 1 398.03 cm/s，具有 60.71%的敏感度和 60.77%的特异性，AUC 为 0.760（95%CI：0.707～0.812）.对 hs-CRP 而言，最佳诊断阈值为 3.25 mg/L，其敏感度为80.36%，特异性为 79.23%，AUC 值为 0.869（95% CI：0.831～0.907）.在 MCA 诊断中，最佳临界值定为1.41 m/s，敏感度为 61.29%，特异性为 60.00%，AUC 为 0.676（95%CI：0.612～0.741）.ACA 的最佳诊断阈值是 1.43 m/s，敏感度和特异性分别为 62.50%和74.62%，AUC 为 0.809（95%CI：0.759～0.860）.PCA 的最佳诊断阈值是 1.01 m/s，敏感度为 60.22%，特异性为65.38%，AUC 为 0.708（95%CI：0.645～0.772）.IMT 的最佳诊断阈值是 0.90 mm，敏感度为 58.93%，特异性为 60.00%，AUC 为 0.816（95%CI：0.768～0.864）；多指标联合回归预测模型诊断效能表明敏感度为 96.43%，特异性为 96.15%，AUC 为（95%CI：0.989～0.999），显示出具有诊断效力，见图 1.

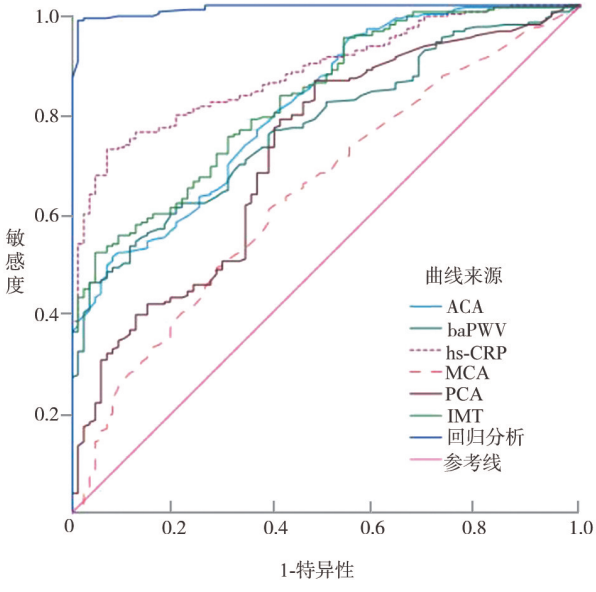


图 1　ROC 曲线图

Fig.1　ROC curve

为评估联合预测模型（baPWV＋hs-CRP＋多模态超

声参数)的泛化能力及潜在过拟合风险,对 186 例老年缺血性心肌病患者数据进行 5 折交叉验证(将数据集随机分为 5 个等比例子集,每次以 4 个子集为训练集、1 个子集为测试集,重复 5 次后取均值).结果显示,模型经 5 折交叉验证后的平均 AUC 为 0.886±0.032(95% CI:0.821～0.951),对应的平均灵敏度为 89.3%±2.1%,平均特异度为 87.6%±1.8%;与原始训练集 AUC 为 0.994(95% CI:0.989～0.999)相比,交叉验证后 AUC 更贴近临床实际诊断场景,提示模型过拟合风险得到有效控制,泛化能力尚可.

3 讨 论

冠心病是责任心肌供血冠脉发生粥样硬化性阻塞或狭窄的心血管疾病,临床表现为胸骨后压榨性疼痛、低血压、发热及休克等,且心肌缺血损伤不可逆,及时筛选并根据冠脉病变程度给予针对性治疗,可有效缓解患者临床症状,改善预后[14-15].目前临床以冠脉造影为金标准,同时依据 Gensini 积分法评估冠脉病变程度,在指导冠心病治疗上有一定的临床价值,但时效性较弱,且检测专业度高,易延误最佳治疗时机[16],因而临床寻找有效因子,分析其与冠脉病变程度的相关性,对提高临床有效率,优化患者生活质量具有重要临床价值.多模态血管超声是无创检查,可依据超声多普勒效应跟踪血管走向,根据血流速度评估血管狭窄处血流动力学及血管内-中膜厚度,进而判断冠脉血管病变情况[17];baPWV 是评估血管整体的弹性、顺应性与僵硬度,而弹性、顺应性与僵硬度和心血管疾病病变及其致残、致死率密切相关[18];而血清 hs-CRP 是临床检测心脑血管炎性疾病常见标志物.3 者均与冠脉动脉粥样硬化相关,但 3 者联合应用于冠脉病变程度的研究相对较少,因而本文纳入 186 例冠心病患者,采用单因素和多元线性回归分析,探讨上述指标间的相关性,旨在为临床应用提供依据.

结果表明,观察组患者 MCA、ACA、PCA、IMT、baPWV 和 hs-CRP 水平明显高于对照组($P<0.05$);相关性分析显示,Gensini 积分与 baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 呈正相关($r=0.453$、0.504、0.719、0.511、0.128 和 0.128,$P<0.001$);冠心病病变程度与高血脂症、高血糖、吸烟历史、饮酒历史、年龄、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、总胆固醇、甘油三酯、baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 之间的差异具有统计学意义.进一步比较 ROC 曲线和多元线性回归分析,以 baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 为检验变量,以冠心病变严重程度(0="≤40 分";1="＞40 分")为状态标量绘制 ROC 曲线,提示上述因子均有预测价值,且多重线性回归分析表明,baPWV、hs-CRP、MCA、ACA、PCA 和 IMT 是患者冠心病病变严重程度的独立影响因素($P<0.05$).分析认为,颅内动脉狭窄可能反映全身动脉粥样硬化负荷,与冠状动脉病变存在共病机制.冠心病发病机制较为复杂,主要与脂肪浸润、血小板聚集及内皮损伤等相关,即随着年龄增加,血管管腔出现狭窄后,病变局部血流速度增快,血管内膜粗糙,脂质易沉淀于血管内膜,形成粥样硬化斑块;长期高血压使得冠脉血管壁遭受剪切应力、牵张力等,极易损伤血管内膜.baPWV 是动脉血管弹性及动脉僵硬度的指标,顾静彧等[19]证实,baPWV 数值的增加可提高动脉硬化发生的风险,与本研究结果一致.常规的肌钙蛋白、肌酸激酶同工酶等在心肌缺血早期常为阴性,易造成漏诊、误诊,而 hs-CRP 是炎性标志物,冠脉病变的本质是炎症反应,其在动脉粥样硬化发生时即开始异常表达,且敏感度高于 CRP,当心肌缺血持续存在或冠脉病变严重时,其水平亦会持续增加,可作为预测冠心病的独立影响因素[20],同时本研究结果表明,其与冠心病严重程度呈正相关,且王科等[21]证实,炙甘草汤加五参颗粒可有效改善冠心病患者病症,降低血清 hs-CRP 水平,与本文结果一致.MCA、ACA、PCA、IMT 等是颈脑血管超声的常规参数,临床可通过血管走向等检测血流速度、血管内-中膜厚度,以诊断冠心病的发生和进程,且临床研究证实[22],TCD 可有效诊断颅内动脉狭窄程度,颈动脉血管超声可根据特征超声形态诊断颈动脉狭窄.本研究联合检测方案(baPWV＋hs-CRP＋多模态超声)对老年缺血性心肌病患者具有重要临床意义,老年患者普遍存在耐受性差、合并症多(如高血压、糖尿病、肾功能不全等)的生理特点,传统的冠脉造影(coronary angiography,CAG)存在一定操作风险,而本研究采用的检测手段均为无创检查,且操作便捷、可重复开展,无需特殊准备,更适合老年人群的反复病情评估.此外,基于本研究结果,联合检测指标异常的患者冠脉病变严重程度更高(Gensini 积分更高),临床可将该联合方案作为老年患者冠脉风险分层工具,对于联合指标异常的高风险患者,可制定更积极的治疗策略,如强化降脂(他汀类药物足量应用)、抗炎(必要时联合抗炎药物)及抗血小板治疗,同时缩短随访间隔,加强病情监测;对于低风险患者,可采用常规治疗方案,避免过度医疗,从而实现个体化诊疗,优化临床治疗决策.

综上所述，老年缺血性心肌病患者多模态超声、臂踝脉搏波传导速度、血清高敏C-反应蛋白与缺血性心肌病病变严重程度呈正相关，值得临床进一步研究并推广.本研究存在多方面局限性，需在后续研究中完善：其一，研究对象局限于已确诊的缺血性心肌病患者，仅通过CAG联合Gensini积分评估冠脉病变严重程度，未纳入存在CAG禁忌症（如严重肾功能不全、造影剂过敏等）的疑似缺血性心肌病患者，未能覆盖更广泛的临床人群；其二，研究设计为单中心回顾性横断面研究，一方面仅分析基线时联合检测指标（baPWV＋hs-CRP＋多模态超声）与冠脉病变严重程度的相关性，未对患者进行2～5年长期随访，无法证实指标异常与心肌梗死发生率、再入院率、死亡率等不良预后的关联，临床价值缺乏充分验证，另一方面单中心、样本量相对有限的特点可能导致选择偏倚，影响结果的广泛适用性；其三，采用的回归模型缺乏外部验证，模型稳健性和推广性不足，且研究对象聚焦老年患者，结果在其他年龄段或不同人群中的适用性仍需进一步验证.针对上述局限，未来研究可从以下方向推进：1）扩大研究对象范围，纳入存在CAG禁忌症的疑似缺血性心肌病患者，以冠脉钙化积分作为评估背景，与本研究的联合检测方案相结合，通过无创手段早期明确患者冠脉病变风险，为无法耐受CAG的患者提供便捷的病情评估工具，助力早期诊疗方案调整；2）优化研究设计，开展多中心、大样本的前瞻性随访研究，一方面对现有研究对象进行长期随访，追踪不良预后事件发生情况，明确联合检测指标对远期预后的预测价值，另一方面通过多中心数据提升研究外部效度，同时补充模型外部验证，增强其稳健性和推广性；3）拓展研究适用人群，验证联合检测方案在非老年人群及其他特征人群中的适用性，进一步扩大研究的临床应用场景.

参考文献：

[1] Hou X Z，Wu Q，Lv Q Y，et al.Development and external validation of a risk prediction model for depression in patients with coronary heart disease[J].Journal of Affective Disorders，2024，367：137-147.DOI：10.1016/j.jad.2024.08.218.

[2] 陈伟伟，高润霖，刘力生，等.中国心血管病报告2015概要[J].中国循环杂志，2016，31(6)：521-528.
Chen Weiwei，Gao Runlin，Liu Lisheng，et al.Summary of China cardiovascular disease report 2015[J].Chinese Circulation Journal，2016，31(6)：521-528.

[3] Abramowitz S A，Boulier K，Keat K，et al.Evaluating performance and agreement of coronary heart disease polygenic risk scores[J].JAMA，2025，333(1)：60-70.DOI：10.1001/jama.2024.23784.

[4] Li Y J，Li D，Lin J，et al.Proteomic signatures of type 2 diabetes predict the incidence of coronary heart disease[J].Cardiovascular Diabetology，2025，24(1)：120.DOI：10.1186/s12933-025-02670-3.

[5] Kunadian V，Mossop H，Shields C，et al.Invasive treatment strategy for older patients with myocardial infarction[J].New England Journal of Medicine，2024，391(18)：1673-1684.DOI：10.1056/nejmoa2407791.

[6] Palazzo P，Heldner M R，Nasr N，et al.Transcranial Doppler with microbubbles：screening test to detect and grade right-to-left shunt after an ischemic stroke：a literature review[J].Stroke，2024，55(12)：2932-2941.DOI：10.1161/strokeaha.124.046907.

[7] Kyriakoulis K G，Chatzopoulos M，Komnianou A，et al.Brachial-ankle versus carotid-femoral pulse wave velocity：a systematic review and meta-analysis[J].Journal of Hypertension，2025，43(11)：1773-1786.DOI：10.1097/HJH.0000000000004131.

[8] Guo L，Zhang N，Fan X H，et al.The effect of hypersensitive C-reactive protein to albumin ratio on the risk of fragility fracture in the Chinese male population[J].Osteoporosis International，2025，36(4)：685-694.DOI：10.1007/s00198-025-07428-x.

[9] 中华医学会，中华医学会杂志社，中华医学会全科医学分会，等.稳定性冠心病基层诊疗指南（实践版·2020）[J].中华全科医师杂志，2021，20(3)：274-280.DOI：10.3760/cma.j.cn114798-20210120-00080.
Chinese medical association.Guideline for primary care of stable coronary artery disease：practice version(2020)[J].Chinese Journal of General Practitioners，2021，20(3)：274-280.

[10] Dong W Y，Jiang H C，Li Y，et al.Interpretable machine learning analysis of immunoinflammatory biomarkers for predicting CHD among NAFLD patients[J].Cardiovascular Diabetology，2025，24(1)：263.DOI：10.1186/s12933-025-02818-1.

[11] 刘雪凤，李兰香，樊苗，等.EuroSCOREⅡ评分及Gensini评分与冠心病PCI术后主要不良心血管事件发生的相关性研究[J].中国动脉硬化杂志，2025，33(6)：515-522.DOI：10.20039/j.cnki.1007-3949.2025.06.008.

Liu Xuefeng, Li Lanxiang, Fan Miao, et al. Study on the correlation between EuroSCORE Ⅱ score, Gensini score and the occurrence of major adverse cardiovascular events in patients with coronary heart disease after PCI[J]. Chinese Journal of Arteriosclerosis, 2025, 33(6): 515-522.

[12] 王海宇，单裕清，王超，等. 冠状动脉周围脂肪组织参数在评估冠状动脉狭窄程度中的价值[J]. 心血管病学进展，2025，46(5)：475-480. DOI：10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2025.05.020.
Wang Haiyu, Shan Yuqing, Wang Chao, et al. The value of pericoronary adipose tissue in assessing the severity of coronary artery stenosis[J]. Advances in Cardiovascular Diseases, 2025, 46(5): 475-480.

[13] 国家卫生计生委脑卒中防治工程委员会. 中国脑卒中血管超声检查指导规范[J/OL]. 中华医学超声杂志(电子版)，2015，12(8)：599-610. http://10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2015.08.004.
National health and family planning commission stroke prevention and treatment project committee. Guidelines for vascular ultrasound examination of stroke in China[J/OL]. Chinese Journal of Medical Ultrasound(Electronic Edition), 2015, 12(8): 599-610.

[14] Naderian M, Norland K, Schaid D J, et al. Development and evaluation of a comprehensive prediction model for incident coronary heart disease using genetic, social, and lifestyle-psychological factors: a prospective analysis of the UK biobank [J]. Annals of Internal Medicine, 2025, 178(1): 1-10. DOI: 10.7326/ANNALS-24-00716.

[15] Staršichová A. SR-B1-/-ApoE-R61h/h mice mimic human coronary heart disease[J]. Cardiovascular Drugs and Therapy, 2024, 38(6): 1123-1137. DOI: 10.1007/s10557-023-07475-8.

[16] You X, Gao B. Association between intestinal flora metabolites and coronary artery vulnerable plaque characteristics in coronary heart disease[J]. British Journal of Hospital Medicine, 2025, 86(3): 1-13. DOI: 10.12968/hmed.2024.0772.

[17] Fattorello Salimbeni A, Kulyk C, Favruzzo F, et al. Robotic assisted transcranial Doppler monitoring in acute neurovascular care: a feasibility and safety study[J]. Neurocritical Care, 2025, 42(2): 457-464. DOI: 10.1007/s12028-024-02121-z.

[18] Saito M, Mitamura M, Fukutsu K, et al. Retinal arteriovenous information improves the prediction accuracy of deep learning-based baPWV index from color fundus photographs[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2025, 66(2): 63. DOI: 10.1167/iovs.66.2.63.

[19] 顾静彧，吴晓，张婷，等. 老年人动脉硬化检测的应用及与血清转化生长因子 β1 和结缔组织生长因子的相关性研究[J]. 中国全科医学，2020，23(5)：529-533. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2019.00.582.
Gu Jingyu, Wu Xiao, Zhang Ting, et al. Application of arteriosclerosis detection and correlation study of serum transforming growth factor-β1 and connective tissue growth factor in the elderly[J]. Chinese General Practice, 2020, 23(5): 529-533.

[20] Chen Y F, Jia W J, Guo J M, et al. Association between the C-reactive protein-triglyceride glucose index and new-onset coronary heart disease among metabolically heterogeneous individuals[J]. Cardiovascular Diabetology, 2025, 24(1): 316. DOI: 10.1186/s12933-025-02876-5.

[21] 王科，王琼芬，钟永强，等. 炙甘草汤加五参颗粒联合西药治疗冠心病的临床疗效及其对患者血清 hs-CRP、NT-proBNP 水平和内皮功能的影响[J]. 现代生物医学进展，2019，19(3)：494-497. DOI：10.13241/j.cnki.pmb.2019.03.022.
Wang Ke, Wang Qiongfen, Zhong Yongqiang, et al. Clinical efficacy of Zhigancao soup and Wushen granules combined with western medicine in the treatment of coronary heart disease and its effect on the serum hs-CRP, NT-proBNP levels and endothelial function[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2019, 19(3): 494-497.

[22] Kanaprach P, Michel-Macias C, Mazzarello M, et al. Cerebral saturation and fractional tissue oxygen extraction are associated with anterior cerebral artery Doppler parameters in neonates with congenital heart defects[J]. Neonatology, 2025, 122(5): 519-527. DOI: 10.1159/000546675.

（责任编辑　张晓曼）