

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2024.19.003
文章编号: 1005-8982 (2024) 19-0014-07

心脏疾病专题·论著

心脏超声斑点成像联合基于冠状动脉CTA的 瞬时无波形比率与血流储备分数对 心肌缺血型冠心病的诊断价值*

张华, 朱莉萍, 王文红

(长安医院 超声医学科, 陕西 西安 710016)

摘要: 目的 探讨心脏超声斑点成像联合基于冠状动脉计算机断层血管成像(CTA)的瞬时无波形比率(iFRCT)与血流储备分数(FFRCT)对心肌缺血型冠心病的诊断价值。**方法** 回顾性分析2020年1月—2023年12月在长安医院接受治疗的106例疑似冠心病心肌缺血患者的病历资料。以冠状动脉造影检查结果为金标准,分为冠心病组与非冠心病组,比较两组的心脏超声斑点成像定量参数、iFRCT、FFRCT,分析冠心病患者发生心肌缺血型冠心病的影响因素,以及心脏超声斑点成像联合iFRCT、FFRCT对心肌缺血型冠心病的诊断价值。**结果** 冠状动脉造影检查显示,106例研究对象中,心肌缺血42例(39.62%)。冠心病组患者的三维左心室整体应变值、左心室整体径向收缩期峰值应变(GRS)、iFRCT、FFRCT低于非冠心病组($P < 0.05$)。三维左心室整体应变值[$\hat{OR} = 3.688$ (95% CI: 1.315, 10.342)],GRS水平[$\hat{OR} = 3.557$ (95% CI: 1.268, 9.976)],iFRCT水平[$\hat{OR} = 3.438$ (95% CI: 1.226, 9.643)]和FFRCT水平[$\hat{OR} = 3.714$ (95% CI: 1.324, 10.415)]是发生心肌缺血型冠心病的危险因素($P < 0.05$)。三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT及联合诊断心肌缺血型冠心病的敏感性分别为72%(95% CI: 0.63, 0.84)、79%(95% CI: 0.64, 0.92)、67%(95% CI: 0.59, 0.74)、75%(95% CI: 0.66, 0.81)、88%(95% CI: 0.79, 0.97),特异性分别为78%(95% CI: 0.61, 0.85)、80%(95% CI: 0.68, 0.87)、73%(95% CI: 0.65, 0.81)、60%(95% CI: 0.52, 0.71)、94%(95% CI: 0.81, 0.99)。**结论** 心脏超声斑点成像联合iFRCT、FFRCT可用于辅助诊断心肌缺血型冠心病,且诊断效能良好。

关键词: 冠心病;心肌缺血;心脏超声斑点成像;计算机断层血管成像;瞬时无波形比率;血流储备分数
中图分类号: R541.4 **文献标识码:** A

Diagnostic value of cardiac ultrasound speckle imaging combined with instantaneous wave-free ratio from coronary computed tomography angiography and fractional flow reserve for myocardial ischemic coronary artery disease*

Zhang Hua, Zhu Li-ping, Wang Wen-hong

(Department of Ultrasound Medicine, Changan Hospital, Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract: Objective To explore the value of echocardiography spot imaging combined with instantaneous waveform free ratio (iFRCT) and flow reserve fraction (FFRCT) based on coronary computed tomography angiography (CTA) in evaluating myocardial ischemic coronary heart disease. **Methods** Retrospective analysis of medical records of 106 suspected coronary heart disease patients with myocardial ischemia who received treatment at Chang'an Hospital from January 2020 to December 2023. Using coronary angiography results as the gold

收稿日期: 2024-05-09

* 基金项目: 陕西省重点研发计划(No:2022SF-251)

standard, they were divided into myocardial ischemic coronary heart disease group and non coronary heart disease group. The quantitative parameters of cardiac ultrasound spot imaging, iFRCT, and FFRCT were compared between the two groups. The influencing factors of myocardial ischemic coronary heart disease in coronary heart disease patients were analyzed, and the value of cardiac ultrasound spot imaging combined with iFRCT and FFRCT in evaluating myocardial ischemic coronary heart disease was also evaluated. **Results** Coronary angiography showed that 42 out of 106 suspected coronary heart disease patients had myocardial ischemia, accounting for 39.62%. The three-dimensional global left ventricular strain, global radial peak systolic strain (GRS), iFRCT, and FFRCT of patients with myocardial ischemic coronary heart disease were lower than those in the non coronary heart disease group ($P < 0.05$). 3D global longitudinal strain [$\hat{OR} = 3.688$ (95% CI: 1.315, 10.342)], global radial strain (GRS) level [$\hat{OR} = 3.557$ (95% CI: 1.268, 9.976)], iFRCT level [$\hat{OR} = 3.438$ (95% CI: 1.226, 9.643)], and FFRCT level [$\hat{OR} = 3.714$ (95% CI: 1.324, 10.415)] are risk factors for ischemic coronary heart disease ($P < 0.05$). The sensitivity of 3D global longitudinal strain, GRS, iFRCT, FFRCT alone, and in combination for diagnosing ischemic coronary heart disease was 72% (95% CI: 0.63, 0.84), 79% (95% CI: 0.64, 0.92), 67% (95% CI: 0.59, 0.74), 75% (95% CI: 0.66, 0.81), 88% (95% CI: 0.79, 0.97), respectively, while specificity was 78% (95% CI: 0.61, 0.85), 80% (95% CI: 0.68, 0.87), 73% (95% CI: 0.65, 0.81), 60% (95% CI: 0.52, 0.71), 94% (95% CI: 0.81, 0.99). **Conclusion** Cardiac ultrasound spot imaging combined with iFRCT and FFRCT can be used to assist in the diagnosis of myocardial ischemic coronary heart disease, and the diagnostic efficacy is good.

Keywords: coronary heart disease; myocardial ischemia; cardiac ultrasound speckle imaging; computed tomography angiography; instantaneous wave-free ratio computed tomography; fractional flow reserve

冠状动脉粥样硬化性心脏病(以下简称冠心病)是最常见的心血管病病变之一,且与年龄显著相关,是导致中老年人死亡的主要病因^[1-2]。心肌缺血是冠心病患者病理状态下的一种病情进展表现,以靶血管的狭窄程度增加为主,不仅加大胸痛、胸闷、呼吸困难等症状程度,且增加了心肌梗死、心力衰竭、心律失常等不良心血管事件的发病风险,迁延预后^[3-4]。目前,冠状动脉造影是诊断冠心病心肌缺血的金标准,但存在医疗检查成本高、创伤性等缺陷^[5]。心脏超声斑点成像是评价心脏室壁运动的新型超声技术,可反映左心室的应变情况,辅助评价心肌缺血^[6]。冠状动脉计算机体层血管成像(CT angiography, CTA)是无创性血管造影诊断方法,其中瞬时无波形比率(instantaneous wave-free ratio computed tomography, iFRCT)是反映心脏舒张无波期下跨冠状动脉病变压力比值,可体现心肌缺血状态^[7]。血流储备分数(fractional flow reserve computed tomography, FFRCT)是反映心肌血流灌注情况的客观指标,可提供心肌灌注信息,评估心肌缺血情况^[8]。目前,心脏超声斑点成像联合 CTA 评价冠心病患者心肌缺血的研究有限。本研究拟分析心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 评估心肌缺血型冠心病的价值,为冠心病患者心肌缺血的早期诊断提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析 2020 年 1 月—2023 年 12 月在长安医院接受治疗的 106 例疑似心肌缺血型冠心病患者的病历资料。其中,男性 62 例,女性 44 例;年龄 44 ~ 79 岁,平均(63.81 ± 7.29)岁。纳入标准:①冠心病的临床诊断参考《稳定性冠心病基层诊疗指南(2020 年)》^[9];②存在至少 1 条直径 ≥ 2 cm 的可测量冠状靶动脉;③年龄 > 18 岁;④诊疗资料完整。排除标准:①入院前 1 个月内确诊不稳定性心绞痛或急性心肌梗死;②左室射血分数 < 30%;③靶动脉极其扭曲;④冠状动脉开口病变;⑤冠状动脉搭桥术治疗史;⑥合并严重的呼吸系统急症;⑦肝、肾功能严重损伤。本研究经医院医学伦理会审核批准(审批号:CAYY2024-4)。

1.2 方法

1.2.1 收集所有受试者的病历资料 ①人口学资料,包括年龄、性别、体质量指数、心率、收缩压、高血压、糖尿病。②临床资料,包括用药情况:血管紧张素转换酶抑制剂、血管紧张素 II 受体拮抗剂、钙离子通道阻滞剂;靶血管:左回旋支、左前降支、右冠状动脉;狭窄长度。

1.2.2 冠状动脉造影检查分组标准 所有研究对象经左或右侧股动脉穿刺行常规冠状动脉造影检

查,定量分析冠状动脉造影参数,记录管腔狭窄程度。以冠状动脉造影检查结果为金标准,分为冠心病组与非冠心病组。参考欧洲泌尿生殖放射学会制定的造影剂检查安全指南^[10]判定靶病灶病变情况,观察到右冠状动脉、左回旋支、左前降支,或任一大分支管腔狭窄程度 $\geq 50\%$,或冠状动脉痉挛等导致心肌缺血,即为心肌缺血型冠心病。

1.2.3 冠状动脉CTA检查 于冠状动脉造影检查后行冠状动脉CTA检查。获取舒张期开始后25%至舒张期结束前5ms之间的远端冠状动脉平均压、冠状动脉口部平均压,计算iFRCT(iFRCT=远端冠状动脉平均压/冠状动脉口部平均压)。测定完成后,经肘正中静脉输注三磷酸腺苷 $140\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ 以诱发微循环充血,在冠状动脉口部平均压下降至基线值的20%时,再次读取远端冠状动脉平均压、冠状动脉口部平均压,计算FFRCT(FFRCT=远端冠状动脉平均压/冠状动脉口部平均压)。所有检查操作均由同一医师完成,所有结果均连续检测5次后取中位数。

1.2.4 三维超声斑点追踪成像检查 采用三维超声斑点追踪成像模式检查心脏全轮廓,可清晰显示心尖、心内膜、二尖瓣环等解剖学位置。应用超声斑点系统自动追踪描绘心内膜曲线,测量三维

左心室整体应变值、左心室整体面积收缩峰值应变(global area strain, GAS)、左心室整体径向收缩期峰值应变(global radial strain, GRS)。所有检查操作均由同一医师完成,所有结果均连续检测5次后取中位数。

1.3 统计学方法

数据分析采用SPSS 24.0统计软件。计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)或中位数(下四分位数,上四分位数) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,比较采用 t 检验或Mann-Whitney U 非参数检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较采用 χ^2 检验;影响因素的分析采用多因素逐步Logistic回归模型;绘制受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 心肌缺血型冠心病诊断结果

冠状动脉造影检查显示,106例研究对象中,心肌缺血型冠心病42例,占比39.62%。

2.2 两组人口学资料比较

两组研究对象的年龄、性别、体质量指数、心率、收缩压、高血压占比及糖尿病占比比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

表1 两组人口学资料比较

组别	n	年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	男/女/ 例	体质量指数/ ($\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x}\pm s$)	心率[次/min, $M(P_{25}, P_{75})$]	收缩压[mmHg, $M(P_{25}, P_{75})$]	高血压 例(%)	糖尿病 例(%)
冠心病组	42	64.51 \pm 7.09	24/18	24.16 \pm 1.72	67(62,74)	132.15(115.27,147.09)	22(52.38)	14(33.33)
非冠心病组	64	63.02 \pm 6.84	38/26	23.95 \pm 1.35	70(63,79)	136.82(114.13,150.81)	23(35.94)	13(20.31)
$t/\chi^2/Z$ 值		1.081	0.052	0.702	1.146	1.309	2.807	2.265
P 值		0.282	0.819	0.484	0.241	0.205	0.094	0.132

2.3 两组研究对象的临床资料比较

两组研究对象的血管紧张素转换酶抑制剂使用占比、血管紧张素II受体拮抗剂使用占比、钙离子通道阻滞剂使用占比、左回旋支病变占比、左前降支病变占比、右冠状动脉病变占比及狭窄长度比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表2。

2.4 两组心脏超声斑点成像参数、iFRCT、FFRCT比较

两组研究对象的三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT比较,经 t 检验,差异均有统计

学意义($P < 0.05$);冠心病组的三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT均低于非冠心病组($P < 0.05$)。两组研究对象的GAS比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表3。

2.5 心肌缺血型冠心病影响因素的多因素逐步Logistic分析

以是否发生心肌缺血型冠心病为因变量(否=0,是=1),三维左心室整体应变值、GRS水平、iFRCT水平和FFRCT水平为自变量(均为实测值),进行多因素逐步Logistic回归分析($\alpha_{\lambda} = 0.05$,

表 2 两组研究对象的临床资料比较

组别	n	用药情况 例(%)			靶血管 例(%)			狭窄长度/ (mm, $\bar{x} \pm s$)
		血管紧张素 转换酶抑制剂	血管紧张素 II 受体拮抗剂	钙离子通道 阻滞剂	左回旋支	左前降支	右冠状动脉	
冠心病组	42	16(38.10)	18(42.86)	26(61.90)	5(11.90)	32(76.19)	5(11.90)	20.31 ± 4.06
非冠心病组	64	26(40.63)	23(35.94)	31(48.44)	4(6.25)	54(84.38)	6(9.38)	19.07 ± 3.52
χ^2/t 值		0.068	0.512	1.850		1.321		1.669
P 值		0.795	0.474	0.174		0.517		0.098

表 3 两组心脏超声斑点成像参数、iFRCT、FFRCT 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	三维左心室整体应变值	GAS	GRS	iFRCT	FFRCT
冠心病组	42	24.64 ± 5.07	-36.81 ± 9.01	23.67 ± 4.15	0.78 ± 0.21	0.72 ± 0.24
非冠心病组	64	30.15 ± 4.32	-39.33 ± 8.57	29.08 ± 4.42	0.92 ± 0.18	0.84 ± 0.26
t 值		5.993	1.451	6.313	3.665	2.395
P 值		0.001	0.150	0.001	0.001	0.018

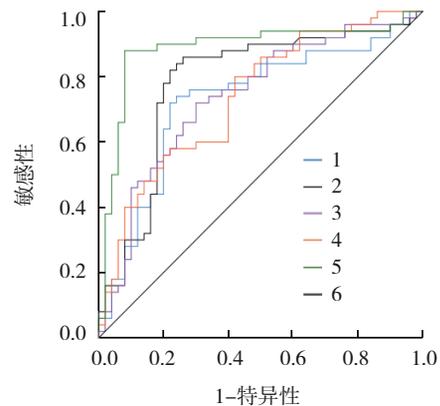
$\alpha_{出}=0.10$), 结果显示: 三维左心室整体应变值 [$\hat{OR} = 3.688$ (95% CI: 1.315, 10.342)], GRS 水平 [$\hat{OR} = 3.557$ (95% CI: 1.268, 9.976)], iFRCT 水平 [$\hat{OR} = 3.438$ (95% CI: 1.226, 9.643)] 和 FFRCT 水平 [$\hat{OR} = 3.714$ (95% CI: 1.324, 10.415)] 是发生心肌缺血型冠心病的危险因素 ($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 心肌缺血型冠心病影响因素的多因素逐步 Logistic 分析参数

自变量	b	S_b	Wald χ^2	P 值	\hat{OR}	95% CI	
						下限	上限
三维左心室整体应变值	1.305	0.571	5.223	0.011	3.688	1.315	10.342
GRS	1.269	0.584	4.772	0.013	3.557	1.268	9.976
iFRCT	1.235	0.563	4.812	0.013	3.438	1.226	9.643
FFRCT	1.312	0.568	5.335	0.010	3.714	1.324	10.415

2.6 心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 对心肌缺血型冠心病的诊断价值分析

ROC 曲线结果显示, 三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT 及联合诊断心肌缺血型冠心病的曲线下面积分别为 0.728 (95% CI: 0.625, 0.830)、0.783 (95% CI: 0.685, 0.879)、0.735 (95% CI: 0.625, 0.819)、0.731 (95% CI: 0.634, 0.821)、0.851 (95% CI: 0.811, 0.962), 敏感性分别为 72% (95% CI: 0.63, 0.84)、79% (95% CI: 0.64, 0.92)、67% (95% CI: 0.59, 0.74)、75% (95% CI: 0.66, 0.81)、88% (95% CI: 0.79, 0.97), 特异性分别为 78% (95% CI: 0.61, 0.85)、80% (95% CI: 0.68, 0.87)、73% (95% CI: 0.65, 0.81)、60% (95% CI: 0.52, 0.71)、94% (95% CI: 0.81, 0.99)。见图 1 和表 5。



1: 三维左心室整体应变值; 2: GRS; 3: iFRCT; 4: FFRCT; 5: 四者联合; 6: 参考线。

图 1 心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 诊断心肌缺血型冠心病的 ROC 曲线

表5 心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 诊断心肌缺血型冠心病的价值分析

指标	最佳截断值	敏感性/ %	95% CI		特异性/ %	95% CI		曲线下面积	95% CI	
			下限	上限		下限	上限		下限	上限
三维左心室整体应变值	27.15	72	0.63	0.84	78	0.61	0.85	0.728	0.625	0.830
GRS	26.54	79	0.64	0.92	80	0.68	0.87	0.783	0.685	0.879
iFRCT	0.86	67	0.59	0.74	73	0.65	0.81	0.735	0.625	0.819
FFRCT	0.79	75	0.66	0.81	60	0.52	0.71	0.731	0.634	0.821
四者联合	-	88	0.79	0.97	94	0.81	0.99	0.851	0.811	0.962

3 讨论

近些年,随着我国中老年基数群体的占比不断升高,心血管疾病已然成为严重威胁国人身体健康的重大疾病。研究认为,遗传因素、环境因素及不可逆性生理因素是冠心病发病的主要病因^[11-12]。目前,疾病预防、定期体检在国内基层医院中的实施尚有欠缺,加之冠心病缺乏早期典型特征,甚至部分患者出现短暂性心绞痛症状后并未提高警惕,导致冠心病的治疗难度增加,患者预后较差^[13-14]。目前,针对早期冠心病心肌缺血的诊断仍以冠状动脉造影作为金标准,其可准确定位、评估病变靶病灶的狭窄程度及狭窄面积,为后续药物或手术治疗提供支持^[15-16]。但由于冠状动脉造影为侵入性检查方法,部分患者的接受度较差,临床局限性明显。因此,寻找非侵入性检查方法准确评估冠心病患者心肌缺血的风险,成为近几年临床医学者不断探索的重点。

本研究中,相比非冠心病组,冠心病组患者的三维左心室整体应变值、GRS 更低,iFRCT、FFRCT 更低,经多因素逐步 Logistic 回归分析得出,三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT 是发生心肌缺血型冠心病的危险因素,表明三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT 与冠心病患者发生心肌缺血有关。三维左心室整体应变值是一种衡量心肌收缩和舒张功能的参数,反映了心肌在心动周期内的变形能力。正常生理状态下,左心室的收缩可导致心肌细胞在纵向、横向和周向方向上的变形,而舒张时则产生相反的变形^[17-18]。研究发现,心肌缺血可导致心肌收缩与舒张功能的异常,表现为心肌收缩和舒张的减弱或不协调,导致心肌的变形能力发生改变^[19-20]。一项研究表明,三维左心室整体应变值与冠心病动脉狭窄程度有

关^[21]。本研究同样观察到冠心病心肌缺血患者的三维左心室整体应变值降低。因此,通过测量三维左心室整体应变值,可辅助评估冠心病患者的心肌缺血程度,为后续治疗决策及预后评估提供支持。GRS 是心肌在收缩期内在径向(即心脏中心向外的方向)方向上的变形程度的峰值,通过测量心肌组织在收缩期内的径向变形量来确定^[22]。与三维左心室整体应变值相似,GRS 的变化特点是基于心肌组织在收缩期内的变形特性。研究报告,在心肌受到缺血影响时,心肌收缩功能的改变可导致心肌在径向方向上的变形程度发生改变^[23-24]。因此,GRS 可通过反映心肌缺血后引起的心肌收缩功能异常,间接评估心肌缺血的状态。iFRCT 是一种用于评估冠心病患者冠状动脉病变严重程度和血流动力学影响的非侵入性指标。该指标基于心肌的自然血流动态,通过在冠状动脉最大扩张状态下测量舒张期压力来评估心肌供血情况^[25]。在心肌放松期(即舒张期),冠状动脉压力下降,血流进入心肌,而此时冠状动脉阻力较小,血流动力学稳定,形成所谓的“无波形”段。iFRCT 则利用这一特点,在无波形段内测量舒张期压力,以评估冠状动脉病变的严重程度和血流动力学影响,而无需使用药物干预引起的冠状动脉舒张期受限^[26-27]。冠心病是一种冠状动脉血流受限导致心肌缺血的疾病。研究发现,心肌缺血发生时,心肌的供氧不足,可导致胸痛、心绞痛等症状,结合病理生理学检查可以观察到,心肌缺血可导致冠状动脉舒张期流量减少,是引起心肌供氧不足以及胸痛、心绞痛等症状发生的主要病因^[28-29]。而舒张期血流量的减少可导致舒张期压力相应增加,从而表现为 iFRCT 下降。FFRCT 是一种用于评估冠心病患者冠状动脉病变严重程度和冠状动脉血流储备情况的指标,通过测量在最大

扩张状态下的冠状动脉压力来评估冠状动脉病变的严重程度。冠心病心肌缺血实则是冠状动脉狭窄或阻塞导致心肌供血不足。研究发现, 冠状动脉病变导致的血流受限可导致冠状动脉的舒张压力下降, 从而影响心肌的供血情况。徐坤等^[30]研究表明, FFRCT \leq 0.80 提示冠状动脉血管狭窄有血流动力学意义, 且与 iFRCT 的诊断一致性良好, 可用于评估稳定性冠心病患者的心肌缺血。因此, 当冠状动脉病变导致血流受限时, 血流储备分数会出现降低, 此阶段心肌无法获得足够的血液供应, 从而引起心肌缺血。本研究 ROC 曲线分析结果显示, 三维左心室整体应变值、GRS、iFRCT、FFRCT 诊断冠心病心肌缺血的敏感性及特异性较高, 提示心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 诊断冠心病心肌缺血的效能良好。

综上所述, 心脏超声斑点成像联合 iFRCT、FFRCT 可用于辅助诊断心肌缺血型冠心病, 且诊断效能良好。但由于本研究选取样本量有限, 后续仍需完善多中心、大样本、随机研究, 进一步验证研究结论, 为冠心病心肌缺血的诊疗决策提供支持。

参 考 文 献 :

- [1] TANAKA S, KAWASAKI M, NODA T, et al. Relationship between tissue characteristics and mechanical properties of coronary plaques: a comparison between integrated backscatter intravascular ultrasound (IVUS) and speckle-tracking IVUS[J]. *Heart Vessels*, 2023, 38(1): 18-31.
- [2] KOCHAV J D, KIM J, JUDD R, et al. Myocardial contractile mechanics in ischemic mitral regurgitation: multicenter data using stress perfusion cardiovascular magnetic resonance[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(7): 1212-1226.
- [3] GUO Y Y, GUO Q, GUO R F, et al. Glycemic status and myocardial strain by cardiac MRI in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2024, 59(2): 548-560.
- [4] HESSE K, KHANJI M Y, AUNG N, et al. Assessing heterogeneity on cardiovascular magnetic resonance imaging: a novel approach to diagnosis and risk stratification in cardiac diseases[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25(4): 437-445.
- [5] KONG H, CAO J, TIAN J, et al. Coronary microvascular dysfunction: prevalence and aetiology in patients with suspected myocardial ischaemia[J]. *Clin Radiol*, 2024, 79(5): 386-392.
- [6] QIN S Y, CAO X S, ZHANG R, et al. Predictive value of speckle tracking technique for coronary artery stenosis in patients with coronary heart disease[J]. *Am J Transl Res*, 2023, 15(9): 5873-5881.
- [7] 张瑞涛, 徐昕晔, 何立芸, 等. 瞬时无波形比值和定量血流分数评价冠状动脉临界病变准确性的对比研究[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29(3): 148-153.
- [8] 翁婷雯, 齐琳, 李骋, 等. 动态 CT 心肌灌注显像与 CT 血流储备分数对冠心病诊断价值的比较[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2023, 31(2): 81-88.
- [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(2020 年)[J]. *中华全科医师杂志*, 2021, 20(3): 265-273.
- [10] van der MOLEN A J, DEKKERS I A, GEENEN R W F, et al. Waiting times between examinations with intravascularly administered contrast media: a review of contrast media pharmacokinetics and updated ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines[J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(4): 2512-2523.
- [11] DEMIRKIRAN A, BEIJNINK C W H, KLONER R A, et al. Impact of symptom-to-reperfusion-time on transmural infarct extent and left ventricular strain in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: a 3D view on the wavefront phenomenon[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25(3): 347-355.
- [12] 王成立, 黄涛, 梁哲勇. 嘌呤受体 P2X 配体门控离子通道 7 与老年高血压合并冠心病患者心肌缺血的关系[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2023, 25(9): 905-908.
- [13] 罗江, 祝唯, 苗涵. 冠脉 CT 血管成像斑块定量参数预测冠心病患者心肌缺血事件的临床价值[J]. *分子影像学杂志*, 2023, 46(2): 347-351.
- [14] 李小玲, 黄文荣, 李开成. CTA 检查联合血清 GRP78 检测对心肌缺血性冠心病的诊断价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21(6): 75-77.
- [15] 惠可尧, 赵蕾, 张臣, 等. 冠状动脉定量血流分数与心脏磁共振评估冠心病患者心肌缺血的一致性研究[J]. *中国医师杂志*, 2024, 26(1): 18-24.
- [16] STONE P H, LIBBY P, BODEN W E. Fundamental pathobiology of coronary atherosclerosis and clinical implications for chronic ischemic heart disease management—the plaque hypothesis: a narrative review[J]. *JAMA Cardiol*, 2023, 8(2): 192-201.
- [17] BRADLEY C, BERRY C. Definition and epidemiology of coronary microvascular disease[J]. *J Nucl Cardiol*, 2022, 29(4): 1763-1775.
- [18] BODEN W E, MARZILLI M, CREA F, et al. Evolving management paradigm for stable ischemic heart disease patients: JACC review topic of the week[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2023, 81(5): 505-514.
- [19] CURY R C, LEIPSIC J, ABBARA S, et al. CAD-RADS™ 2.0 - 2022 coronary artery disease-reporting and data system: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), the American College of Cardiology (ACC), the American College of Radiology (ACR),

- and the North America Society of Cardiovascular Imaging (NASCI) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2022, 16(6): 536-557.
- [20] CREA F, MONTONE R A, RINALDI R. Pathophysiology of coronary microvascular dysfunction[J]. *Circ J*, 2022, 86(9): 1319-1328.
- [21] 陈春强, 王燕, 郭雷, 等. 心脏超声斑点成像技术对冠状动脉粥样硬化性心脏病的诊断价值分析[J]. *局解手术学杂志*, 2023, 32(3): 266-270.
- [22] ZHOU F O, YUAN H, SUN J D, et al. Two-dimensional speckle tracking imaging cardiac motion-based quantitative evaluation of global longitudinal strain among patients with coronary heart disease and functions of left ventricular ischemic myocardial segment[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2024, 40(2): 351-359.
- [23] BHORE A, SHAH P, HARDAS S, et al. Myocardial strain analysis by 4D-speckle tracking echocardiography for prediction of coronary artery disease severity in patients with stable angina pectoris[J]. *Indian Heart J*, 2023, 75(3): 177-184.
- [24] ZHU M M, GAO Y J, WANG J, et al. CCTA-derived strain analysis in detection of regional myocardial dysfunction in coronary artery disease patients with preserved left ventricular ejection fraction: a feasibility study[J]. *J Xray Sci Technol*, 2022, 30(3): 587-597.
- [25] ZHU J, XIE Z, HUANG H, et al. Association of epicardial adipose tissue with left ventricular strain and MR myocardial perfusion in patients with known coronary artery disease[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023, 58(5): 1490-1498.
- [26] CHANG T W, HSU H C, TSAI W C. Association of left ventricular global area strain derived from resting 3D speckle-tracking echocardiography and exercise capacity in individuals undergoing treadmill exercise test[J]. *Int J Med Sci*, 2022, 19(10): 1576-1585.
- [27] GUI H Y, LIU S W, ZHU D F. Interaction between the left ventricular ejection fraction and left ventricular strain and its relationship with coronary stenosis[J]. *World J Clin Cases*, 2023, 11(10): 2246-2253.
- [28] LABUS J, FOIT A, MEHLER O, et al. Intraoperative augmented rotation and circumferential strain compensate for reduction of left ventricular longitudinal function after on-pump CABG surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2023, 37(10): 1912-1921.
- [29] LI N, LIU T, LIU J, et al. Quantifying myocardial strain of the left ventricle in normal people using Feature-Tracking based on computed tomography imaging[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(2): 329.
- [30] 徐坤, 张靖媛, 金红峰, 等. 瞬时无波形比值与血流储备分数在稳定性冠心病心肌缺血诊断的一致性分析[J]. *心脑血管病防治*, 2021, 21(6): 524-528.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 张华, 朱莉萍, 王文红. 心脏超声斑点成像联合基于冠状动脉CTA的瞬时无波形比率与血流储备分数对心肌缺血型冠心病的诊断价值[J]. *中国现代医学杂志*, 2024, 34(19): 14-20.

Cite this article as: ZHANG H, ZHU L P, WANG W H. Diagnostic value of cardiac ultrasound speckle imaging combined with instantaneous wave-free ratio from coronary computed tomography angiography and fractional flow reserve for myocardial ischemic coronary artery disease[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2024, 34(19): 14-20.