doi:10.11659/jjssx.07E022093

·临床研究·

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

陈春强[1],王 燕[1],郭 雷[1],江 昆[2] (1.聊城市第二人民医院/山东第一医科大学附属聊城二院心脏超声科,山东 聊城 252600;2.聊城市第二人民医院/山东第一医科大学附属聊城二院心外科,山东 聊城 252600)

[摘 要] **目的** 探讨三维超声斑点追踪成像技术(3D-STI)对冠状动脉粥样硬化性心脏病(CHD)的诊断价值。**方法** 选取我院疑似 CHD 的患者 128 例,患者均采用三维超声心动图进行检查,获取心脏的三维全容积动态图,并以 3D-STI 对心脏三维全容积动态图进行分析。根据冠状动脉造影的检查结果将患者分成正常组、轻度组、中度组及重度组,比较各组患者的年龄、性别、左心房内径(LAD)、左心室舒张末期内径(LVEDD)、舒张期室间隔厚度(IVST)、左心室心肌质量(LV_{mass})、左心室射血分数(LVEF)及三维 LVEF(3D-LVEF),测量各组患者左心室整体长轴收缩期峰值应变(GLS)、左心室整体圆周收缩期峰值应变(GCS)、左心室整体径向收缩期峰值应变(GRS)、左心室整体面积收缩期峰值应变(GAS)、GAS 变化率(GAS rate)及三维左心室整体应变(3D-Strain),并分析 3D-STI 各参数对 CHD 的诊断价值。**结果** 128 例患者中,27 例冠状动脉正常(正常组)、32 例冠状动脉轻度狭窄(轻度组)、37 例冠状动脉中度狭窄(中度组)、32 例冠状动脉重度狭窄(重度组)。重度组患者的 LVEDD 显著大于其他 3 组($P<0.05$),LVEF 和3D-LVEF显著低于其他 3 组($P<0.05$),LV_{mass}显著大于轻度组和正常组($P<0.05$)。各组患者 GAS rate 比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。重度组患者的各项 3D-STI 参数明显低于其他 3 组($P<0.05$);中度组患者的 GRS、GLS、GAS、GCS 及 3D-Strain 均低于正常组和轻度组($P<0.05$)。以冠状动脉造影检查结果作为 CHD 诊断的金标准,通过各项 3D-STI 参数对中度组及重度组患者进行 CHD 预测,并建立 *ROC* 曲线,结果显示,中度组患者的 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 的曲线下面积(*AUC*)分别为 0.954、0.657、0.890、0.938、0.940,重度组患者的 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 的 *AUC* 分别为 0.975、0.839、0.932、0.970、0.978;与中度组相比,重度组患者 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 对应的 *AUC* 稍高。**结论** 3D-STI 可作为 CHD 患者左心室冠状动脉狭窄的诊断方法,尤其对中重度狭窄患者具有极高的诊断价值,且具有重复性、无创、方便等优势,可为临床 CHD 患者的冠状动脉狭窄的诊断提供可靠依据。

[关键词] 心脏超声斑点成像技术;冠状动脉粥样硬化性心脏病;诊断;三维超声斑点追踪成像技术

[中图分类号] R541.4;R445.1 [文献标识码] A [收稿日期] 2022-07-26

Diagnostic value of cardiac ultrasonic speckle imaging in coronary atherosclerotic heart disease

CHEN Chun-qiang[1], WANG Yan[1], GUO Lei[1], JIANG Kun[2] (1. Department of Cardiac Ultrasound, Liaocheng Second People's Hospital/Liaocheng Second Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Liaocheng Shandong 252600, China; 2. Department of Cardiology, Liaocheng Second People's Hospital/Liaocheng Second Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Liaocheng Shandong 252600, China)

Abstract: Objective To investigate the diagnostic value of three-dimensional ultrasonic speckle tracking imaging technology (3D-STI) in coronary atherosclerotic heart disease (CHD). **Methods** A total of 128 patients with suspected CHD in our hospital were selected and examined by three-dimensional echocardiography to obtain the three-dimensional full-volume dynamic map of the heart, and analyzed by 3D-STI. According to the results of coronary angiography, the patients were divided into the normal group, mild group, moderate group and severe group. The age, gender, left atrial diameter (LAD), left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD), interventricular septal thickness (IVST), left ventricular mass (LV_{mass}), left ventricular ejection fraction (LVEF) and three dimensional LVEF (3D-LVEF) of patients in each group were compared. The global longitudinal strain (GLS), global circumferential strain (GCS), global area strain (GAS), GAS rate, and 3D-Strain of left ventricle for patients in each group were measured, and the diagnostic value of each parameter of 3D-STI in CHD were analyzed. **Results** Among 128 patients, 27 patients had normal coronary artery (the normal group), 32 patients had mild coronary stenosis (the mild group), 37 patients had moderate coronary artery stenosis (the moderate group), and 32 patients had severe coronary artery stenosis (the severe group). The LVEDD of the severe group was significantly larger than that of the other three groups ($P<0.05$), the LVEF and 3D-LVEF were significantly lower than those of the other three groups ($P<0.05$), the LV_{mass} was significantly larger than that of the mild group and the normal group ($P<0.05$). There was no significant difference in the GAS rate among groups ($P>0.05$). The 3D-STI param-

[基金项目] 山东省医药卫生科技发展计划项目(2019WS104)

[通信作者] 王 燕,E-mail:ch_chq999@163.com

eters of the severe group were significantly lower than those of the other three groups ($P<0.05$), the GRS, GLS, GAS, GCS and 3D-Strain of the moderate group were lower than those of the normal group and the mild group ($P<0.05$). Taking the results of coronary angiography as the gold standard for the diagnosis of CHD, CHD prediction was conducted for patients in the moderate group and the sever group by various 3D-STI parameters, and the *ROC* curve was established, which showed that the *area under the curve* (*AUC*) of 3D-Strain, GAS, GLS, GCS and GRS in the moderate group were 0.954, 0.657, 0.890, 0.938 and 0.940, respectively, and the *AUC* of 3D-Strain, GAS, GLS, GCS and GRS in the severe group were 0.975, 0.839, 0.932, 0.970 and 0.978, respectively. Compared with the moderate group, the *AUC* of 3D-Strain, GAS, GLS, GCS and GRS in the severe group were slightly higher. **Conclusion** 3D-STI can be a diagnostic method for left ventricular coronary artery stenosis in patients with CHD, especially it has extremely high diagnostic value for patients with moderate to severe coronary artery stenosis complicated with the advantages of repeatability, noninvasive and convenience, which can provide reliable clinical basis for the diagnosis of coronary artery stenosis in CHD patients.

Keywords: cardiac ultrasonic speckle imaging; coronary atherosclerotic heart disease; diagnosis; three-dimensional ultrasonic speckle tracking imaging technology

冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary atherosclerotic heart disease,CHD)是一种对人类健康及生活质量产生严重影响的高发疾病,也是导致老年人死亡的主要原因之一[1-2]。随着我国老年群体的数量不断增加,CHD 的检查及治疗给患者家庭及社会带来巨大的压力。目前,临床常将冠状动脉造影作为 CHD 诊断的金标准[3],但因其为有创检查,并且造影剂对患者的身体会产生一定的危害,部分患者还会对造影剂过敏,导致该方法在 CHD 的筛查及诊断中有一定的局限性。因此,采用无创检查技术对 CHD 进行准确筛查及诊断具有重要意义。超声心动图是 CHD 患者常用的检查方法,传统二维斑点追踪技术对斑点跨维度追踪存在一定的缺陷,所获得的心功能参数有一定的误差[4]。三维超声斑点追踪成像技术(three-dimensional ultrasonic speckle tracking imaging technology,3D-STI)是心脏超声斑点成像技术创新后的新技术,可更好地评估患者心脏室壁运动[5-6]。唐君仪等[7]将 3D-STI 用于评估肾移植患者术后 3 个月的左心室整体应变中,其可以准确评估患者术后左心室整体应变的情况。牛小虎等[8]通过 3D-STI 对高海拔地区房颤患者的左心房及其功能的变化进行评估发现,采用 3D-STI 可有效对房颤患者左心室结构及功能进行评价。3D-STI 主要集中在左心房、左心室结构及功能等方面的评估,但对于 CHD 患者的左心室功能方面的研究较少,基于此,本研究采用 3D-STI 评估疑似 CHD 患者的左心室局部功能,旨在探究该技术对 CHD 的诊断价值,进一步为临床诊疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2020 年 1 月至 2021 年 12 月于我院就诊的 128 例疑似 CHD 患者为研究对象,其中男 82 例,女 46 例;年龄 52 ~ 80 岁,平均(65.88 ± 8.69)岁;体质量 61 ~ 90 kg,平均(71.62 ± 9.35)kg。纳入标准:①符合 CHD 的诊断标准[9];②均行 3D-STI 和冠状动脉造影检查;③未见节段性心脏室壁运动异常,且左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) > 50%;④依从性较好,能配合研究。排除标准:①合并心肌病、先心病或风湿性瓣膜病;②图像不清晰;③合并较严重的心率失常,如严重的窦性心动过缓、心率低于 50 次/分,频发短阵室速、室早;④心功能不全,Killop 分级在 3 级以上;⑤合并高血压并引起左心室肥厚;⑥对腺苷过敏;⑦近期有支气管哮喘发作史;⑧合并糖尿病。本研究经我院医学伦理委员会批准(2019-SD021),患者对本研究知情同意。

1.2 方法

1.2.1 图像采集 采用 MG-66/3D 超声系统进行图像采集,先以二维探头(1 ~ 5 MHz)采集患者左心室三腔心、四腔心、左心室长短轴等动态图像,再采用三维容积探头(1 ~ 5 MHz)在全容积模式下采集心脏、心尖四腔心的三维全容积动态图。

1.2.2 3D-STI 分析 提取有关的心脏三维全容积动态图,并在三维斑点追踪模式下对图像角度、基线进行调整,清晰显示心尖、二尖瓣环、心内膜等部位,并对其心尖及左右二尖瓣环进行斑点标记,通过超声回声斑点系统进行自动追踪,描绘心内膜曲线,并测量患者的左心室整体长轴收缩期峰值应变(global longitudinal strain, GLS)、左心室整体圆周收缩期峰值应变(global circumferential strain, GCS)、左心室整体径向收缩期峰值应变(global radial strain, GRS)、左心室整体面积收缩期峰值应变(global area strain, GAS)、左心室整体面积收缩期峰值应变变化率(GAS rate)及三维左心室整体应变(3D-Strain)。收集患者的年龄、性别、左心房内径(left atrial diameter, LAD)、左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)、舒张期室间隔厚度(interventricular septal thickness, IVST)、

左心室心肌质量(left ventricular mass,LV_{mass})、LVEF及三维LVEF(3D-LVEF)。

1.2.3 分组 根据冠状动脉造影检查结果评估CHD患者动脉狭窄程度[10],并将冠状动脉狭窄率在25%以下的患者纳入正常组,冠状动脉狭窄率为25%~50%纳入轻度组,冠状动脉狭窄率为50%~75%纳入中度组,冠状动脉狭窄率在75%以上纳入重度组。冠状动脉狭窄为中度及重度狭窄则诊断为CHD。

1.3 统计学方法

采用SPSS 22.0软件对数据进行统计学分析,符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用*LSD-t*检验;计数资料以频数表示,组间比较采用χ^2检验。采用受试者工作特征(*receiver operating characteristic*,*ROC*)曲线计算3D-STI参数的曲线下面积(*area under the curve*,*AUC*)。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 冠状动脉造影检查结果

128例疑似CHD的患者中,27例冠状动脉正常(正常组)、32例冠状动脉轻度狭窄(轻度组)、37例冠状动脉中度狭窄(中度组)、32例冠状动脉重度狭窄(重度组)。轻度组9例单支病变,8例双支病变,15例三支病变;中度组6例单支病变,12例双支病变,19例三支病变;重度组10例单支病变,11例双支病变,11例三支病变。

2.2 各组患者的临床资料及超声检查结果

各组患者的年龄、性别、LAD、IVST等比较差异无统计学意义($P>0.05$);重度组患者的LVEDD显著大于其他组($P<0.05$),LVEF和3D-LVEF显著低于其他组($P<0.05$),LV_{mass}显著大于正常组和轻度组($P<0.05$),见表1。

表1 各组患者的临床资料及超声检查结果比较

组别	*n*	年龄(岁)	性别(例)		LAD(mm)	LVEDD(mm)	LVEF(%)	IVST(mm)	LV_{mass}(g)	3D-LVEF(%)
			男	女						
正常组	27	64.85±8.35	21	6	32.65±1.26	44.87±1.65	64.26±5.57	9.66±0.38	124.62±7.68	63.75±5.58
轻度组	32	63.98±8.63	23	9	33.42±1.45	46.95±4.29	65.84±6.87	10.35±0.68	133.84±8.48	66.48±6.89
中度组	37	62.77±8.83	21	16	33.28±1.57	49.64±2.76*#	58.73±7.68*#	9.78±0.57	175.64±13.88*#	52.68±6.94*#
重度组	32	64.24±8.44	17	15	33.65±1.38	52.66±6.18*#△	53.84±8.48*#△	9.66±0.45	184.69±14.68*#	43.59±8.69*#△

*:与正常组比较,$P<0.05$;#:与轻度组比较,$P<0.05$;△:与中度组比较,$P<0.05$

2.3 各组患者的3D-STI参数比较

各组GAS rate比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。轻度组患者的各项3D-STI参数与正常组比较差异无统计学意义($P>0.05$);重度组患者的GRS、GLS、GAS、GCS、3D-Strain明显低于其他组($P<0.05$);中度组患者的GRS、GLS、GAS、GCS及3D-Strain均低于正常组和轻度组($P<0.05$),见表2。

表2 各组患者的3D-STI参数的比较($\bar{x}\pm s$,%)

组别	*n*	GRS	GLS	GAS	GCS	3D-Strain	GAS rate
正常组	27	44.86±8.95	-24.69±6.94	-42.68±16.87	-28.68±2.25	44.25±3.86	-2.23±0.82
轻度组	32	44.69±7.84	-23.29±5.69	-40.85±11.68	-27.84±3.12	41.62±4.62	-1.78±0.77
中度组	37	28.69±5.89*#	-13.86±2.85*#	-34.94±7.48*#	-21.36±4.62*#	29.84±5.86*#	-1.72±0.66
重度组	32	20.45±5.69*#△	-9.89±2.84*#△	-26.58±6.83*#△	-18.67±6.36*#△	22.84±5.47*#△	-1.26±0.28

*:与正常组比较,$P<0.05$;#:与轻度组比较,$P<0.05$;△:与中度组比较,$P<0.05$

2.4 3D-STI参数对中度组患者CHD的预测

以冠状动脉造影检查结果作为诊断的金标准,通过3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS等3D-STI参数对中度组患者进行CHD预测,并建立*ROC*曲线,结果显示,3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS的*AUC*分别为0.954、0.657、0.890、0.938、0.940,见表3、图1。

表3 3D-STI参数对中度组患者CHD的预测

变量	*AUC*	标准误	临界值(%)	*P*	95% *CI*
3D-Strain	0.954	0.023	35.615	0.000	0.874~0.990
GAS	0.657	0.069	-16.895	0.025	0.533~0.767
GLS	0.890	0.037	-33.535	0.000	0.792~0.953
GCS	0.938	0.032	-23.975	0.000	0.852~0.982
GRS	0.940	0.027	36.775	0.000	0.855~0.983

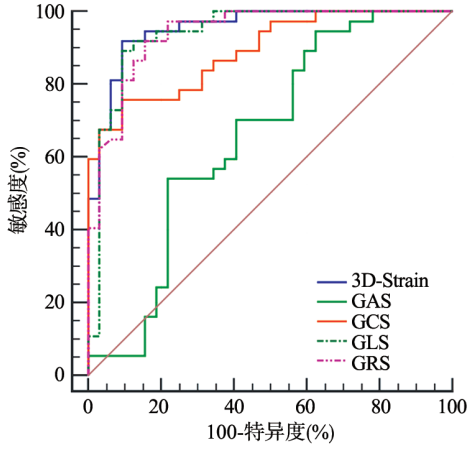


图1 中度组患者3D-STI参数的*ROC*曲线

2.5 3D-STI 参数对重度组患者 CHD 的预测

以冠状动脉造影检查结果作为诊断的金标准,通过 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 等 3D-STI 参数对重度组患者进行 CHD 预测,并建立 *ROC* 曲线,结果显示,3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 的 *AUC* 分别为 0.975、0.839、0.932、0.970、0.978,见表 4、图 2。与中度组比较,重度组患者的 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 对应的 *AUC* 稍高。

表 4 3D-STI 参数对重度组患者 CHD 的预测

变量	*AUC*	标准误	临界值(%)	*P*	95% *CI*
3D-Strain	0.975	0.015	27.175	0.000	0.905~0.998
GAS	0.839	0.051	-14.105	0.000	0.730~0.916
GLS	0.932	0.034	-32.855	0.000	0.845~0.979
GCS	0.970	0.017	-24.115	0.000	0.898~0.996
GRS	0.978	0.014	32.085	0.000	0.910~0.998

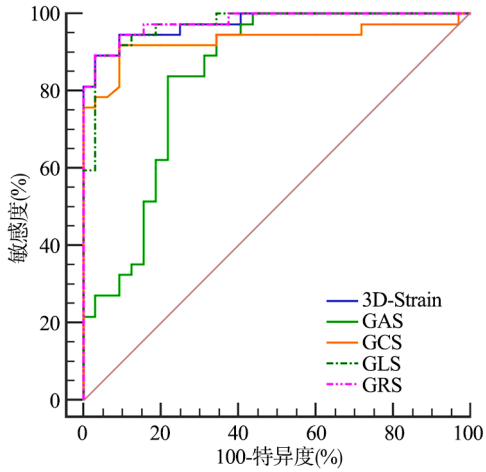


图 2 重度组患者 3D-STI 参数的 *ROC* 曲线图

3 讨论

由于心脏的冠状动脉代偿能力较强,表现出典型临床症状并经确诊的 CHD 患者的病情通常极为严重,治疗难度大,发生猝死或急性心肌梗死等事件风险较高[11-12]。因此,CHD 早期筛查及准确诊断对改善其临床治疗结局具有重大意义。

研究显示,在三维状态下对心肌斑点活动进行追踪,所获得的数据更加准确、客观[13]。3D-STI 通过分析心脏全容积图像,可以识别心肌声学斑点,并能追踪心肌的运动轨迹,能较好地解决传统二维平面不能追踪的难题,且可以根据数据计算出其在三维下的应变扭转、扭矩、位移及速度等参数,更好地评估患者的心脏室壁运动[14]。余珊珊等[15]通过 3D-STI 对肝硬化患者的左心室功能进行检查发现,3D-STI 有利于发现左心室收缩功能障碍,对疾病的治疗及预后评估具有重要意义。赵燕芹等[16]研究发现,采用3D-STI能有效评估 CHD 的左心房容积及功能,其中重度病变患者的 LVEDD 大于轻中度患者,而 LVEF 低于轻中度患者。本研究结果显示,重度组患者的 LVEDD 比其他组大,LVEF 和 3D-LVEF 比其他组低,LV_{mass} 比轻度组和正常组高,提示重度组患者的心肌缺氧及缺血更为严重,与上述研究结果一致。这可能是患者的冠状动脉供血存在障碍,从而引起其左心室形变能力下降,对心脏的收缩及舒张产生影响,且冠状动脉供血改变与其狭窄程度有关。

心脏的心肌结构主要有三层,其中心内膜下的心肌为右手螺旋走向,中层心肌为环形走向,而心外膜下的心肌为左手螺旋走向,心肌的走向不同会对心肌运动方向产生影响[17]。当中层心肌在收缩阶段时,心肌运动在短轴方向上;当心外膜、心内膜在收缩阶段时,心肌运动沿着长轴方向[18]。因此,心脏在收缩时心肌的不同走向存在特异性。另外,面积应变作为轴向及长轴应变的集合,可用心内膜表面积改变的百分率表示,其能反映心肌的功能[19]。本研究分析 3D-STI 左心室应变参数可知,重度组患者的 GRS、GLS、GAS、GCS 及3D-Strain明显比其他组低,中度组患者的上述参数都比正常组与轻度组低,表明 3D-STI 能全面分析左心室各阶段室壁运动的具体情况,能准确地评估心肌功能情况,有助于冠状动脉中度、重度狭窄的临床鉴别,与周金玲等[20]的研究结果一致。当患者心脏冠状动脉狭窄率在 50% 以上时,患者的心肌应变数值的绝对值会随着狭窄程度增加而出现不同程度的下降。心内膜为心脏冠状动脉供血的最内层,当冠状动脉狭窄发生时,患者最先出现心内膜上的心肌供血不足,并能引起纵向运动下降,若其缺血程度不断加重会累及中层心肌,引起径向及圆周运动减弱。

3D-STI 可获得 GRS、GLS、GAS、GCS、3D-Strain 等参数。本研究以冠状动脉造影检查结果作为 CHD 诊断的金标准,通过 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 等 3D-STI 参数建立 *ROC* 曲线,对中、重度组患者进行 CHD 预测,结果显示,3D-STI 各参数对中度组及重度组患者的狭窄程度诊断的 *AUC* 在 0.657~0.978,其中重度组患者 3D-Strain、GAS、GLS、GCS、GRS 对应的 *AUC* 比中度组高,表明冠状动脉狭窄越严重,3D-STI 各参数的预测价值越高,与刘雅菲等[21]的研究结果一致。GAS 作为 3D-STI 的一个重要参数,能较好地反映患者的局部心肌形变情况。有研究证实,GAS 能作为 CHD 患者早期心肌损伤的重要参考指标,相较于目测法,其可以更准确地反映出室壁节段性运动异常的情况[22]。本研究中度组及重度组 GAS 的 *AUC* 分别为 0.657、0.839,高于于慧娟等[23]研究中的 0.502,可能

与研究对象及研究方法的不同有关。这进一步说明GAS用于诊断CHD患者心肌损伤有一定的临床意义。

综上所述,3D-STI可作为CHD患者左心室冠状动脉狭窄的诊断方法,尤其对中、重度狭窄具有极高的诊断价值。该方法具有可重复性、无创、方便,同时可为临床CHD患者冠状动脉狭窄的诊断提供可靠依据。但本研究样本量较小,数据可能存在一定的偏倚,需加大样本量深入研究。

[参考文献]

[1] Huang S,Zeng Z,Sun Y,et al. Association study of hsa_circ_0001946,hsa-miR-7-5p and PARP1 in coronary atherosclerotic heart disease[J]. Int J Cardiol,2020,328:1-7. doi:10.1016/j.ijcard.2020.12.026.

[2] 周 苗,沈 娟,白云艳. 卫生保健有效数据和信息系统护理干预策略对冠状动脉粥样硬化性心脏病患者自我管理行为的影响[J]. 中国药物与临床,2021,21(19):3348-3350. doi:10.11655/zgywylc2021.19.051.

[3] 苗 珂,葛 洪,夏 蕾,等. CT血管造影在冠状动脉狭窄程度及其斑块类型评估中的应用价值[J]. 实用心脑肺血管病杂志,2022,30(2):116-119.

[4] 武立月. 首诊冠心病患者72例左心室功能三维斑点追踪成像技术检查的相关参数分析[J]. 实用医学影像杂志,2021,22(5):536-538. doi:10.16106/j.cnki.cn14-1281/r.2021.05.040.

[5] Pfa B,Lsf C,Bkd E,et al. Measurement of in vitro cardiac deformation by means of 3D digital image correlation and ultrasound 2D speckle-tracking echocardiography[J]. Med Eng Phys,2019,74:146-152. doi:10.1016/j.medengphy.2019.09.021.

[6] 王心宇,陈 旭,苏茂龙. 超声三维斑点追踪成像技术在风湿性心脏病诊断及预测评估中的应用[J]. 中国医学装备,2020,17(11):64-68. doi:10.3969/J.ISSN.1672-8270.2020.11.016.

[7] 唐君仪,隋明星,奚佳颖,等. 三维斑点追踪成像技术定量评价肾移植受者术后左心室整体应变[J]. 器官移植,2021,12(4):458-464. doi:10.3969/j.issn.1674-7445.2021.04.013.

[8] 牛小虎,王亮邦,杨 琪,等. 基于三维斑点追踪成像技术评价高海拔地区心房颤动患者左心房结构和功能的变化[J]. 中国循证心血管医学杂志,2022,14(10):1200-1203. doi:10.3969/j.issn.1674-4055.2022.10.10.

[9] 中华医学会心血管病学分会,中国康复医学会心血管病专业委员会,中国老年学学会心脑血管病专业委员会. 冠心病康复与二级预防中国专家共识[J]. 中华全科医师杂志,2014(5):340-348. doi:10.3760/cma.j.issn.1671-7368.2014.05.006.

[10] 温 云,曾文兵,李建蓉,等. Revolution CT冠状动脉成像与冠状动脉造影评估冠状动脉狭窄的一致性研究[J]. 西部医学,2019,31(8):1278-1282. doi:10.3969/j.issn.1672-3511.2019.08.029.

[11] Van D,Van R,Lin FY,et al. Measurement of compensatory arterial remodelling over time with serial coronary computed tomography angiography and 3D metrics[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging,2022,23(10):1336-1344. doi:10.1093/ehjci/jeab138.

[12] Apple FS,Smith SW,Pearce LA,et al. Use of the Centaur TnI-Ultra assay for detection of myocardial infarction and adverse events in patients presenting with symptoms suggestive of acute coronary syndrome[J]. Clin Chem,2008,54(4):723-728. doi:10.1373/clinchem.2007.097162.

[13] 安秀芝,王秋霜,黄党生,等. 三维超声斑点追踪技术评价心肌梗死对左心室局部收缩功能的影响[J]. 医学影像学杂志,2019,29(4):561-564.

[14] 赵亚西,汪海飞,刘艳午,等. 二维斑点追踪技术与三维斑点追踪技术在预测急性心肌梗死患者左心室重构的应用[J]. 医学影像学杂志,2021,31(9):1519-1523.

[15] 余珊珊,孙 露,韩东刚,等. 超声三维斑点追踪技术检查肝硬化患者左心室收缩功能初步研究[J]. 实用肝脏病杂志,2018,21(2):245-248. doi:10.3969/j.issn.1672-5069.2018.02.022.

[16] 赵燕芹,陈晓菲,孙 品,等. 三维斑点追踪技术评价冠状动脉不同程度病变患者左房容积及功能[J]. 临床超声医学杂志,2022,24(2):112-118. doi:10.3969/j.issn.1008-6978.2022.02.008.

[17] 任建勋,史雅红,杨 斌,等. 大鼠急性心肌缺血损伤后心脏结构和功能改变的超声心动图评价[J]. 中国比较医学杂志,2019,29(7):17-23. doi:10.3969/j.issn.1671-7856.2019.07.003.

[18] 韦丙奇,王运红,黄 燕,等. 肥厚型心肌病心力衰竭呈扩张性心肌病改变与限制性心肌病改变患者的心脏结构和功能特点对比分析[J]. 中国循环杂志,2018,33(6):580-584. doi:10.3969/j.issn.1000-3614.2018.06.013.

[19] 孔凡峰. 分层应变评价兔急性心肌缺血早期左心室收缩功能的改变[D]. 南京:南京医科大学,2018.

[20] 周金玲,王 凤,刘伟伟,等. 斑点追踪成像技术对心尖肥厚型心肌病左心室功能的评价[J]. 河北医科大学学报,2020,41(7):758-763. doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2020.07.004.

[21] 刘雅菲,谭 宇,曾赛群,等. 三维斑点追踪成像诊断静息状态下非心肌梗死患者冠状动脉重度狭窄的价值[J]. 临床超声医学杂志,2020,22(5):344-348. doi:10.3969/j.issn.1008-6978.2020.05.008.

[22] Kleijn SA,Aly M,Terwee CB,et al. Three-dimensional speckle tracking echocardiography for automatic assessment of global and regional left ventricular function based on area strain[J]. J Am Soc Echocardiogr,2011,24(3):314-321. doi:10.1016/j.echo.2011.01.014.

[23] 于慧娟,杨 帆,崔前辉. 实时三维超声斑点追踪成像在冠心病诊断中的应用价值[J]. 安徽医药,2022,26(4):774-776. doi:10.3969/j.issn.1009-6469.2022.04.030.

(编辑:龙小芬)