

· 基础研究 ·

斑点追踪显像联合心肌造影评价兔急性心肌缺血早期左室心肌功能的变化

崔 灵, 颜紫宁*, 范 莉, 刘 畅, 沈 丹, 黄 俊

南京医科大学附属常州第二人民医院心超室, 江苏 常州 213003

[摘 要] 目的:联合应用斑点追踪显像(speckle tracking imaging, STI)技术与心肌造影(myocardial contrast echocardiography, MCE)技术测量左室应变值及心肌灌注参数,评价兔急性心肌缺血早期心肌功能的变化。方法:新西兰大白兔36只,麻醉后开胸行冠状动脉左室支结扎以构建兔急性心肌缺血模型。开胸前及关胸后10 min均在造影模式(Low MI模式)下采集胸骨旁左室长轴及心尖两腔、三腔、四腔心切面各15个心动周期的动态二维图像。应用STI技术分析左室整体及局部纵向收缩期峰值应变;应用MCE技术分析左室心肌灌注参数:局部微血管血容量(A)、局部血流速度(β)、局部心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)。结果:左室整体收缩期峰值应变术后较术前显著降低($P < 0.05$);左室前壁、前间隔、侧壁、后壁、中间段下壁及整个心尖部纵向收缩期峰值应变术后均降低($P < 0.05$)外。整个左室心肌灌注参数A、 β 、MBF术后与术前相比均降低,除下壁及后间隔的A值差异无统计学意义($P > 0.05$)外,其余差异均有统计学意义($P < 0.05$)。结扎前后左室各壁纵向收缩期峰值应变变化率与局部心肌血流量变化率均呈正相关($r=0.58、0.56、0.65、0.62、0.56、0.36, P$ 均 < 0.05)。结论:STI技术联合MCE技术能敏感地评价急性心肌缺血早期心肌功能的变化。

[关键词] 斑点追踪显像;心肌造影;急性心肌缺血;兔

[中图分类号] R540.4

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2020)01-039-06

doi:10.7655/NYDXBNS20200108

Changes of left ventricular myocardial function in the early stage of acute myocardial ischemia in rabbits using speckle tracking imaging and myocardial contrast echocardiography

CUI Ling, YAN Zining*, FAN Li, LIU Chang, SHEN Dan, HUANG Jun

Department of Echocardiography, the Affiliated Changzhou No.2 People's Hospital of Nanjing Medical University, Changzhou 213003, China

[Abstract] **Objective:** Combined speckle tracking imaging (STI) and myocardial contrast echocardiography (MCE) to evaluate myocardial function of left ventricular (LV) in the early stage of acute myocardial ischemia (AMI) in rabbits by measuring the LV strain and myocardial perfusion parameters. **Methods:** A total of 36 New Zealand white rabbits were enrolled in this experiment, the LV branch of coronary artery was ligated in order to establish an AMI model. In the low MI mode, 15 cardiac cycles of parasternal LV long-axis, apical four-, three- and two-chamber views were acquired before operation (which was called the preoperation group) and 10 minutes after AMI (which was called the postoperation group) for analysis. Global and segmental peak systolic longitudinal strain (LS) of LV walls was analyzed by STI. Myocardial blood volume (A), velocity (β) and myocardial blood flow (MBF) were analyzed by MCE. **Results:** There were significant differences in GLS and LS of left anterior septum wall, anterior wall, lateral wall, posterior wall, inferior middle wall, and apex sections between the preoperation and postoperation groups, the values in the postoperation group were significantly lower than those in the preoperation group ($P < 0.05$). The myocardial perfusion parameters of LV between the postoperation and preoperation groups had significant differences ($P < 0.05$) except the A value of inferior and posterior septum wall. The changes of LS percent were positively correlated with MBF of left anterior septum, anterior, lateral, inferior, posterior, and posterior

[基金项目] 常州市卫生计生委重大科技项目(ZD201605)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: nz_y@ sina.com

septum walls(r were 0.58, 0.56, 0.65, 0.62, 0.56, 0.36, $P < 0.05$). **Conclusion:** Combined STI and MCE can reflect the changes of LV myocardial function in the early stage of acute myocardial ischemia sensitively.

[**Key words**] speckle tracking imaging; myocardial contrast echocardiography; acute myocardial ischemia; rabbit

[J Nanjing Med Univ, 2020, 40(01):039-044]

急性冠脉综合征是心肌缺血、缺氧急性发作引起的临床综合征,无论是国内还是国外,急性冠脉综合征的发病率和死亡率均逐年上升。尽早明确诊断、判断心肌功能是临床治疗的关键^[1]。因而,早期准确而定量地评估患者左室运动变化及心肌血流灌注情况就显得尤为重要。斑点追踪显像(speckle tracking imaging, STI)技术不受心肌运动方向的限制,可以定量分析室壁运动^[2],但该技术对图像质量要求较高,肥胖、肺气等因素所致的图像质量不佳均会导致追踪不良;心肌造影(myocardial contrast echocardiography, MCE)能客观评价并动态监测局部心肌血流灌注的情况^[3],但对于形态学变化的测量缺乏定量参数;并且两种技术联合使用的研究也较少,因此本研究把从心肌力学运动角度分析的心肌形变与从病理生理水平分析的心肌组织微循环灌注相结合,旨在探讨STI技术联合MCE技术评价兔急性心肌缺血早期左室心肌功能变化的应用价值。

1 材料和方法

1.1 材料

健康新西兰大白兔36只(南京医科大学医药实验中心),体重1.5~3.0 kg,平均 (2.0 ± 0.4) kg,4月龄,雌雄不限。地西洋注射液(上海旭东海普药业有限公司);盐酸氯胺酮(福建古田药业有限公司);六氟化硫微泡(SonoVue, Bracco公司,美国)。

1.2 方法

1.2.1 动物模型制备

新西兰大白兔以地西洋注射液(2 mL:10 mg)按1 mL/kg肌肉注射镇静麻醉,经耳缘静脉打留置针并连接三通管。将实验兔仰卧位固定于兔台,备皮,连接心电图。1.5%戊巴比妥钠按2 mL/kg于气管切开及开胸前经耳缘静脉追加麻醉,气管切开及开胸部位皮下注射盐酸氯胺酮(2 mL:0.1 g)进行局部麻醉。气管插管后,沿胸骨中线划开皮肤及肌肉,剪断胸骨左缘肋软骨,暴露出心脏,尽可能保持胸膜的完整性,剪开心包,用止血钳将左心耳提起,于其下方2 mm处用缝线结扎冠状动脉左室支,结扎完成立刻关胸,气管插管连接球囊辅助呼吸,实验过程中

持续监测心电图,当出现ST段、T波改变时,说明冠脉结扎成功。实验动物的处理均符合伦理学标准。

1.2.2 心脏超声检查

使用PHILIPS-EPIQ7c彩色多普勒心脏超声诊断仪,配备有S5-1探头,频率为1~5 MHz。具备Contrast程序与Qlab10.5分析软件,其内包含ROI分析插件、a2DQ分析插件及aCMQ目录下的Global分析插件。分别于开胸前后经胸获取胸骨旁左室长轴及心尖两腔、三腔、四腔心切面,待图像稳定后,启用contrast程序,选择Low MI模式,图像深度6.0 cm,帧频50 帧/s,机械指数0.08,Flash时机械指数0.50。在整个采图过程中保证探头位置及仪器参数不变。超声增强剂为六氟化硫微泡(59 mg)悬浮液,使用前注入生理盐水5 mL,充分振荡后立即使用,三通管连接微量泵经兔耳缘静脉缓慢滴注0.2 mL超声增强剂,随即用2 mL生理盐水冲注。由高年资医师于开胸前及关胸后10 min在contrast模式下采集图像,尽量保持心率稳定,取胸骨旁左室长轴及心尖两腔、三腔、四腔心切面各15个心动周期的动态图像存储于仪器内。

1.2.3 图像分析

1.2.3.1 常规参数分析

选取胸骨旁左室长轴切面,手动测量室间隔厚度(interventricular septal thickness, IVST)、左室后壁厚度(left ventricular posterior wall thickness, LVPWT)、左室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic dimension, LVDd);选取心尖四腔心切面应用a2DQ分析插件,软件自动描记左室内膜轮廓后手动调整,可直接获得左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)。

1.2.3.2 STI数据分析

启用aCMQ目录下的Global分析插件,选取Flash后的第1个心动周期,分别分析心尖3个切面,软件自动描记左室内膜轮廓,追踪不佳可手动调整,满意后点击“Compute”,自动生成左室17节段纵向收缩期峰值应变曲线图,根据心电图调整主动脉瓣关闭时间后,获得左室整体纵向收缩期峰值应变(global longitudinal strain, GLS)以及17节段牛眼图。

1.2.3.3 MCE 数据分析

启用ROI分析插件,选取Flash后的第1帧,分别分析心尖3个切面,将感兴趣区(region of interest, ROI)置于前壁、侧壁、下壁、后壁、前间隔、后间隔的中间位置,软件自动生成各节段原始的时间-强度曲线(time-signal intensity curve, TIC),在此基础上选取One Minus Exp公式拟合后点击Set Background去除背景帧,获取TIC。仪器根据该曲线自动算出局部微血管血容量(A)、局部血流速度(β),并计算出局部心肌血流量($MBF=A\times\beta$)。

重复性检验:随机选取15只兔子图像,由2名医师采用同种方法对图像进行分析,比较观察者间的差异;同一观察者对图像分析2次(前后间隔1周),比较观察者本身的差异。

1.3 统计学方法

采用SPSS 22.0软件进行统计分析,计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,结扎前后两指标间的比较采用配对 t 检验;两变量间相关性研究采用Pearson线性相关分析。 $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 模型建立情况

模型制备过程中,共3只免于开胸后死亡,其中2只因双侧胸膜破裂,死于呼吸衰竭,1只死于大量出血,均无麻醉所致的死亡;最终成功建立33只兔急性心肌缺血模型(心电图均可见ST段及T波改变),用于统计分析。

2.2 常规参数分析结果

兔冠状动脉左室支阻断后心率(HR)明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$);左室常规参数:IVST、LVPWT、LVDd及LVEF结扎术后较术前差异均无统计学意义($P>0.05$,表1)。

表1 兔冠状动脉左室支结扎前后常规参数比较

Table 1 Comparison of general data before and after ligation of the LV branch of coronary artery in rabbits ($\bar{x}\pm s$)

参数	术前(n=33)	术后(n=33)	t 值	P 值
HR(次/min)	279 \pm 35	218 \pm 32	13.883	<0.001
LVEF(%)	70.80 \pm 3.46	69.70 \pm 3.74	1.702	0.098
IVST(cm)	0.32 \pm 0.07	0.30 \pm 0.06	1.234	0.226
LVPWT(cm)	0.29 \pm 0.06	0.29 \pm 0.05	0.529	0.601
LVDd(cm)	0.97 \pm 0.18	0.99 \pm 0.20	-0.610	0.546

2.3 STI 分析结果

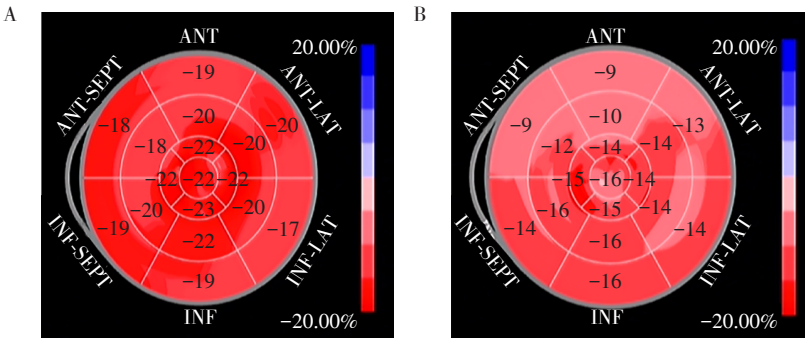
左室GLS于兔冠状动脉左室支阻断前后差异有统计学意义($P<0.05$),且术后明显低于术前(图1)。左室前壁、前间隔、侧壁、后壁、中间段下壁及整个心尖部纵向收缩期峰值应变值术后均降低,与术前比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。基底段下壁、后间隔及中间段后间隔纵向收缩期峰值应变较术前降低,但差异无统计学意义($P>0.05$,表2)。

2.4 MCE 分析结果

冠状动脉左室支结扎前,左室壁显影均匀一致,结扎后部分室壁可见增强剂呈现充盈缺损,显影暗淡且不均匀,左室前壁、前间隔、侧壁显影程度明显低于后间隔和下壁(图2)。左室前壁、前间隔侧壁和后壁心肌灌注参数值A、 β 、MBF术后较术前显著降低,差异有统计学意义($P<0.05$)。左室下壁和后间隔的 β 、MBF较术前均降低($P<0.05$),A值术后与术前相比差异无统计学意义($P>0.05$,表3)。

2.5 相关性分析结果

均以术前、术后参数变化率即(术前值-术后值)/术前值 $\times 100\%$ 用于分析。左室前间隔、前壁、侧壁、后壁、下壁、后间隔的纵向收缩期峰值应变变化率与局部心肌血流量变化率均呈正相关($r=0.58$ 、



ANT:前壁;ANT-LAT:侧壁;ANT-SEPT:前间隔;INF:下壁;INF-LAT:后壁;INF-SEPT:后间隔。A:术前;B:术后。
图1 兔冠状动脉左室支结扎前后左室17节段纵向应变牛眼图
Figure 1 Bull's eye diagram of the LV 17 segment longitudinal strain before and after ligation of the LV branch of coronary artery in rabbits

表2 兔冠状动脉左室支结扎前后左室整体和局部纵向收缩期峰值应变比较

Table 2 Comparison of global and segmental peak systolic longitudinal strain (LS) of left ventricle before and after ligation of the left ventricular branch of coronary artery in rabbits (% , $\bar{x} \pm s$)

采集部位	术前(n=33)	术后(n=33)	t 值	P 值
整体	-20.28 ± 3.10	-13.65 ± 2.01	-9.681	< 0.001
心尖段				
室间隔	-22.03 ± 5.08	-14.73 ± 5.47	-5.084	< 0.001
前壁	-22.48 ± 5.49	-13.36 ± 6.80	-6.031	< 0.001
侧壁	-22.15 ± 7.33	-15.39 ± 6.71	-3.681	< 0.001
下壁	-23.06 ± 5.85	-15.94 ± 5.81	-4.680	< 0.001
心尖帽	-22.28 ± 3.10	-15.65 ± 2.01	-9.681	< 0.001
基底段				
前间隔	-18.00 ± 6.22	-9.67 ± 5.64	-5.769	< 0.001
前壁	-19.33 ± 5.83	-9.18 ± 4.86	-8.444	< 0.001
侧壁	-20.18 ± 5.87	-12.42 ± 5.87	-5.387	< 0.001
后壁	-17.30 ± 3.81	-14.30 ± 7.54	-2.120	0.042
下壁	-18.82 ± 5.91	-15.82 ± 7.24	-1.954	0.059
后间隔	-18.15 ± 6.14	-14.82 ± 7.42	-1.865	0.071
中间段				
前间隔	-18.36 ± 6.64	-11.27 ± 5.29	-4.985	< 0.001
前壁	-20.12 ± 5.50	-9.97 ± 5.92	-7.724	< 0.001
侧壁	-21.24 ± 6.15	-13.70 ± 6.20	-4.267	< 0.001
后壁	-19.79 ± 4.01	-13.70 ± 7.60	-3.829	0.001
下壁	-21.73 ± 5.93	-15.76 ± 7.47	-3.239	0.003
后间隔	-19.70 ± 6.42	-16.42 ± 8.51	-1.641	0.111

0.56、0.65、0.62、0.56、0.36,均 $P < 0.05$)。

2.6 重复性检验结果

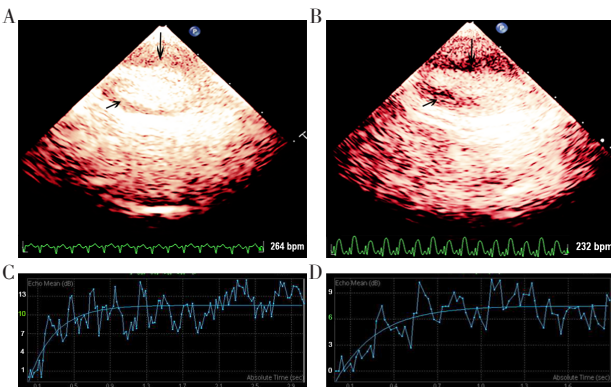
观察者内及观察者间分析左室前间隔、前壁、侧壁的纵向收缩期峰值应变及MBF,组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)均 > 0.8 ,说明一致性较好(表4)。

表3 兔冠状动脉左室支结扎前后心肌灌注参数比较

Table 3 Comparison of myocardial perfusion parameters before and after ligation of the left ventricle branch of coronary artery in rabbits ($\bar{x} \pm s$)

部位	术前			术后		
	A(dB)	$\beta(s^{-1})$	MBF(dB/s)	A(dB)	$\beta(s^{-1})$	MBF(dB/s)
前间隔	14.96 ± 3.00	3.88 ± 1.05	58.91 ± 22.64	5.03 ± 0.87*	1.28 ± 0.36*	6.40 ± 2.07*
前壁	13.92 ± 2.80	4.26 ± 1.55	56.29 ± 13.53	4.32 ± 2.71*	1.07 ± 0.42*	4.53 ± 3.51*
侧壁	15.02 ± 2.47	3.64 ± 1.05	54.23 ± 17.53	3.52 ± 1.15*	1.29 ± 0.71*	4.56 ± 2.94*
后壁	13.70 ± 2.55	3.57 ± 1.17	49.17 ± 18.13	8.70 ± 2.19*	2.45 ± 0.88*	20.48 ± 6.96*
下壁	13.91 ± 2.40	3.52 ± 0.96	48.19 ± 13.51	12.98 ± 2.34	2.21 ± 0.96*	28.88 ± 13.59*
后间隔	13.94 ± 2.81	3.40 ± 1.26	47.26 ± 20.35	13.24 ± 2.90	2.43 ± 1.67*	32.53 ± 22.95*

与术前相比,* $P < 0.05$, $n=33$ 。



A: 术前左室前间隔及后壁增强剂显影均匀一致;心电图显示正常;B: 术后左室前间隔及后壁增强剂充盈缺损、显影暗淡且不均匀;心电图显示ST段明显抬高;C: 术前TIC;D: 术后TIC(术前造影强度高于术后)。

图2 兔冠状动脉左室支结扎前后心肌灌注及时间-强度曲线(TIC)示意图

Figure 2 Myocardial perfusion and the time - intensity curves before and after ligation of the LV branch of coronary artery in rabbits

3 讨论

心肌一旦发生缺血、缺氧,极短时间内就会引起室壁功能障碍^[4],有研究显示,这种室壁运动障碍早于心电图特异性改变及心肌损伤标志物的出现^[5]。因此,准确而敏感地识别出功能异常节段对于早期诊断急性冠脉综合征意义重大。然而在急性缺血早期,可能因为室壁运动异常较轻微,亦或运动异常的节段因周围正常节段的牵拉而接近正常,通过肉眼判断易造成漏诊或误诊,并且存在较强的主观性。理想评价室壁功能的技术除了需要做到准确、敏感,也必须具备客观、无创、重复性高、操作便捷等条件,STI技术和MCE技术均符合上述要求。但两者也有其局限性,STI技术对图像质量的要求较

表4 左室纵向收缩期峰值应变及局部心肌血流量观察者内及观察者间一致性分析

Table 4 Analysis of the inter- and intraobserver agreement for LS and MBF of left ventricle

指标	组内相关系数(ICC)	
	观察者内	观察者间
前间隔应变值	0.961	0.930
前壁应变值	0.854	0.962
侧壁应变值	0.868	0.908
前间隔MBF	0.937	0.893
前壁MBF	0.972	0.849
侧壁MBF	0.891	0.929

高,肥胖、肺气等因素所致的图像质量不佳均会导致追踪不良,而MCE技术对于形态学的变化又缺乏定量参数。因此本研究把两种技术联合起来,以期用MCE技术弥补STI技术分析时图像质量不清问题,在超声增强剂使内膜清晰显示的基础上提高心肌应变结果的准确性^[6];同时STI技术可弥补MCE技术对室壁运动形态学研究的不足,丰富相关参数。

STI技术基于二维超声图像,量化心肌各节段形变,不受角度及周围组织影响,能准确判断室壁的真实运动情况,定量评价室壁整体及局部功能变化^[7]。本研究之所以通过结扎兔冠状动脉左室支构建模型用于分析,是因为临床上较难获得急性缺血早期的患者,这就凸显了动物模型的重要性。我们选择新西兰兔作为实验对象,是因为与小鼠相比,兔的心脏较大、心率较慢,易于图像采集及分析,与狗等大型动物相比,兔易于饲养,价格低廉。选择结扎冠状动脉左室支是因为其较前降支表浅且粗大,供应左室大部分^[8]。本研究应用STI技术分析结扎前后兔左室整体及局部纵向收缩期峰值应变,结果显示左室整体收缩期峰值应变于兔冠状动脉左室支阻断前后有明显变化,左室前壁、前间隔、侧壁、后壁、中间段下壁及整个心尖部纵向收缩期峰值应变明显降低,这与我们所结扎的左室支血运供应部位相一致。心室壁是由内、中、外3层肌纤维构成,其中心内膜层心肌承受的室壁张力最高,所以心肌急性缺血、缺氧所致的形态及功能变化主要发生在心内膜层,因此心内膜下心肌纤维是最早也是最易受损的部位,根据心肌带理论可知心内膜层肌纤维又呈纵向走行,因此缺血节段的心肌应最早表现在纵向运动的减弱,与以往研究^[9-11]结果一致。本研究还发现结扎前后EF值未出现明显变化,EF作为评估左室收缩功能的指标在临床上具有重要价

值。应变值出现变化而EF值尚未变化可能的原因是,在缺血早期尚未累及室壁全层,仅累及内膜层及部分中膜及外膜层,亦或缺血累及部分节段,整体功能未出现明显变化,损伤程度不至于引起EF的改变。在肉眼未能发现节段运动异常,EF值未出现变化时,应变值的变化说明STI技术能更加敏感地反映心肌收缩功能的变化,这与Hsiao等^[12]的研究结果相符。

MCE技术是超声心动学的一门新技术,可用于床旁同时进行心肌灌注显像和室壁运动分析的检查手段。经外周静脉将含有六氟化硫微气泡的超声增强剂注入血液到达心脏,根据心肌组织中增强剂的显影情况,直观显现出灌注缺损区。本研究应用MCE的破坏性成像技术^[13],即通过强烈的声压破坏微泡,随后转为低机械指数观察微泡重新填充心肌的过程,根据填充情况半定量和定量分析微循环灌注的情况。本研究结果显示,冠状动脉左室支结扎前,左室壁显影均匀一致,结扎后部分室壁增强剂呈现充盈缺损,显影暗淡且不均匀,左室前壁、前间隔、侧壁显影强度明显低于后间隔和下壁。这也与所结扎的左室支血运供应部位相一致。左室支血流阻断前MCE显示心肌灌注均匀,说明微循环血流正常。左室支血流阻断后,相应部位的心肌出现稀疏显影(为低灌注区)及缺损显影(为无灌注区),说明微血管受损区域血流减少,此时无灌注区的心肌组织可能坏死,可以通过组织学染色证实,Du等^[14]研究显示,MCE所观察到的梗死面积与使用三苯基四唑氯化物染色所测得实际面积一致性较好,反映了MCE测定心肌梗死范围的可行性及可靠性。

相关研究^[15-17]提出,造影影响斑点追踪,因其改变斑点的模式,追踪显像的重复性和准确性可能受到影响,但这种影响仅限于高浓度增强剂存在于微循环中,而Flash后的第1帧进行应变分析是可行的,本研究即在Flash后的第1帧进行室壁运动的分析。通过注入超声增强剂能使心内膜边界显示更为清晰,明显改善图像质量,有效减少难以识别的心肌节段,提高心肌应变测量的准确性。本研究显示,术后与术前相比,整个左室心肌灌注参数均降低,除下壁及后间隔的A值差异无统计学意义,余值差异均有统计学意义。缺血节段灌注速率减慢,心肌血流量减少,这与STI分析所得的室壁运动减弱结果一致。本研究通过结合心肌力学运动角度分析的心肌形变与病理生理水平分析的心肌组织微循环灌注,将两种技术获得的量化指标进行相关性

分析,左室各壁纵向收缩期峰值应变变化率与局部心肌血流量变化率均呈正相关,这说明微循环灌注异常能够反映室壁运动障碍,反过来心肌运动状态也能够推测局部心肌灌注水平^[18]。

综上所述,对于急性心肌缺血早期心肌功能变化的定量评价,STI技术及MCE技术均较常规指标更敏感,且两者相关性较好。另外,MCE技术又能在缺血早期半定量分析室壁运动异常,且能弥补STI技术分析时图像质量不佳的缺陷,改善图像质量以增加用于分析的节段数,提高心肌应变结果的准确性。总之,两种技术联合应用作为一个新的方法,可以使医务工作者从形态学及血流动力学方面了解急性冠脉综合征患者室壁功能的变化,为临床评价心脏功能提供更有效的依据,在临床早期诊断方面有重要价值及推广意义。

[参考文献]

- [1] VAZQUEZ-OLIVA G, ZAMORA A, RAMOS R, et al. Acute myocardial infarction population incidence and mortality rates, and 28-day case-fatality in older adults, the REGICOR study[J]. *Rev Esp Cardiol*, 2018, 71(9): 718-725
- [2] 季玲,胡文志,吴红平,等.斑点追踪成像技术对肥厚型心肌病患者左心室心肌收缩同步性的评价[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(12): 1710-1713
- [3] 周蕾,许迪,姚静,等.心肌声学造影评价慢性心肌缺血血流灌注的实验研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(11): 805-806, 838
- [4] 王紫监,张立民,赵自刚,等.心肌缺血再灌注损伤研究进展[J]. *中国老年学杂志*, 2018, 38(6): 1532-1536
- [5] PORTER T R, ABDELMONEIM S, BELCIK J T, et al. Guidelines for the cardiac sonographer in the performance of contrast echocardiography: a focused update from the American Society of Echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27(8): 797-810
- [6] ORDE S, MCLEAN A. Bedside myocardial perfusion assessment with contrast echocardiography[J]. *Crit Care*, 2016, 20(1): 1-6
- [7] ZHANG X, HA S, WANG X, et al. Speckle tracking echocardiography: clinical applications in cardiac resynchronization therapy[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(5): 6668-6676
- [8] 李彦明,姜红,张正聪,等.兔心脏冠状动脉的解剖学观察[J]. *宁夏医科大学学报*, 2013, 35(10): 1099-1102, 1194
- [9] RADWAN H, HUSSEIN E. Value of global longitudinal strain by two dimensional speckle tracking echocardiography in predicting coronary artery disease severity[J]. *Egyptian Heart J*, 2017, 69(2): 95-101
- [10] LIU Y J, LENG X P, DU G Q, et al. Two-dimensional longitudinal strains and torsion analysis to assess the protective effects of ischemic postconditioning on myocardial function: a speckle tracking echocardiography study in rabbits[J]. *Ultrasonics*, 2015, 56: 344-353
- [11] SHI J, XING Y M, QIAN J Y, et al. Early assessment of left ventricular function by layer-specific strain and its relationship to pulsatile arterial load in patients with coronary slow flow[J]. *Int Heart J*, 2019, 60(3): 586-592
- [12] HSIAO J F, CHUNG C M, CHU C M, et al. Two-dimensional speckle tracking echocardiography predict left ventricular remodeling after acute myocardial infarction in patients with preserved ejection fraction[J]. *PLoS One*, 2016, 11(12): e0168109
- [13] ESKANDARI M, MONAGHAN M. Contrast echocardiography in daily clinical practice[J]. *Herz*, 2017, 42(3): 271-278
- [14] DU G Q, XUE J Y, GUO Y H, et al. Measurement of myocardial perfusion and infarction size using computer-aided diagnosis system for myocardial contrast echocardiography[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(9): 2466-2477
- [15] ZOPPELLARO G, VENNERI L, KHATTAR R S, et al. Simultaneous assessment of myocardial perfusion, wall motion, and deformation during myocardial contrast echocardiography: a feasibility study[J]. *Echocardiography*, 2016, 33(6): 889-895
- [16] EJLERTSEN J A, MAY O. Impact of microbubble contrast on 2D strain quantification[J]. *Acta Cardiol*, 2014, 69(1): 15-22
- [17] HUQI A, HE A, KLAS B, et al. Myocardial deformation analysis in contrast echocardiography: first results using two-dimensional cardiac performance analysis[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(11): 1282-1289
- [18] 李云,李华,胡劼.实时三维斑点追踪成像结合实时心肌声学造影预测心肌梗死后患者心肌存活性的临床研究[J]. *中国心血管病研究*, 2018, 16(4): 314-318

[收稿日期] 2019-05-29