

速度向量成像技术评价急性心肌缺血左心室扭转运动

周佳^{1,2}, 蒲大容¹, 周启昌¹, 曾施¹, 田蕾琪¹, 刘红雨², 童海²

(1. 中南大学湘雅二医院超声科, 湖南省长沙市 410011; 2. 南华大学附属第一医院超声科, 湖南省衡阳市 421001)

[关键词] 速度向量成像; 急性心肌缺血; 左心室扭转

[摘要] **目的** 建立新西兰大白兔急性心肌缺血动物模型, 应用速度向量成像(VVI)技术分析急性心肌缺血状态下左心室扭转运动的变化特点。**方法** 新西兰大白兔 40 只, 随机分为急性心肌缺血组和假手术组, 于冠状动脉结扎术前和术后 30 min 内行超声心动图检查并采集动态图像, 脱机行 VVI 分析, 测量左心室心尖水平及心底水平的旋转角度峰值、旋转速度峰值、解旋速度峰值。**结果** 急性心肌缺血组术后, 心底水平左心室旋转角度、旋转速度及解旋速度有减低趋势, 但与术前及假手术组比较差异无统计学意义($P > 0.05$); 心尖水平左心室旋转角度、旋转速度及解旋速度均明显减低, 与术前及假手术组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$), 左心室整体扭转角度、速度和解旋速度术后改变趋势与心尖水平相似, 与术前及假手术组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 急性心肌缺血后, 左心室扭转和解旋功能受损, 主要由心尖部旋转和解旋减低引起。VVI 技术能够客观、准确地检测实验兔左心室扭转的变化特征, 为急性心肌缺血的早期诊断提供了一种新的、无创的、可靠的定量工具。

[中图分类号] R81

[文献标识码] A

Left Ventricular Twist in Rabbit with Acute Myocardial Ischemia Assessed by Velocity Vector Imaging

ZHOU Jia^{1,2}, PU Da-Rong¹, ZHOU Qi-Chang¹, ZENG Shi¹, TIAN Lei-Qi¹, LIU Hong-Yu², and TONG Hai²

(1. Department of Ultrasonography, The Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410011, China; 2. Department of Ultrasonography, The First Affiliated Hospital of University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

[KEY WORDS] Velocity Vector Imaging; Acute Myocardial Ischemia; Left Ventricular Twist

[ABSTRACT] **Aim** To use velocity vector imaging (VVI) to monitor changes in left ventricular twist in a New Zealand white rabbit model of acute myocardial ischemia. **Methods** Forty rabbits were randomly assigned to acute myocardial ischemia group and sham operation group. All rabbits were examined by dynamic echocardiography before the ligation or sham operation and again within 30 minutes afterwards. Peak rotate angle, peak twist velocity and peak untwist velocity were measured by VVI in the basal and apical level of the left ventricular myocardium. **Results** Peak rotate angle, peak twist velocity and peak untwist velocity in the basal level had no remarkable changes ($P > 0.05$). In contrast, peak rotate angle, peak twist velocity and peak untwist velocity in the apical level was significantly lower in the acute myocardial ischemia group after surgery than before, and it was significantly lower than in the control group after the sham operation (all $P < 0.05$). Similar results were obtained for global rotate angle, global twist velocity, and global untwist velocity of left ventricular. **Conclusions** Systolic twist and diastolic untwist decreased after myocardial ischemia, which was mainly caused by changes at apical level. VVI can accurately measure minor alterations in left ventricular twist of a rabbit model of acute myocardial ischemia. These findings suggest that VVI may provide a reliable, noninvasive quantitative tool for early diagnosis of acute myocardial ischemia.

[收稿日期] 2014-10-27

[修回日期] 2014-12-23

[基金项目] 国家自然科学基金资助(30970838)

[作者简介] 周佳, 博士研究生, 主治医师, 研究方向为超声心动图, E-mail 为 58073227@qq.com。蒲大容, 博士, 主治医师, 研究方向为超声心动图, E-mail 为 makeshows@163.com。通讯作者周启昌, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为超声心动图, E-mail 为 hnzqc2013@163.com。

多项研究表明,心脏的扭转和解旋在左心室的收缩、舒张功能中起非常重要的作用^[1-3]。而目前国内关于急性心肌缺血左心室扭转运动的研究较少,速度向量成像(velocity vector imaging, VVI)技术通过追踪二维超声图像内局部室壁运动,获得扭转参数,可量化分析心肌的运动^[4]。本研究旨在非人工通气情况下开胸结扎冠状动脉建立急性心肌缺血动物模型,采用 VVI 定量评价急性心肌缺血动物左心室心肌扭转运动的特点及变化规律,为临床急性心肌缺血的早期检测提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 实验动物及模型的建立

新西兰大白兔 40 只,体重 1.5~3.0 kg,雌性 20 只,雄性 20 只,由中南大学湘雅二医院动物实验中心提供。随机分为两组:假手术组($n=10$)和急性心肌缺血组($n=30$)。参照 Fujita 等^[5]方法,急性心肌缺血组兔麻醉后,保持自然呼吸状态,并连接心电图,沿胸骨左缘剪断第 2~4 肋软骨,撑开胸廓、剪开并悬吊心包,充分显露冠状动脉左心室支,于左心耳缘下方 5~10 mm 处结扎,远端心肌颜色变苍白,心电图示肢体导联 ST 段抬高,提示建模成功,心包不缝,逐层关胸。假手术组采用同样的手术方法,但只穿线不结扎。

1.2 仪器与方法

采用德国西门子公司 Sequoia 512 彩色多普勒超声诊断仪,7V3c 探头,频率为 7.0 MHz,二维动态灰阶图像帧频为每秒 90 帧;图像分析软件为 Siemens Research 2 Arena 2.0。实验兔分别于术前及术后 30 min 内行常规超声心动图检查和 VVI 动态图像采集,将兔仰卧固定于检查台上,连接心电图,启动 VVI 模式,调节参数使心内膜显示清晰,采集标准的胸骨旁左心室心底水平和心尖水平短轴切面的二维图像,存储 3 个心动周期的动态图像。

1.3 超声心动图及 VVI 数据分析

常规超声心动图测量计算左心室收缩期末内径(left ventricular end systolic diameter, LVESD)、左心室舒张期末内径(left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)、左心室射血分数(ejection fraction, EF)、短轴缩短率(shortening fraction, FS)、二尖瓣口血流速度峰值(peak velocity of mitral valve, MPV),以上参数测量 3 次取均值,并同步记录心率。VVI 软件进行分析,在舒张期末停顿,手动沿心内膜面描记边界,分析每帧图像中左心室心内膜下心肌的

运动变化,系统通过计算自动生成左心室短轴切面旋转角度和旋转速度曲线,于旋转角度和速度曲线上分别测量心尖水平及心底水平的旋转角度峰值、旋转速度峰值、解旋速度峰值,连续测量 3 个心动周期取均值,并计算左心室整体扭转速度峰值。

1.4 统计学分析

所有数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。应用 Bland-Altman 分析法进行观察者间和观察者内的重复性检验。

2 结果

2.1 一般情况及二维超声心动图参数的改变

所有动物均完成模型的建立,术后全部存活。二维超声心动图显示正常兔心脏与人类心脏解剖形态结构基本相似,左心室壁各节段运动协调。急性心肌缺血组术后有 5 例于左心室短轴乳头肌、心尖水平可观察到左心室前壁运动幅度减弱,其余 25 例均无室壁运动异常。急性心肌缺血组术后虽有 LVESD、LVEDD 扩大及 EF、FS 减低的趋势,但与假手术组比较差异无统计学意义($P > 0.05$;表 1)。

2.2 VVI 扭转参数的改变

急性心肌缺血组手术前,从心尖部位观察,左心室心底收缩期向顺时针方向旋转,为负值,心尖部向逆时针方向旋转,为正值,两者共同形成左心室扭转,舒张期则均向反方向解旋(图 1A)。急性心肌缺血组术后,心底水平左心室旋转角度、旋转速度及解旋速度与术前及假手术组比较有减低趋势但无统计学意义($P > 0.05$),心尖水平左心室旋转角度、旋转速度及解旋速度均明显减低,与术前及假手术组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$;图 1B),左心室整体扭转角度、速度和解旋速度术后改变趋势与心尖水平相似,与术前及假手术组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$;表 2)。假手术组术后左心室扭转参数与术前比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 重复性检验

观察者内和观察者间的重复性均较好:观察者内心尖水平旋转角度峰值、旋转速度峰值、解旋速度峰值变异系数分别为 0.06、0.07、0.05,观察者间分别为 0.11、0.10、0.08;观察者内心底水平的旋转角度峰值、旋转速度峰值、解旋速度峰值变异系数分别为 0.05、0.06、0.05,观察者间分别为 0.10、0.11、0.11。

表 1. 假手术组与急性心肌缺血组手术前后超声心动图参数比较

Table 1. Comparison of echocardiographic parameters before and after operation in sham operation group and acute myocardial ischemia group

分 组	LVEDD(mm)	LVESD(mm)	EF	FS	MPV(cm/s)
术前	12.94 ± 5.37	7.78 ± 1.01	74.54% ± 9.34%	40.53% ± 3.62%	74.71 ± 28.64
术后					
假手术组	12.96 ± 5.35	7.93 ± 1.05	73.26% ± 9.56%	38.34% ± 3.43%	75.59 ± 28.25
急性心肌缺血组	13.42 ± 5.35	8.47 ± 1.26	71.35% ± 8.46%	36.75% ± 4.29%	75.12 ± 27.24

表 2. 假手术组与急性心肌缺血组手术前后左心室心底水平、心尖水平及整体扭转参数比较

Table 2. Comparison of peak rotate angle, peak twist velocity and peak untwist velocity of rabbit left ventricle before and after operation in sham operation group and acute myocardial ischemia group

项 目	假手术组			急性心肌缺血组		
	旋转角度	旋转速度(°/s)	解旋速度(°/s)	旋转角度	旋转速度(°/s)	解旋速度(°/s)
心底水平						
术前	-2.91 ± 0.82	-39.75 ± 15.58	37.85 ± 14.54	-2.90 ± 0.69	-38.28 ± 17.95	36.18 ± 16.96
术后	-2.97 ± 0.73	-38.78 ± 15.43	36.97 ± 14.29	-2.79 ± 0.70	-37.10 ± 17.97	36.03 ± 16.98
心尖水平						
术前	7.80 ± 2.29	72.86 ± 31.45	-71.79 ± 29.47	8.38 ± 2.38	75.50 ± 30.88	-75.61 ± 29.77
术后	7.69 ± 2.11	72.59 ± 30.29	-71.47 ± 29.31	5.18 ± 2.09 ^{ab}	57.29 ± 26.63 ^{ab}	-52.25 ± 25.95 ^{ab}
左心室整体						
术前	10.84 ± 3.14	56.26 ± 23.28	54.80 ± 22.40	11.29 ± 4.69	59.39 ± 28.87	58.40 ± 27.81
术后	10.66 ± 3.74	55.68 ± 23.17	54.22 ± 22.06	7.97 ± 3.70 ^{ab}	49.27 ± 23.10 ^{ab}	48.99 ± 20.25 ^{ab}

a 为 $P < 0.05$, 与假手术组比较; b 为 $P < 0.05$, 与同组术前比较。

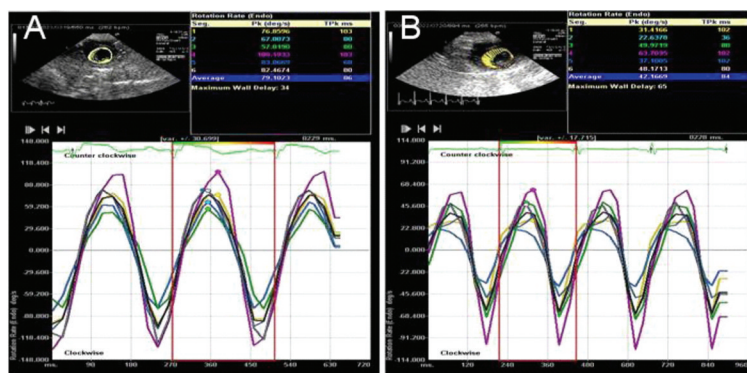


图 1. 急性心肌缺血组手术前后左心室短轴心尖水平旋转和解旋速度曲线图

A 为术前, B 为术后。

Figure 1. The twist curve in the apical level of rabbit left ventricle before and after operation in acute myocardial ischemia group

3 讨论

VVI 技术是研究心肌力学、定量评估心脏整体收缩舒张功能以及局部心肌功能的一种新方法,它以自动追踪空间内斑点运动为基础,从二维超声图像得出心肌运动的速度和角度,不受心脏整体运动、心脏旋转及相邻心肌节段运动的影响,不受多普勒角度的影响,能提供多项评价心脏整体及局部功能的参数,包括评价局部心肌运动的速度、应变

和应变率,以及评价心脏整体功能的扭转角度、扭转速度和解旋速度等^[4,6]。有研究用 VVI 分析心肌的应变和扭转,与声纳微测量法、核磁共振心肌标记法相比有较好的相关性,准确性也较高^[7,8]。

左心室扭转运动的解剖结构基础是呈共轭互逆螺旋状扭曲盘旋的心肌带。研究表明,左心室收缩期扭转是心尖部相对心底部沿左心室长轴的旋转运动,从心尖部观察,心尖收缩期逆时针旋转,舒张期顺时针解旋,心底运动方向与心尖相反,由此

产生扭转变形^[2,9]。左心室扭转运动将心脏收缩和舒张功能紧密藕联在一起,左心室在收缩期扭转储存势能,在舒张早期通过解旋运动减少心肌纤维透壁压力梯度,有利于舒张期左心室的充盈^[10],等容舒张期左心室解旋运动快速降低心室压力,使二尖瓣开放时血液迅速被抽吸入左心室。大部分解旋出现在等容舒张期,这种解旋与细胞外基质内解旋力的快速释放以及已缩短的肌小节恢复原有长度有关,解旋运动决定心肌等容舒张期的顺应性,有助于左心室舒张期的抽吸,使灌注增加^[2]。扭转和解旋是左心室运动的重要组成部分,对心室射血和充盈起非常关键的作用^[10]。

扭转参数反应左心室整体功能,与EF有一定相关性。EF是常规超声心动图评价左心功能的指标,Kanzaki等^[11]研究显示左心室扭转参数与EF之间有较好的相关性,扭转运动参数能较好地反映左心室功能障碍的程度。本研究结果发现,结扎冠状动脉后左心室EF和FS减低,与扭转改变一致,说明心肌缺血后左心室功能逐渐减低。

左心室扭转运动对心肌本身收缩敏感,而受前、后负荷的影响较小,是一个相对独立的心功能指数^[12]。心脏扭转的程度及形式与心肌收缩力密切相关。结扎冠状动脉后,局部心肌的血流灌注减少导致急性心肌缺血,神经激素和细胞因子活化,缺血的心肌细胞核碎裂,肌原纤维溶解,间质水肿,嗜中性粒细胞浸润,心肌细胞内Ca²⁺超载,心肌细胞变性,局部室壁失去产生舒缩运动的基础,诱导应力、应变重新分布^[13]。心肌缺血后,左心室收缩期扭转减低,继而导致舒张期解旋受损,出现解旋速度减低。Kroeker等^[14]研究表明心肌缺血会引起心尖水平旋转的心肌力学改变,导致扭转运动幅度减低。本研究结果发现,结扎冠状动脉后,左心室整体扭转的降低主要由心尖水平旋转减低引起,与Takeuchi等^[15]研究结果一致。

本研究存在的局限性:VVI的帧频较低,而实验兔的心率较快,故心动周期中心肌的瞬时信息有可能缺失;另外,由于兔心脏解剖及功能与人体不尽相同,且人心肌缺血后往往采取治疗措施,因此,本研究中的结果与临床研究结果可能存在差异。

急性心肌缺血后,左心室扭转和解旋功能受损,主要由心尖部旋转和解旋减低引起。VVI能够客观、准确地检测实验兔左心室扭转的变化特征,为急性心肌缺血的早期诊断提供了一种新的无创的、可靠的定量工具。

[参考文献]

- [1] Hyung KK, Dae WS, Sang EL, et al. Assessment of left ventricular rotation and torsion with two-dimensional speckle tracking echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20 (1): 45-53.
- [2] Buckberg GD, Hoffman JI, Coghlan HC, et al. Ventricular structure-function relations in health and disease: Part I. The normal heart[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, Epub ahead of print.
- [3] 张轶, 陈红天, 龙湘党, 等. 斑点追踪成像评价急性心梗患者左心室扭转运动改变[J]. *中国医学影像技术*, 2014, 30 (3): 369-373.
- [4] Zeng S, Jiang T, Zhou QC, et al. Time-course changes in left ventricular myocardial deformation in STZ-induced rabbits on velocity vector imaging[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2014, 12 (1): 17.
- [5] Fujita M, Morimoto Y, Ishihara M, et al. A new rabbit model of myocardial infarction without endotracheal intubation[J]. *J Surg Res*, 2004, 116 (1): 124-128.
- [6] Fine NM, Shah AA, Han IY, et al. Left and right ventricular strain and strain rate measurement in normal adults using velocity vector imaging: an assessment of reference values and intersystem agreement[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2013, 29 (3): 571-580.
- [7] Bansal M, Cho GY, Chan J, et al. Feasibility and accuracy of different techniques of two-dimensional speckle based strain and validation with harmonic phase magnetic resonance imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008, 21 (12): 1318-325.
- [8] Williams LK, Urbano-Moral JA, Rowin EJ, et al. Velocity vector imaging in the measurement of left ventricular myocardial mechanics on cardiac magnetic resonance imaging: correlations with echocardiographically derived strain values[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26 (10): 1153-1162.
- [9] 周佳, 周启昌, 蒲大容, 等. 速度向量成像技术评价兔基础状态下左心室心肌力学特征[J]. *中国现代医学杂志*, 2013, 23 (35): 7-11.
- [10] Schmid P, Jaermann T, Boesiger P, et al. Ventricular myocardial architecture as visualised in postmortem swine hearts using magnetic resonance diffusion tensor imaging[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2005, 27 (3): 468-472.
- [11] Kanzaki H, Nakatani S, Yamada N, et al. Impaired systolic torsion in dilated cardiomyopathy: reversal of apical rotation at mid-systole characterized with magnetic resonance tagging method[J]. *Basic Res Cardiol*, 2006, 101 (6): 465-470.
- [12] Burleson KO, Schwartz GE. Cardiac torsion and electromagnetic fields: the cardiac bioinformation hypothesis[J]. *Med Hypotheses*, 2005, 64 (6): 1109-1116.
- [13] Miki T, Cohen MV, Downey JM. Failure of N-2-mercaptopyrionyl glycine to reduce myocardial infarction after 3 days of reperfusion in rabbits[J]. *Basic Res Cardiol*, 1999, 94 (3): 180-187.
- [14] Kroeker CA, Tyberg JV, Beyar R. Effects of ischemia on left ventricular apex rotation: an experimental study in anesthetized dogs[J]. *Circulation*, 1995, 92 (12): 3539-3548.
- [15] Takeuchi M, Nishikage T, Nakai H, et al. The assessment of left ventricular twist in anterior wall myocardial infarction using two-dimensional speckle tracking imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20 (1): 36-44.