

急性前壁心肌梗塞猪模型左室流场变化的相关研究

陈 剑, 王庆慧, 尹 帆, 苏 璇, 现丽妮, 罗庆祎, 张 瑜, 丁云川
(昆明医科大学附属延安医院医学影像科, 云南昆明 650051)

[摘要] **目的** 应用血流向量成像技术 (vector flow mapping, VFM) 研究滇南小耳猪急性前壁心肌梗塞前后左心室心腔内血流流场变化特点. **方法** 选取滇南小耳猪 18 只, 在进行常规二维超声检查、VFM 图像采集之后, 开胸结扎左冠状动脉前降支 (LAD) 的中下 1/3 处, 于 1 h 后再次进行常规二维超声检查、VFM 图像采集, 并分析心腔内血流速度向量、流线和漩涡等左心室流场参数, 进行对比分析. **结果** 在急性前壁心肌梗塞后, LVEF、LVFS 均减小 ($P < 0.05$); 心梗后在大部分收缩期内左室内仍可见涡流, 且心梗后的漩涡横径 (Dx)、漩涡纵径 (Dy)、漩涡总持续时间均大于心梗前, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$). **结论** 左心室前间壁心肌梗塞室壁运动减弱导致了本来在左心室内舒张期形成的涡流直接延续到了收缩期主动脉瓣开放之后, 提示局部收缩功能减低导致了左心室内血流速度减低以及涡流持续时间延长, 从而降低了左心室心腔内流体力学效率, 使心脏搏出量减少.

[关键词] 心肌梗塞; 左心室; 血流向量成像技术

[中图分类号] R541.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095-610X (2015) 02-0019-04

The Research on the Left Ventricular Flow Vector Characteristics in Pigs Model of Acute Anterior Myocardial Infarction

CHEN Jian, WANG Qing-hui, YIN Fan, SU Xuan, XIAN Li-ni, LUO Qing-yi, Zhang Yu, DING Yun-chuan

(Dept. of Ultrasound, The Affiliated Yan'an Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650051, China)

[Abstract] **Objective** To study the left ventricular flow vector characteristics in Diannan Small-Ear pigs with anterior anterior wall myocardial infarction by using vector flow mapping (vector flow mapping, VFM). **Methods** Routine echocardiography was performed in 18 Diannan small ear pigs and the flow vector and velocity of left ventricle were analyzed. Then the left anterior descending coronary artery (LAD) was ligated at the lower 1/3 point, and the same echocardiography was performed again 1 hour after ligation. Some parameters, such as flow velocity vector, streamline and swirling flow field parameters of left ventricle, were comparatively analyzed. **Results** After acute anterior wall myocardial infarction, LVEF, LVFS were decreased ($P < 0.05$). Pig's left ventricular intracavitary vortex in the ejection phase was still visible. The pig's vortex diameter (Dx), vortex longitudinal diameter (Dy), vortex total duration were larger after acute anterior wall myocardial infarction than before. The difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusions** The left ventricular vortex extends from diastolic to systolic when aortic valve is opening, as the left ventricular wall motion decreases after their Left ventricular anteroseptal myocardial infarction. It suggests the lower left ventricular regional systolic function may reduce the blood flow

[基金项目] 云南省科技厅-昆明医科大学联合专项基金资助项目 (2012FB100); 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (2014CD25Y)

[作者简介] 陈剑 (1977~), 男, 云南昆明市人, 医学硕士, 副主任医师, 主要从事超声诊断工作.

[通讯作者] 丁云川. E-mail: yaxc3211355@163.com

velocity and extend the time of the left ventricular vortex, thus reduce the left ventricular intracardiac hydrodynamic efficiency and cardiac stroke volume.

[Key words] Myocardial infarction; Left ventricular; Vector flow mapping

心腔中血流的能量由心肌的收缩和舒张提供,心动周期中不同时相血液流场和流体力学状态的动态变化是心脏机械力学功能表达的最终结果^[1],因此心腔内血流的状态也间接反映了心脏的功能。以往一致缺乏有效的工具对心腔内的血流状态进行实时定量动态分析,而血流向量成像技术(vector flow mapping, VFM)是一种近年来诞生的血流可视化技术,可定量地描述心腔内的血流动力学特性,并半定量的分析心腔内复杂的湍流情况^[2]。因此,本文旨应用超声 VFM 技术能对心腔内血流进行可视化显示和分析的技术特点,通过对结扎冠脉左前降支相同部位造成相同部位和范围的前壁心肌梗动物模型,并在造模后同一时间对造模前后左心室心腔内血流变化进行对比分析,以研究相同部位、范围和梗塞时间的急性前壁心肌梗前后左心室腔内血流的变化,分析正常和前壁心肌梗塞患者出现室壁节段性运动异常状态下,左心室腔内血流流体力学状态的变化情况。

1 资料与方法

1.1 实验动物及急性前壁心肌梗动物模型制备

选取 18 只滇南小耳猪(购于昆明医科大学动物实验中心),体重 (20 ± 1.5) kg,实验方案获得昆明医科大学附属延安医院实验动物伦理委员会批准。

制作急性前壁心肌梗塞动物模型:先后给予实验动物滇南小耳猪氯胺酮(10 mg/kg),酚酞尼(0.1 mg/kg)静脉注射后,连接心电监测,行气管插管、呼吸机辅助通气,颈动、静脉插管,监测动脉压。仰卧位,胸部正中切口开胸骨,切开并分离皮下组织,暴露心脏,纵向切开心包,分离并结扎冠状动脉左前降支中下三分之一处,60 min 后制成急性心肌梗塞动物模型。

1.2 仪器与方法

(1) 仪器:应用 Aloka Prosound α 10 彩色多普勒超声诊断仪,UST 52105 心脏探头,频率 1.88 ~ 4.02 MHz。调节仪器二维增益 45% ~ 65%,彩色增益 50% ~ 65%,帧频 (30 ± 5) 帧/s,受检动物采用仰卧位,连接同步心电图。(2) 方法:于胸骨旁左心长轴切面测量左室舒张末内径(LVIDd)、左室收缩末内径(LVIDs)、室间隔舒张

末厚度(IVSd)左室后壁舒张末厚度(PWd),双平面 Simpson 法计算左心室射血分数(EF)。VFM 检查:于心尖三腔、心尖五腔观采集动态彩色多普勒血流图像,保持帧频大于 30 帧/s,将彩色多普勒脉冲重复频率调到无混叠,嘱患者屏住呼吸时存储图像,记录 3 个心动周期存储于移动硬盘后脱机分析经过 DSA-RS1 软件脱机处理彩色多普勒图像,得到心腔内血流速度向量和流线,即 VFM 图像。为清晰显示流场内变化,漩涡图选取 VFM 等流量线值为 $3 \text{ cm}^2/\text{s}$,漩涡精细度值(T)=1;局部线速度分布图取 VFM 等流量线值为 60 cm/s , T=1,疏密度值(D)=3。漩涡描述参数分别为:漩涡横径(Dx)、漩涡纵径(Dy)、漩涡横向位置(Px)、漩涡纵向位置(Py)、漩涡最大向量速度(Vmax)、漩涡圈数(N)及漩涡旋转方向等。然后在制作急性前壁心肌梗塞动物模型成功后重复以上步骤。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 统计软件分析数据。各组数据均以均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。为自身前后对照比较,心肌梗塞前后各数据均为正态分布计量资料,计量资料采用方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。各相关参数的关系采用 Spearman 分析。

2 结果

18 只滇南小耳猪中有两例出现室颤后抢救无效死亡,有 2 例在结扎冠脉 20 ~ 30 min 后出现室颤经除颤后恢复,最终有效动物为 16 只,部分测值见表 1。心梗后相比心梗前反映左心室收缩功能的 LVEF、LVFS 均减小($P < 0.05$),而左室舒张末内径(LVIDd)、左室收缩末内径(LVIDs)、室间隔舒张末厚度(IVSd)左室后壁舒张末厚度(PWd)心梗前和心梗后 1 h 无明显变化($P > 0.05$)。

2.1 心梗前左心室心腔内血液流场特点

在等容收缩期,当二尖瓣关闭而主动脉瓣还未开放时,心腔呈一个“封闭”状态,左心室内心腔压力急剧升高,整个左心室腔内出现较大整体涡流,形态呈椭圆形,流线较疏松,呈逆时针方向,血流在心尖部转向改为朝向左心室流出道;射血期:在主动脉瓣开放的瞬间,左心室心腔内整体涡流消失,从流线图可以看到主动脉瓣下左室流出道

血流以层流方式加速流入主动脉,原来位于左心室腔中部及心尖部的涡流消失,仅在二尖瓣瓣下及左心室流入道可见一较小的局部涡流,持续至射血中期开始时消失,此后左心室心腔内表现为自心尖至左室流出道的逐渐加速的层流血流信号,在射血末期,主动脉瓣下出现较小的涡流;等容舒张期:当主动脉瓣关闭前瞬间,进入等容舒张期,左心室心腔内血流迅速转为朝向心尖的低速层流,速度梯度较其他心动时相要低;快速充盈期:此时左心房血流以层流方式快速通过二尖瓣进入左心室,沿左心室流入道流向左心室心尖部;缓慢充盈期:快速充盈期进入左心室内的血流到达左心室心尖部后逆时针转向,背离左心室心尖部,向左心室流出道方向流动,与左心室流入道内的血流形成一个分布于左心室心腔的整体涡流;左房收缩期:当左心房收缩,左心房内血流再次以层流形式进入左心室,与快速充盈期的整体涡流向延续,此时左心室心腔内血流仍然呈现一个流入道与流出道血流共同形成的分布于整个心腔的整体涡流,流线图为逆时针方向,并持续至下一心动周期的等容收缩期。

2.2 心梗后左心室心腔内血液流场特点

在等容收缩期,左心室心腔内血流呈现几乎充满整个心腔的整体涡流,涡流形态不规整,而且涡流中心数目较心梗前明显增多,约2~5个,涡流中心位置也较心梗前更靠近左心室心尖部;射血期:在射血期主动脉瓣开放的瞬间,与心梗前不同,左心室心腔内仍可见除左心室心尖部以外的大部分左心室心腔内的整体涡流,左心室内血流自心尖流向左室流出道流向主动脉,但从心尖至左心室流出道的血流流速梯度较心梗前减慢,差异有统计学意义 ($P < 0.05$),且EF值越低射血期涡流范围越大,持续时间越长;等容舒张期:与心梗前一样流入、流出道及心尖部有时候可出现短暂的、较小的局部涡流;进入快速充盈期:在二尖瓣前、后叶下方出现持续的局部较小涡流,但与心梗前相比较,心梗后2个小涡流均向左心室中线靠近且更靠近左心室心尖部,涡流圈数也多于心梗前;在整个舒张期,心梗后左心室心腔内的漩涡横径(Dx)、漩涡纵径(Dy)均大于心梗前,心梗后的漩涡最大向量速度(Vmax)小于心梗前,差异有统计学意义 ($P < 0.05$),心梗后涡流总持续时间比心梗前要长 ($P < 0.05$),差异有统计学意义。

表1 心梗前后部分参数结果 ($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Part results before and after myocardial infarction ($\bar{x} \pm s$)

| 分组 | n | LVEF | LVFS | 舒张期漩涡横径 (mm) | 舒张期漩涡纵径 (mm) |
|-----|----|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 心梗前 | 18 | 67.1 ± 11.3 | 34.2 ± 6.9 | 13.2 ± 3.7 | 18.1 ± 5.1 |
| 心梗后 | 16 | 43.4 ± 7.7* | 21.3 ± 4.9* | 21.3 ± 5.4* | 29.6 ± 5.7* |

与心梗前比较, * $P < 0.05$.

3 讨论

当冠状动脉血流中断,阻塞部位远端冠脉供血区域的心肌发生缺血,在急性期出现心肌运动收缩减弱或无收缩.这种局部室壁运动减弱是冠状动脉阻塞后心肌梗塞后心肌最早出现的特征性表现之一,由于局部的室壁运动减弱进而对整个左心室的收缩功能产生影响,心腔内的血流状态也必然受到影响.而VFM成像技术是最近开发出的一种可以评价心腔内血液流场的新方法,是通过将观测面内血液的流动分解为基本流和涡流,将频谱多普勒信息经过平面流函数的分解运算,得到垂直于声束方向的速度分量,从而得到虚拟平面内血液质点的向量速度,然后将其叠加在彩色多普勒图像上,来显示观测平面内向量速度的血液流场动态分布情况,区分层流和涡流的一种

先进的血流可视化技术,可精确地定量描述层流的血流动力学特性,并半定量的分析心腔内复杂的湍流情况^[2].

笔者曾结合三维斑点追踪技术对前壁心梗患者室壁运动与心腔内血流的相关性进行研究,发现左心室重构以后心室形态改变,局部收缩功能减低导致了左心室内血流速度减低以及涡流持续时间延长,从而降低了左心室心腔内流体力学效率,使心脏搏出量减少^[3],左心室旋转角度(RA)、旋转率(RR)、扭转角度(TA)及扭转率均会发生变化,并可作为评价冠心病患者左心室扭转的敏感指标^[4].但由于不同心梗患者梗塞时间和梗塞部位不尽相同,对心腔内血流影响也不完全一样,所以本研究旨在运用超声VFM技术能可视化显示心腔内血流具体漩涡和流线变化的特点,通过对18例滇南小耳猪结扎冠脉左前降支的相同部位造成同一部位和范围的前壁心梗动物模型,并在造

模后同一时间对造模前后左心室心腔内血流变化进行对比分析以进一步确定局部心肌运动减弱对心腔内血流流场改变产生的影响。结果发现前壁心肌梗造模后,在射血期左心室心腔内仍可见一较大的整体涡流,虽然左心室内自心尖至左心室流出道的血流流速梯度任存在,但血流速度及替代变化幅度均较心梗前减慢;随 EF 值减低射血期涡流范围越大,持续时间越长;在整个舒张期,心梗后左心室心腔内的漩涡横径 (D_x)、漩涡纵径 (D_y) 均大于心梗前,心梗后的漩涡最大向量速度 (V_{max}) 小于心梗前,但心梗后涡流总持续时间比心梗前要长 ($P < 0.05$),说明前壁心肌梗患者心肌缺血坏死已使前壁心肌纤维的收缩功能受损,导致左心室的收缩能力下降,前间隔中间段、前壁中间段、心尖段心肌运动减低直接导致了本来在左心室内舒张期形成的涡流直接延续到了收缩期主动脉瓣开放之后,左心室心腔内血流不能像正常心脏一样在主动脉瓣开放的瞬间左心室心腔内整体涡流消失,而是继续在左心室心腔内形成涡流,而这种涡流的存在加剧了左心室内血流动力学的改变,国外 Hong 等^[5]学者采用粒子成像测量技术 (particle imaging velocimetry, PIV) 也显示左心室收缩功能减低时,左心室内收缩期涡流持续时间延长,左心室腔内涡流混乱,也证实了这一观点。

当然,本研究仅纳入分析了冠脉左前降支远端三分之一处被结扎前壁心梗动物模型 1 h 后的心腔内血流变化情况,可以肯定的是不同部位、不同时

间段的心肌梗塞都会对心腔内血流流场产生不同的影响,在今后的研究中还应逐步分析其他部位心肌梗塞后左心室腔内血流的流场特点,以进一步完善相关研究。另外,本研究中心腔内血流 VFM 技术是基于二维空间进行分析,而实际心腔内血流是三维空间方向的,这也会对观察产生一定的局限性。

[参考文献]

- [1] OHTSUKI S, TANALCA M. The flow velocity distribution from the doppler information on a plane in three-dimensional flow[J]. *Journal of Visualization*, 2006, 9 (1):69 - 82.
- [2] TANAKA M, SAKAMOTO T, SUGAWARA S, et al. Blood flow structure and dynamics, and ejection mechanism in the left ventricle: analysis using echo-dynamography [J]. *J Cardiol*, 2008, 52(2):86 - 101.
- [3] 陈剑, 丁云川, 尹帆, 等. 前壁心肌梗塞患者左室壁三维运动与左室流场变化相关性研究[J]. *昆明医科大学学报*, 2014, 35(10):65 - 69.
- [4] 王庆慧, 丁云川, 陈剑, 等. 三维斑点追踪技术在评价冠心病患者左心室扭转中的应用[J]. *实用医院临床杂志*, 2012, 9(5):19 - 21.
- [5] HONG G R, PEDRIZZETTI G, TONTI G, et al. Characterization and quantification of vortex flow in the human left ventricle by contrast echocardiography using vector particle image velocimetry[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2008, 1(5):705 - 717.

(2014-12-03 收稿)