

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

陈 剑, 丁云川, 尹 帆, 王庆慧, 苏 璇, 李建华, 罗庆祎, 张 瑜

(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) 和三维斑点追踪技术 (three-dimensional speckle tracking 3DT), 研究正常人和前壁心肌梗塞室壁节段性运动异常患者的心室腔内血流流场、流体力学状态与心肌机械力学状态间的关联关系. **方法** 选取健康成人 30 例、前壁心肌梗塞患者 30 例, 首先进行常规二维超声检查, 之后分别进行实时全容积成像三维成像图像采集和 VFM 图像采集, 在获取左心室全容积图像后分析图像, 自动计算左心室旋转角度 (rotation angle, RA)、各节段室壁运动峰值径向应变 (Radial strain, RS) 等参数, 在 VFM 血流图像中分析心腔内血流速度向量、流线和漩涡等左心室流场参数. **结果** 病例组与健康对照组相比, 病例组 LVEDV 增大、LVEF 减小 ($P < 0.05$); 病例组在射血期左心室心腔内仍可见占据绝大部分左心室心腔的整体涡流; 病例组的漩涡横径 (Dx)、漩涡纵径 (Dy)、涡流总持续时间均大于健康对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 病例组左心室旋转角度 (rotation angle, RA)、旋转率 (rotation rate, RR)、扭转角度 (twist angle, TA) 及扭转率 (twist rate, TR) 越小射血期左心室内涡流范围越大 (漩涡横径 Dx、漩涡纵径 Dy 增大), 持续时间越长, 成显著负相关 ($r = -0.693$, $r = -0.751$, $r = -0.655$, $r = -0.672$, $P < 0.05$). **结论** 左心室前间隔中段、前壁中段、心尖段 RS、AS 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, 提示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.

[关键词] 冠心病; 左心室; 三维斑点追踪; 血流向量图

[中图分类号] R541.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095-610X (2014) 10-0065-05

The Correlation between Left Ventricular Flow Vector Characteristics and Left Ventricular Wall Motion in Patients with Anterior Myocardial Infarction

CHEN Jian, DING Yun-chuan, YIN Fan, WANG Qin-hui, SU Xuan, LI Jian-hua, LUO Qing-yi, ZHANG Yu

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

[Abstract] **Objective** To study the correlation between Left ventricular flow vector characteristics and left ventricular wall motion in normal people and patients with anterior wall myocardial infarction and abnormal segmental ventricular wall motion by using vector flow mapping (vector flow mapping, VFM) and three dimensional speckle tracking (three-dimensional speckle tracking 3DT). **Methods** Echocardiography was performed in 30 patients with anterior myocardial infarction and 30 healthy people. Flow vector and velocity of left ventricle were analyzed on apical 3 chambers view with color Doppler. The left ventricle (LV) rotation angle (RA), rotation rate (RR), torsion angle (TA) and torsion rate (TR) in the apical full-volume image were measured and compared by using three-dimensional speckle tracking imaging. **Results** Compared with the healthy control group, patient group's LVEDV increased, LVEF decreased ($P < 0.05$). Patient's left ventricular intracavitary vortex in the ejection phase

[基金项目] 云南省社会发展专项基金资助项目 (2013CA006) 云南省科技厅-昆明医科大学联合专项基金资助项目 (2012FB100)

[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: yaxe3211355@163.com

was still visible. The patient's vortex diameter (Dx), vortex longitudinal diameter (Dy), vortex total duration were larger than those in the healthy control group. There was a significant difference in them between the patient group and control group ($P < 0.05$). The lower patient's left ventricular rotation angle (rotation angle, RA), rotation rate (rotation rate, RR), torsion angle (twist angle, TA) and the rate of twist (twist rate, TR), the larger vortex Dx and Dy, and the vortex duration was longer. There was a significantly negative correlation ($r = -0.693$, $r = -0.751$, $r = -0.655$, $r = -0.672$, $P < 0.05$). **Conclusions** The patient's left ventricular vortex formed in diastolic period may extend to systolic period when aortic valve is opening, this results directly from the reduction of RS and AS in left ventricular anterior septal middle segment, anterior wall middle segment and apical segment. The results suggest that after left ventricular remodeling, the ventricular morphous changes, the lower left ventricular regional systolic function may reduce the blood flow velocity and extend the time of the left ventricular vortex, then reduce the left ventricular intracardiac hydrodynamic efficiency and reduce the cardiac stroke volume

[**Key words**] Coronary heart disease; Left ventricle; Three-dimensional speckle tracking; 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]。人体心血管系统是一个复杂的有机系统,单纯研究某个心血管系统构件的结构与功能难以全面真实地反映和客观评价临床上多种疾病治疗前、后心脏功能状态。因而研究心血管腔内血液流场的流体力学状态及其与心室壁心肌机械力学状态的时空关联性,将可能会是客观、准确评价心功能系统整体功能变化的一个有效方法。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,同时三维斑点追踪技术又能准确有效的对心室壁运动进行三维空间运动分析的技术特点,在研究在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,探讨心室腔内血流流体力学状态与心肌机械力学状态间能量转换的关联关系。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2012 年 10 月至 2013 年 11 月在昆明医科大学附属延安医院体检的人群中,随机选取 30 例健康志愿者为对照组,男女各 15 例,年龄 18~58 岁,平均 (39 ± 17.58) 岁,入选标准为:无心血管疾病史,血常规检查无血脂、血糖等生化指标异常;心脏各腔室内径正常,左室内径 < 50 mm,左心室射血分数 $EF\% > 55\%$ 。

病例组选取 2012 年 10 月至 2013 年 11 月在昆明医科大学附属延安医院门诊及住院患者中,经冠脉造影确诊的左前降支病变冠脉病变的冠心病

患者 30 例,经心脏超声检查合并左心室前壁、前室间隔运动减弱但排除室壁瘤,男 19 例,女 11 例,年龄 47~74 岁,平均 (59 ± 12.35) 岁。

1.2 仪器与方法

1.2.1 三维斑点追踪测量室壁运动数据 采用 Toshiba Artida880 彩色多普勒超声显像诊断仪,配备 PST-30SBT 二维探头频率 2.5~5 MHz 及 PST-25SX 三维矩阵探头频率 1~3 MHz,图像采集时受检者取左侧卧位,嘱平静呼吸,连接心电图,先行常规二维超声检查,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)。换用矩阵 PST-25SX 探头,将探头置于心尖部,在显示心尖四腔心切面后,适当调节扇角与深度,调节帧频大于 20 帧/s,启用谐波及最佳优化模式,直至显示最佳的心尖四腔图像,然后嘱患者屏住呼吸,采集连续 4 个心动周期的实时全容积成像三维数据库,在获取满意的左心室全容积图像后储存并分析图像,自动计算左心室旋转角度 (rotation angle, RA)、旋转率 (rotation rate, RR)、扭转角度 (twist angle, TA) 及扭转率 (twist rate, TR)、左心室舒张末期容积 (left ventricle end-diastolic volumes, LVEDV)、左心室射血分数 (left ventricle ejection fraction, LVEF); 各节段室壁运动峰值径向应变 (radial strain, RS)、峰值面积应变 (area strain, AS)、径向应变收缩期达峰时间 (the time of peak radial strain, T-RS)、面积应变收缩期达峰时间 (the time of peak area strain, T-AS); 径向应变左室 16 节段收缩期达峰时间标准差 (the standard deviation

of the time to peak radial strain of 16 standard myocardial segments, T_{srs-SD})、16 节段收缩期达峰时间最大差值 (the max difference of time to peak radial strain of 16 standard myocardial segments, $T_{srs-Diff}$); 面积应变左室 16 节段收缩期达峰时间标准差 (the standard deviation of time to peak area strain of 16 standard myocardial segments, T_{sas-SD})、16 节段收缩期达峰时间最大差值 (the max difference of time to peak area strain of 16 standard) 等参数.

1.2.2 VFM 技术测量心腔内血流参数 应用 Aloka Prosound $\alpha 10$ 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 \pm 5) 帧/s, 受检者左侧卧位, 连接同步心电图. 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/秒, 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 cm^2/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 (D_x)、漩涡纵径 (D_y)、漩涡横向位置 (P_x)、漩涡纵向位置 (P_y)、漩涡最大向量速度 (V_{max})、漩涡圈数 (N) 及漩涡旋转方向等.

1.3 统计学分析

采用 SPSS 统计软件分析数据. 各组数据以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示. 组间比较, 计量资料采用方差分析, 计数资料采用 χ^2 检验, 两两比较采用 SNK 法, $P < 0.05$ 为异有统计学意义. 各相关参数的关系采用 Spearman 分析.

2 结果

2.1 左心室心腔内血液流场特点

健康对照组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, 整个左心室腔内出现一个延续自上一心动周期舒张末期的较大整体涡流, 涡流形态呈椭圆形, 流线较疏松, 可以有 1 ~ 2 个涡流中心; 射血期: 此时主动脉瓣开放, 在主动脉瓣开放的瞬间, 左心室心腔内整体

涡流消失, 主动脉瓣下左室流出道血流以层流方式加速流入主动脉, 左心室心腔中部及心尖部涡流消失, 仅在二尖瓣瓣下及左心室流入道有一局部椭圆形较小涡流, 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, 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. 快速充盈期: 此时期左心房血流以层流方式快速进入左心室, 沿左心室流入道流向左心室心尖部, 此时二尖瓣前、后叶下方可见持续的局部较小涡流; 缓慢充盈期: 当左心室内充盈的血流到达左心室心尖部后转向, 开始背离左心室心尖部, 沿左心室流出道流动, 与左心室流入道血流共同形成一个分布于整个左心室心腔的整体涡流, 流速逐渐减低; 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, 左心室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, 并持续至下一心动周期的等容收缩期.

病例组与健康对照组相比左心室收缩功能病例组 LVEDV 增大、LVEF 减小 ($P < 0.05$).

病例组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, 有时候可见涡流中出现流线紊乱, 而且涡流中心数目较健康对照组明显增多, 约 3 ~ 6 个, 位置也较健康对照组靠近左心室心尖, 且涡流中心位置偏离左心室心腔长轴中线; 射血期: 射血期主动脉瓣开放瞬间, 与健康对照组不同, 左心室心腔内仍可见占据绝大部分左心室心腔的整体涡流 (见图 1), 同时可见从左心室心尖流向左室流出道进入主动脉的血流信号, 且从心尖至左心室流出道的血流流速梯度较健康对照组慢, 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: 与健康对照组一样流入、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: 2 组均在二尖瓣前、后叶下方出现持续的局部较小涡流, 但与健康对照组比较, 病例组 2 个小涡流均向左心室中线靠近且更靠近左心室心尖部, 涡流圈数也多于健康对照组; 在整个舒张期, 病例组的漩涡横径 (D_x)、漩涡纵径 (D_y) 均大于健康对照组, 病例组的漩

涡最大向量速度 (V_{max}) 小于健康对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 病例组涡流总持续时间比健康对照组要长 ($P < 0.05$), 差异有统计学意义。

2.2 左室心肌扭转运动特点及其与左室心腔内血流流场相关性分析

健康对照组左室心尖部度呈逆时针旋转, 心底部呈顺时针旋转, 整体呈逆时针旋转, 且均于收缩期末达峰值。对照组左室各节段随心动周期变化曲线的趋势较为一致, 病例组整体纵向、径向、圆周值及面积应变与正常对照组相比均下降 ($P < 0.05$), 病例组左室旋转角度 (rotation angle, RA)、旋转率 (rotation rate, RR)、扭转角度 (twist angle, TA) 及扭转率 (twist rate, TR) 曲线形态较对照组相应的 RA、RR、TA、TR 曲线的波

幅减低, 曲线形态紊乱 (图 2), 特别是病例组 TR 与对照组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。病例组和对照组左室旋转、扭转参数比较 (表 1)。另外, 病例组前间隔中间段、前壁中间段、心尖段 RS、AS 减低, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。病例组前间隔中间段、前壁中间段、心尖段 T-RS 延长, 左室 16 节段 Tsrs-SD、Tsrs-Diif, Tsas-SD、Tsas-Diif 均较对照组组延长, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。左室旋转角度 (rotation angle, RA)、旋转率 (rotation rate, RR)、扭转角度 (twist angle, TA) 及扭转率 (twist rate, TR) 越小射血期左室内涡流范围越大 (漩涡横径 D_x 、漩涡纵径 D_y 增大), 持续时间越长, 成显著负相关 ($r = -0.693$, $r = -0.751$, $r = -0.655$, $r = -0.672$, $P < 0.05$)。

表 1 左室旋、转扭转等参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Comparison of left ventricular RA, RR, TA and TR ($\bar{x} \pm s$)

组别	左室整体扭转角度 (deg)	扭转率 (deg/s)	心尖旋转角度 (deg)	心尖旋转率 (deg/s)	瓣环旋转角度 (deg)	瓣环旋转率 (deg/s)
对照组	15.13 ± 5.32	113.64 ± 35.86	11.33 ± 5.32	88.49 ± 30.11	-6.79 ± 4.23	-59.77 ± 34.28
病例组	7.23 ± 3.15*	83.33 ± 18.32*	7.37 ± 1.19*	32.45 ± 15.83*	-6.99 ± 3.97	-61.26 ± 31.59

与对照组比较, * $P < 0.05$ 。

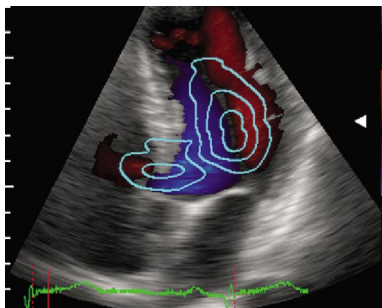


图 1 病例组射血期早期左室心腔内的整体涡流

Fig. 1 In patient group, left ventricular intracavitary vortex in the early ejection phase



图 2 病例组左室旋转角度曲线形态波幅减低, 曲线形态紊乱

Fig. 2 In patient group, the left ventricular rotation curve amplitude is reduced and the curves shape was irregular

3 讨论

心脏的收缩和舒张是一个包含了心室肌肉的扭转和解旋的三维空间立体运动^[2]。这种运动最终导致了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, 单纯研究心脏室壁运动或心腔内血流流场状态均难以全面真实地反映和客观评价临床上多种疾病治疗前、后心脏功能状态。因而研究心血管腔内血液流场的流体力学状态及其与心室壁心机械力学状态的时空关联性, 将可能会是客观、准确评价心功能系统整体功能变化的一个有效方法。

三维超声斑点追踪技术是新近发展的超声定量分析软件, 通过逐帧追踪三维灰阶图像中均匀分布于心肌内的散射斑点, 逐帧比较每个斑点的运动及斑点间的相对运动, 从而得出纵向应变率、角偏移等参数, 克服了角度依赖性, 可以从多个方向对心肌节段应变进行评价, 对心尖节段也能较好地研究, 而且三维应变软件涵盖的兴趣区范围是整个室壁, 较以往软件兴趣区只能取室壁各节段中的某个点其分析范围扩大, 因此能更完整地分析心室各节段的应变情况。其检查结果能更接近真实的反映心肌运动情况并准确评价心肌功能。从而克服了以往二维超声斑点追踪技术由于其基于二维图像, 不能

反映心脏实时三维的运动状态的较大局限性^[3]。

VFM 成像技术也是最近开发出评价心腔内血液流场的一种新方法, 是应用血流速度向量、涡流和流线方式显示血液流场, 以达到评价心功能的目的。其核心理论是: 为了得到观测平面内的二维向量速度, 将观测面内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, 是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^[4]。

本研究应用超声 VFM 技术能敏感地显示漩涡的血流动力学变化, 同时三维斑点追踪技术又能准确有效的对室壁运动进行三维空间分析的技术特点, 通过对 30 例正常健康成人和 30 例前壁心肌梗塞患者的对比分析, 发现前壁心肌梗塞患者整体纵向、径向、圆周值及面积应变与正常对照组相比均下降 ($P < 0.05$), 且病例组左心室旋转角度 (RA)、旋转率 (RR)、扭转角度 (TA) 及扭转率 (TR) 曲线形态较对照组相应的曲线的波幅减低, 曲线形态紊乱, 前间隔中间段、前壁中间段、心尖段 RS、AS 减低, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。RA、RR、TA、TR 越小射血期左心室内涡流范围越大 (漩涡横径 D_x 、漩涡纵径 D_y 增大), 持续时间越长, 成显著负相关 ($r = -0.693$, $r = -0.751$, $r = -0.655$, $r = -0.672$, $P < 0.05$)。说明考虑前壁心肌梗塞患者心肌缺血坏死已使心肌纤维的收缩功能受损, 导致左心室的扭转能力下降, 而左心室的整体扭转运动能力下降, 前间隔中间段、前壁中间段、心尖段 RS、AS 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, 主动脉瓣下左室流出道血流以层流方式加速流入主动脉, 左心室心腔中部及心尖部涡流消失, 完成舒张期前向血流向收缩期反向流入主动脉的顺利转变, 而是继续在左心室心腔内尤其是靠近心尖、左心室前壁的位置形成涡流, 提示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。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, 与本研究结果一致。左心室旋转角度 (RA)、旋转率 (RR)、扭转角度 (TA) 及扭转率能成为评价冠心病患者左心室扭转的敏感指标^[6], 结合 VFM 技术可揭示左心室心腔内血流与左心室壁运动之间的关系, 为分析心室壁运动与心腔内血液流场状态的研究提供了一种可视化的无创的方法。

当然, 本研究仅纳入分析了前壁心梗患者, 可以肯定的是不同部位的心肌梗塞都会对心腔内血流流场产生不同的影响, 可在今后的研究中逐步分析不同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, 本研究中左室壁运动分析采用的是三维斑点追踪, 而心腔内血流 VFM 技术是基于二维空间, 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] RICHAND V, LAFITTE S, REANT P, et al. An ultrasound speckle tracking (two-dimensional) analysis of myocardial deformation in professional soccer players compared with healthy subjects and hypertrophic cardiomyopathy [J]. Am J cardiol, 2007, 100(1):128 - 132.
- [3] ventricular volumes using three-dimensional echocardiographic speckle tracking: comparison with MRI [J]. Eur Heart J, 2009, 30(13):1 565 - 1 573.
- [4] 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.
- [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 (6):705 - 717.
- [6] 王庆慧, 丁云川, 陈剑, 等. 现丽妮 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.

(2014 - 06 - 12 收稿)