

Three-dimensional echocardiography combined with myocardial contrast echocardiography for assessment of myocardial dysfunction in patients with type 2 diabetes mellitus

ZENG Jiahui, LI Wei, LIAO Zhihong, SU Zezhen, YAO Fengjuan,
YE Min, LI Cuiling, LIN Hong*

(Department of Medical Ultrasound, the First Affiliated Hospital, Institute of Diagnostic and
Interventional Ultrasound, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of real-time three-dimensional echocardiography (RT-3DE) combined with myocardial contrast echocardiography (MCE) in evaluating myocardial dysfunction in type 2 diabetes mellitus (T2DM) patients. **Methods** Totally 58 T2DM patients were divided into group I (T2DM isolated) and group II (T2DM associated with microvascular complications, each $n=29$). Group C included 32 normal individuals. The standard deviation (Tmsv16-SD, Tmsv12-SD, Tmsv6-SD) and the maximum time difference (Tmsv16-Dif, Tmsv12-Dif, Tmsv6-Dif) of the time to the minimum systolic volume of left ventricle were measured with RT-3DE. MCE was performed to obtain perfusion measurement of each segment of ventricular wall, including the acoustic intensity (A), microvascular flow velocity (β) and $A \cdot \beta$. **Results** There were statistically significant differences in all synchronize measurements except Tmsv6-Dif between group II and group C (all $P < 0.05$). Tmsv12-Dif, Tmsv12-SD, Tmsv12-Dif% and Tmsv12-SD% of group I prolonged comparing with group C (all $P < 0.05$). All the parameters of A , β and $A \cdot \beta$ showed a gradually decreasing trend in group C, group I and group II, while those in group II were lower than group C (all $P < 0.05$). The parameters of β and $A \cdot \beta$ in group II were lower than those in group I (both $P < 0.05$). Compared with group C, the values of β and $A \cdot \beta$ in group I decreased (both $P < 0.05$). There was no significant difference of the same measurement in segments among three groups (all $P > 0.05$). **Conclusion** Left ventricular desynchrony can be observed in T2DM patients with or without microvascular complications. Myocardial perfusion reduce in T2DM patients presenting as diffuse damage, which aggravated with microvascular complications in other organs.

[Keywords] echocardiography, three-dimensional; ultrasound contrast; myocardial perfusion imaging; diabetes complications

DOI:10.13929/j.1003-3289.201906024

三维超声心动图结合心肌超声造影评价 2 型糖尿病患者心肌功能障碍

曾嘉慧, 李 薇, 廖志红, 苏泽珍, 姚凤娟, 叶 敏, 李翠玲, 林 红*

(中山大学附属第一医院超声医学科 中山大学超声诊断与介入超声研究所, 广东 广州 510080)

[摘要] **目的** 探讨实时三维超声心动图结合心肌超声造影对评价 2 型糖尿病(T2DM)患者心肌功能障碍的价值。**方法** 选取单纯糖尿病组(I组)和糖尿病合并微血管并发症组(II组)各 29 例, 对照组(C组)32 名, 运用实时三维超声心动图获取左心室 16 节段、12 节段及 6 节段达最小收缩容积时间的标准差(Tmsv16-SD、Tmsv12-SD、Tmsv6-SD)和最大时间

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金(81601500)。

[第一作者] 曾嘉慧(1993—), 女, 广东陆丰人, 硕士, 医师。研究方向: 超声心动图与超声造影。E-mail: zengjiahui1993@163.com

[通信作者] 林红, 中山大学附属第一医院超声医学科 中山大学超声诊断与介入超声研究所, 510080。E-mail: hlin@163.com

[收稿日期] 2019-06-04 **[修回日期]** 2019-10-13

差值(Tmsv16-Dif、Tmsv12-Dif 和 Tmsv6-Dif)及其心率校正值。通过心肌超声造影获得各室壁各节段的峰值强度 A、充盈速度 β 并计算 $A \cdot \beta$, 进行组间数据分析。**结果** ①同步性运动评估: II 组除 Tmsv6-Dif 以外, 其余左心室同步化指标均较 C 组延长 (P 均 < 0.05); I 组 Tmsv12-Dif、Tmsv12-SD、Tmsv12-Dif% 和 Tmsv12-SD% 较 C 组延长 (P 均 < 0.05)。②心肌血流灌注整体评估: C 组、I 组、II 组 A、 β 、 $A \cdot \beta$ 均呈逐渐下降趋势, II 组 A、 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 C 组 (P 均 < 0.05); II 组 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 I 组 (P 均 < 0.05); I 组 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 C 组 (P 均 < 0.05); 3 组内同一指标 3 个节段差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。**结论** 单纯 T2DM 及合并血管并发症患者左心室运动均存在不同步现象; T2DM 患者心肌灌注减低, 呈弥漫性损害, 随其他脏器微循环病变出现而加重。

[关键词] 超声心动描记术, 三维; 超声造影; 心肌灌注显像; 糖尿病并发症

[中图分类号] R587.1; R542.2; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2019)11-1611-05

实时三维超声心动图 (real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE) 由于其实时性、准确性和可重复性逐渐成为临床评估左心室收缩功能和室壁运动同步性的重要手段^[1]。已有许多研究^[2-3] 探讨 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 与左心室同步性之间的关系, 发现 T2DM 患者中存在左心室功能及同步性损害。然而单纯评估左心室同步化并不能全面评价 T2DM 患者心肌病变, 需要同时评估其心肌灌注情况。心肌超声造影 (myocardial contrast echocardiography, MCE) 目前被认为是检测心肌微循环的最佳方法之一。本研究旨在结合 RT-3DE 与 MCE, 从运动和心肌灌注两个方面评估 T2DM 患者的心肌, 为临床检测 T2DM 患者心肌病变提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2018 年 8 月—2019 年 2 月 58 例 T2DM 患者作为病例组, 均符合 2014 年美国糖尿病协会 T2DM 诊断标准^[4]; 根据是否存在糖尿病肾病和/或视网膜病变等微血管并发症, 将其分为单纯糖尿病组 (I 组) 和糖尿病合并微血管并发症组 (II 组) 各 29 例。I 组男 13 例, 女 16 例, 平均年龄 (58.0 \pm 13.8) 岁; II 组男 12 例, 女 17 例, 平均年龄 (59.5 \pm 9.0) 岁。纳入标准: ①超声心动图检查无节段性室壁运动异常、左心室射血分数 $\geq 50\%$; ②心电图正常, QRS 时限 < 120 ms。排除标准: ①1 型糖尿病; ②冠心病史; ③中-重度瓣膜疾病; ④先天性心脏病; ⑤原发性心肌病; ⑥严重心律失常; ⑦甲状腺疾病; ⑧癫痫或精神病史; ⑨严重肝、肾功能不全等。诊断 T2DM 基础上微循环并发症需符合下列情况之一^[5]: ①尿白蛋白 (urinary albumin, UA) 持续 ≥ 30 mg/24 h (排除其他因素引起); ②眼科检查确诊视网膜病变; ③临床确诊周围神经病变, 排除原发性神经系统疾病。选择同期 32 名成年体检者作为对照组 (C 组), 男 16 名, 女 16 名, 平均年龄 (51.2 \pm 15.8) 岁, 既往无 T2DM、冠心病

史, 心电图、超声心动图、临床体检和相关实验室检查均未见明显异常。所有受试者均被告知检查并签订知情同意书。分别采集 3 组受试者的身高、体质量、血压、心率 (heart rate, HR)、血糖 (glucose, GLU) 及血脂等相关临床指标。

1.2 仪器与方法 采用 Philips EPIQ 7C 超声诊断仪, 连接同步心电图。嘱患者左侧卧, 以 X5-1 矩阵探头行二维超声检查, 测量室间隔舒张末期厚度 (interventricular septum thickness at end-diastole, IVSd)、左心室舒张末期内径 (left ventricular end-diastolic dimension, LVDd)、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 及每搏输出量 (stroke volume, SV)。在心尖处获取左心室内膜较为清晰的心尖四腔心切面图像, 选择“HM”键, 储存 5 个连续心动周期的 $60^\circ \times 60^\circ$ 全容积图像。使用意大利 Bracco 公司声诺维 (SonoVue) 造影剂, 与 5 ml 生理盐水混合后剧烈摇荡 20 s, 得到六氟化硫 (SF_6) 悬浮液。以 18G 静脉导管自肘部静脉穿刺, 以恒定速度推注造影剂 3.0 ml, 时间约 1 min。选择实时 MCE 模式, 机械指数为 0.18, 将 Focus 置于二尖瓣瓣环水平, 增益调至 80%, Flash 触发后自动发射高能量脉冲, Flash 帧数为 10 帧, 机械指数为 1.35。采用 X5-1 探头记录约 15 个心动周期的心尖四腔、两腔及三腔 MCE 图像。以 DICOM 格式储存图像以备离线分析。

1.3 图像分析

1.3.1 左心室同步性定量分析 采用 QLab 10.5 定量分析软件中的 3DQ-advance 软件。在左心室舒张末期和收缩末期标记 5 个心内膜参考点, 点击“序列分析”, 软件自动分析心内膜边缘运动轨迹, 得到左心室 16 个节段、12 个节段 (6 个基底段和 6 个中间段) 及 6 个基底段达最小收缩容积时间的标准差 (Tmsv16-SD、Tmsv12-SD、Tmsv6-SD) 和最大时间差值 (Tmsv16-Dif、Tmsv12-Dif 和 Tmsv6-Dif)。软件自动算出 HR 校正值, 用百分数表示。

1.3.2 心脏超声造影定量分析 采用 QLab 10.5 的实时 MCE 软件,将 ROI 分别置于左心室 6 个室壁基底段、中间段和心尖段心肌范围内,打开呼吸运动补偿。在拟合指数函数 $Y = A(1 - e^{-\beta t}) + B$ 后,获得各节段造影时间-强度曲线,读取峰值强度 A、充盈速度 β 并计算 $A \cdot \beta$ 。取所有 ROI 各数据平均值作为整体评估数据。以上各项均测量 3 次后取其平均值。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布资料用中位数(上下四分位数)表示。3 组间符合正态分布的数据使用单因素方差分析进行比较,非正态分布数据使用 Kruskal-Wallis H 检验进行比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床数据及超声心动图常规测量比较 3 组间 HR、GLU、HbA1c 差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。C 组、I 组以及 II 组之间收缩压(systolic pressure, SP)、舒张压(diastolic pressure, DP)、体质指数(body mass index, BMI)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白(high-density

lipoprotein, HDL)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、IVSd、LVDd、LVEF、SV 差异无统计学意义($P > 0.05$,表 1)。

2.2 左心室同步性结果比较 除 Tmsv6-Dif 外,3 组间各同步化测量值差异均有统计学意义($P < 0.05$);其中 II 组 Tmsv16-Dif、Tmsv16-SD、Tmsv12-Dif、Tmsv12-SD、Tmsv6-SD 及 I 组 Tmsv12-Dif 和 Tmsv12-SD 均较 C 组延长($P < 0.05$,表 2);校正 HR 后,II 组各同步化值及 I 组 Tmsv12-Dif%、Tmsv12-SD% 均较 C 组延长($P < 0.05$,表 3)。II 组各测量值与 I 组相比差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 心肌超声造影灌注结果对比 各组造影时间-强度曲线见图 1。MCE 整体评估:C 组、I 组和 II 组 A、 β 及 $A \cdot \beta$ 均呈逐渐下降趋势($P < 0.01$);II 组 A、 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 C 组($P < 0.05$);II 组 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 I 组($P < 0.05$);I 组 β 及 $A \cdot \beta$ 值均低于 C 组($P < 0.05$),见表 4。分节段评估:C 组、I 组、II 组基底段、中间段及心尖段 A、 β 、 $A \cdot \beta$ 均呈逐渐下降趋势,3 组间差异有统计学意义($P < 0.01$)。II 组各节段 A、 β 及 $A \cdot \beta$ 均低于 C 组($P < 0.05$);II 组

表 1 各组临床数据及超声心动图常规测量比较[$\bar{x} \pm s, M(Q_L, Q_U)$]

组别	HR(次/分)	SP(mmHg)	DP(mmHg)	BMI(kg/m ²)	GLU(mmol/L)	HbA1c(%)	TG(mmol/L)
I 组(n=29)	73.42±10.61	126.94±16.06	77.69±11.15	23.71±3.85	4.76±0.42	5.55±0.33	1.27(0.81,2.44)
II 组(n=29)	84.83±15.98*	128.03±16.87	78.07±11.66	23.80±2.86	10.31±4.54*	8.77±2.33*	1.35(0.94,1.95)
C 组(n=32)	80.72±10.46*	131.31±20.87	76.07±11.55	24.27±2.97	11.89±5.82*	9.00±1.58*	1.53(0.99,1.90)
H/F 值	5.34	0.37	0.24	0.23	8.80	5.69	0.32
P 值	<0.01	0.69	0.79	0.79	<0.01	<0.01	0.85

组别	HDL(mmol/L)	LDL(mmol/L)	IVSd(mm)	LVDd(mm)	LVEF(%)	SV(ml)
I 组(n=29)	1.40(0.99,1.68)	3.29±0.70	9.50(9.00,11.00)	48.00±3.60	70.71±6.14	76.07±13.47
II 组(n=29)	1.09(0.85,1.30)	2.92±0.92	10.00(9.00,10.00)	45.96±4.84	70.96±5.41	70.68±20.21
C 组(n=32)	0.99(0.88,1.11)	2.86±0.86	10.00(10.00,10.50)	45.18±5.09	70.39±5.69	66.18±18.12
H/F 值	4.82	1.05	2.44	2.86	0.07	2.24
P 值	0.09	0.36	0.30	0.06	0.93	0.11

注: * :与 C 组比较, $P < 0.05$; # :与 I 组比较, $P < 0.05$ 。HbA1c:糖化血红蛋白

表 2 各组左室同步性指标比较[$M(Q_L, Q_U)$, ms]

组别	Tmsv16-Dif	Tmsv16-SD	Tmsv12-Dif	Tmsv12-SD	Tmsv6-Dif	Tmsv6-SD
I 组(n=29)	89.33 (63.33,115.67)	24.67 (17.17,29.17)	70.33 (56.17,84.32)*	20.33 (17.50,25.20)*	54.67 (44.33,69.33)	20.67 (16.83,26.67)
II 组(n=29)	103.00 (65.17,151.10)*	27.67 (17.00,39.00)*	94.17 (55.83,134.17)*	27.33 (16.17,38.83)*	67.33 (43.33,101.83)	25.17 (16.33,41.33)*
C 组(n=32)	68.67 (57.00,90.89)	17.00 (15.00,23.00)	49.41 (38.33,60.33)	14.24 (10.67,18.00)	37.67 (30.33,55.00)	14.33 (12.00,19.33)
H 值	6.24	7.38	12.36	11.79	5.60	6.27
P 值	<0.05	<0.05	<0.01	<0.01	0.06	<0.05

注: * :与 C 组比较, $P < 0.05$

表 3 各组左室同步性指标心率校正值比较[M(Q_L, Q_U), %]

组别	Tmsv16-Dif%	Tmsv16-SD%	Tmsv12-Dif%	Tmsv12-SD%	Tmsv6-Dif%	Tmsv6-SD%
I 组(n=29)	10.16(7.55,12.61)	2.75(2.25,3.36)	8.72(6.89,10.32)*	2.56(2.06,3.07)*	6.44(5.20,8.96)	2.47(1.97,3.56)
II 组(n=29)	13.41(8.50,20.27)*	3.65(2.24,5.23)*	10.88(6.35,17.98)*	3.53(1.86,5.33)*	8.25(5.13,12.29)*	3.21(1.85,4.86)*
C 组(n=32)	8.71(6.17,9.99)	2.14(1.63,2.46)	4.96(4.41,6.80)	1.56(1.23,1.99)	4.25(3.50,5.88)	1.71(1.37,2.30)
H 值	9.25	10.46	16.87	16.2	8.71	8.43
P 值	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05

注: * :与 C 组比较, P<0.05

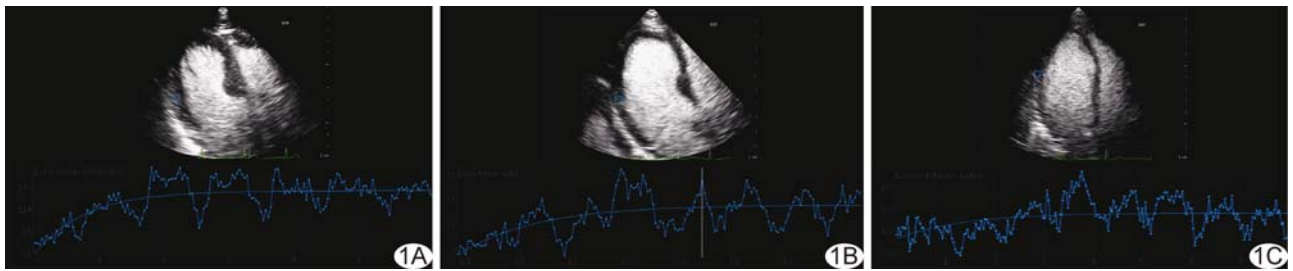


图 1 3 组心肌超声造影定量分析时间-强度曲线 A. C 组曲线上升至平台期较迅速, 峰值强度较高; B. I 组曲线较 C 组平缓; C. II 组再充盈曲线较 I 组更为低平

表 4 3 组左心室整体心肌灌注比较[M(Q_L, Q_U)]

组别	A(dB)	β(dB/s)	A · β(dB · dB/s)
I 组(n=29)	15.11(10.26,26.90)	5.51(4.51,8.26)*	89.32(59.04,224.06)*
II 组(n=29)	9.76(8.63,17.89)*	4.22(3.06,5.44)*#	52.66(26.91,91.95)*#
C 组(n=32)	21.43(13.37,32.76)	10.67(8.10,12.23)	220.89(103.27,352.86)
H 值	15.39	51.79	33.65
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

注: * :与 C 组比较, P<0.05; # :与 I 组比较, P<0.05; A 为平台期信号强度; β 为曲线上升斜率; A · β 代表局部心肌血流量

表 5 3 组左心室分节段心肌灌注峰值强度(A)比较[M(Q_L, Q_U), dB]

组别	基底段	中间段	心尖段
I 组(n=29)	11.57(9.52,24.17)	17.18(11.90,24.39)	16.50(12.18,24.38)
II 组(n=29)	9.25(7.73,15.29)*	11.82(9.71,19.22)*	10.36(8.21,19.78)*
C 组(n=32)	16.58(11.66,27.76)	21.38(13.37,33.80)	23.92(15.78,34.77)
H 值	11.01	10.7	18.53
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

注: * :与 C 组比较, P<0.05; # :与 I 组比较, P<0.05; A 为平台期信号强度; β 为曲线上升斜率; A · β 代表局部心肌血流量

表 6 3 组左心室分节段心肌灌注速度(β)比较[M(Q_L, Q_U), dB/s]

组别	基底段	中间段	心尖段
I 组(n=29)	4.83(3.73,7.85)*	6.02(5.42,7.99)*	4.76(3.44,7.34)*
II 组(n=29)	3.65(2.34,4.89)*#	4.65(3.19,5.98)*#	2.62(1.99,4.61)*#
C 组(n=32)	10.33(8.01,14.43)	10.19(8.09,12.56)	9.46(7.47,11.39)
H 值	45.08	40.82	38.66
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

注: * :与 C 组比较, P<0.05; # :与 I 组比较, P<0.05; A 为平台期信号强度; β 为曲线上升斜率; A · β 代表局部心肌血流量

各节段 β 和 A · β 均低于 I 组(P 均<0.05); I 组 3 个节段 β 和 A · β 均低于 C 组(P 均<0.05), 见表 5~7。3 组内同一指标 3 个节段比较差异均无统计学意义(P 均>0.05)。

3 讨论

RT-3DE 可在同一心动周期同时显示左心室各节段, 准确、可靠地评价各节段容积变化及左心室收缩的机械同步性^[6]。Arias 等^[7]认为 RT-3DE 在评价同步性方面具有很高价值, 可定量评估左心室整体运动情况, 还能很敏感地显示局部节段心肌功能, 定量计算心室整体及节段收缩、舒张功能, 其结果与组织多普勒、MRI 等检查有良好相关性^[8]。已有多项研究^[9]证实病程较长的 T2DM 患者心肌受损, 本研究结果与其相符。本研究中 I 组 Tmsv1 2 - Dif、Tmsv12-SD、Tmsv12-Dif%、Tmsv12-SD% 均较 C 组延长, II 组除 Tmsv6-Dif 外各同步化指标与 C 组比较均有所延长, 表明心功能在正常范围

表 7 3 组左心室分节段心肌灌注血流量(A·β)比较
[M(Q_L, Q_U), dB·dB/s]

组别	基底段	中间段	心尖段
I 组(n=29)	80.00(32.66,195.09)*	107.81(78.27,188.50)*	83.59(41.13,135.60)*
II 组(n=29)	48.16(18.39,67.65)*#	75.20(33.77,104.23)*#	31.75(14.27,98.22)*#
C 组(n=32)	163.89(116.76,299.42)	248.21(111.10,417.50)	267.13(111.76,385.09)
H 值	34.31	27.13	31.59
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

注：*：与 C 组比较，P<0.05；#：与 I 组比较，P<0.05；A 为平台期信号强度；β 为曲线上斜率；A·β 代表局部心肌血流量

时，T2DM 患者左心室已出现心肌节段收缩不同步，且其左心室运动不协调程度更高，原因可能是长期高血糖引起微循环病变，导致心室形态和结构改变。此外，糖尿病肾病患者肾脏排泄功能下降也对左心结构和功能有不可小觑的影响，使其心肌运动不同步性更加严重。

MCE 评价心肌组织微循环灌注具有广泛应用前景，可无创、定量地评价心肌微循环。心肌造影剂在血液循环过程中不会渗透入组织间隙，能实时评估微循环灌注情况，观察心肌血流灌注是否均匀，检测心肌内毛细血管血容量^[10]。本研究整体心肌超声造影分析显示，病例组各参数均低于正常对照组，提示 T2DM 患者心肌血容量、血流速度及血流量均低于正常组，与相关 MRI 研究^[11-12]结果相符；II 组 A、β 及 A·β 均低于 I 组，提示 T2DM 患者存在一定程度心肌微循环障碍，且随着其他脏器微循环并发症出现，心肌灌注各项指标降低程度增加，表明 T2DM 可引起全身弥漫性病变，如视网膜病变、肾损害等，心脏也同时受损。因此 T2DM 患者即使无相应症状，也应对心肌微循环病变给予足够重视。既往研究^[13]已发现 T2DM 可引起 MCE 所测心肌灌注减低，但大多并未进行分节段分析。本研究分节段造影分析显示，同组内同一指标 3 节段之间差异无统计学意义，且呈现与整体评估类似的趋势，提示 T2DM 心肌微循环病变呈弥漫性，而非局限于特定节段。

总之，RT-3DE 及 MCE 可在 T2DM 性心肌损害发展到心肌病阶段前提高收缩功能障碍及灌注减低的检出率，早期评价心肌病变对治疗及改善预后具有一定意义，也可作为治疗后定期随访复查有效、经济、简便的手段。

[参考文献]

[1] Eskofier J, Wefstaedt P, Beyerbach M, et al. Quantification of left ventricular volumes and function in anesthetized beagles using real-time three-dimensional echocardiography: 4D-TomTec analysis versus 4D-AutLVQ analysis in comparison with cardiac magnetic resonance imaging. BMC Vet Res, 2015, 11:260.

[2] 杨清, 冉海涛, 刘凤琴. 实时三维超声心动图评价 2 型糖尿病及代谢综合征患者左心室功能及同步性. 中国医学影像技术, 2016, 32(5):727-731.

[3] 金鑫, 韩东刚, 周琦, 等. 三维超声心动图评价糖尿病患者左心室功能及其与血清学代谢指标的相关性. 中国医学影像技术, 2018, 34(7):1009-1013.

[4] American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. Diabetes Care, 2014, 37(Suppl 1):S81-S90.

[5] 孙亚东. 糖尿病性微血管病变及其诊断与临床对策. 实用糖尿病杂志, 2013, 9(6):7-9.

[6] Xiong Y, Wah YM, Chen M, et al. Real-time three-dimensional echocardiography using a matrix probe with live xPlane imaging of the interventricular septum. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009, 34(5):534-537.

[7] Arias-Godinez JA, Guadalajara-Boo JF, Patel AR, et al. Function and mechanics of the left ventricle: from tissue Doppler imaging to three dimensional speckle tracking. ArchCardiol Mex, 2011, 81(2):114-125.

[8] Scholte AJ, Nucifora G, Delgado V, et al. Subclinical left ventricular dysfunction and coronary atherosclerosis in asymptomatic patients with type 2 diabetes. Eur J Echocardiogr, 2011, 12(2):148-155.

[9] 赵一楠, 周迎生. 糖尿病性心肌病的研究进展. 中国糖尿病杂志, 2016, 24(04): 381-384.

[10] Kaul S, Ito H. Microvasculature in acute myocardial ischemia: Part I: Evolving concepts in pathophysiology, diagnosis, and treatment. Circulation, 2004, 109(2):146-149.

[11] 李世兰, 牟安娜, 车思雨, 等. IVIM 技术应用于评估糖尿病患者心肌微循环的初步研究. 磁共振成像, 2018, 9(12):898-903.

[12] Liu X, Yang ZG, Gao Y, et al. Left ventricular subclinical myocardial dysfunction in uncomplicated type 2 diabetes mellitus is associated with impaired myocardial perfusion: A contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance study. Cardiovasc Diabetol, 2018, 17(1):139.

[13] 张展, 张军, 刘芳, 等. 心肌声学造影评价胰岛素不同干预时间点糖尿病大鼠心肌灌注的影响. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(6):405-408.