

三维斑点追踪技术评价糖尿病微血管病变患者的左心室功能

周青, 何香芹, 马建敏, 孙瑞聪, 姜志荣*

青岛大学附属医院心脏超声科, 山东 青岛

收稿日期: 2023年11月11日; 录用日期: 2023年12月4日; 发布日期: 2023年12月11日

摘要

目的: 应用三维斑点追踪成像(3D-STI)评价2型糖尿病(T2DM)患者左心室三维应变, 并讨论其与糖化血红蛋白(HbA1c)的关系。方法: 收集临床诊断为T2DM的患者51例, 分为无微血管病变组(DM1组) 21例、合并微血管病变组(DM2组) 30例, 同时选取25例健康志愿者作为正常对照组, 应用二维超声心动图测量左心房前后径(LAD)、左心室舒张末期内径(LVDD)、左心室收缩末期内径(LVDS)、室间隔厚度(IVST)、左心室后壁厚度(LVPWT)、二尖瓣口舒张早期峰值流速(E)、二尖瓣口舒张晚期峰值速度(A)、二尖瓣环舒张早期峰值速度(e')、左室射血分数(2D-LVEF)。应用3D-STI采集心尖全容积图像获得左心室整体长轴应变(GLS)、左心室整体轴向应变(GCS)、左心室整体径向应变(GRS)、左心室射血分数(3D-LVEF)及左心室质量(LVM)等参数, 比较各指标组间差异, 分析其与HbA1c的相关性。结果: IVST、E/A、e'、E/e'这4个指标在3组间差异有统计学意义($P < 0.001$), LVPWT在3组间差异有统计学意义($P < 0.05$); 在组间两两比较中, IVST、LVPWT、E/A、e'、E/e'在DM2组与对照组、DM2组与DM1组间差异有统计学意义; 与对照组相比, DM2组的IVST、LVPWT、E/e'增大, e'、E/A减小; 与DM1组相比, DM2组的IVST、LVPWT、E/e'增大, e'、E/A减小。GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF这5个参数在3组间差异有统计学意义($P < 0.001$), 组间两两比较中, GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF在DM1组与对照组、DM2组与对照组、DM2组与DM1组的组间差异有统计学意义; 与对照组相比, DM1组、DM2组的GCS、GLS、LVM增大, GRS、3D-LVEF减小; 与DM1组相比, DM2组的GCS、GLS、LVM增大, GRS、3D-LVEF减小。相关性分析显示, HbA1c与GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF均成负相关($r = -0.637$ 、 -0.562 、 -0.515 、 -0.606 、 -0.598 , $P < 0.001$)。结论: T2DM患者左心室收缩与舒张功能均受损, 其中, 3D-STI指标组间差异更为显著, 3D-STI可精准评估二型糖尿病患者左心功能状态, 为临床及时防治T2DM患者心功能损害的发展提供有效依据。

关键词

2型糖尿病, 微血管病变, 三维斑点追踪成像, 左心室

*通讯作者。

Evaluation of Left Ventricular Function in Diabetes Patients with Microvascular Disease by Three-Dimensional Speckle Tracking Imaging

Qing Zhou, Xiangqin He, Jianmin Ma, Ruicong Sun, Zhirong Jiang*

Department of Cardiac Ultrasound, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Nov. 11th, 2023; accepted: Dec. 4th, 2023; published: Dec. 11th, 2023

Abstract

Objective: To evaluate the three-dimensional strain of the left ventricle in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) by three-dimensional speckle tracking imaging (3D-STI), and discuss the relationship between the three-dimensional strain and HbA1c. **Method:** A total of 51 patients who were clinically confirmed T2DM were collected and divided into a group of 21 patients without microvascular disease (DM1 group) and a group of 30 patients with microvascular disease (DM2 group), and 25 healthy volunteers were selected as the control group at the same time. Two-dimensional echocardiography was applied to measure the left atrial anteroposterior diameter (LAD), left ventricular end diastolic diameter (LVDD), left ventricular end systolic diameter (LVDS), and interventricular septal thickness (IVST), left ventricular posterior wall thickness (LVPWT), early peak diastolic flow rate (E), late peak diastolic flow rate (A), early peak diastolic velocity (e') and left ventricular ejection fraction (2D-LVEF). 3D-STI was applied to collect apical full volume images, parameters including left ventricular global long axis strain (GLS), left ventricular global axial strain (GCS), left ventricular global radial strain (GRS), left ventricular ejection fraction (3D-LVEF), and left ventricular mass (LVM) in order to access the differences between 3 groups of these parameters and explore their correlation with HbA1c. **Result:** The four parameters of IVST, E/A, e', and E/e' showed statistically significant differences among the three groups ($P < 0.001$), while LVPWT showed statistically significant differences among the three groups ($P < 0.05$). In pairwise comparisons between groups, there were statistically significant differences in IVST, LVPWT, E/A, e', E/e' between the DM2 group and the control group, as well as between the DM2 group and the DM1 group; Compared with the control group, the IVST, LVPWT, and E/e' of the DM2 group increased, while e' and E/A decreased; Compared with the DM1 group, the IVST, LVPWT, and E/e' of the DM2 group increased, while e' and E/A decreased. The five parameters GCS, GLS, GRS, LVM and 3D-LVEF showed statistically significant differences among the three groups ($P < 0.001$). In pairwise comparisons between the groups, GCS, GLS, GRS, LVM and 3D-LVEF showed statistically significant differences between the DM1 group and the control group, DM2 group and the control group, and DM2 group and DM1 group: compared with the control group, the GCS, GLS and LVM of the DM1 and DM2 groups increased, while the GRS and 3D-LVEF of the DM1 and DM2 groups decreased; Compared with the DM1 group, the GCS, GLS and LVM of the DM2 group increased, while the GRS and 3D-LVEF of the DM2 group decreased. Correlation analysis showed that HbA1c was negatively correlated with GCS, GLS, GRS, LVM, and 3D-LVEF ($r = -0.637, -0.562, -0.515, -0.606, -0.598, P < 0.001$). **Conclusion:** The left ventricular systolic and diastolic functions of T2DM patients were impaired, among which, the differences between 3D-STI parameters were more significant. 3D-STI can accurately assess the left ventricular function status of type II diabetes patients, so as to prevent and treat the heart function damage of T2DM patients timely.

Keywords

Type 2 Diabetes, Microvascular Disease, Three-Dimensional Speckle Tracking Imaging, Left Ventricle

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

糖尿病可引起全身多系统、多器官的病变，其中以心血管慢性并发症最为严重，是 2 型糖尿病患者最主要的死亡原因[1]。常规二维超声检查并不能早期地反映 2 型糖尿病患者的心功能损害情况。本研究运用三维斑点追踪技术(three-dimensional speckle tracking imaging, 3D-STI)对 T2DM 患者的左心室功能进行评价，并探讨其与糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)之间的关系。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

选取 2023 年 1 月~2023 年 7 月于青岛大学附属医院(以下简称“我院”)经临床确诊的 51 例 2 型糖尿病患者，糖尿病诊断标准参考《中国 2 型糖尿病防治指南 2020 年版》[2]，空腹血浆葡萄糖 ≥ 7.0 mmol/L 或口服葡萄糖耐量试验 2 h 血浆葡萄糖 ≥ 11.1 mmol/L。排除标准：超声心动图图像质量不佳；射血分数(LVEF) $< 55\%$ ；高血压；严重心律失常及植入起搏器；先天性心脏病；瓣膜病；心肌病；冠状动脉粥样硬化性心脏病；中至重度瓣膜关闭不全；肝肾功能不全者。依据是否合并微血管病变分为单纯 T2DM 组(DM1 组) 21 例，男 11 例，女 10 例，年龄 43~62 岁，平均(54.6 \pm 5.1)岁、T2DM 合并微血管病变组(DM2 组) 30 例，男 14 例，女 16 例，年龄 45~62 岁，平均(54.9 \pm 5.4)岁。微血管病变包括：① 糖尿病周围神经病变；② 糖尿病肾病；③ 糖尿病视网膜病变。符合上述任意一条即可诊断为合并微血管病变。另选取同期于我院就诊，与病例组性别、年龄相匹配的健康志愿者 25 例，其中男 12 例，女 13 例，年龄 41~65 岁，平均(52.7 \pm 5.2)岁，均无肾脏、心血管、内分泌及代谢性疾病，体格检查、X 线、超声心动图均无异常。收集以上患者的临床资料，包括年龄、性别、身高、体重、体重指数(body mass index, BMI)、BSA、血压(收缩压、舒张压)、心率、糖化血红蛋白(HbA1c)。本研究已获得青岛大学附属医院伦理委员批准(审批号：QYFY WZLL 28113)，所有受试者均已签署知情同意书。

2.2. 仪器与方法

应用 Philips EPIQ 7C 超声诊断仪，嘱患者左侧卧位，平静呼吸，连接三导联心电图。采用 S5-1 探头采集常规二维图像，测量左心室舒张末期内径(LVDd)、左心室收缩末期内径(LVDs)、舒张末期容积(LVEDV)、收缩末期容积(LVESV)、舒张末期室间隔厚度(IVST)、舒张末期左心室后壁厚度(LVPWT)，频谱多普勒测量二尖瓣口舒张早期峰值流速(early peak diastolic flow rate, E)、二尖瓣口舒张晚期峰值速度(late peak diastolic flow rate, A)，计算 E/A，组织多普勒测量二尖瓣环舒张早期峰值速度(early peak diastolic velocity, e')，计算 E/e'，应用 Simpson 法测得左心室射血分数(2D-LVEF)。切换三维探头 X5-1，在心尖四腔心切面将图像调整至合适清晰度，启动三维模式，调节至 4 个心动周期，采集标准左心室三维全容

积图像。将图像导入 Tomtec 工作站进行脱机分析, 描记左心室心内膜及心外膜曲线, 获取左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, 3D-LVEF), 测量左心室舒张末期心肌质量(left ventricular end-diastolic mass, LVM)、左心室整体径向应变(global radial strain, GRS)、左心室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、左心室整体圆周应变(global circumferential strain, GCS)、左心室时间-容积曲线以及 17 节段牛眼图。

2.3. 统计学方法

采用 SPSS26.0 软件进行数据分析, 所有计量资料均进行正态检验, 正态分布的计量资料均以平均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)来表示, 偏态分布的计量资料均以中位数(P25~P75)来表示, 计数资料以例数(%)表示。计量资料组间比较采用方差分析或秩和检验, 组间两两比较采用 Bonferroni 法; 计数资料组间比较采用 χ^2 检验。对于呈正态分布的资料, 采用 Pearson 相关分析获得其与 HbA1c 的关系; 对于偏态分布的资料, 采用 Spearman 相关分析获得其与 HbA1c 的关系。 $P < 0.05$ 视作差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 一般资料

3 组间年龄、性别、身高、BSA、收缩压、心率等一般资料差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$); 与对照组相比, DM1 组、DM2 组的体重有统计学差异($P < 0.05$); 与对照组相比, DM2 组的舒张压具有统计学意义($P < 0.001$), 与 DM1 组相比, DM2 组的舒张压具有统计学意义($P < 0.001$); DM1 组、DM2 组的 BMI、HbA1c 与对照组相比, 均有统计学意义($P < 0.001$), 见表 1。

Table 1. Comparison of general clinical data among three groups

表 1. 3 组一般临床资料对比

组别	对照组	DM1 组	DM2 组	$F/\chi^2/Z$ 值	P 值
例数(例)	25	21	30		
年龄(岁)	52.7 \pm 5.2	54.6 \pm 5.1	54.9 \pm 5.4	1.316	0.275
性别(男, %)	48	52.4	46.7	0.168	0.919
身高(m)	165.28 \pm 8.27	165.71 \pm 6.16	165.70 \pm 5.77	0.033	0.968
体重(kg)	61.7 (57.8~68.4)	60.2 (54.5~68.0) ^a	62.9 (58.5~74.1) ^a	7.722	0.021
组别	对照组	DM1 组	DM2 组	$F/\chi^2/Z$ 值	P 值
BMI (kg/m ²)	23.0 (21.5~23.8)	22.5 (21.6~26.2) ^a	24.8 (23.1~27.7) ^a	21.128	<0.001
BSA (m ²)	1.74 (1.69~1.84)	1.85 (1.74~1.90)	1.84 (1.72~1.93)	5.273	0.072
SBP (mmHg)	122.8 \pm 6.1	122.2 \pm 6.6	125.5 \pm 7.0	1.876	8.161
DBP (mmHg)	79.2 \pm 4.2	78.9 \pm 5.2	75.2 \pm 6.2 ^{ab}	4.769	0.011
心率(次/min)	70.0 (61.0~76.0)	69.0 (66.0~73.0)	72.0 (65.0~82.0)	1.682	0.431
HbA1c (%)	5.08 (4.82~5.44)	7.7 (5.94~10.00) ^a	9.3 (8.10~10.83) ^a	40.103	<0.001

与对照组相比, ^a $P < 0.001$; 与 DM1 组相比, ^b $P < 0.001$ 。

3.2. 常规超声指标

IVST、E/A、e'、E/e'这 4 个指标在 3 组间差异有统计学意义($P < 0.001$), LVPWT 在 3 组间差异有统

计学意义($P < 0.05$); 在组间两两比较中, IVST、LVPWT、E/A、 e' 、E/ e' 在 DM2 组与对照组、DM2 组与 DM1 组间差异有统计学意义; 与对照组相比, DM2 组的 IVST、LVPWT、E/ e' 增大, e' 、E/A 减小; 与 DM1 组相比, DM2 组的 IVST、LVPWT、E/ e' 增大, e' 、E/A 减小, 见表 2。

Table 2. Comparison of left ventricular volume and functional parameters among three groups of echocardiograms
表 2. 3 组间超声心动图左心室容积及功能参数比较

组别	对照组	DM1 组	DM2 组	$F/\chi^2/Z$ 值	P 值
LAD (cm)	3.37 ± 0.29	3.57 ± 0.50	3.63 ± 0.51	2.466	0.092
LVDd (cm)	4.48 ± 0.20	4.39 ± 0.35	4.46 ± 0.31	0.543	0.584
LVDs (cm)	2.40 (2.30~2.64)	2.3 (2.13~2.46)	2.52 (2.14~2.90)	2.889	0.236
IVST (cm)	0.89 ± 0.05	1.00 ± 0.07	1.04 ± 0.06 ^{ab}	8.538	<0.001
LVPWT (cm)	0.89 ± 0.07	0.90 ± 0.04	0.92 ± 0.04 ^{ab}	4.741	0.012

组别	对照组	DM1 组	DM2 组	$F/\chi^2/Z$ 值	P 值
E (cm/s)	72.92 ± 15.98	71.26 ± 16.61	67.25 ± 19.43	0.758	0.472
A (cm/s)	75.9 (59.45~84.26)	67.0 (61.57~94.01)	77.5 (68.59~94.40)	2.811	0.245
E/A	1.10 (0.90~1.20)	0.90 (0.90~1.00)	0.80 (0.80~0.90) ^{ab}	23.584	<0.001
e' (cm/s)	7.68 ± 1.20	7.04 ± 1.72	5.62 ± 1.64 ^{ab}	13.098	<0.001
E/ e'	9.68 ± 2.43	10.25 ± 1.38	12.14 ± 1.87 ^{ab}	11.865	<0.001
2D-LVEF (%)	61.0 (60.0~62.0)	60.0 (60.0~61.0)	61.0 (60.0~62.0)	1.347	0.510

与对照组相比, ^a $P < 0.001$; 与 DM1 组相比, ^b $P < 0.001$ 。

3.3. 3D-STI 参数

GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF 这 5 个参数在 3 组间差异有统计学意义($P < 0.001$), 在组间两两比较中, GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF 在 DM1 组与对照组、DM2 组与对照组、DM2 组与 DM1 组的组间差异有统计学意义: 与对照组相比, DM1 组、DM2 组的 GCS、GLS、LVM 增大, GRS、3D-LVEF 减小; 与 DM1 组相比, DM2 组的 GCS、GLS、LVM 增大, GRS、3D-LVEF 减小, 见表 3、图 1、图 2、图 3。

Table 3. Comparison of 3D-STI parameters among 3 groups
表 3. 各组 3D-STI 参数比较

组别	对照组	DM1 组	DM2 组	$F/\chi^2/Z$ 值	P 值
GCS (%)	-31.7 (-33.85~22.65)	-25.70 (-26.45~24.95) ^a	-22.30 (-22.98~21.68) ^{ab}	63.222	<0.001
GLS (%)	-22.40 (-23.25~21.05)	-19.60 (-20.35~18.55) ^a	-15.25 (-16.43~14.38) ^{ab}	52.462	<0.001
GRS (%)	45.04 ± 3.60	39.09 ± 1.96 ^a	32.48 ± 4.11 ^{ab}	90.130	<0.001
LVM (g)	104.0 (103.0~107.5)	111.0 (110.0~111.0) ^a	113.0 (112.0~115.0) ^{ab}	49.855	<0.001
3D-LVEF (%)	62.38 ± 4.20	56.53 ± 3.81 ^a	50.31 ± 4.13 ^{ab}	60.231	<0.001

与对照组相比, ^a $P < 0.001$; 与 DM1 组相比, ^b $P < 0.001$ 。

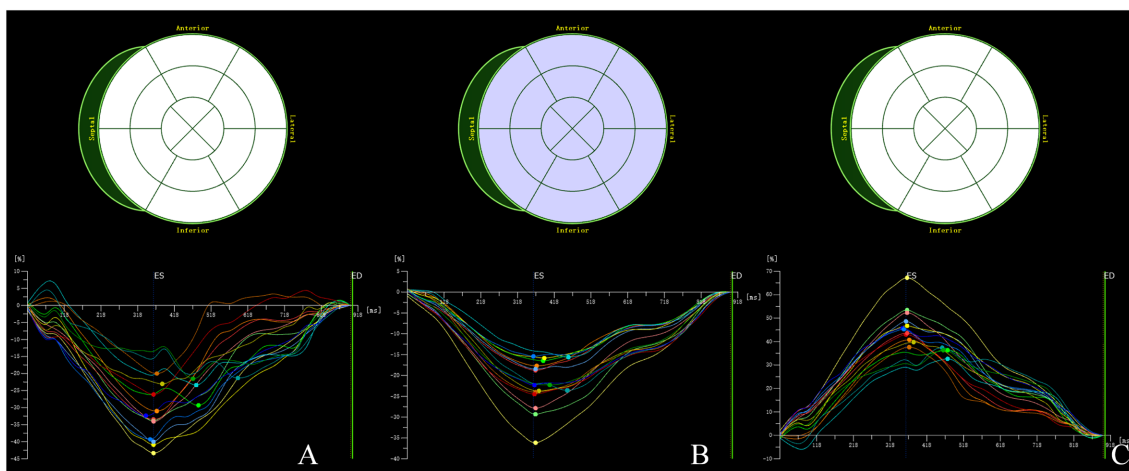


Figure 1. Left ventricular strain parameters and strain curve of control group patients. (A) GCS (B) GLS (C) GRS
图 1. 对照组患者左心室应变参数及应变曲线图。(A) GCS (B) GLS (C) GRS

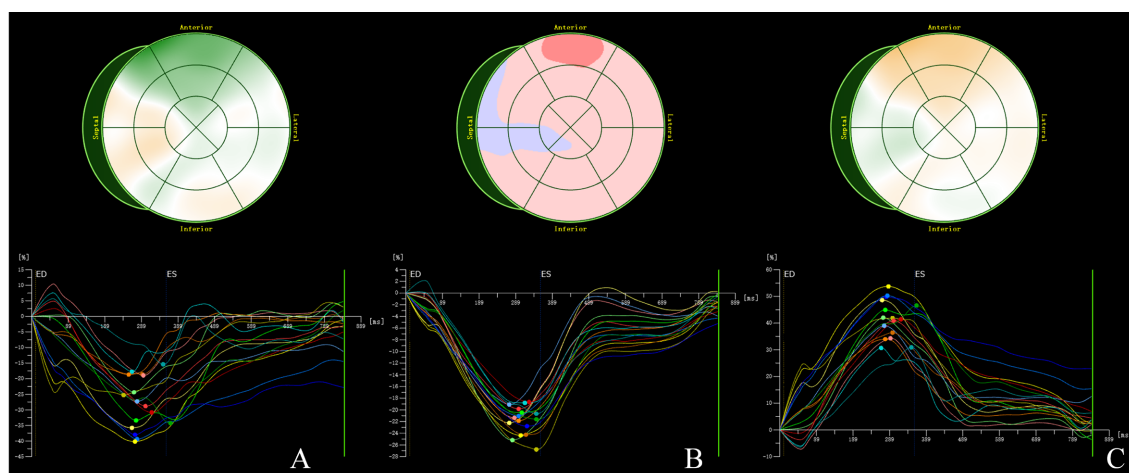


Figure 2. Left ventricular strain parameters and strain curves of patients in DM1 group. (A) GCS (B) GLS (C) GRS
图 2. DM1 组患者左心室应变参数及应变曲线图。(A) GCS (B) GLS (C) GRS

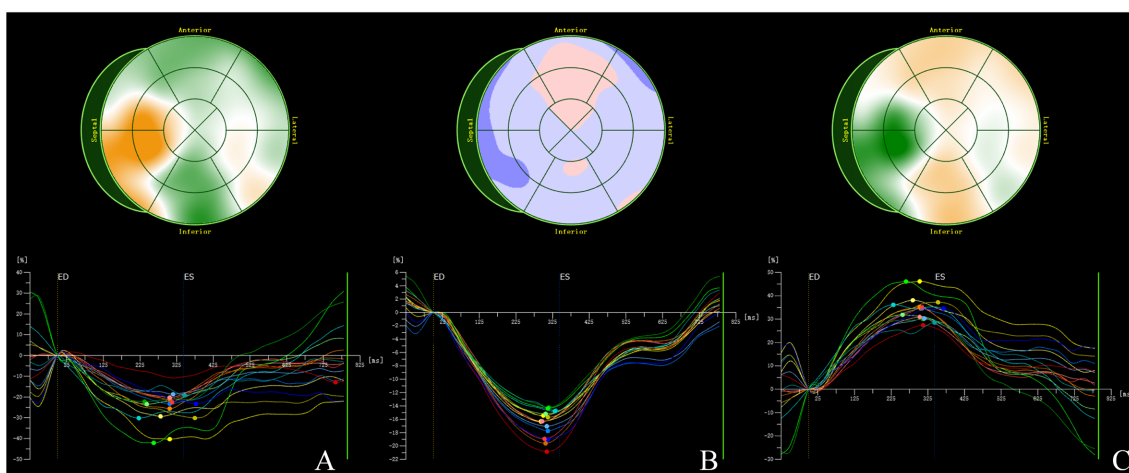


Figure 3. Left ventricular three-dimensional strain curve of DM2 group. (A) GCS (B) GLS (C) GRS
图 3. DM2 组的左心室三维应变曲线。(A) GCS (B) GLS (C) GRS

3.4. 三组受检者 3D-STI 参数与 HbA1c 的相关性分析

相关性分析结果显示, HbA1c 与 GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF 均成负相关($r = -0.637$ 、 -0.562 、 -0.515 、 -0.606 、 -0.598 , $P < 0.001$), 见表 4。

Table 4. Correlation analysis between indicators of left ventricular systolic function and HbA1c in T2DM group
表 4. T2DM 组左室整体收缩功能各指标与 HbA1c 的相关性分析

组别	GCS	GLS	GRS	LVM	3D-LVEF
<i>r</i> 值	-0.637	-0.562	-0.515	-0.606	-0.598
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与对照组相比, ^a $P < 0.001$; 与 DM1 组相比, ^b $P < 0.001$ 。

4. 讨论

糖尿病是内分泌系统的常见病, 发病率逐年上升, 并且有年轻化的趋势, 故而不能小觑糖尿病对人体产生的危害。如果高血糖不能得到有效、及时的控制, 患者很有可能会并发全身多系统的疾病。1972 年, Rubler 等[3]尸检了 4 例死于充血性心力衰竭和心律失常的糖尿病患者, 观察到心肌内小血管狭窄、心室壁及小血管管壁增厚, 管腔狭窄, 间质呈弥漫性纤维化, 考虑为某种未知的特异性心肌病。随着研究的深入, Hamby 等[4]证实糖尿病性心肌病的存在。有研究表明[5], T2DM 的发生, 可导致冠心病、高血压的发病率随之增加, 从而导致更为严重的冠脉病变。从预后的角度来看, 心力衰竭是糖尿病患者最为严重的并发症之一[6]。因此, 在心血管系统出现明显症状之前, 及时、有效对糖尿病患者的心功能进行评估就具有重要意义。研究表明, T2DM 引起的心脏病变早期表现为舒张功能障碍[7], 如果不能得到及时、有效的干预, 将严重影响 T2DM 患者的远期生存[8] [9] [10]。常规二维超声心动图可利用 E/A、E/e'、LVEF 等评估左心室功能, 但易存在误差, 不能完全反映患者的左心室功能改变, 而应用 3D-STI 则可以更为精确、真实地评估患者左心室功能。本研究中, 舒张功能评价指标 E/A、e'、E/e'在 T2DM 合并微血管病变组和对照组间、T2DM 合并微血管病变组和单纯 T2DM 组间差异均有统计学意义, 但 E/A、e'、E/e'在单纯 T2DM 组和对照组间差异无统计学意义, 2D-LVEF 作为常规用来评价左心室收缩功能的指标, 并不能准确、有效地反映单纯 T2DM 患者的左心室收缩功能的降低程度[11] [12], 也并不能准确、有效地反映左心室局部室壁收缩功能的受损情况[13]。此外, 本研究中单纯 T2DM 组、T2DM 合并微血管病变组、对照组常规超声心动图参数 LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、2D-LVEF 比较, 差异均无统计学意义, 说明常规超声心动图并不能准确评估 T2DM 患者心功能的早期改变。故笔者认为 E/A、e'、E/e'在早期 T2DM 患者的诊断及中不敏感。

HbA1c 的合成过程仅与血糖有关, 可以反映机体检测前 2~3 个月的血糖水平, 具有高敏、稳定等特点[14] [15], 被认为是反映血糖控制情况的金标准。如果 T2DM 患者能尽早达到目标 HbA1c, 出现微血管病变并发症的风险也会有所降低[16]。本研究的结果表明, 合并微血管病变的 T2DM 患者的 HbA1c 水平高于单纯 T2DM 患者, 这与之前的研究结果一致[17] [18] [19]。血红蛋白糖化后携氧能力下降, 导致机体末梢组织缺氧, 故而推测 HbA1c 在糖尿病微血管病变的发生、发展中可能起到一定作用[20] [21]。且 HbA1c 水平与左心室舒张功能受损有关[22]。本研究结果显示 HbA1c 与 GCS、GLS、GRS、LVM、3D-LVEF 等呈负相关, 说明随着 HbA1c 升高, T2DM 患者糖尿病心肌病变的严重程度也随之加剧[23], 心肌收缩功能受损程度逐渐加重[24]。

高血糖会对心肌细胞造成持续性损伤[25] [26]; 氧化应激、炎症、以及晚期糖化终产物的形成[27] [28] [29] [30]都可以影响心肌细胞的代谢及功能。病程增加也会导致心肌细胞代谢异常, 心肌组织发生微血管

病变, 最终导致糖尿病心肌病, 左心室收缩功能进行性减低, 逐渐发展为心力衰竭[31] [32]。

本研究存在一定局限性: 1. 作为回顾性研究, 本研究样本量较少, 后期需要加大样本量进行进一步研究。2. 三维斑点追踪成像对心内膜、心外膜的边界清晰度要求较高, 手动调节得到的测量值会产生一定的误差, 3. 由于手动调节心外膜、心内膜, 所以得到的结果具有一定的主观性。

5. 结论

综上, 糖尿病患者左心室收缩及舒张功能受损, 3D-STI 指标有助于评估糖尿病患者心功能情况并及时干预, 更敏感、有效地评价心肌早期改变, 防治心功能损害的发生或进一步发展, 且 3D-STI 参数与 HbA1c 成负相关关系。

参考文献

- [1] Demir, S., Nawroth, P.P., Herzig, S. and Üstünel, B.E. (2021) Emerging Targets in Type 2 Diabetes and Diabetic Complications. *Advanced Science*, **8**, e2100275. <https://doi.org/10.1002/advs.202100275>
- [2] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.
- [3] Asbun, J. and Villarreal, F.J. (2006) The Pathogenesis of Myocardial Fibrosis in the Setting of Diabetic Cardiomyopathy. *Journal of the American College of Cardiology*, **47**, 693-700. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.09.050>
- [4] Hamby, R.I., Zoneraich, S. and Sherman, L. (1974) Diabetic Cardiomyopathy. *JAMA*, **229**, 1749-1754. <https://doi.org/10.1001/jama.1974.03230510023016>
- [5] Yang, W., Lu, J., Weng, J., et al. (2010) Prevalence of Diabetes among Men and Women in China. *The New England Journal of Medicine*, **362**, 1090-1101. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0908292>
- [6] Ritchie, R.H. and Abel, E.D. (2020) Basic Mechanisms of Diabetic Heart Disease. *Circulation Research*, **126**, 1501-1525. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.315913>
- [7] Jia, G., Whaley-Connell, A. and Sowers, J.R. (2018) Diabetic Cardiomyopathy: A Hyperglycaemia- and Insulin-Resistance-Induced Heart Disease. *Diabetologia*, **61**, 21-28. <https://doi.org/10.1007/s00125-017-4390-4>
- [8] 邹燕珂, 黄晶, 熊波, 等. 三维斑点追踪成像评价糖尿病患者心脏损害的 Meta 分析[J]. 中国介入影像与治疗学, 2017, 14(2): 86-91.
- [9] 梁丽媚, 刘红利, 张会欣, 等. 三维斑点追踪成像评价代谢因素对 2 型糖尿病患者左室结构和功能的影响[J]. 临床心血管病杂志, 2021, 37(12): 1111-1116.
- [10] Chen, X., Guo, H., Yang, Q., et al. (2020) Quantitative Evaluation of Subclinical Left Ventricular Dysfunction in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus by Three-Dimensional Echocardiography. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **36**, 1311-1319. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01833-5>
- [11] 彭松夏, 徐怡, 孙霞, 等. 三维斑点追踪技术评价糖尿病足患者左室功能的价值[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(10): 789-792.
- [12] 成珍珍, 刘勇. 三维斑点追踪成像定量评价 2 型糖尿病患者左室收缩功能[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(6): 411-414.
- [13] 陈峥, 桂书彦, 李加平, 等. 三维超声联合斑点追踪对 2 型糖尿病患者心脏功能早期损伤应用分析[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(5): 865-868.
- [14] 黎涛. 糖化血红蛋白、同型半胱氨酸、纤维蛋白原与 2 型糖尿病患者微血管病变的相关性[J]. 海南医学, 2012, 23(24): 91-93.
- [15] 国蓉, 李肖珏, 陈燕燕. 糖化血红蛋白在糖尿病筛查和诊断中的意义[J]. 海军军医大学学报, 2023, 44(4): 480-485.
- [16] Lee, J. and Cho, J.H. (2021) Early Glycosylated Hemoglobin Target Achievement Predicts Clinical Outcomes in Patients with Newly Diagnosed Type 2 Diabetes Mellitus. *Diabetes & Metabolism Journal*, **45**, 337-338. <https://doi.org/10.4093/dmj.2021.0078>
- [17] Zhao, H., Zhang, L.D., Liu, L.F., et al. (2021) Blood Levels of Glycated Hemoglobin, D-Dimer, and Fibrinogen in Diabetic Retinopathy. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, **14**, 2483-2488. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S309068>
- [18] 刘芳, 石晶, 张军, 等. 应用三维斑点追踪技术评价 2 型糖尿病患者左心室收缩功能[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12): 1111-1116.

- 2013, 29(5): 752-756.
- [19] 汤春梦, 李文和, 杨超超, 等. 血红蛋白糖化指数与 2 型糖尿病患者视网膜病变的相关性研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2021, 29(5): 349-352.
- [20] 唐明照, 吴吕燕. Cys-C、HCY、Hs-CRP、 β 2-MG、Cr 联合检测对糖尿病肾病诊断的应用价值[J]. 海南医学, 2012, 23(3): 86-87.
- [21] Kim, K.J., Choi, J., Bae, J.H., *et al.* (2021) Time to Reach Target Glycosylated Hemoglobin Is Associated with Long-Term Durable Glycemic Control and Risk of Diabetic Complications in Patients with Newly Diagnosed Type 2 Diabetes Mellitus: A 6-Year Observational Study. *Diabetes & Metabolism Journal*, **45**. 368-378. <https://doi.org/10.4093/dmj.2020.0046>
- [22] 谢娟娟, 刘明辉, 赵白桦, 等. 实时三平面组织多普勒成像技术评价糖尿病患者左心室功能及与 HbA1c 的关系[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(9): 1695-1699.
- [23] 邱顺平, 李志荣, 王亚, 等. 三维斑点追踪技术评估 2 型糖尿病早期左室心肌应变及与糖化血红蛋白的相关性研究[J]. 中国当代医药, 2019, 26(28): 173-175, 179.
- [24] 吴凌恒, 陈建雄, 张梦娇, 等. 血糖控制不理想对 2 型糖尿病患者亚临床心肌收缩功能的影响研究[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2023, 43(8): 1024-1031.
- [25] Selvin, E., Lazo, M., Chen, Y., *et al.* (2014) Diabetes Mellitus, Prediabetes, and Incidence of Subclinical Myocardial Damage. *Circulation*, **130**, 1374-1382. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.010815>
- [26] Ortiz-Martínez, M., González-González, M., Martagón, A.J., *et al.* (2022) Recent Developments in Biomarkers for Diagnosis and Screening of Type 2 Diabetes Mellitus. *Current Diabetes Reports*, **22**, 95-115. <https://doi.org/10.1007/s11892-022-01453-4>
- [27] El Hayek, M.S., Ernande, L., Benitah, J.P., *et al.* (2021) The Role of Hyperglycaemia in the Development of Diabetic Cardiomyopathy. *Archives of Cardiovascular Diseases*, **114**, 748-760. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2021.08.004>
- [28] Guido, M.C., Marques, A.F., Tavares, E.R., *et al.* (2017) The Effects of Diabetes Induction on the Rat Heart: Differences in Oxidative Stress, Inflammatory Cells, and Fibrosis between Subendocardial and Interstitial Myocardial Areas. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, **2017**, Article ID: 5343972. <https://doi.org/10.1155/2017/5343972>
- [29] 应康, 郭良云, 刘燕娜, 等. 基于三维斑点追踪成像评估左心室心肌应变对 2 型糖尿病患者发生主要不良心脏事件的预测[J]. 中国超声医学杂志, 2023, 39(8): 883-886.
- [30] Avagimyan, A., Popov, S. and Shalnova, S. (2022) The Pathophysiological Basis of Diabetic Cardiomyopathy Development. *Current Problems in Cardiology*, **47**, Article ID: 101156. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2022.101156>
- [31] Frustaci, A., Kajstura, J., Chimenti, C., *et al.* (2000) Myocardial Cell Death in Human Diabetes. *Circulation Research*, **87**, 1123-1132. <https://doi.org/10.1161/01.RES.87.12.1123>
- [32] Seferović, P.M. and Polovina, M. (2020) In Search of a “Safety Zone” for Glycaemic Control: Association between Glycosylated Haemoglobin Levels and Outcomes in Patients with Type 2 Diabetes and Cardiovascular Disease. *European Journal of Heart Failure*, **22**, 2035-2037. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1981>