



CMR在亚临床期糖尿病心肌病的应用进展

李国荣, 孙阳, 张婷婷

Advances in the Use of CMR in Subclinical Diabetic Cardiomyopathy

LI Guorong, SUN Yang, and ZHANG Tingting

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2022.255>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

糖尿病下肢动脉病变64层螺旋CT血管成像分析

Analysis of 64 Slice Spiral CT Angiography in Diabetic Lower Extremity Arterial Disease

CT理论与应用研究. 2018, 27(3): 373-378

糖尿病性夏科氏足影像表现的回顾分析

A Retrospective Analysis of the Imaging Manifestations of Diabetic Charcot's Foot

CT理论与应用研究. 2020, 29(1): 39-48

糖尿病患者冠状动脉粥样硬化的CTA特征分析

Analysis of CTA Characterisation of Coronary Atherosclerosis with Diabetes Mellitus

CT理论与应用研究. 2020, 29(3): 347-354

CT血管造影联合血脂水平对糖尿病合并冠脉病变的预测价值

Predictive Value of CT Angiography Combined with Blood Lipid Level in Diabetes Mellitus with Coronary Artery Disease

CT理论与应用研究. 2020, 29(6): 711-717

老年2型糖尿病患者肺部感染的CT特点分析

CT Features of Pulmonary Infection in Elderly Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

CT理论与应用研究. 2021, 30(5): 583-590

2型糖尿病患者胰腺脂肪浸润与Framingham心血管病危险评分的关系

The Relationship between Pancreatic Steatosis and Framingham Cardiovascular Risk Score in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

CT理论与应用研究. 2019, 28(4): 463-470



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李国荣, 孙阳, 张婷婷. CMR 在亚临床期糖尿病心肌病的应用进展[J]. CT 理论与应用研究, 2023, 32(6): 836-842. DOI:10.15953/j.ctta.2022.255.

LI G R, SUN Y, ZHANG T T. Advances in the Use of CMR in Subclinical Diabetic Cardiomyopathy[J]. CT Theory and Applications, 2023, 32(6): 836-842. DOI:10.15953/j.ctta.2022.255. (in Chinese).

CMR 在亚临床期糖尿病心肌病的应用进展

李国荣, 孙阳, 张婷婷[✉]

宜昌市第一人民医院, 湖北 宜昌 4430000

摘要: 亚临床期糖尿病心肌病 (DCM) 主要表现为心肌纤维化、左心室肥厚和心肌舒张异常。心脏磁共振 (CMR) 技术可快速准确判断糖尿病患者的心肌结构及功能, 对亚临床期 DCM 的早期诊断和预后评价起到至关重要的作用。评估亚临床期 DCM 的 CMR 技术主要包括心脏磁共振特征性追踪 (CMR-FT)、心肌磁共振波谱成像 (MRS)、T₁mapping 技术、磁共振心肌灌注成像等。本文对 CMR 技术在亚临床期糖尿病心肌病诊断中的研究进展进行综述。

关键词: 心脏磁共振; 糖尿病; 糖尿病心肌病; 心肌纤维化

DOI:10.15953/j.ctta.2022.255 中图分类号: R 445.2 文献标识码: A

糖尿病是一种由异常高血糖水平引起的内分泌系统疾病, 是全球最常见和发病率增长最快的疾病之一。糖尿病在大血管和微血管系统的并发症是糖尿病患者发病和死亡的主要原因, 据国际糖尿病联盟统计, 预计到 2045 年糖尿病将影响 6.93 亿成年人, 比 2017 年增长 > 50%^[1]。相当大比例的糖尿病患者有进展为糖尿病心肌病 (diabetic cardiomyopathy, DCM) 或心力衰竭的风险^[2]。因此, 早期诊断和干预对于 DCM 的预防和管理至关重要。

临床上通常使用超声心动图 (echocardiography, ECHO) 来评价糖尿病患者的心肌改变, 心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 是一种无创的、多参数、多序列成像方法, 在多种心血管病诊疗领域中发挥独特作用。与 ECHO 相比, CMR 表现出更好的评价心血管稳健性、更好的成像质量, 能够“一站式”获得包括冠状动脉在内的所有信息。目前评价 DCM 的影像学方法主要包括心脏磁共振特征性跟踪 (cardiac magnetic resonance-feature tracking, CMR-FT)、心肌磁共振波谱成像 (magnetic resonance spectrum, MRS)、T₁mapping 技术、磁共振心肌灌注成像等。

1 有关亚临床期 DCM 的概述与发生机制

1972 年, Rubler 等^[3]在 4 名糖尿病患者中首次描述了糖尿病心肌病, 这些患者有心衰病史, 但无高血压、冠状动脉疾病或瓣膜性心脏病, 据推测, 这 4 名患者的心肌疾病是由心肌肥大、弥漫性心肌纤维化和糖尿病微血管病引起。因此, DCM 被描述为在不合并高血压、冠状动脉疾病、先天性心脏病、瓣膜性心脏病及其他心肌病变等情况下发生的心力衰竭^[4]。DCM 的发生是由于糖尿病相关的能量代谢紊乱, 导致氧化应激增加和多种炎症途径的激活, 这些途径介导了细胞内外的损伤, 病理性的心脏重构, 以及舒张期和收缩期功能障碍^[5]。

DCM 最初有一个亚临床期, 由纤维化、左心室肥厚 (left ventricular hypertrophy, LVH) 和心肌舒张异常引起, 左心室质量 (left ventricular mass, LVM) 相应增加, 舒张期左心室充盈量相应下降, 随着疾病的进展逐渐从舒张功能障碍发展到收缩功能障碍, 最终引起心功能不全^[6]。

左心室向心性肥大为亚临床期 DCM 和其他不良心血管事件的重要预测因子^[7]。Yang 等^[8]将 47 例 II 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 患者分为无微血管并发症组 (DM A 组) 和微血管并发症组 (DM B 组), 并对这些患者行超声心动图检查, 结果显示: 与健康对照组相比, DM B 组的左

心室质量指数 (left ventricular mass index, LVMI) 及左室壁相对厚度 (relative wall thickness, RWT) 较高。近来研究表明, DCM 不仅对左心功能造成影响导致左心室肥大, 也会影响右心室。Jensen 等^[7]研究发现, 与健康对照组相比, DCM 患者的左心室和右心室的容积均缩小、左心房和右心房排空分数均降低, 并且, 以上这些变化可以在左心室射血分数 (left ventricle ejection fraction, LVEF) 或右心室射血分数 (right ventricle ejection fraction, RVEF) 降低之前观察到。

亚临床期 DCM 心功能改变主要分为 3 个阶段: 第 1 阶段, 舒张功能仅发生离散变化; 第 2 阶段, 舒张功能异常, 收缩功能正常或仅发生离散变化; 第 3 阶段, DCM 晚期, 收缩和舒张功能都出现异常^[7]。Dzhioeva 等^[9]基于 LVEF 的改变将 DCM 分为射血分数保留的心力衰竭与射血分数降低的心力衰竭。已有研究证实: 亚临床期 DCM 为可逆性病变, 早期采取控制血糖、抗纤维化等针对性干预和治疗措施能够阻止甚至逆转糖尿病患者的心肌改变, 对预防心肌结构重塑并改善心功能具有重要意义^[5]。因此, 亚临床期 DCM 的诊断对减少糖尿病并发症和降低糖尿病病死率具有独特价值。

1.1 心肌细胞间质胶原沉积增加

高血糖和高胰岛素血症可激活成纤维细胞中的血管紧张素 II、TGF- β 1 (transforming growth factor- β 1)/SMAD (drosophila mothers against decapentaplegic) 信号传导, 并增强蛋白激酶 C (PKC) 活性, 这些过程也可反过来引起间质胶原沉积和纤维化^[10]。

Ritchie 等^[11]使用免疫组织化学方法对活检心肌进行检测发现: 与非糖尿病患者相比, 糖尿病患者 I 型和 III 型间质胶原沉积明显增加。在一项动物研究中发现组蛋白去乙酰化酶 1 (HDAC1) 可通过增强组蛋白去乙酰化抑制蛋白-7 (BMP-7) 转录, 从而促进心肌纤维化 (myocardial fibrosis, MF) 并加重 DCM^[12]。因此, 可认为心肌细胞间质胶原沉积过多是 DCM 的典型特征之一。

1.2 心肌细胞脂毒性损伤

健康人心肌细胞中含有少数脂滴, 但在 DCM 患者心肌中, 由于胰岛素抵抗 (insulin resistance, IR), 心肌细胞利用葡萄糖的能力下降, 且胰岛素具有促进脂肪合成的作用, 所以 DCM 患者血浆中的游离脂肪酸含量 (free fatty acids, FFA) 增多。当糖尿病患者细胞中的 FFA 含量高于线粒体脂肪酸氧化能力的上限, 心肌细胞 FFA 摄取和氧化失衡, 导致心肌中的异位脂类堆积并使正常心肌细胞的信号传导发生异常, 逐渐引发心功能障碍, 这一现象被称为心肌细胞脂毒性^[13]。

心肌细胞脂毒性损伤在 DCM 的进展中起着重要作用, 在糖尿病心肌细胞中, 脂毒性通过诱导导致葡萄糖摄取及利用障碍使三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP) 产生减少。因为 ATP 产生减少, 肌浆网内 Ca^{2+} 泵能力下降, 细胞内 Ca^{2+} 含量过多, 心肌舒张功能发生障碍, 伴随着 DCM 病情的发展可逐步进展为心肌收缩功能障碍, 最终导致心力衰竭。

2 有关亚临床期 DCM 的 CMR 研究

2.1 基于 CMR-FT 技术评估心肌应变

CMR-FT 是在 CMR 电影序列图像基础上通过应变、应变率、扭转和不同步来定量评估整体与局部心肌应变参数的一种新技术, 其无需加扫其他特殊序列, 就能无创性地进行心血管疾病的心肌力学测量^[14]。Shao 等^[15]基于动物实验对 DCM 心肌应变的变化情况进行了一项纵向研究, 对 3 头左心室功能保留的糖尿病雄性猪行心肌使用 CMR-FT 评估, 结果显示: 随着小猪糖尿病程度的进展, 小猪左心室整体纵向应变 (left ventricle global longitudinal, LVGLS) 随着糖尿病病程的延长而逐渐下降。

对于 DCM 心肌应变的横断面研究相对较多, Zhou 等^[16]使 CMR-FT 评估糖尿病前期和糖尿病患者 LV 收缩和舒张功能的改变, 发现糖尿病患者的径向、周向和纵向舒张期峰值应变率 (peak diastolic strain rate, PDSR) 均显著低于健康对照组, 糖尿病前期患者的整体纵向 PDSR 显著低

于健康对照组；Xie 等^[17]也发现 II 型糖尿病 LVEF 正常组与健康对照组周向峰值应变 (peak strain, PS) 和径向 PS 差异并不显著，纵向 PS 显著低于健康对照组，由此可见，纵向 PS 可在左心室收缩功能受损之前检测到 DCM 的心肌功能变化；Liu 等^[2]对于纵向、径向和周向 PS 的研究结论同 Xie 等一致；Chen 等^[18]以应变和应变率反映糖尿病患者左室局部舒张功能障碍，发现舒张功能障碍从基底到心尖部逐渐降低，应变和应变率可有效捕捉左心室功能的细微变化。此外，使用 CMR-FT 测定全心纵向应变为心肌不良重构的发展提供了重要的预后信息^[19]。

CMR-FT 能够通过实时监测评估早期 DCM 的心肌功能改变，从而有助于判断早期糖尿病心肌病的进展阶段，为早期干预疾病进展和降低病死率奠定临床技术基础。目前，对健康人群心肌正常应变的参考范围、不同厂商之间软件及计算方法尚需要进一步标准化。

2.2 基于 T_1 mapping 技术评估心肌间质成分的变化

在各种疾病状态下，心肌的 T_1 值会因局部分子环境的变化而改变，心肌组织 native T_1 可用于检测和评估各种心肌疾病^[20]。 T_1 mapping 包括平扫 T_1 mapping (即 native T_1) 及对比增强 T_1 mapping，其中，通过改良 look-locker 反转恢复序列分别对钆对比剂增强前、后心肌 T_1 mapping 扫描再进行血细胞比容校正，可得到细胞外容积分数 (extracellular volume, ECV)。ECV 值可判断 DCM 心肌细胞胶原沉积及弥漫性纤维化的程度，并反映 DCM 心肌细胞扩张程度^[21]。

Cao 等^[22]对 50 例 T2DM 患者进行造影剂增强检查获取左心室的心肌 native T_1 和增强造影后 T_1 及计算 ECV 值，发现糖尿病患者心肌 ECV 和 native T_1 值显著高于健康对照组，而对比增强 T_1 值与正常对照组相比差异不大，且发现糖化血红蛋白 (HbA1c) 与 native T_1 、ECV 呈正相关；Shao 等^[15]也发现了在左心室收缩功能下降前糖尿病猪的 native T_1 和 ECV 值会发生升高，表明 native T_1 可提供 DCM 患者的心肌纤维化信息，可作为心肌纤维化的独立预测因子，有助于临床治疗决策。2019 年 Zhang 等^[23]对 18 只诊断为自发性 T2DM 且有左心室舒张功能障碍 (diastolic dysfunction, DD) 的恒河猴进行 CMR 成像，在两种不同的自旋锁定频率下进行心脏磁共振成像，获得 ECV 图和 $T_1\rho$ 图，计算 ECV 值、 $T_1\rho$ 值和基于 $T_1\rho$ 离散度的心肌纤维化指数 (myocardial fibrosis index, mFI) 值及整体舒张期纵向应变率峰值，发现中度 DD 动物 ECV 值显著高于轻度 DD，mFI 值与 DD 程度成正相关。

2022 年通过 7.0T MRI 评估 I 型糖尿病 (type 1 diabetes mellitus, T1DM) 小鼠 (8 周) 的早期弥漫性心肌间质纤维化 (diffuse myocardial interstitial fibrosis, DMIF)，与对照组相比，T1DM 组小鼠的缩短分数 (fractional shortening, FS)、EF 和 E/A 比值逐渐降低，在糖尿病进展期间，ECV 和胶原蛋白体积分数 (collagen volume fraction, CVF) 值逐渐增加，在 12 周时观察到 ECV 和 CVF 值显著增加^[24]。同时，DCM 心肌的 ECV 与 HbA1c 水平以及是否应用血管紧张素转化酶抑制剂 (ACEI) 治疗之间存在很强的相关性^[22]。

通过对 DCM 早期患者心肌 native T_1 值及 ECV 的精确测量，可评估患者心肌弥漫性纤维化程度并可据此采取有效的临床措施干预疾病的进展。

2.3 基于磁共振心肌灌注成像技术评估心肌微循环的变化

糖尿病患者长期血糖控制不良使红细胞膜流动性降低和膜结构组成成分发生变化，导致红细胞通过微血管能力降低，红细胞难以通过微血管而发生滞流，冠状动脉微循环血流量减少，有效血流量灌注不足，加之高血糖、脂毒性及炎性介质对血管内皮的损伤，最终导致心肌发生重构影响心功能。有研究应用 CMR 评估心脏血流灌注，结果显示，在除外心外膜大血管狭窄病变后，T2DM 患者心肌灌注储备指数明显低于正常对照组，提示 T2DM 患者存在冠脉微循环功能障碍^[25]。同时冠状动脉微血管功能障碍也被认为是导致心肌舒张功能受损以及心力衰竭的发病机制之一^[26]。

Jiang 等^[27]对 120 例不同体重指数 (BMI) T2DM 患者使用磁共振心肌灌注成像，发现了在糖尿病和非糖尿病状态下，心肌微血管功能随着 BMI 的增加而逐渐下降，T2DM 与微血管功能障碍的风险增加有关。有研究者对无症状 T2DM 患者进行负荷磁共振心肌灌注成像，发现无症状 T2DM 患者的心肌

灌注储备指数较正常志愿者减低^[28]。Liu 等^[2]将 71 名 T2DM 患者依据患病时间长短分为新诊断 DM 组 (<5 年) 与长期 DM 组 (>5 年), 与健康对照组相比, 长期 DM 组的达到最大信号强度的时间高于健康对照组, 长期 DM 组的最大信号强度较新诊断 DM 组和健康对照组显著降低, 此外还发现, T2DM 患者的 LVEF 降低与达到最大信号强度的时间增加之间存在弱相关性。通过对达到最大信号强度的时间和最大信号强度的观察, 证实 T2DM 患者存在冠状动脉微循环受损, 并提示在 T2DM 的早期阶段已发生心肌微血管功能障碍, 且会随着疾病持续时间的损害逐渐加重。

因此采用磁共振心肌灌注成像, 可以早期发现 DCM 微循环障碍, 对于评估心肌功能损害具有重要价值。

2.4 基于 MRS 技术评估心肌代谢性变化

糖尿病的 IR 和糖脂代谢紊乱使 FFA 增加, 导致大量甘油三酯沉积和 ATP 产生减少, 心肌细胞中脂类物质含量增加, 心肌细胞发生脂肪变性。有研究采用 ¹H-MRS 发现心肌脂肪变性是 T2DM 早期舒张功能障碍的独立预测因子之一^[29]。MRS 主要利用化学位移作用和磁共振现象, 能对特定原子核及其化合物进行定量分析, 其特征性参数主要包括磁共振进动频率、峰值、半高宽、峰下面积等。由于原子核的共振频率与它的化学环境密切相关, 所以心肌细胞内外脂质在 MRS 成像上主要表现为两个频率不同的波峰, 可以通过两共振峰的峰高及面积来反应心肌细胞内外脂质浓度的差异。

目前, 质子谱 (¹H)、磷谱 (³¹P) 等已逐渐进入临床诊断阶段。对心脏收缩、舒张功能正常的 II 型糖尿病患者进行 ³¹P MRS 检查, 发现心脏磷酸肌酸 (phosphocreatine, PCr) /ATP 比值低于健康受试者^[30]。在一项对比研究中, 对糖尿病伴代谢综合征 (MetS) 患者进行 ¹H-MRS 检查, 发现 MetS 组的心肌甘油三酯 (triglyceride, TG) 含量增加, 同时心肌脂肪变性和心肌灌注功能障碍呈正相关^[31]。由此可认为 TG 含量增加可能是预测糖尿病心肌病的重要指标。2019 年通过 ¹H-MRS 测量高脂饮食喂养小鼠的脂肪酸结合蛋白 4 (FABP₄) 和心脏甘油三酯含量, 结果显示, 与健康个体相比, 在高脂饮食喂养的小鼠中血清 FABP₄ 和心肌 TG 含量均增加^[32], 亦证实了上述说法。最新也有研究表明左心室心肌收缩功能由心肌脂肪变性和间质纤维化程度共同决定, 且与年龄的增长无关^[33]。以上研究结果表明, 心肌脂肪变性可导致 DCM 的发生。

心力衰竭的发展伴随着心脏肌酸激酶能量学的损害, MRS 的技术进步使完全非侵入性的活体研究成为可能, 提供了各种无创性的心肌能量状态读数, 可以监测与心力衰竭的发生、发展及其治疗相关的能量变化, 将有助于为 DCM 制定更有效的治疗策略^[30]。由于 MRS 成像对信噪比、磁场的均匀性要求极高, 成像质量易受呼吸和心律的影响, 受技术制约, MRS 在心脏检查方面还未成为常规技术, 相信随着技术的进步以及研究的进一步深入, 在不久的将来, MRS 一定可以成为临床常规应用。

3 CMR 人工智能的研究

随着人工智能 (artificial intelligence, AI) 的快速发展, 对 CMR 也产生了巨大影响。目前依据 AI 的算法复杂程度, 可大致分为两个方面, 即机器学习 (machine learning, ML) 和深度学习 (deep learning, DL)。AI 可应用于 CMR 的各个方面, 包括图像的获取、重建、分割和识别, 疾病的诊断以及预后评估等多方面。

CMR 的检查时间过长一直是困扰医学领域的难题, 有研究团队受 DL 最新进展的启发, 提出使用卷积神经网络, 从欠采样数据中重建二维 CMR 图像的动态序列, 可有效减少成像时间^[34]。同时也有多个小组证实卷积神经网络可对预选的 CMR 图像进行准确的舒张末期和收缩末期心脏分割^[35-36]。DL 也可以有效减少因 CMR 图像采集过程中患者不能长时间配合屏气导致的图像质量受损。例如, Hauptman 等^[37]发明一种深度学习 U-Net 算法, 该算法能够消除混叠并在电影图像中提供类似的体积, 速度比标准电影图像快。DL 还能用于自动评估心室功能。有研究者研发了一个全自动的基于深度学习 CMR 分析框架, 用于从电影图像对心脏功能进行自动化分析, 实验结果显示其具有较高的准确率, 无需临床医生的直接监督^[38]。

AI 还可以通过提取心脏影像特征实现对疾病的诊断及预后评估。Dawes 等^[39]通过 ML 模型预测肺动脉高压患者的远期生存率,使用短轴电影图像的半自动分割来创建右心室运动的三维模型,利用右心室心肌运动幅度预测肺动脉高压患者的远期预后,在添加常规成像、血流动力学、心功能和临床标志物等指标后,该模型的预后评估得到进一步完善。

尽管 AI 在 CMR 领域已有诸多突破性研究,但其在临床应用上仍具有一定局限性。AI 模型训练效果主要依赖临床数据质量和体量,不同的影像数据、成像设备、扫描方案和诊断标准都会制约 AI 诊断的准确性。在未来随着大型数据库的建立和影像中心间的数据共享,AI 诊断亦会益加完善。

4 小结和展望

DCM 并发心力衰竭已成为糖尿病死亡的主要病因之一,早期发现 DCM 的心肌改变并加以预防可很好降低糖尿病的致死率。随着 CMR 技术的发展与应用,将会为亚临床期 DCM 的诊断提供更加全面和充分的影像学证据。另外,人工智能与影像技术相结合,不仅能够提升自动化效率,助力精准诊断,更能辅助临床医生决策,最终使广大患者受益。

参考文献

- [1] COLE J B, FLOREZ J C. Genetics of diabetes mellitus and diabetes complications[J]. *Nature Reviews. Nephrology*, 2020, 16(7): 377-390. DOI:10.1038/s41581-020-0278-5.
- [2] LIU X, YANG Z G, 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[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2018, 17(1): 139. DOI:10.1186/s12933-018-0782-0.
- [3] RUBLER S, DLUGASH J, YUCEOGLU Y Z, et al. New type of cardiomyopathy associated with diabetic glomerulosclerosis[J]. *The American Journal of Cardiology*, 1972, 30(6): 595-602. DOI:10.1016/0002-9149(72)90595-4.
- [4] DILLMANN W H. Diabetic cardiomyopathy[J]. *Circulation Research*, 2019, 124(8): 1160-1162. DOI:10.1161/CIRCRESAHA.118.314665.
- [5] TAN Y, ZHANG Z, ZHENG C, et al. Mechanisms of diabetic cardiomyopathy and potential therapeutic strategies: Preclinical and clinical evidence[J]. *Nature Reviews. Cardiology*, 2020, 17(9): 585-607. DOI:10.1038/s41569-020-0339-2.
- [6] WANG S, TIAN C, GAO Z, et al. Research status and trends of the diabetic cardiomyopathy in the past 10 years (2012~2021): A bibliometric analysis[J]. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, 9: 1018841. DOI:10.3389/fcvm.2022.1018841.
- [7] JENSEN M T, FUNG K, AUNG N, et al. Changes in cardiac morphology and function in individuals with diabetes mellitus: The UK biobank cardiovascular magnetic resonance substudy[J]. *Circulation. Cardiovascular Imaging*, 2019, 12(9): e009476. DOI:10.1161/CIRCIMAGING.119.009476.
- [8] YANG Q M, FANG J X, CHEN X Y, et al. The systolic and diastolic cardiac function of patients with type 2 diabetes mellitus: An evaluation of left ventricular strain and torsion using conventional and speckle tracking echocardiography[J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 12: 726719. DOI:10.3389/fphys.2021.726719.
- [9] DZHIOEVA O, BELYAVSKIY E. Diagnosis and management of patients with heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF): Current perspectives and recommendations[J]. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 2020, 16: 769-785. DOI:10.2147/TCRM.S207117.
- [10] JANKAUSKAS S S, KANSAKAR U, VARZIDEH F, et al. Heart failure in diabetes[J]. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 2021, 125: 154910. DOI:10.1016/j.metabol.2021.154910.
- [11] RITCHIE R H, ABEL E D. Basic mechanisms of diabetic heart disease[J]. *Circulation Research*, 2020, 126(11): 1501-1525. DOI:10.1161/CIRCRESAHA.120.315913.
- [12] OUYANG C, HUANG L, YE X, et al. HDAC1 promotes myocardial fibrosis in diabetic cardiomyopathy by inhibiting BMP-7 transcription through histone deacetylation[J]. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes: Official Journal, German Society of Endocrinology [and] German Diabetes Association*, 2022, 130(10): 660-670. DOI:10.1055/a-1780-8768.
- [13] WANG L, ZHAO D, TANG L, et al. Soluble epoxide hydrolase deficiency attenuates lipotoxic cardiomyopathy via upregulation of AMPK-mTORC mediated autophagy[J]. *Journal of Molecular and*

- Cellular Cardiology*, 2021, 154: 80–91. DOI:10.1016/j.yjmcc.2020.12.013.
- [14] HE J, SIRAJUDDIN A, LI S, et al. Heart failure with preserved ejection fraction in hypertension patients: A myocardial MR strain study[J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2021, 53(2): 527–539. DOI:10.1002/jmri.27313.
- [15] SHAO G, CAO Y, CUI Y, et al. Multiparametric CMR imaging of myocardial structure and function changes in diabetic mini-pigs with preserved LV function: A preliminary study[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2022, 22(1): 143. DOI:10.1186/s12872-022-02597-7.
- [16] ZHOU S, ZHANG Z, ZHANG Z, et al. Evaluation of left ventricular systolic and diastolic function in subjects with prediabetes and diabetes using cardiovascular magnetic resonance-feature tracking[J]. *Acta Diabetologica*, 2022, 59(4): 491–499. DOI:10.1007/s00592-021-01822-7.
- [17] XIE L J, DONG Z H, YANG Z G, et al. Assessment of left ventricular deformation in patients with type 2 diabetes mellitus by cardiac magnetic resonance tissue tracking[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 13126. DOI:10.1038/s41598-020-69977-x.
- [18] CHEN Q, GAN Y, LI Z Y. Left ventricular diastolic dysfunction in type 2 diabetes patients: A novel 2D strain analysis based on cardiac magnetic resonance imaging[J]. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2016, 19(12): 1330–1338. DOI:10.1080/10255842.2016.1139093.
- [19] REINDL M, TILLER C, HOLZKNECHT M, et al. Global longitudinal strain by feature tracking for optimized prediction of adverse remodeling after ST-elevation myocardial infarction[J]. *Clinical research in Cardiology: Official Journal of the German Cardiac Society*, 2021, 110(1): 61–71. DOI:10.1007/s00392-020-01649-2.
- [20] KELLMAN P, HANSEN M S. T1-mapping in the heart: Accuracy and precision[J]. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance: Official Journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2014, 16(1): 2. DOI:10.1186/1532-429X-16-2.
- [21] ROBINSON A A, CHOW K, SALERNO M. Myocardial T1 and ECV measurement: Underlying concepts and technical considerations[J]. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2019, 12(11 Pt2): 2332–2344. DOI:10.1016/j.jcmg.2019.06.031.
- [22] CAO Y, ZENG W, CUI Y, et al. Increased myocardial extracellular volume assessed by cardiovascular magnetic resonance T1 mapping and its determinants in type 2 diabetes mellitus patients with normal myocardial systolic strain[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2018, 17(1): 7. DOI:10.1186/s12933-017-0651-2.
- [23] ZHANG Y, ZENG W, CHEN W, et al. MR extracellular volume mapping and non-contrast T1p mapping allow early detection of myocardial fibrosis in diabetic monkeys[J]. *European Radiology*, 2019, 29(6): 3006–3016. DOI:10.1007/s00330-018-5950-9.
- [24] ZHANG H, SHI C, YANG L, et al. Quantification of early diffuse myocardial fibrosis through 7.0T cardiac magnetic resonance T1 mapping in a type 1 diabetic mellitus mouse model[J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2023, 57(1): 167–177. DOI:10.1002/jmri.28207.
- [25] LEVELT E, RODGERS C T, CLARKE W T, et al. Cardiac energetics, oxygenation, and perfusion during increased workload in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *European Heart Journal*, 2016, 37(46): 3461–3469. DOI:10.1093/eurheartj/ehv442.
- [26] VEITCH S, NJOCK M S, CHANDY M, et al. MiR-30 promotes fatty acid beta-oxidation and endothelial cell dysfunction and is a circulating biomarker of coronary microvascular dysfunction in pre-clinical models of diabetes[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2022, 21(1): 31. DOI:10.1186/s12933-022-01458-z.
- [27] JIANG L, SHI K, GUO Y K, et al. The additive effects of obesity on myocardial microcirculation in diabetic individuals: A cardiac magnetic resonance first-pass perfusion study[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2020, 19(1): 52. DOI:10.1186/s12933-020-01028-1.
- [28] NG M Y, ZHOU W, VARDHANABHUTI V, et al. Cardiac magnetic resonance for asymptomatic patients with type 2 diabetes and cardiovascular high risk (CATCH): A pilot study[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2020, 19(1): 42. DOI:10.1186/s12933-020-01019-2.
- [29] RIJZEWIJK L J, Van der MEER R W, SMIT J W A, et al. Myocardial steatosis is an independent predictor of diastolic dysfunction in type 2 diabetes mellitus[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2008, 52(22): 1793–1799. DOI:10.1016/j.jacc.2008.07.062.
- [30] ABDURRACHIM D, PROMPERS J J. Evaluation of cardiac energetics by non-invasive 31P magnetic resonance spectroscopy[J]. *BBA-Molecular Basis of Disease*, 2018, 1864(5 Pt B): 1939–1948. DOI:10.1016/j.bbdis.2017.11.013.
- [31] GAO Y, REN Y, GUO Y K, et al. Metabolic syndrome and myocardium steatosis in subclinical type 2 diabetes mellitus: A 1 H-magnetic resonance spectroscopy study[J]. *Cardiovascular Diabetology*,

- 2020, 19(1): 70. DOI:[10.1186/s12933-020-01044-1](https://doi.org/10.1186/s12933-020-01044-1).
- [32] RODRÍGUEZ-CALVO R, GIRONA J, RODRÍGUEZ M, et al. Fatty acid binding protein 4 (FABP4) as a potential biomarker reflecting myocardial lipid storage in type 2 diabetes[J]. *Metabolism*, 2019, 96: 12-21. DOI:[10.1016/j.metabol.2019.04.007](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2019.04.007).
- [33] DONG X, STRUDWICK M, WANG W Y, et al. Impact of body mass index and diabetes on myocardial fat content, interstitial fibrosis and function[J]. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 2023, 39(2): 379-390. DOI:[10.1007/s10554-022-02723-8](https://doi.org/10.1007/s10554-022-02723-8).
- [34] SCHLEMPER J, CABALLERO J, HAJNAL J V, et al. A deep cascade of convolutional neural networks for dynamic MR image reconstruction[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2018, 37(2): 491-503. DOI:[10.1109/TMI.2017.2760978](https://doi.org/10.1109/TMI.2017.2760978).
- [35] BAI W J, MATTHEW S, GIACOMO T, et al. Automated cardiovascular magnetic resonance image analysis with fully convolutional networks[J]. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance: Official Journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2018, 20(1): 65. DOI:[10.1186/s12968-018-0471-x](https://doi.org/10.1186/s12968-018-0471-x).
- [36] BERNARD O, LALANDE A, ZOTTI C, et al. Deep learning techniques for automatic MRI cardiac multi-structures segmentation and diagnosis: Is the problem solved?[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2018, 37(11): 2514-2525. DOI:[10.1109/TMI.2018.2837502](https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2837502).
- [37] HAUPTMANN A, ARRIDGE S, LUCKA F, et al. Real-time cardiovascular MR with spatio-temporal artifact suppression using deep learning-proof of concept in congenital heart disease[J]. *Magnetic Resonance in Medicine*, 2019, 81(2): 1143-1156. DOI:[10.1002/mrm.27480](https://doi.org/10.1002/mrm.27480).
- [38] RUIJSINK B, PUYOL-ANTÓN E, OKSUZ I, et al. Fully Automated, quality-controlled cardiac analysis from CMR: Validation and large-scale application to characterize cardiac function[J]. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2020, 13(3): 684-695. DOI:[10.1016/j.jcmg.2019.05.030](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.05.030).
- [39] DAWES T J W, de MARVAO A, SHI W, et al. Machine learning of three-dimensional right ventricular motion enables outcome prediction in pulmonary hypertension: A cardiac MR imaging study[J]. *Radiology*, 2017, 283(2): 381-390. DOI:[10.1148/radiol.2016161315](https://doi.org/10.1148/radiol.2016161315).

Advances in the Use of CMR in Subclinical Diabetic Cardiomyopathy

LI Guorong, SUN Yang, ZHANG Tingting[✉]

The First People's Hospital of Yichang, Yichang 443000, China

Abstract: Diabetic cardiomyopathy (DCM) presents as myocardial fibrosis, left ventricular hypertrophy, and myocardial diastolic abnormalities. Cardiac magnetic resonance (CMR) technology can quickly and accurately determine the myocardial structure and cardiac function of diabetic patients and plays a crucial role in the diagnostic and prognostic evaluation of subclinical DCM. Evaluation of subclinical DCM using CMR technology primarily involves cardiac magnetic resonance-feature tracking (CMR-FT), magnetic resonance spectroscopy (MRS), T1 mapping technology, and magnetic resonance myocardial perfusion imaging. This paper reviews the research progress of CMR technology in the diagnosis of subclinical diabetic cardiomyopathy.

Keywords: CMR; diabetes; diabetic cardiomyopathy; myocardial fibrosis



作者简介: 李国荣, 女, 三峡大学临床医学-影像医学与核医学专业研究生, 主要研究方向为心血管磁共振, E-mail: 2942026969@qq.com; 张婷婷[✉], 博士, 硕士研究生导师, 宜昌市第一人民医院放射影像科主任、副主任医师, 主要从事医学影像诊断和研究工作, E-mail: tiana0916@sina.com。