

综述

CMR-FT技术在心肌梗死评估及预后预测中的研究进展*

董维凯¹ 杨丽娟² 李伟^{1,*}

1.滨州医学院附属医院心脏大血管外科

(山东 滨州 256600)

2.滨州医学院附属医院医学研究中心

(山东 滨州 256600)

【摘要】心脏磁共振特征追踪技术(Cardiac magnetic resonance feature tracking technology, CMR-FT)可以定量评估心肌运动功能和应变,对亚临床水平心肌受损具有较高的敏感性。特别是在心肌梗死后心室重构及其功能恢复评估方面,心脏磁共振特征追踪技术显示出极大的潜力。最新研究比较了CMR-FT与现有技术的预测一致性,为判断心肌梗死患者的长期预后提供了新思路。尽管技术上还存在一些精度与一致性问题,但预计随着技术的不断发展与完善,心脏磁共振特征追踪技术在心血管疾病的预后评估中将扮演越来越重要的角色。

【关键词】心脏磁共振特征追踪技术;心肌梗死;评估;预后

【中图分类号】R445.2

【文献标志码】A

【基金项目】山东省自然科学基金

青年项目(ZR2020QH017)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.051

Research Progress of CMR-FT in the Assessment and Prognosis of Myocardial Infarction*

DONG Wei-kai¹, YANG Li-juan², LI Wei^{1,*}

1.Department of Cardiovascular Surgery, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256600, Shandong Province, China

2.Medical Research Center, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256600, Shandong Province, China

ABSTRACT

Cardiac magnetic resonance feature tracking technology (CMR-FT) can quantitatively assess myocardial function and strain, and has high sensitivity for subclinical myocardial damage. Especially in the evaluation of ventricular remodeling and functional recovery after myocardial infarction, cardiac magnetic resonance feature tracking technology has shown great potential. Recent studies have compared the predictive consistency of CMR-FT with existing techniques, which provides new ideas for judging the long-term prognosis of patients with myocardial infarction. Although there are still some accuracy and consistency problems in technology, it is expected that with the continuous development and improvement of technology, cardiac magnetic resonance feature tracking technology will play an increasingly important role in the prognosis evaluation of cardiovascular diseases.

Keywords: Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking Technology; Myocardial Infarction; Assessment; Prognosis

1 研究背景

目前,CMR-FT技术在评估局部和整体心肌应变方面已证明是一种有力的工具。它被广泛用于多种心血管疾病的评估,但对心肌梗死患者的预后预测相关方面的应用尚处于探索阶段,且方法产生的预测数据还不为大多数心脏手术团队所普遍接受或利用。因此探讨CMR-FT在心肌梗死患者再发心肌梗死或其他心血管不良事件评估中的预测有效性变得迫切且意义重大。

2 心脏磁共振特征追踪技术的应用进展与基础研究

2.1 CMR-FT技术概述 CMR-FT将传统心脏磁共振影像学的高分辨力与计算机视觉相结合,克服了二维超声心动图在空间定位与心脏形态变换追踪上的局限性,实现了更精确的心肌运动评估^[1]。技术原理基于心脏磁共振成像获取的高质量心脏图像序列,结合特征追踪算法对心肌组织界面的局部运动特征进行标记并跟踪,从而定量分析心脏的收缩与舒张功能。其核心在于通过检测图像序列中的标记点在时间维度上的位置变化来计算心肌变形指标。随着心脏磁共振成像技术的进步和计算能力的提升,特征追踪算法迅速发展,从而研发出CMR-FT技术^[2]。

最新研究表明,CMR-FT能够提供关键的心脏功能参数,显示出更优的再现性和更灵敏的心功能变化检测能力^[3]。进一步比较不同心肌形变成像技术的表现,发现其在显示心脏病患者心肌病变、预测心衰及评估化疗药心脏毒性^[27]等临床事件方面表现更出色^[4]。该技术以其非侵入性、高准确度的评估心肌应变能力,在心脏疾病的早期诊断、治疗效果评估和病情监测上发挥了日益重要的作用^[5]。

2.2 心肌应变评估方法

研究显示,心肌应变具有较高的灵敏度和特异性,能够在无法观察到射血分数变化的早期就发现心肌功能降低的情况^[1]。特别是对于冠脉搭桥术后的患者,若术后心肌出现局部的功能性减退,纵向心肌应变的评估可能比整体的射血分数更能早期预示再次发生心肌梗死的风险^[3]。

此外的一点是,与其他成像手段相比,CMR-FT由于其直观性和灵活性在心肌应变评估方面受到青睐^[5]。例如,Backhaus等^[4]的研究比较了CMR-FT与基于采集的心肌形变成像技术,凸显了CMR-FT在某些情况下更优越的心肌形变测量能力。

2.3 亚临床心肌受损检测 相比传统的成像技术,CMR-FT在检测亚临床心肌受损的能力方面展现出明显优势。心肌应变作为心肌受损的敏感指标,可通过CMR-FT准确量化。对于冠脉搭桥术后患者进行亚临床心肌受损的监测,CMR-FT技术展示了其独特的应用价值。

【第一作者】董维凯,男,硕士研究生,主要研究方向:心血管外科。E-mail: 18553396186@163.com

【通讯作者】李伟,男,主任医师,主要研究方向:心血管外科。E-mail: lwyljbyfy@126.com

王笑男等^[1]指出,CMR-FT能够通过编码心肌组织内部的纹理特征,实现对各个方向上心肌形变(应变)的测量,为分析心肌的收缩与放松功能提供了全面视角。甘宏博等^[3]在其研究中进一步阐述了CMR-FT在评估局部及整体心脏功能方面拥有广泛的应用前景,其应用价值在于它能无创评估心脏活动,通过高分辨率的影像记录细腻地观察亚临床心肌受损的痕迹,特别是对于局部心肌缺血症状。

另一方面,何健等^[5]探讨了CMR-FT的研究进展,指出最新的算法改进进一步增强了对亚临床心肌受损检测的能力。CMR-FT不仅可用于心肌应变分析,还可用于评价组织特性,比如心肌纤维化。通过CMR-FT,心肌纤维化程度可以无创检测,这对于高风险患者的早期干预具有重要意义。

3 CMR-FT在心肌梗死和重构评估中的应用

3.1 心肌梗死后心室重构的MR评估

3.1.1 CMR-FT在心室形态评估中的应用 心肌梗死后的心室重构涉及心室形态和功能的改变,这可能导致心力衰竭和其他严重并发症。CMR-FT技术通过高分辨率的成像提供了心室结构的详细视图,从而成为评估病变影响和指导治疗选择的重要手段^[6]。

CMR-FT技术允许无创地追踪心肌组织中的微细结构从而评估心肌的形变^[7]。具体通过分析诸如应变(strain)和应变率(strain rate)等参数,可以定量地描述心室肌肉在收缩和舒张期间的形态变化和状态。

CMR-FT主要包括纵向应变(longitudinal strain, LS),环形应变(circumferential strain, CS)和径向应变(radial strain, RS)等指标。纵向应变主要反映心室纵向缩短的程度,环形应变则表征心室圆周方向的收缩,而径向应变衡量心室壁向心腔中心的运动^[8]。通过这些应变参数,可以细致地评价心肌部位的局部和全局功能。此外,CMR-FT技术在评估缺血性心脏病患者的心肌变形方面具有显著优势。这一技术能够揭示不易通过传统方法观察到的微妙心肌形变异常,并可能预示患者的长远预后^[9]。

秦将均^[10]等人的研究指出,心脏MRI不仅能评估心肌梗死存活心肌,还能预测经过经皮冠状动脉介入治疗(PCI)后的心功能转归。这种先进的成像技术通过特征追踪技术可以精确地测量心室体积、心室质量和心室射血分数这些重要指标,以评估心肌损伤程度和心肌梗死后的心脏重构。

CMR-FT不仅适用于评估左心室功能,同样适用于右心室和左心房的评估。通过这项技术,研究人员能够量化地评估右心室的变形功能,这在以往的临床诊断过程中难以实现^[11]。同样的评估方式也适用于左心房心肌应变的测量,进一步丰富了心脏MR特征追踪的临床应用范围^[12]。

3.1.2 心肌梗死影像的定量分析 在定量分析中,CMR-FT技术通过跟踪心肌组织在心脏周期内的位移和变形来计算心肌应变^[13]。临床上,这项技术已被广泛应用于评估左心室(LV)和右心室(RV)的应变,及其功能变化对患者预后的影响。

举例来说,CMR-FT通过跟踪心内膜边缘,在不同的心脏相位计算应变值来评估心肌的变形能力。心肌应变的每一个分量可能会在心肌梗死患者的不同阶段发生变化,影响预后。这些应变值可以与传统的左心室射血分数(LVEF)等参数相结合,提供对患者心脏功能的全面评价^[14]。此外,现代心脏磁共振成像技术能够提供心肌梗死组织的高分辨率视图,有助于准确定位心梗范围和深度^[15]。

结合应变成像和心脏磁共振延迟增强的信息,研究人员可以

对心脏重构和功能损伤的程度进行全面评估。CMR-FT能够表现出被梗死影响的心肌区域的应变减少,而未受影响区域则表现为应变超负荷,这些信息对于评估CABG术后患者的再发心肌梗死风险具有重要价值^[16]。

3.2 心脏MR技术在心肌活性及功能转归评估中的应用

3.2.1 心肌梗死区域及活性心肌的评估 蔡仁慧等^[6]的研究表明,心脏MR技术在心肌梗死后心室重构中具有明显的应用价值。通过对比增强MR成像,可以准确识别心肌梗死区域及其周围活性心肌^[28]。心肌梗死导致局部心肌的坏死和纤维化,这在MR成像上表现为延迟增强区域。胡莹莹等^[7]的研究专注于CMR-FT技术在ST段抬高型心肌梗死(STEMI)患者中的应用。其利用CMR-FT技术产生的矢量图能够揭示局部和全局心肌应变,获取心室功能的细致信息。秦将均等^[10]在他们的研究中探究了MR技术如何评估存活心肌,并与PCI术后心功能转归的相关性建立联系。通过对比增强MR成像,可以辨识存活心肌,即可受益于PCI治疗的心肌区域。除了左心室^[17],特征追踪技术在评估右心室心肌应变^[18]及左心房心肌应变^[19]方面的潜力也已经得到了探索。史宇静等^[11-12]研究了心脏MR特征追踪技术在扩张型心肌病患者中的应用,其细节的评估有助于更全面地了解梗死后心脏功能的变化。

3.2.2 CABG术后心功能预后的MR评估 CMR-FT技术不仅可以对心肌应变进行定量分析,同时可评估心脏不同部位的功能状态。刘茜等^[8]指出,心脏MR成像技术在心肌梗死后心室重构的评估中发挥了关键作用。其可以通过评估心室尺寸、壁厚、壁运动以及心脏泵血功能等参数,分析心室的变化趋势。

在进行CABG术后心功能预后的MR评估时,应关注以下几个关键参数,如:心室容积和质量^[6]、心脏输出量(cardiac output, CO)和射血分数(ejection fraction, EF)、心肌应变^[20]以及心室间隔和游离壁的运动等^[12]。结合CMR-FT技术,可以观察到PCI术后患者心肌的微观变化。其能够通过评估心肌变形来早期识别缺血性心脏病患者心肌的微观损伤,这有助于预测PCI术后的心脏事件和患者预后^[21]。

4 CMR-FT技术在心血管事件和预后评估中的应用

4.1 CMR-FT鉴别心肌瘢痕 CMR-FT为识别和量化心肌瘢痕提供了一种强有力的手段,这对于冠脉搭桥术后患者的再发心肌梗死的风险评估具有潜在的预测价值。

Yang等^[22]的研究表明,心脏磁共振技术可以通过高分辨率成像鉴别出冠状动脉旁路移植术(CABG)后患者心肌中的瘢痕组织。Lange等^[23]进一步确定了特征追踪技术派生的遥端心肌应变分析功能和预后含义。他们通过追踪非梗死区域心肌的形变能力,揭示了梗死区域以外部分的功能性改变对未来心血管事件的预测作用。Valente等^[24]的研究则比较了CMR-FT与多巴酚丁胺应激心脏磁共振(DSMR)在急性心肌梗死之后的预测价值。他们发现CMR-FT在预测心血管不良事件上,与传统的DSMR拥有相似甚至更高的预测能力,显示出其在非侵入性心脏功能评估中的潜在优势。

Giulia等^[25]研究了CMR-FT参数在评估心律失常风险方面的附加价值。这些参数中包括心室体积、壁运动和应变率等指标,能够揭示低至中风险患者群体内潜在的心脏电生理异常。Schuster等^[26]的研究发现左心房功能通过CMR可以预测在心肌梗死后发生心血管事件的风险。左心房通过MRI的形变分析能够为评估患者在心肌梗死后的长期预后提供重要信息。

4.2 心肌瘢痕与心血管事件的相关性 肌瘢痕的存在仍然可能关联心血管事件的再发,特别是再发心肌梗死。杨涛等^[22]研究发

现,CMR-FT技术能够准确定量评估瘢痕组织,为预测心血管事件如心绞痛、心律失常等提供了可靠的预测价值。他们的研究展示了心肌瘢痕区域的大小和位置与CABG后心血管事件发生的紧密相关性,瘢痕越大,边界区域的功能恢复可能性越小,心血管事件再发风险越高。Lange^[23]和Valente等^[24]的研究亦支持上述发现。CMR-FT能更早预测患者出现心血管事件的风险,尤其在评估瘢痕边界区功能状态时更为敏感。

在CABG术后,为准确预测患者再发心肌梗死的风险,需结合心肌瘢痕的形态特征和功能变化。如Schuster等^[26]的研究指出,CMR-FT除了反映局部心肌变化,还可评估左心房的功能变化,进一步提高了梗死后心血管事件的预测能力。Guglielmo等^[25]的工作强化了这一观点,提出心脏磁共振特征追踪参数对评估患者室性心律失常风险具有额外价值。

4.3 远隔心肌应变与预后关系的评估 CMR-FT通过展示冠脉搭桥术后的患者中心肌瘢痕存在与否,以及瘢痕大小,为预测心血管事件的风险提供了有力的预测信息^[22]。同样,Schuster等研究认为,MRI特征追踪技术中左心房的功能评估,可以在急性心肌梗死后及时预测心血管事件^[26]。该研究强调了CMR-FT在评估左心房运动学的重要性,这对于心血管风险预测而言至关重要。

Lange等^[23]也提出了功能与预后之间关系的类似发现。他们的研究显示,CMR-FT派生的远隔心肌应变分析在冠脉搭桥术后患者中,对于功能和预后评估具有重要意义。Valente等^[24]的研究比较了CMR-FT和多巴酚丁胺应激心肌灌注显像在预测急性心肌梗死后的预后中的价值。结果表明,CMR-FT是一个更有效的预测工具,尤其是在评估左心室功能和心脏重塑方面。Giulia等^[25]研究发现,在急性心肌梗死患者中,MR-FT参数能够帮助评估患者的心律失常风险,特别是对于那些心室功能异常的个体,这进一步强调了CMR-FT在评估心律失常风险中的附加价值。

5 小结与展望

最新研究认为CMR-FT作为一种先进的医学成像工具,在评估心肌梗死及预后中发挥着重要的作用。CMR-FT通过定量分析心肌应变,我们可以对心肌组织的功能和力学特性进行无创评估。在心血管疾病的临床研究中,特别是在心肌梗死的评估和预后方面,CMR-FT显示了较高的临床相关性。探索与机器学习算法的结合,利用人工智能和机器学习算法对MR图像的特征追踪数据进行分析,可能有助于识别更有预测价值的新生物标志物。

参考文献

- [1]王笑男,侯阳.磁共振特征追踪技术评估心肌应变的应用进展[J].磁共振成像,2019,10(11):869-872.
- [2]李坤成,张振.心脏MR特征追踪技术进展及其临床应用[J].中国医学影像技术,2022,38(1):1-5.
- [3]甘宏博,高电萨,左中.心脏磁共振特征追踪技术评估心脏功能的应用价值[J].心血管病学进展,2022,43(4):326-330.
- [4]Backhaus SJ,Schuster A,Lange T,et al.Impact of fully automated assessment on interstudy reproducibility of biventricular volumes and function in cardiac magnetic resonance imaging[J].Sci Rep,2021,11(1):11648.
- [5]何健,赵世华,陆敏杰.心脏磁共振特征追踪技术及其研究进展[J].磁共振成像,2020,11(6):469-473.
- [6]蔡仁慧,赵新湘,孙林.心脏磁共振技术在心肌梗死后心室重构中的应用[J].中国循环杂志,2015(9):926-928.
- [7]胡莹莹,孙峰,刘志,等.磁共振特征追踪技术定量评估STEMI患者左心室心肌应变的研究[J].临床放射学杂志,2021,40(11):2196-2200.
- [8]刘茜,杨志刚,李媛.心肌梗死的心脏磁共振成像技术临床应用及其研究现状[J].磁共振成像,2021,12(8):98-100,107.
- [9]Wang X,Costello BT,Papapostolou S,et al.Differentiating nonischemic dilated cardiomyopathy with incidental infarction from ischemic

cardiomyopathy by geometric indices derived from cardiovascular magnetic resonance[J].J Thorac Imaging,2021,36(4):248-253.

- [10]秦将均,肖红秀,高珊.心脏MRI评估心肌梗死存活心肌及其PCI术后心功能转归的相关性[J].海南医学院学报,2020,26(9):668-672,676.
- [11]史宇静,鲁琳,尹晨旺.心脏MR特征追踪技术定量评估扩张型心肌病右心室心肌应变的研究[J].实用放射学杂志,2022:738-743.
- [12]史宇静,鲁琳,尹晨旺,等.心脏MR特征追踪技术定量评估扩张型心肌病左心室心肌应变[J].中国医学影像技术,2021(11):1661-1665.
- [13]Xu J,Yang W,Zhao S,et al.State-of-the-art myocardial strain by CMR feature tracking:clinical applications and future perspectives[J].Eur Radiol,2022,32(8):5424-5435.
- [14]Kong H,Cao J,Tian J,et al.Evaluation of left ventricular diastolic function in patients with coronary microvascular dysfunction via cardiovascular magnetic resonance feature tracking[J].Quant Imaging Med Surg,2023,13(10):7281-7293.
- [15]Cui JN,Zhao YN,Wang W,et al.Associations of infarct size and regional myocardial function examined by cardiac magnetic resonance feature tracking strain analysis with the infarct location in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J].Chin Med Sci J,2022,37(4):309-319.
- [16]Cheng N,Cheng L,Wang R,et al.The improvement of torsion assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking after coronary artery bypass grafting:a sensitive index of cardiac function[J].Heart Surg Forum,2017,20(1):E026-E031.
- [17]Lange T,Schuster A.Quantification of myocardial deformation applying CMR-feature-tracking-all about the left ventricle? [J]Curr Heart Fail Rep,2021,18(4):225-239.
- [18]Stiermaier T,Lange T,Chiribiri A,et al.Right ventricular strain assessment by cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking allows optimized risk stratification in Takotsubo syndrome[J].PLoS One,2018,13(8):e0202146.
- [19]Shao G,Cao Y,Cui Y,et al.Early detection of left atrial and biventricular myocardial strain abnormalities by MRI feature tracking in normotensive or hypertensive T2DM patients with preserved LV function[J].BMC Cardiovasc Disord,2020,20(1):196.
- [20]李更晓,张振,周珊珊,等.以不同方式处理肌小梁和乳头肌后基于心脏MRI所测中国健康成人左心室结构和功能参数的差异[J].中国医学影像技术,2023,39(8):1186-1190.
- [21]Reindl M,Tiller C,Holzknicht M,et al.Global longitudinal strain by feature tracking for optimized prediction of adverse remodeling after ST-elevation myocardial infarction[J].Clin Res Cardiol,2021,110(1):61-71.
- [22]Yang T,Lu M,Ouyang W,et al.Prognostic value of myocardial scar by magnetic resonance imaging in patients undergoing coronary artery bypass graft[J].Int J Cardiol,2021 Mar 1;326:49-54.
- [23]Stiermaier T,Busch K,Lange T,et al.Prognostic value of different CMR-based techniques to assess left ventricular myocardial strain in Takotsubo syndrome[J].J Clin Med,2020,9(12):3882.
- [24]Valente FX,Gavara J,Gutierrez L,et al.Predictive value of cardiac magnetic resonance feature tracking after acute myocardial infarction:a comparison with dobutamine stress echocardiography[J].J Clin Med,2021,10(22):5261.
- [25]De Zan G,Calò L,Borrelli A,et al.Cardiac magnetic resonance-guided cardiac ablation:a case series of an early experience[J].Eur Heart J Suppl,2023,25(Suppl C):C265-C270.
- [26]Schuster A,Backhaus SJ,Stiermaier T,et al.Fast manual long-axis strain assessment provides optimized cardiovascular event prediction following myocardial infarction[J].Eur Heart J Cardiovasc Imaging,2019,20(11):1262-1270.
- [27]陈辉,李昕,任睿泽,等.心脏磁共振特征追踪技术用于评价乳腺癌患者蒽环类药物心脏毒性作用的初步研究[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(9):100-103,116.
- [28]秦月,王春晓,杨军.对比增强磁共振在缺血性心脏病中的应用研究进展[J].中国CT和MRI杂志,2015,13(3):114-116.

(收稿日期:2024-09-02)

(校对编辑:姚丽娜)