

❖ 综述

Application of MR strain imaging in cardiac diseases

LI Yaping, ZHAO Lei*, FAN Zhanming

(Department of Medical Imaging, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China)

[Abstract] **Objective** Cardiac MRI is the “gold standard” for non-invasively assessing the structure and function of the heart. Compared with conventional cine imaging, MR strain technique can identify the abnormalities of segmental myocardial motion of heart diseases in the early stage by quantifying the displacement of myocardial tissue, which is of great value in evaluating the disease condition as well as guiding treatment and assessing prognosis. Myocardial strain can quantify the segmental wall motion, which is less impacted by other factors. The application of MR strain imaging in cardiac diseases were reviewed in this paper.

[Key words] Strain; Magnetic resonance imaging; Myocardial ischemia

DOI:10.13929/j.1003-3289.201707114

MR 应变成像技术在心脏疾病中的应用

李亚萍, 赵 蕾*, 范占明

(首都医科大学附属北京安贞医院影像科, 北京 100029)

[摘要] 心脏 MRI 是无创性评估心脏结构和功能的“金标准”。相比于标准电影成像, MR 应变成像技术可通过定量测量心肌组织位移而早期识别心脏疾病的节段性运动异常, 对判断病情、指导治疗及估测预后均有重要价值。心肌应变可定量测量室壁运动, 且结果受其他因素影响较少。本文对 MR 应变成像技术在心脏疾病中的应用进行综述。

[关键词] 应变; 磁共振成像; 心肌缺血

[中图分类号] R542.2; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2018)04-0621-04

心脏 MRI 具有高组织分辨力、大视野、无辐射及可重复性好等优点, 已经成为无创性评估心脏功能的“金标准”^[1]。综合各种技术, MR 可对心脏进行形态及功能等“一站式”检查。目前各种 MR 定量成像技术, 包括心肌组织标记技术、特征追踪技术、纵向弛豫时间定量成像技术、横向弛豫时间定量成像技术、4D 流动成像技术及扩散张量成像技术等发展迅速, 可为

心血管疾病的诊断和鉴别诊断提供丰富信息。本文对 MR 应变成像技术在心脏疾病中的应用进行综述。

1 心肌应变

心肌应变即心肌形变, 指心肌在外力作用下发生变形的程度, 反映心肌组织本身的位移, 理论上不受心脏整体位移和邻近组织牵拉的影响。心肌应变在射血分数和室壁运动保持正常时即可发生改变, 从而早期发现心脏功能异常。Mirsky 等^[2]提出心肌应变的概念, 指出应力、应变可定量评估左心室顺应性。目前可进行应变分析的技术有超声、CT 和 MRI。MR 心肌应变分析技术主要有心肌组织标记(myocardial tissue tagging, Tagging)技术和特征追踪(feature tracking, FT)技术。Tagging 技术通过在组织内诱发局部磁化扰动创建非侵入性标记线, 在图像上表现为“黑线”, 标记线在心动周期中随心肌运动而发生变形; 通过测量

[基金项目] 北京市委组织部优秀人才培养项目(2015000021469G196)、首都医科大学附属北京安贞医院院长科技发展基金(2015Z02)。

[第一作者] 李亚萍(1995—), 女, 河南新蔡人, 在读硕士。研究方向: 心血管影像。E-mail: 930404960@qq.com

[通信作者] 赵蕾, 首都医科大学附属北京安贞医院影像科, 100029。

E-mail: zhaolei219@sohu.com

[收稿日期] 2017-07-24 **[修回日期]** 2018-01-25

收缩期和舒张期标记线变化的距离,即可对整个心动周期心肌的运动进行量化评估。但是,标记线受心肌固有纵向弛豫时间的影响,随着时间延长,标记线信号逐渐衰落,与周围组织的对比度降低,影响靶点的配准。此外,Tagging 技术的空间分辨率受限于标记线间距,且后处理过程相对复杂,限制其临床应用。FT 技术是一种基于心脏电影成像定量评估心肌应变的后处理技术,无需额外成像序列,可直接在常规自由稳态进动序列的图像上分析追踪心肌在整个心动周期的运动,通过追踪像素点的相对位移计算心肌应变值,且与 Tagging 技术和超声斑点追踪技术的测量结果有较好的相关性和一致性^[3-5],操作简单,且可进行多角度分析,具有广阔的应用前景。

2 心肌应变评价缺血性心肌病 (ischemic cardiomyopathy, ICM)

2.1 心肌缺血 ICM 可发生进行性充血性心力衰竭、心肌梗死、继发性严重心律失常和猝死,早期诊断 ICM 并对其进行干预治疗可提高患者生存率。目前临床判断早期心肌缺血多采用核素心肌负荷显像。近期一项 Meta 分析^[6]显示,心脏磁共振 (cardiac MR, CMR) 检出冠状动脉粥样硬化性心脏病的敏感度优于核素心肌显像检查。临床 CMR 主要通过心肌灌注成像评价心肌缺血情况。Thomas 等^[7]发现,与灌注成像相比,Tagging 检测心肌缺血的敏感度虽较差,但特异度高,结合灌注成像和应变分析可敏感、准确地发现早期心肌缺血。此外,灌注成像需注射钆对比剂,有致肾源性系统性纤维化的风险,肾衰竭是对比增强检查的禁忌证,而应变分析无需使用对比剂,可扩大对心肌缺血检测的应用范围。

静息状态下,早期 ICM 因冠状动脉血流储备和侧支循环建立而不表现出功能异常,药物(如多巴酚丁胺、腺苷)或运动负荷状态可诱发心肌缺血,低剂量多巴酚丁胺负荷后应变和应变率升高是心肌存活标志,负荷状态下采用 FT 技术可更早期发现心肌缺血^[8]。有负荷试验结合应变技术的研究^[9]证实,在负荷状态下心肌应变变化有助于区分正常、缺血和梗死心肌节段,由此拓宽了心脏电影成像的应用范围,也为评价各种对比剂注射禁忌证患者心肌活性提供了备选检查方案。Kido 等^[10]采用 Tagging 技术分析冠状动脉粥样硬化性心脏病患者心肌应变,发现在腺苷负荷下,缺血或梗死心肌节段峰值周向应变绝对值降低,而非缺血节段峰值周向应变绝对值升高,可据此区分非缺血和缺血、梗死节段;此外,负荷状态下缺血节段的

峰值周向应变的绝对值更低;梗死节段峰值周向应变的绝对值虽然降低,但与静息状态比较无差异,表明心肌缺血可导致应变异常,且应变降低幅度与缺血严重程度有关。通过证实功能(心肌应变)与病理改变(心肌缺血)的相关性,可为采用电影成像间接评价心肌活性、拓宽 CMR 检查适应证人群范围提供依据。

心脏 X 综合征又称微血管性心绞痛,是有典型劳力性心绞痛症状及心肌缺血临床证据、而冠状动脉正常或无阻塞性病变的一组临床综合征。本病常见于女性,X 综合征可导致发生不良心血管事件的危险性增加^[11],评价此类疾病具有重要临床价值。Nelson 等^[12]研究发现,有 X 综合征表现的女性舒张期应变率和左心室峰值解旋率低于健康人。心肌应变分析有助于探索该类疾病的病理生理学特征,并为靶向治疗和风险评估提供依据。

2.2 心肌梗死 (myocardial infarction, MI) MI 是指冠状动脉管腔严重狭窄和心肌供血不足,而侧支循环尚未充分建立,引起供血区心肌坏死纤维化的病理过程。对梗死节段进行应变分析的意义在于早期发现梗死区域及周边存活心肌(顿抑心肌、冬眠心肌),后者是血运重建的最佳受益对象,早期准确识别存活心肌对治疗方案的选择和预后判断有重要意义。Schuster 等^[13]通过研究多巴酚丁胺负荷前后不同心肌节段径向和周向应变参数的变化,以区分瘢痕的透壁程度,结果表明心肌应变可评估梗死节段内是否有存活心肌。

MI 节段运动减弱甚至反向,导致严重的左心室收缩不同步,显著影响左心室功能。心脏再同步化治疗 (cardiac resynchronization therapy, CRT) 可改善心脏收缩的不同步,提高心脏的射血分数和泵血量。节段应变分析有助于评价心室运动同步性及指导电极位置的选择。CRT 后,约 30% 患者表现为无应答,其重要原因之一是左心室电极放置位置不合理。通过追踪心肌收缩的先后顺序,可间接反映心电激动沿心室壁的传导顺序,当左心室电极置于最晚激动部位时,患者心脏功能的改善最明显^[14]。但心室最晚激动部位常存在较多的心肌瘢痕,CMR 心肌标记技术结合延迟增强成像评价拟激动区域的心肌情况,可避免在瘢痕处起搏,提高对 CRT 的应答率。

梗死面积是 MI 患者预后的独立预测因子^[15]。CMR 通过延迟强化成像可检出并定量梗死心肌,但急性 MI 患者肾功能损害常见,不宜行增强成像。有研究^[16-17]显示急性 ST 段抬高 MI 患者的整体周向应变、应变率、机械弥散(左心室不同心肌节段周向应变

达峰时间的标准差,与心肌机械收缩不同步有关)等衍生参数可预测远期左心室重构不良,对于评价长期预后具有独立和增量预测价值,可在一定程度上替代梗死面积对预后的判断。但现有的临床证据有限,需进一步研究证实。

3 非缺血性心肌病 (non-ischemic cardiomyopathy, NICM)

NICM 是非冠状动脉病变引起的一类心肌疾病,多与心肌代谢、心脏结构异常及遗传等因素有关。NICM 发病隐秘,早期可无任何临床症状,诊断 NICM 较困难。约 1/4 的 NICM 患者存在左心室间隔壁纤维化(left ventricular midwall fibrosis, MWF)^[18],可引起左心室应变异常、收缩和舒张功能障碍,导致心力衰竭,出现 MWF 的患者对药物治疗和 CRT 治疗的反应较差。应变分析在射血分数正常和室壁运动尚无异常时即可发现 MWF 导致的阳性表现,有望早期检测出 NICM,并进一步指导临床治疗。

3.1 肥厚型心肌病 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM) HCM 是与遗传相关的一种较常见心肌病,可致青少年猝死。研究^[19]表明,射血分数尚在正常范围时,HCM 患者已有纵向、周向和径向心肌应变减低,但可通过增加扭转角度而使整体收缩功能维持正常;负荷状态下,因心肌储备能力下降,HCM 患者心脏扭转角度降低,据此可鉴别心肌生理性与病理性肥大^[20]。滕飞等^[21]对 HCM 进行节段性心肌应变 FT 分析,发现肥厚心肌节段周向应变、纵向应变和峰值收缩期周向应变、纵向应变明显小于正常心肌节段,而左心室容积和射血分数尚在正常范围,证实 CMR-FT 有助于早期检测 HCM,对指导患者选择生活方式及临床治疗有重要意义。

3.2 扩张型心肌病 (dilated cardiomyopathy, DCM)

DCM 是指原因不明左或右心室或双侧心室扩大并伴心脏收缩功能减退的心肌病,心肌病理改变以弥漫性纤维化为主。DCM 患者早期即可出现心肌周向应变和扭转角度减低,因此通过应变分析可早期检出 DCM。DCM 患者异常心肌应变与其预后相关,左心室纵向应变是 DCM 患者生存率的独立预测因子^[22]。DCM 左心室整体纵向应变异常($\geq -12.5\%$)是心脏不良事件的强预测因子^[23],尽管左心室功能严重受损或有延迟强化,如纵向应变尚在正常范围内,则患者预后较好,即纵向应变是 DCM 风险分层最稳健的应变参数。

3.3 致心律失常性右心室心肌病 (arrhythmogenic

right ventricular cardiomyopathy, ARVC) ARVC 的特征是心肌进行性纤维化,右心室心肌最早受累,其纤维化一般始于心外膜且呈区域性分布,所以疾病早期心肌活检的阳性率较低。CMR-FT 有望通过检出节段应变异常而早期发现 ARVC^[24]。另外,Heermann 等^[25]发现 ARVC 患者左心室纵向应变率及基底段水平的周向应变率也显著降低,证实 ARVC 早期可有左心室受累。

3.4 其他 应变技术也可用于评价终末期肾病患者心肌功能^[26]、预测蒽环类药物对心肌的毒性反应^[27]、评估左心房储备功能以及早期识别有卒中高危风险的心房颤动患者^[28],早期识别和鉴别心肌淀粉样变性^[29],评价法洛四联症患者修复术后的转归^[30]等。

4 小结与展望

应变及其衍生参数可对整体和节段性心肌运动进行定量评估,分析疾病的病理生理机制以及选择辅助治疗方案,有助于早期识别心脏功能异常,为临床确定治疗时间窗、预防或逆转疾病进展提供信息,但目前应变分析技术尚未广泛应用于临床。在应用技术方面,需简化 Tagging 扫描序列及后处理步骤,统一不同后处理软件对 FT 心肌应变的计算方法,提高软件对像素点的追踪能力,以期疾病诊断、治疗及预后判断提供更多帮助。

[参考文献]

- [1] American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, Hundley WG, Bluemke DA, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic Resonance: A report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*, 2010, 121(22):2462-2508.
- [2] Mirsky I, Parmley WW. Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circ Res*, 1973, 33(2):233-243.
- [3] Wu L, Germans L, Güçlü A, et al. Feature tracking compared with tissue tagging measurements of segmental strain by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014, 16:10.
- [4] Moody WE, Taylor RJ, Edwards NC, et al. Comparison of magnetic resonance feature tracking for systolic and diastolic strain and strain rate calculation with spatial modulation of magnetization imaging analysis. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2015, 41(4):1000-1012.
- [5] Orwat S, Kempny A, Diller GP, et al. Cardiac magnetic resonance feature tracking: A novel method of assessing

- myocardial strain. Comparison with echocardiographic speckle tracking in healthy volunteers and in patients with left ventricular hypertrophy. *Kardiol Pol*, 2014, 72(4):363-371.
- [6] Chen L, Wang X, Bao J, et al. Direct comparison of cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for detection of coronary artery disease: A meta-analysis. *PLoS One*, 2014, 9(2):e88402.
 - [7] Thomas D, Strach K, Meyer C, et al. Combined myocardial stress perfusion imaging and myocardial stress tagging for detection of coronary artery disease at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2008, 10:59.
 - [8] Nakamura M, Kido T, Kido T, et al. Quantitative circumferential strain analysis using adenosine triphosphate-stress/rest 3-T tagged magnetic resonance to evaluate regional contractile dysfunction in ischemic heart disease. *Eur J Radiol*, 2015, 84(8):1493-1501.
 - [9] Paetsh I, Foll D, Kaluza A, et al. Magnetic resonance stress tagging in ischemia heart disease. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2005, 288(6):H2708-H2714.
 - [10] Kido T, Nagao M, Kido T. Stress/rest circumferential strain in non-ischemia, ischemia, and infarction—quantification by 3 Tesla tagged magnetic resonance imaging. *Circ J*, 2013, 77(5):1235-1241.
 - [11] Gulati M, Cooper-DeHoff RM, McClure C, et al. Adverse cardiovascular outcomes in women with nonobstructive coronary artery disease: A report from the Women's Ischemia Syndrome Evaluation Study and the St James Women Take Heart Project. *Arch Intern Med*, 2009, 169(9):843-850.
 - [12] Nelson MD, Szczepaniak LS, Wei J, et al. Diastolic dysfunction in women with signs and symptoms of ischemia in the absence of obstructive coronary artery disease: A hypothesis-generating study. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(3):510-516.
 - [13] Schuster A, Paul M, Bettencourt N, et al. Cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking for quantitative viability assessment in ischemic cardiomyopathy. *Int J Cardiol*, 2013, 166(2):413-420.
 - [14] Helm RH, Byrne M, Helm PA, et al. Three-dimensional mapping of optimal left ventricular pacing site for cardiac resynchronization. *Circulation*, 2007, 115(8):953-961.
 - [15] Stone GW, Selker HP, Thiele H, et al. Relationship between infarct size and outcomes following primary PCI: Patient-level analysis from 10 randomized trials. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(14):1674-1683.
 - [16] Mangion K, McComb C, Auger DA, et al. Magnetic resonance imaging of myocardial strain after acute ST-segment-elevation myocardial infarction: A systematic review. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(8):e006498.
 - [17] Muser D, Tioni C, Shah R, et al. Prevalence, correlates, and prognostic relevance of myocardial mechanical dispersion as assessed by feature-tracking cardiac magnetic resonance after a first ST-segment elevation myocardial infarction. *Am J Cardiol*, 2017, 120(4):527-533.
 - [18] Taylor RJ, Umar F, Lin EL, et al. Mechanical effects of left ventricular midwall fibrosis in non-ischemic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016, 18:1.
 - [19] Clos EL, Lozano BT, Sotes A. Strain by nuclear magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *Rev Argent Cardiol*, 2016, 84:356-360.
 - [20] Dandel M, Hetzer R. Echocardiographic strain and strain rate imaging—clinical applications. *Int J Cardiol*, 2009, 132(1):11-24.
 - [21] 滕飞, 刘婷, 戴旭. 磁共振特征性追踪技术对肥厚型心肌病心肌应变的初步研究. *磁共振成像*, 2017, 8(6):431-435.
 - [22] Arenja N, Riffel JH, Fritz T, et al. Diagnostic and prognostic value of long-axis strain and myocardial contraction fraction using standard cardiovascular MR imaging in patients with nonischemic dilated cardiomyopathies. *Radiology*, 2017, 283(3):680-690.
 - [23] Buss SJ, Breuninger K, Lehrke SA, et al. Assessment of myocardial deformation with cardiac magnetic resonance strain imaging improves risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(3):307-315.
 - [24] Bourfiss M, Vigneault DM, Aliyari Ghasebeh M, et al. Feature tracking CMR reveals abnormal strain in preclinical arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: A multisite feasibility and clinical implementation study. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2017, 19(1):66.
 - [25] Heermann P, Hedderich DM, Paul MA, et al. Biventricular myocardial strain analysis in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC) using cardiovascular magnetic resonance feature tracking. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014, 16:75.
 - [26] 牟安娜, 李智勇, 张晨, 等. 磁共振 feature tracking 初步评价终末期肾病患者心肌形变. *中国医学影像技术*, 2016, 32(6):881-884.
 - [27] Lu JC, Connelly JA, Zhao LL, et al. Strain measurement by cardiovascular magnetic resonance in pediatric cancer survivors: Validation of feature tracking against harmonic phase imaging. *Pediatr Radiol*, 2014, 44(9):1070-1076.
 - [28] Inoue YY, Alissa A, Khurram IM. Quantitative tissue-tracking cardiac magnetic resonance (CMR) of left atrial deformation and the risk of stroke in patients with atrial fibrillation. *J Am Heart Assoc*, 2015, 4(4):e001844.
 - [29] Nucifora G, Muser D, Morocutti G, et al. Disease-specific differences of left ventricular rotational mechanics between cardiac amyloidosis and hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2014, 307(5):H680-H688.
 - [30] Orwat S, Diller GP, Kempny A, et al. Myocardial deformation parameters predict outcome in patients with repaired tetralogy of Fallot. *Heart*, 2016, 102(3):209-215.