

综述

基于心血管磁共振特征追踪技术的心肌应变在心脏疾病中的研究进展*

伍琪¹ 田鑫² 兰红琳^{2,*}

1.长治医学院研究生院(山西 长治 046000)

2.晋城市人民医院影像科(山西 晋城 048000)

【摘要】对患有心血管疾病或患病风险较高的人进行早期诊断对提高他们的生活质量至关重要。在心脏结构、功能及射血分数发生改变之前，心肌的整体或局部应变已经发生了变化，因此心肌应变在许多心血管疾病的诊断、风险分层和预测预后中有着重要作用。心血管磁共振(cardiovascular magnetic resonance, CMR)以其高时空分辨率和软组织分辨率成为评价心肌结构和功能的金标准。心血管磁共振心肌特征追踪(cardiovascular magnetic resonance feature tracking, CMR-FT)技术无需额外的扫描序列和复杂耗时的后处理，拥有良好的可重复性，因此CMR-FT技术已成为研究心肌应变的热点。现就基于CM-FT的心肌应变在评估心脏功能方面的研究进展进行综述。

【关键词】磁共振成像；心肌应变；心脏磁共振；特征追踪

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】山西省基础研究计划项目基金(20210302123015)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.10.057

The Research Progress of Myocardial Strain Derived from Cardiovascular Magnetic Resonance Feature Tracking in Cardiac Diseases*

WU Qi¹, TIAN Xin², LAN Hong-lin^{2,*}

1.Graduate School of Changzhi Medical College, Changzhi 046000, Shanxi Province, China

2.Imaging Department of Jincheng People's Hospital, Jincheng 048000, Shanxi Province, China

ABSTRACT

Early diagnosis of cardiovascular disease or high-risk individuals is crucial to improving their quality of life. Global or regional myocardial strain has already changed before changes in cardiac structure, function, and ejection fraction. Therefore, myocardial strain plays an important role in the diagnosis, risk stratification, and prognosis prediction of many cardiovascular diseases. Cardiovascular magnetic resonance (CMR) has become the gold standard for evaluating myocardial structure and function due to its high spatial and temporal resolution and soft tissue resolution. Cardiovascular magnetic resonance feature tracking (CMR-FT) technology does not require additional scan sequences and complex time-consuming post-processing and has good repeatability. Therefore, CMR-FT technology has become a hot topic in the study of myocardial strain. This review summarizes the research progress on the assessment of cardiac function based on CMR-FT myocardial strain.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Myocardial Strain; Cardiovascular Magnetic Resonance; Feature Tracking

心血管疾病有不同的形式，包括与动脉粥样硬化相关的缺血性疾病，与衰老和高血压相关的心肌病，心律失常、感染、瓣膜疾病和心力衰竭等。对患有心血管疾病或患病风险较高的人进行早期诊断对提高他们的生活质量至关重要。目前临床最常用的评价心肌整体功能的参数是左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)，但它只能反映心脏的整体容积变化，无法定量分析局部心肌功能，也不能直接评估心肌收缩能力^[1]。在心脏结构、功能及射血分数发生改变之前，心肌的整体或局部应变就会发生变化，近年来，心肌应变分析为各种亚临床心脏疾病的心功能评估提供了更深入的了解，有助于更真实的反映心肌功能，对心血管疾病的诊断和预后提供一定价值。心脏磁共振心肌特征追踪(cardiac magnetic resonance myocardial feature tracking, CMR-FT)技术无需额外的扫描序列和复杂耗时的后处理，有良好的可重复性，是目前临床和科研用于应变分析最广泛的技术^[2]，本文就心肌病变的概论、CMR-FT原理及基于CMR的心肌应变在不同心血管疾病中的应用做一综述。

1 概述

应变于1988年被Zerhouni等人首次提出^[3]。应变是指作用力产生的变形，心肌应变代表心肌长度从松弛状态到收缩状态的百分比变化^[4]。拉格朗日应变的标准定义是 $\epsilon=(L-L_0)/L_0$ ， L_0 是基线(通常是舒张末)的心肌长度， L 是所考虑的时间间隔结束时(通常是收缩末期)的心肌长度^[5]，使用成像方法可以整体和局部地评估所有心肌纤维的变形，从而产生具有重要诊断和预后价值的参数：纵向应变(longitudinal strain, LS)、周向应变(circumferential strain, CS)和径向应变(radial strain, RS)以及应变率(strain rate, SR)。心内膜下层的纤维从心底到心尖呈纵向排列，主要决定左室的纵向应变，心外膜下层的纤维从心尖到心底呈斜向排列，主要决定周向应变，心肌中间层的纤维呈环状分布，左室肌纤维层共同作用影响心肌扭转力即径向应变^[6]。这些纤维的细微变化提示心脏病理或疾病恶化。周向和纵向应变表示为负值以反映心肌缩短、变薄和/或收缩，而径向应变则表示为正值，因为它反映了心肌伸长、增厚和/或松弛^[7]。应变率是应变随时间的变化速度，相应地，应变率包括纵向应变率、周向应变率和径向应变率，反映各个方向的心肌形变速率^[8]。

2 CMR-FT原理

基于CMR心肌应变评估的主要技术包括基于特定的图像采集技术如心肌标记(myocardial tagging, MT)、相位对比速度编码(velocity-encoded, VENC)、受激回波位移编码(displacement encoding with stimulated echoes, DENSE)和应变编码(strain encoded, SENC)，以上这些磁共振技术都需要采集额外的成像序列，耗时长，信噪比低等缺点，并没有得到广泛应用。另一种基于CMR SSFP序列电影图像的后处理技术如CMR-FT，在CMR-FT后处理软件中，于2腔、3腔、4腔、短轴电影序列的舒张末期勾画心外膜和心内膜边界，软件的半自动算法利用测量预定点运动矢量的光流技术来跟踪整个心动周期的心肌边界位移，生成心肌空间运动曲线并沿时间轴显示，随后对数

【第一作者】伍琪，女，在读研究生，主要研究方向：心脏核磁。E-mail: 1205178660@qq.com

【通讯作者】兰红琳，男，主任医师，主要研究方向：心脏核磁。E-mail: jcmrhlh@163.com

据进行处理,包括空间相关性、信噪比、帧速率或时间和空间分辨率,从而能够计算出全面的应变分析结果^[9]。在长轴视图中计算纵向应变,左心室短轴方向得出圆周和径向应变值。许多研究表明CMR-FT技术具有出色的可行性和可重复性^[10-12]。

3 基于CMR的心肌应变在不同心血管疾病中的应用

3.1 高血压性心脏病 高血压性心脏病(hypertensive heart disease, HHD)是心脏对高动力状态的一种代偿性适应,长期压力负荷下发生心室重塑,表现为心肌细胞肥大和间质纤维化,心肌由正常构型发展为向心性肥厚,再到离心性肥厚,最后离心性扩大,恶化为充血性心力衰竭^[13]。一项回顾性研究纳入89名高血压患者和38名年龄和性别相匹配的健康人,利用CMR-FT技术进行分析发现无论左室肥厚如何,高血压患者的左心室舒张期峰值应变率(PDSR)在径向、周向和纵向方向均显著受损^[14],同样的,一项前瞻性研究也发现早期高血压患者在EF正常的情况下心肌应变显著降低^[15],证明了CMR-FT可以检测高血压患者早期轻微左室舒张功能障碍。

3.2 缺血性心肌病 缺血性心肌病(ischemic cardiomyopathy, ICM)是指一种由长期冠状动脉狭窄引发的严重心肌缺血所致的弥漫性心脏扩大、心功能障碍及心力衰竭的临床疾病。Sara W. Tantawy等^[16]纳入30名慢性冠脉综合症患者以及健康志愿者10名,使用CMR-FT技术分析表明慢性冠脉综合症患者的GCS和GRS值受到显著影响,并且发现周向和径向节段应变分析能够区分心肌的存活和非存活段。另有研究显示GLS和GLSR在射血分数保留的陈旧性心肌梗死患者中降低^[17]。这些研究证明了应变分析不仅能够弥补传统CMR技术在局部心肌评估中的不足,而且能够比LVEF更敏感的反应心肌异常。

3.3 非缺血性心肌病

3.3.1 扩张型心肌病 扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)是一种特发性心肌疾病。弥漫性心肌纤维化、细胞外基质重塑、心肌细胞凋亡和微纤维母细胞转化是导致心肌功能损害和心律失常的原因^[18]。一项研究在5个不同的欧洲CMR中心对350名DCM患者和70名健康受试者进行了CMR应变分析,结果显示扩张型心肌病患者的GLS、GCS、GRS和左心室扭转显著低于健康受试者^[19]。

3.3.2 肥厚型心肌病 肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是一种比较常见的遗传性疾病,最常见的特征是左心室不对称性肥大。HCM的心肌纤维化主要表现为胶原增生,纤维束紊乱,心肌细胞坏死^[20]。杨等^[21]纳入了33例非梗阻性肥厚性心肌病(NOHCM)患者和28例健康对照者,通过FT技术对左心房的整体及局部进行定量分析,发现在左心房增大之前,NOHCM患者已经出现了左心房整体及局部的储存及导管功能障碍,证明FT技术可以早期识别LA功能障碍和变形。GLS还可用于区分HCM患者与左心室肥大的运动员心脏^[22],为HCM的鉴别诊断提供帮助。

3.3.3 限制性心肌病 限制性心肌病(restrictive cardiomyopathy, RCM)是一种由于心肌硬度增加而导致的心室充盈受损的心肌疾病。无论RCM的原因是什么,GLS总是下降的,而GRS和GCS可能被保留。限制性心肌病和缩窄性心包炎(constrictive pericarditis, CP)都会导致右心衰竭,鉴别两者对于临床医师是一个挑战,Makoto等通过对28例CP患者和30例RCM患者进行应变分析,得出CP患者的GLS高于RCM患者^[23]。心脏淀粉样变性导致的RCM在亚洲地区很常见^[24],心脏淀粉样变性中纵向应变从基底至心尖梯度降低^[25],淀粉样蛋白负荷的区域差异导致了这种应变值的梯度改变,对淀粉样变性具有较高的诊断价值。

3.3.4 致右室心律失常性心肌病 致心律失常性右室心肌病(arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy, ARVC)是一种遗传性的心肌疾病,其病理特征是心肌细胞进行性丢失和纤维脂肪替代。CMR-FT可以客观量化ARVC患者的整体和局部右心室功能障碍^[26]。在检测左心室早期受累方面,左心室整体和局部纵向峰值应变比LVEF更敏感,可作为补充ARVC综合评估的常规参数^[27]。

3.3.5 心肌炎 急性心肌炎(acute myocarditis, AM)是一种多形性疾病,临床表现和演变具有很大的变异性,从而导致相关的医疗

管理困难。由于CMR还未普遍适用,一些LVEF正常的心肌炎患者可能被错过,而CMR-FT可以对疑似心肌炎患者提供更全面和互补的应变评估。有研究发现与健康对照组相比,“疑似”与“确诊”的急性心肌炎均显示出明显受损的应变值,并且高达20%的患者双心室GCS显著降低^[28]。因此心肌应变对于疑似急性心肌炎患者具有重大的诊断价值。

3.4 先天性心肌病 左室心肌致密化不全(left ventricular noncompaction, LVNC)是一种未分类的心肌病,其特征是心肌小梁异常增厚,小梁内凹陷较深,心肌层变薄^[29]。一项研究纳入16名LVNC儿童与16名性别和年龄匹配的对照组,使用特征追踪技术评估双心室的GRS、GCS和GLS,结果显示左心室应变参数较低,同时LVNC儿童右心室GRS和GCS受损^[30]。

3.5 肺动脉高压 肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension, PAH)是一种导致右室后负荷增加和右室重构的疾病^[31],右心衰竭是肺动脉高压患者死亡的主要原因。经评估发现右心室收缩功能和收缩储备明显受损,即使在射血分数保留的患者中,右心室GLS值也显著降低^[32],表明GLS可作为肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的早期指标。

3.6 瓣膜病 在某些情况下,症状的严重程度可以指导射血分数保留的主动脉瓣狭窄(aortic valve stenosis, AS)患者的治疗^[33],但不明确的症状,往往使决策具有挑战性。Tarique Al Musa等人^[33]采用CMR-FT技术来量化按症状严重程度分类的AS患者的心肌变形,发现无论临床症状如何,严重的AS患者都具有较低的纵向应变和周向应变。另一项研究发现随着AS严重程度的增加,GLS和GRS逐渐降低^[34]。这些研究表明AS严重程度和应变呈正相关,在一定程度上可以指导临床治疗。

3.7 心力衰竭 心力衰竭(heart failure, HF)是全世界主要的社会经济健康负担,大约有一半的患者患有射血分数保留性心力衰竭(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)。在中国,高达1.3%的人口患有HF,高血压心肌病伴左心室肥厚(LVH)是HFpEF最常见的病因^[35]。目前根据左室射血分数将其分为减少型(heart failure with reduced ejection fraction, HFrEF)、中范围型(heart failure with mid-range ejection fraction, HFmrEF)和保留型三种亚型。心力衰竭与进行性心室重塑和收缩受损有关,可明显影响心肌的各个区域。Radu tanacli等^[36]应用特征追踪技术评估59例不同亚型的HF患者心内膜下、中层和心外膜下3个不同水平心肌的应变,证明三个心肌层的应变值随HF的严重程度逐渐降低^[37]。

3.8 运动员心肌 研究^[38]发现,作为一种耐力运动,马拉松可能会引起心脏的对称或偏心重塑反应,表现为四腔心扩大、左右心室舒张末期容积和左心室质量的增加等,与病理性心肌病有重叠的特征。一项荟萃分析^[39]发现右心室基底到心尖的梯度应变改变是运动员心脏的特征表现。在一项研究铁人三项运动员在耐力赛跑后的双心室和双心房功能的变化中发现在赛后运动员的左心室GLS呈倾向性下降,右心室GLS保持恒定,双心室整体周向和径向应变增加,可能表明急性耐力运动后的代偿机制^[40]。

3.9 预后与危险因素分层 在各种心血管疾病中,使用CMR-FT测量的心肌应变在预测预后方面与传统的心脏功能和容量测量相比具有附加值^[41]。

GLS: 近几年的研究证明了纵向应变在各种疾病的预后和风险分层中的重要作用。一项调查了大量ST段抬高型心肌梗死患者的研究强调GLS是最具预后意义的应变测量指标和递增的心血管不良事件的预测指标^[42]。一项回顾性多中心研究表明左心室GLS是扩张型心肌病患者不良结局的重要独立预测因子^[43],并且具有很高的预后价值,可能有助于改善扩张型心肌病的风险分层^[19]。同样有研究证明左心室GLS受损与肥厚型心肌病患者的预后不良相关^[44]。基于CMR的应变技术也在急性心肌炎患者中提供独立的预后价值^[45]。

左心房导管应变: 在多变量模型中将左心房导管应变添加到其他独立预测因子(NYHA功能分类和LGE)中,显著提高了预测模型的校准、准确性和重新分类^[46],其在决定预后方面发挥着越来越重要的作用,有望改善风险分层。

4 局限性与展望

近年来,CMR被公认为诊断心脏损伤和检查亚临床病变的重要手段。任何纳入常规的心脏成像技术都需要在以下三个方面提供有用的信息:诊断、预后和决策^[47]。应变分析作为少数可量化地反映亚临床心肌功能障碍的早期敏感指标,拥有重要的诊断和鉴别诊断价值;有助于评估疾病的预后,提供了超越传统心功能分析的增量价值;此外,有报道中等程度受损的应变及舒张晚期应变率可以指导缺血性心肌病患者预防性植入转复除颤仪,在指导临床治疗决策方面也有明显进步^[48]。然而,CMR-FT技术也具有一定的局限性。首先,观察者内和观察者间的重复性在不同供应商之间也有很大的差异^[49];其次,多种技术的供应商的成像协议和分析算法存在着根本的差异,无法达到临床的普适性^[50],因此现有技术的标准化是未来进一步需要研究的方向。最后,目前评估心肌应变尚缺乏统一的评判标准,迫切需要基于较大样本的正常参考值,以便其在研究及临床环境中得到更好的应用。近年来,随着图像分割及人工智能等技术的快速发展,部分商业软件(如Circle Cardiovascular Imaging,加拿大)已经发布了FT技术人工智能自动化分析的版本已高效应用于临床,最近的一项关于人工智能和手动勾画的对比研究表明,基于人工智能的FT技术显示出良好的结果^[51]。我们希望在未来,通过技术的发展来提高精度,允许应变技术在接受标准验证下普遍使用。

参考文献

- [1] Mangion K, Burke NMM, McComb C, et al. Feature-tracking myocardial strain in healthy adults— a magnetic resonance study at 3.0 tesla [J]. *Sci Rep*, 2019, 9 (1): 3239.
- [2] Xu J, Yang W, Zhao S, et al. State-of-the-art myocardial strain by CMR feature tracking: clinical applications and future perspectives [J]. *European Radiology*, 2022, 32 (8): 5424–5435.
- [3] Zerhouni EA, Parish DM, Rogers WJ, et al. Human heart: tagging with MR imaging—a method for noninvasive assessment of myocardial motion [J]. *Radiology*, 1988, 169 (1): 59–63.
- [4] Amzulescu MS, De Craene M, Langet H, et al. Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20 (6): 605–619.
- [5] Flachskampf FA, Blankstein R, Grayburn PA, et al. Global longitudinal shortening: a positive step towards reducing confusion surrounding global longitudinal strain [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12 (8 Pt 1): 1566–7.
- [6] Zlibut A, Cojocaru C, Onciul S, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in appraising myocardial strain and biomechanics: a current overview [J]. *Diagnostics*, 2023, 13 (3): 553.
- [7] Mangion K, McComb C, Auger DA, et al. Magnetic resonance imaging of myocardial strain after acute ST-segment-elevation myocardial infarction: a systematic review [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10 (8).
- [8] 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.
- [9] Schuster A, Hor K N, Kowallick J T, et al. Cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking [J]. *Circ Cardiovascular Imaging*, 9 (4).
- [10] Morton G, Schuster A, Jogiya R, et al. Inter-study reproducibility of cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking [J]. *Journal of Cardiovascular Magnetic resonance*, 14 (1): 43.
- [11] Backhaus SJ, Metschies G, Billing M, et al. Cardiovascular magnetic resonance imaging feature tracking: Impact of training on observer performance and reproducibility [J]. *PLoS One*, 14 (1): e0210127.
- [12] Yang Y, Yin G, Jiang Y, et al. Quantification of left atrial function in patients with non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance feature tracking imaging: a feasibility and reproducibility study [J]. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 22 (1): 1.
- [13] 胡梦瑶, 龚良庚, 喻思思. MR 组织追踪技术在高血压心脏病左、右心室心肌应变的对比研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41 (10): 1883–1888.
- [14] Song Y, Li L, Chen X, et al. Early left ventricular diastolic dysfunction and abnormal left ventricular-left atrial coupling in asymptomatic

- patients with hypertension: a cardiovascular magnetic resonance feature tracking study [J]. *J Thorac Imaging*, 2022, 37 (1): 26–33.
- [15] Liu H, Wang J, Pan Y, et al. Early and quantitative assessment of myocardial deformation in essential hypertension patients by using cardiovascular magnetic resonance feature tracking [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1): 3582.
- [16] Tantawy SW, Mohammad SA, Osman AM, et al. Strain analysis using feature tracking cardiac magnetic resonance (FT-CMR) in the assessment of myocardial viability in chronic ischemic patients [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2021, 37 (2): 587–596.
- [17] Fent GJ, Garg P, Foley JRJ, et al. The utility of global longitudinal strain in the identification of prior myocardial infarction in patients with preserved left ventricular ejection fraction [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33 (10): 1561–1569.
- [18] Mazurkiewicz J, Petryka J, Spiewak M, et al. Biventricular mechanics in prediction of severe myocardial fibrosis in patients with dilated cardiomyopathy: CMR study [J]. *Eur J Radiol*, 2017, 91: 71–81.
- [19] Ochs A, Riffel J, Ochs MM, et al. Myocardial mechanics in dilated cardiomyopathy: prognostic value of left ventricular torsion and strain [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2021, 23 (1): 136.
- [20] Liang L, Wang X, Yu Y, et al. T1 Mapping and extracellular volume in cardiomyopathy showing left ventricular hypertrophy: differentiation between hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive heart disease [J]. *International Journal of General Medicine*, 2022, Volume 15: 4163–4173.
- [21] Yang Y, Yin G, Jiang Y, et al. Quantification of left atrial function in patients with non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance feature tracking imaging: a feasibility and reproducibility study [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020, 22 (1): 1.
- [22] Claus P, Omar AMS, Pedrizzetti G, et al. Tissue tracking technology for assessing cardiac mechanics: principles, normal values, and clinical applications [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8 (12): 1444–1460.
- [23] Amaki M, Savino J, Ain DL, et al. Diagnostic concordance of echocardiography and cardiac magnetic resonance-based tissue tracking for differentiating constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014, 7 (5): 819–827.
- [24] Muchtar E, Blauwet LA, Gertz MA. Restrictive cardiomyopathy: genetics, pathogenesis, clinical manifestations, diagnosis, and therapy [J]. *Circ Res*, 2017, 121 (7): 819–837.
- [25] Bravo PE, Fujikura K, Kijewski MF, et al. Relative apical sparing of myocardial longitudinal strain is explained by regional differences in total amyloid mass rather than the proportion of amyloid deposits [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12 (7 Pt 1): 1165–1173.
- [26] Prati G, Vitrella G, Allocca G, et al. Right ventricular strain and dyssynchrony assessment in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: cardiac magnetic resonance feature-tracking study [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2015, 8 (11): e003647.
- [27] Chen X, Li L, Cheng H, et al. Early left ventricular involvement detected by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: the effects of left ventricular late gadolinium enhancement and right ventricular dysfunction [J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8 (17): e012989.
- [28] Porcari A, Merlo M, Crosera L, et al. Strain analysis reveals subtle systolic dysfunction in confirmed and suspected myocarditis with normal LVEF. A cardiac magnetic resonance study [J]. *Clin Res Cardiol*, 2020, 109 (7): 869–880.
- [29] Femia G, Semsarian C, Ross SB, et al. Left ventricular non-compaction: review of the current diagnostic challenges and consequences in athletes [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2020, 56 (12).
- [30] Sarnecki J, Paszkowska A, Petryka J, Mazurkiewicz J, et al. Left and right ventricular morphology, function and myocardial deformation in children with left ventricular non-compaction cardiomyopathy: a case-control cardiovascular magnetic resonance study [J]. *J Clin Med*, 2022, 11 (4).
- [31] Sharifi Kia D, Kim K, Simon MA. Current understanding of the right ventricle structure and function in pulmonary arterial hypertension [J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 641310.

(参考文献下转第188页)

参考文献

[1]詹鹏超,李鑫,纪坤,等.介入诊疗血管畸形致小肠顽固性出血一例[J].中华介入放射学电子杂志,2019,7(3):259-262.

[2]蔡龙娇,刘媛,吴蓉,等.小肠血管畸形的治疗进展[J].胃肠病学和肝病杂志,2023,32(5):564-568.

[3]刘婉薇,沙卫红,王启仪,等.双气囊电子小肠镜诊断小肠疾病价值分析[J].中国全科医学,2015,18(3):342-345.

[4]陈川,李景南.小肠出血诊治进展[J].中国实用内科杂志,2018,38(12):1194-1197.

[5]宋娜,吕献军,李卫兵,等.介入诊疗儿童小肠血管畸形出血一例并文献复习[J].影像诊断与介入放射学,2017,26(5):404-406.

[6]冯宝强.数字减影血管造影诊断及介入治疗不明原因下消化道出血[J].影像研究与医学应用,2020,4(6):237-238.

[7]龙文兴,李庆,周定中,等.CTA在消化道出血诊疗中的指导价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2017,15(8):121-123.

[8]杨勇辉,王育光,余志荣.小肠血管畸形并出血的临床特征分析[J].中国实用医药,2016,11(7):88-89.

[9]J. H. Kwon, M. D. Kim, K. Han, et al. Transcatheter arterial embolisation for acute lower gastrointestinal haemorrhage: a single-centre study[J]. Eur Radiol, 2019, 29(1): 57-67.

[10]张婷,李艳梅.沙利度胺治疗小肠血管畸形所致下消化道出血的作用机制研究进展[J].中国现代医药杂志,2022,24(6):101-104.

[11]M. So, Y. Itatani, K. Obama, et al. Laparoscopic resection of idiopathic jejunal arteriovenous malformation after metallic coil embolization[J]. Surg Case Rep, 2018, 4(1): 78.

[12]L. L. Strate, I. M. Gralnek. ACG clinical guideline: management of patients with acute lower gastrointestinal bleeding[J]. Am J Gastroenterol, 2016, 111(4): 459-474.

[13]赵年,李春华,李德秀,等.DSA以及栓塞术在治疗消化道出血中的临床价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2016,14(7):100-102.

[14]冯凯,刘文浩,黄湘荣,等.肝移植术后早期急性肝动脉血栓介入治疗的临床应用[J].罕少疾病杂志,2023,30(5):54-56.

[15]李日明,刘祥东,吴丽娟.用放射介入下动脉栓塞术治疗动脉源性胃出血及对总止血率影响分析[J].罕少疾病杂志,2022,29(4):70-72.

[16]吴红宇,郑波.脑动静脉畸形CTA、DSA的影像学表现及诊断的对照性研究[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(1):36-3752.

(收稿日期: 2023-08-18) (校对编辑: 韩敏求)



(上接第176页)

[32]Lin ACW, Seale H, Hamilton-Craig C, et al. Quantification of biventricular strain and assessment of ventriculo-ventricular interaction in pulmonary arterial hypertension using exercise cardiac magnetic resonance imaging and myocardial feature tracking[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(5): 1427-1436.

[33]Al Musa T, Uddin A, Swoboda PP, et al. Myocardial strain and symptom severity in severe aortic stenosis: insights from cardiovascular magnetic resonance[J]. Quant Imaging Med Surg, 2017, 7(1): 38-47.

[34]Kim MY, Park EA, Lee W, et al. Cardiac magnetic resonance feature tracking in aortic stenosis: exploration of strain parameters and prognostic value in asymptomatic patients with preserved ejection fraction[J]. Korean J Radiol, 2020, 21(3): 268-279.

[35]Li F, Zhen Z, Sun SJ, et al. Attenuation of myocardial dysfunction in hypertensive cardiomyopathy using Non-R-wave-synchronized cardiac shock wave therapy[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(21).

[36]Tanaccli R, Hashemi D, Lapinskas T, et al. Range variability in CMR feature tracking multilayer strain across different stages of heart failure[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 16478.

[37]He J, Sirajuddin A, Li S, et al. Heart failure with preserved ejection fraction in hypertension patients: a myocardial MR strain study[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 53(2): 527-539.

[38]Swoboda PP, Erhayiem B, McDiarmid AK, et al. Relationship between cardiac deformation parameters measured by cardiovascular magnetic resonance and aerobic fitness in endurance athletes[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2016, 18(1): 48.

[39]Dawkins TG, Curry BA, Wright SP, et al. Right ventricular function and region-specific adaptation in athletes engaged in high-dynamic sports: a meta-analysis[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2021, 14(5): e012315.

[40]Chen H, Warncke ML, Muellerleile K, et al. Acute impact of an endurance race on biventricular and biatrial myocardial strain in competitive male and female triathletes evaluated by feature-tracking CMR[J]. Eur Radiol, 2022, 32(5): 3423-3435.

[41]Hagdorn QAJ, Vos JDL, Beurskens NEG, et al. CMR feature tracking left ventricular strain-rate predicts ventricular tachyarrhythmia, but not deterioration of ventricular function in patients with repaired tetralogy of Fallot[J]. Int J Cardiol, 2019, 295: 1-6.

[42]Reindl M, Tiller C, Holzknecht M, et al. Prognostic Implications of Global Longitudinal Strain by Feature-Tracking Cardiac Magnetic Resonance in ST-Elevation Myocardial Infarction[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2019, 12(11): e009404.

[43]Tang HS, Kwan CT, He J, et al. Prognostic utility of cardiac MRI myocardial strain parameters in patients with ischemic and nonischemic dilated cardiomyopathy: a multicenter study[J]. AJR Am J Roentgenol, 2023: 1-15.

[44]Yang Y, Wu D, Wang H, et al. Prognostic value of global longitudinal strain in hypertrophic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis[J]. Clinical Cardiology, 2022, 45(12): 1184-1191.

[45]Vos JL, Raafs AG, van der Velde N, et al. Comprehensive cardiovascular magnetic resonance-derived myocardial strain analysis provides independent prognostic value in acute myocarditis[J]. J Am Heart Assoc, 2022, 11(19): e025106.

[46]Raafs AG, Vos JL, Henkens MTHM, et al. Left atrial strain has superior prognostic value to ventricular function and delayed-enhancement in dilated cardiomyopathy[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(6): 1015-1026.

[47]Marcos-Garcés V, Gavara J, Monmeneu JV, et al. Vasodilator stress CMR and all-cause mortality in stable ischemic heart disease: a large retrospective registry[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13(8): 1674-1686.

[48]吴柳慧,李相生.MR心肌应变成像技术在心肌梗死预后评估中的应用研究进展[J].中华放射学杂志,2023,57(1):95-100.

[49]Dobrovie M, Barreiro-Pérez M, Curione D, et al. Inter-vendor reproducibility and accuracy of segmental left ventricular strain measurements using CMR feature tracking[J]. Eur Radiol, 2019, 29(12): 6846-6857.

[50]Bucius P, Erley J, Tanaccli R, et al. Comparison of feature tracking, fast-SENC, and myocardial tagging for global and segmental left ventricular strain[J]. ESC Heart Fail, 2020, 7(2): 523-532.

[51]Gröschel J, Kuhnt J, Viezzer D, et al. Comparison of manual and artificial intelligence based quantification of myocardial strain by feature tracking-a cardiovascular MR study in health and disease[J]. Eur Radiol, 2023.

(收稿日期: 2023-12-20) (校对编辑: 韩敏求)