

· 最新医学综述 ·

心脏磁共振特征追踪技术在原发性心肌病中的应用进展

石岩, 马江, 阳文秦, 马林, 胡良波

(重庆医科大学附属永川医院, 重庆 400000)

摘要: 原发性心肌病导致多种表型, 包括扩张型, 肥厚型和限制性模式。心脏磁共振成像 (cardiac magnetic resonance, CMR) 由于空间分辨率高、可重复性好等优势成为许多心肌病的首选诊断检查。心脏磁共振特征追踪 (cardiac magnetic resonance featuretracking, CMR-FT) 技术因其不需加做特殊序列、直接基于电影序列便可得出心肌应变, 且后处理工作简单等优势受到越来越多关注。本文试图对 CMR-FT 技术在原发性心肌病中的临床应用及研究进展做出综述。

关键词: 心脏磁共振; 心肌应变; 特征追踪技术; 心肌病

中图分类号: R542.2

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3141.2022.031.001

本文引用格式: 石岩, 马江, 阳文秦, 等. 心脏磁共振特征追踪技术在原发性心肌病中的应用进展 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2022, 22(031): 1-5.

Application Progress of Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking Technique in Primary Cardiomyopathy

SHI Yan, MA Jiang, YANG Wen-qin, MA Lin, HU Liang-bo

(Yongchuan Hospital Affiliated to Chongqing Medical University, Chongqing 400000)

ABSTRACT: Primary cardiomyopathy results in a variety of phenotypes, including dilated, hypertrophic, and restrictive patterns of cardiac magnetic resonance. Due to its unique advantages such as high spatial resolution and good repeatability, cardiac magnetic resonance feature tracking (CMR-FT) has become the preferred diagnostic examination for many cardiomyopathy because it does not require special sequences. In this paper, we reviewed the clinical application and research progress of CMR-FT technique in primary cardiomyopathy.

KEY WORDS: cardiac magnetic resonance; strain; feature tracking; cardiomyopathy

0 引言

心肌病, 是一种预后较差的心血管疾病。1957年, Brigiden^[1]首次使用心肌病一词来描述特发性心肌病患者。因其病因尚未完全阐明, 它们的分类亦尚未确定。近年来, 对心肌病的概念和分类也出现了较大的改变, 根据 2006 年美国心脏协会 (AHA) 专家组制定的专家共识^[2,3], 心肌病被定义为一种与机械和(或)电功能损害有关的不同类型的心肌疾患, 常常(但并不总是)显示出不适当的心室肥大或扩张现象, 并由不同因素所致, 且一般是遗传性的。心肌病或局限于心脏, 或是全身性病变的一部分, 往往都会造成心血管源性死亡或进行性心力衰竭有关的残疾; 而心肌病可分为原发性(遗传性, 混合性, 或获得性)与继发性两种类型, 导致多种表型, 包括扩张型, 肥厚型和限制性模式。心肌炎, 主要是病毒性

心肌炎, 被列入继发性心肌病^[4]。心肌病的诊断“金标准”目前仍为心脏活检, 但是因为心脏活检属于侵入性的检测手段, 使得该方法在临床使用方面受到了一些局限, 而在非侵入性的心肌病诊断检测方法中, 心脏磁共振成像 (cardiac magnetic resonance, CMR) 因其空间分辨率高、可重复性好等优势成为许多心肌病的首选诊断检查。自从 Zerhouni 等^[5]于 1988 年首次应用心脏磁共振标记 (CMR-tagging) 技术分析心肌应变以来, 许多在心肌应变评估方面有价值的新技术逐渐兴起, 在这其中心脏磁共振特征追踪 (cardiac magnetic resonance featuretracking, CMR-FT) 技术因其不需加做特殊序列、直接基于电影序列便可得出心肌应变, 且后处理工作简单等优势受到越来越多关注^[5-8]。本文试图对 CMR-FT 技术在原发性心肌病中的临床应用及研究进展做出综述。

1 心肌应变

1.1 心肌应变的概念

应变指物体在外力作用下的相对变形。心肌应变是指心肌纤维由舒张末期的最初长度(L₀)延伸至收缩末期的最大长度(L)的变形程度,数值以百分数表示^[9],包括纵向应变(longitudinal strain, LS)、周向应变(circumferential strain, CS)及径向应变(radial strain, RS), Lagrangian 公式定义如下:

$$\varepsilon = (L - L_0) / L_0$$

其中, ε 代表应变, L₀ 代表舒张末期心肌的最初长度, L 代表收缩末期心肌的最大长度。舒张末期至收缩末期, 心肌厚度增加而周向和纵向心肌纤维缩短, 因此 RS 以正值表示, CS 和 LS 均以负值表示。应变率(strain rate, SR)是指心肌纤维在单位时间内的变形速度, 结果以 s⁻¹ 为单位。

1.2 常用心肌应变后处理技术

1.2.1 超声斑点成像追踪(speckle tracking echocardiography, STE)技术

STE 技术利用超声探头的入射波与人体组织散射粒子产生的反射和折射之间的相互干涉从而形成的散斑来追踪心肌运动, 然后通过相应的后处理分析在纵向、周向、径向三个方向上获得心肌的应变、扭转等参数^[10,11]。STE 技术是心肌病常见的无创性检查技术, 并且弥补了常规超声技术上的不足。但该技术很容易受多种因素的影响, 如对图像的品质要求较高、噪声干扰、对角度的依赖、声窗较差、帧频较低、检查时间较长以及受到检查操作者技术的限制等, 因此 STE 技术在缩短检查时间、提高检查结果准确性方便还需要更进一步的提升^[12]。

1.2.2 心脏磁共振标记(CMR-tagging)技术

CMR-tagging 技术是目前磁共振测量心肌应变的“金标准”, 一组垂直方向上的空间磁化调制技术需在电影序列扫描前采用, 从而使多条暗线组成的小方格来分割心肌磁共振图像, 评估心肌应变情况需通过描述、测定小方格的形态变化来实现, 即小方格的形态变化越明显, 那么表示心肌的运动能力就越强^[13]。该技术能够完成心肌应变的半定量分析, 提供每个节段的收缩异常改变信息。但 CMR-tagging 技术获得图像的方式较复杂, 且后处理过程过于繁琐, 评估时主观性强。

1.2.3 CMR-FT 技术

CMR-FT 技术在电影序列上追踪心肌的心内

膜和心外膜边界, 通过相应后处理软件计算边界的相对运动来获得心肌的应变情况, 能够通过无创性途径来定量分析心肌整体和节段的应变情况。与 STE 技术和 CMR-tagging 技术两种方法相比, CMR-FT 技术更为便捷, 它无需在电影序列外加做其他序列, 能够直接通过后处理软件对高空间分辨率的电影序列进行后处理过程, 并且能够对心肌整体和节段的应变情况提供精确的评估结果^[14]。既往的研究成果^[14-16]也证明, CMR-FT 技术在评价整体心肌应变参数方面有着很高的可重复性, 且与 STE 技术和 CMR-Tagging 技术测量心肌应变具有良好的一致性。

2 CMR-FT 测量参数及正常参考值

2.1 CMR-FT 参数

心肌应变根据方向, 可分为纵向应变、周向应变和径向应变。纵向应变反映了心肌纤维自基底向心尖方向的收缩, 以负值表示, 由标准长轴两腔、三腔、四腔心切面图像获得; 周向应变反映了心肌纤维环向缩短, 以负值表示, 由短轴切面图像获得; 径向应变通常为三个应变分量中最大的, 主要与心肌壁厚度相关, 以正值表示, 由长轴切面和短轴切面的图像均可获得。CMR-FT 不但可以用于评估心肌整体应变值, 反映心肌整体收缩和舒张功能, 还可以根据心肌被划分的 17 个节段来评估感兴趣节段的应变值, 从而反映心肌局部收缩和舒张功能。

2.2 CMR-FT 应变测量的正常参考值

对于基于大样本的 CMR-FT 测量心肌应变的正常值范围, 目前尚无指南可以提供。Taylor 等^[17]采用了 CMR-FT 技术, 对健康人群的左心室收缩期峰值应变进行测量, 并获得了正常的参考范围(LS: -21.3% ± 4.8%; CS: -26.1% ± 3.8%; RS: 39.8% ± 8.3%)。另一研究^[18]则使用 CMR-FT 技术对欧洲人心肌的应变进行检测, 并得出了参考值范围 LS: -21.6% ± 3.2%; CS: -21.3% ± 3.3%; RS: 36.3% ± 8.7%)。根据国内一项对汉族健康群体的 CMR-FT 调差, 得出了左心室心肌应变的正常参考值: 收缩期峰值应变为 LS: -15.2% ± 2.3%; CS: -18.4% ± 3.3%; RS: 37.7% ± 9.6%^[19]。以上研究得出的参考范围存在一定差异, 我国汉族人群在纵向和周向上的应变似乎更低, 提示种族的差异对心肌应变有一定影响。

3 CMR-FT 在常见原发性心肌病中的临床应用

3.1 肥厚型心肌病

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是一类常见的遗传性原发性心肌病,也是青年人猝死常见病因,特征性表现主要为左心室和(或)右心室肥厚,与高血压性心脏病所表现的左心室向心性肥厚不同^[20],而 HCM 在心脏形态学变化上则一般显示为非对称性肥厚,多见室间隔肥厚型,其肥厚原因在于心肌纤维束紊乱、肌细胞畸形和心肌纤维堆积。心肌形变可应用于 HCM 的早期诊断,可比传统常用心功能指标左心室射血分数(ejection fraction, EF)更加敏感地反映心功能损害^[21]。已有研究人员^[22-24]通过采用 CMR-FT 技术研究表明, HCM 患者与健康对照组相比,左心室和右心室在纵向、周向、径向三种方位上的整体和局部应变以及应变率都明显减低,并且整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)是 HCM 患者主要不良心脏事件的一个强大的独立预测因子^[25]。Cavus^[23]还通过对受损的左心室应变与升高的 N 末端前脑钠肽(NT-proBNP)和高敏心肌肌钙蛋白 T 之间的相关性分析发现 HCM 中不明显的功能异常与疾病严重程度之间存在关联,这提示独立于传统的评估参数,心肌应变的改变和升高的生物标志物似乎描述了更严重的疾病。Ulf 等^[26]研究报告 GLS 可以鉴别高血压心脏病和 HCM,与高血压心脏病患者相比, HCM 患者的 GLS 显著升高($P = 0.004$)。由此可见, CMR-FT 技术是一种很有前途的方法,可以无创和定量地分析 HCM 患者的整体和节段性心肌变形损伤,且对 HCM 与其他可引起心肌肥厚的疾病有一定鉴别诊断能力。

3.2 扩张型心肌病

扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)表现为左心室或双心室扩大,并伴随收缩功能障碍以及负荷失常的情况。DCM 患者心律失常及猝死的发生率较高^[27],因而早期诊断及治疗是改善 DCM 患者预后的关键。左心室心肌收缩力已被发现是一种强大的结果预测因子^[28],因此对 DCM 患者心肌收缩力下降的早期识别有助于改善预后,心肌应变是较为敏感的参数。研究报告 DCM 患者的左心室功能受损,表现为纵向、周向、径向应变均显著下降^[29,30],其原因可能在于纵向及周向心肌纤维从纵向趋于水平。Azuma 等^[31]在非缺血性 DCM 患者中,

发现 RS、CS、LS 和细胞外体积分数(ECV)之间均显示线性相关性($P < 0.001$),心肌应变与 ECV 之间存在的这种相关性表明由 CMR-FT 衍生的心肌应变可能可用作无对比剂检测心肌纤维化的非侵入性成像的标志物。Javier 等^[32]发现整体周向应变(global circumferential strain, GCS)不仅与 DCM 严重程度的形态功能标志物相关,并且与事件发生独立相关。GCS 是重复性最高的特征追踪参数,与 GLS 不同,它不受亚环状区域跟踪不良的影响。典型的 DCM 心肌纤维化多发生于心内膜层或心外膜下层,而心外膜层心肌纤维是导致周向变形的主要原因,因此 DCM 纤维化可能优先影响 GCS。对于 GLS 的分析,国外一项大规模多中心实验^[33]表明, GLS 是对缺血性和非缺血性扩张型心肌病患者死亡率的强大独立预测因子,在通过临床和影像的风险因素调整后, GLS 水平每下降约百分之一,患者死亡风险上升约 89.1%。由此可见, CMR-FT 的衍生参数在 DCM 中具有重要的临床预后价值。

3.3 限制性心肌病

限制性心肌病(restrictive cardiomyopathy, RCM)比较罕见,是指以心脏僵硬性增大、一侧或双侧心室舒张功能明显减弱、以及心室充盈受损为特点的一种心肌病,症状可表现为心力衰竭,临床上常因诊断不足而被忽视,但其预后在所有类型心肌病中最差^[34]。RCM 又可包括特发性 RCM 与继发性 RCM,常见特发性 RCM 因心肌蛋白相关的基因突变导致,常见继发性 RCM 是由于心肌淀粉样变性、嗜酸性粒细胞心内膜炎、心脏结节病等造成^[35]。淀粉样变性是指由于错误折叠的蛋白质在全身组织中积累而产生的一组异质性疾病,淀粉样蛋白可以沉积在心肌中,产生心脏淀粉样变性,表现为限制性心肌病,最终导致心力衰竭^[36,37]。在临床工作中, RCM 有时难以和缩窄性心包炎(constrictive pericarditis, CP)区分, Yang 等^[38]利用 CMR-FT 左心室舒张期时间-应变曲线模型和心肌应变来区分两者,其研究发现 RCM 组的峰值 GLS 和 GCS 均低于 CP 组;在周向和径向上, CP 组左室外侧/间隔壁的应变比在基底部和中间部明显低于 RCM 组;在纵向和周向上, CP 组可以看到舒张期时间-应变曲线的“平台”模型,而在 RCM 组中则看不到,这提示 CMR-FT 技术在限制性心肌病的鉴别诊断中有潜在临床意义。

4 局限性与展望

尽管 CMR-FT 技术的研究日渐丰富,但作为一个发展中的新兴技术,一些待解决的问题仍然存在,如缺乏统一的规范化标准,不同软件的测量值之间有所差异,使用的确切算法也存在供应商间的差异^[39,40],且缺乏大样本研究的数据,在诊断心脏功能障碍方面无明确数值标准,还需进一步研究予以弥补。总之,CMR-FT 技术因其可非侵入性定量评估心肌整体及节段应变,为心肌损害提供了影像证据,相信在实验及数据日趋完善后,CMR-FT 技术将在临床得到更普遍的应用。

参考文献

- [1] Brigden W. Uncommon myocardial diseases: the non-coronary cardiomyopathies[J]. *Lancet*,1957,273(7008):1243-1249.
- [2] Maron BJ, Towbin JA, Thiene G, et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies[J]. *Circulation (New York, N.Y.)*,2006,113(14):1807-1816.
- [3] Brieler J, Breeden MA, Tucker J. Cardiomyopathy: An Overview[J]. *Am Fam Physician*,2017,96(10):640-646.
- [4] McKenna W J, Maron B J, Thiene G. Classification, Epidemiology, and Global Burden of Cardiomyopathies[J]. *Circulation research*, 2017,121(7):722-730.
- [5] 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.
- [6] Pedrizzetti G, Claus P, Kilner P J, et al. Principles of cardiovascular magnetic resonance feature tracking and echocardiographic speckle tracking for informed clinical use[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016,18(1):51.
- [7] Almutairi H M, Boubertakh R, Miquel M E, et al. Myocardial deformation assessment using cardiovascular magnetic resonance-feature tracking technique[J]. *Br J Radiol*, 2017,90(1080):20170072.
- [8] 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(06):469-473.
- [9] Scatteia A, Baritussio A, Bucciarelli-Ducci C. Strain imaging using cardiac magnetic resonance[J]. *Heart Fail Rev*,2017,22(4):465-476.
- [10] Cameli M, Mandoli G E, Sciacaluga C, et al. More than 10 years of speckle tracking echocardiography: Still a novel technique or a definite tool for clinical practice?[J]. *Echocardiography (Mount Kisco, N.Y.)*, 2019,36(5):958-970.
- [11] Nabeshima Y, Seo Y, Takeuchi M. A review of current trends in three-dimensional analysis of left ventricular myocardial strain[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2020,18(1):23.
- [12] Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*,2015,28(2):183-193.
- [13] Wu L, Germans T, Güçlü A, et al. Feature tracking compared with tissue tagging measurements of segmental strain by cardiovascular magnetic resonance[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014,16(1):10.
- [14] van Everdingen W M, Zweerink A, Nijveldt R, et al. Comparison of strain imaging techniques in CRT candidates: CMR tagging, CMR feature tracking and speckle tracking echocardiography[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018,34(3):443-456.
- [15] Schuster A, Morton G, Hussain S T, et al. The intra-observer reproducibility of cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking strain assessment is independent of field strength[J]. *Eur J Radiol*, 2013,82(2):296-301.
- [16] Claus P, Omar A M S, Pedrizzetti G, et al. Tissue Tracking Technology for Assessing Cardiac Mechanics: Principles, Normal Values, and Clinical Applications[J]. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2015,8(12):1444-1460.
- [17] Taylor R J, Moody W E, Umar F, et al. Myocardial strain measurement with feature-tracking cardiovascular magnetic resonance: normal values[J]. *European heart journal cardiovascular imaging*, 2015,16(8):871-881.
- [18] Andre F, Steen H, Matheis P, et al. Age- and gender-related normal left ventricular deformation assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking[J]. *Journal of cardiovascular magnetic resonance*, 2015,17(1):25.
- [19] 刘红,杨丹,罗勇,等.特征追踪心脏磁共振技术测量汉族健康人群左心室心肌应变正常参考值的研究[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2016,47(04):599-604.
- [20] 李晓丹,陈炎,刘家祎,等.心脏磁共振成像在高血压性心脏病的应用价值[J]. *心肺血管病杂志*, 2019,38(12):1309-1312.
- [21] 滕飞.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[D]. *中国医科大学*,2017.
- [22] Yang L, Zhang L, Cao S, et al. Advanced myocardial characterization in hypertrophic cardiomyopathy: feasibility of CMR-based feature tracking strain analysis in a case-control study[J]. *Eur Radiol*, 2020,30(11):6118-6128.
- [23] Cavus E, Muellerleile K, Schellert S, et al. CMR feature tracking strain patterns and their association with circulating cardiac biomarkers in patients with

- hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Clin Res Cardiol*, 2021,110(11):1757-1769.
- [24] Petryka-Mazurkiewicz J, Ziolkowska L, Mazurkiewicz Ł, et al. Right-ventricular mechanics assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in children with hypertrophic cardiomyopathy[J]. *PLoS One*,2021,16(3):e0248725.
- [25] Negri F, Muser D, Driussi M, et al. Prognostic role of global longitudinal strain by feature tracking in patients with hypertrophic cardiomyopathy: The STRAIN-HCM study[J]. *Int J Cardiol*,2021,345:61-67.
- [26] Neisius U, Myerson L, Fahmy A S, et al. Cardiovascular magnetic resonance feature tracking strain analysis for discrimination between hypertensive heart disease and hypertrophic cardiomyopathy[J]. *PLoS One*, 2019,14(8):e221061.
- [27] Riffel J H, Keller M G P, Rost F, et al. Left ventricular long axis strain: a new prognosticator in non-ischemic dilated cardiomyopathy? [J]. *Journal of cardiovascular magnetic resonance*, 2016,18(1):36.
- [28] Chimura M, Onishi T, Tsukishiro Y, et al. Longitudinal strain combined with delayed-enhancement magnetic resonance improves risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy[J]. *Heart*, 2017,103(9):679-686.
- [29] Gao C, Gao Y, Hang J, et al. Strain parameters for predicting the prognosis of non-ischemic dilated cardiomyopathy using cardiovascular magnetic resonance tissue feature tracking[J]. *Journal of cardiovascular magnetic resonance*, 2021,23(1):21.
- [30] 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.
- [31] Azuma M, Kato S, Kodama S, et al. Relationship between the cardiac magnetic resonance derived extracellular volume fraction and feature tracking myocardial strain in patients with non-ischemic dilated cardiomyopathy[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2020,74:14-20.
- [32] Urmeneta Ulloa J, Pozo Osinalde E, Rodríguez-Hernández J L, et al. Myocardial strain in nonischemic dilated cardiomyopathy with feature tracking. Feasibility and prognostic implications[J]. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 2021,74(2):159-166.
- [33] Romano S, Judd R M, Kim R J, et al. Feature-Tracking Global Longitudinal Strain Predicts Death in a Multicenter Population of Patients with Ischemic and Nonischemic Dilated Cardiomyopathy Incremental to Ejection Fraction and Late Gadolinium Enhancement[J]. *JACC. Cardiovascular imaging*, 2018,11(10):1419-1429.
- [34] Hayashi T, Tsuda E, Kurosaki K, et al. Electrocardiographic and Clinical Characteristics of Idiopathic Restrictive Cardiomyopathy in Children[J]. *Circulation journal: official journal of the Japanese Circulation Society*, 2007,71(10):1534-1539.
- [35] Muchtar E, Blauwet L A, Gertz M A. Restrictive Cardiomyopathy: Genetics, Pathogenesis, Clinical Manifestations, Diagnosis, and Therapy[J]. *Circ Res*, 2017,121(7):819-837.
- [36] Di Giovanni B, Gustafson D, Adamson M B, et al. Hiding in Plain Sight: Cardiac Amyloidosis, an Emerging Epidemic[J]. *Canadian Journal of Cardiology*, 2020,36(3):373-383.
- [37] Martínez-Naharro A, Baksı AJ, Hawkins PN, et al. Diagnostic imaging of cardiac amyloidosis[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2020,17(7):413-426.
- [38] Yang Z, Wang H, Chang S, et al. Left ventricular strain-curve morphology to distinguish between constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy[J]. *ESC Heart Fail*,2021,8(6):4863-4872.
- [39] Dobrovie M, Barreiro-Perez M, Curione D, et al. Inter-vendor reproducibility and accuracy of segmental left ventricular strain measurements using CMR feature tracking[J]. *EurRadiol*, 2019,29(12):6846-6857.
- [40] Amzulescu M S, De Craene M, Langet H, et al. Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies[J]. *European heart journal cardiovascular imaging*. 2019,20(6):605-619.