肥厚型心肌病静息心肌灌注与应变的 相关性研究

马晓明,赵新湘*

昆明医科大学第二附属医院放射科, 云南 昆明

收稿日期: 2025年3月14日; 录用日期: 2025年4月7日; 发布日期: 2025年4月15日

摘要

[目的]本文探讨肥厚型心肌病基于心脏磁共振图像获得的静息灌注指标与心脏磁共振特征追踪(CMR-FT)技术量化的左室心肌应变的相关性研究。[方法]采用历史队列研究的方法,纳入2015年1月~2024 年1月经临床及心脏磁共振(CMR)确诊为HCM的患者,丈量舒张末期心肌厚度(EDTH),绘制左心室基底 部、中部及心尖部的血池 - 信号强度心肌灌注曲线,获得各节段的灌注参数,包括:达峰时间、心肌信 号强度最大上升斜率、峰值信号强度(Tpeak、Slopemax、Slpeak),通过CVI42 Strain模块获得左室心肌应变 参数包括整体纵向、径向、周向峰值应变(GLS、GRS、GCS)。根据EDTH,将HCM组各心肌节段分为非肥 厚亚组和肥厚亚组。采用独立样本t检验比较组间Slpeak、Slopemax和tpeak等参数。检验灌注参数和应 变参数的相关关系采用皮尔逊相关性分析。[结果]① 肥厚节段组(625段)、非肥厚节段组(751段) tpeak 分别为(100.40±82.43)、(32.06±111.34),Slopemax分别为(32.01±12.32)、(108.63±103.30), Slpeak分别为(1095.54±566.68)、(1146.89±590.79)。其中肥厚节段较非肥厚节段tpeak升高(P < 0.01),Slopemax降低(P < 0.01);而Slpeak在两组之间差异无统计学意义。② Slopemax与GLS呈负相 关(r = -0.385, P < 0.001);Slpeak与GLS呈负相关(r = -0.579, P < 0.001);Slpeak与GCS呈负相关(r = -0.261, P < 0.001)。[结论] ① 3.0 T MR心肌灌注成像能可靠显示出心肌节段微循环功能异常,具有早 期显示HCM患者冠脉微循环障碍的能力。② CMR-FT技术可用于评价HCM患者左室心肌应变的异常,与 灌注参数的联合运用能更好的为HCM患者提供更全面的危险分层。

关键词

肥厚型心肌病,心脏磁共振,冠脉微循环障碍,应变

A Study on the Correlation of Resting Myocardial Perfusion and Strain in Hypertrophic Cardiomyopathy

Xiaoming Ma, Xinxiang Zhao*

*通讯作者。

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: Mar. 14th, 2025; accepted: Apr. 7th, 2025; published: Apr. 15th, 2025

Abstract

Objective: This paper explores the correlation between the resting perfusion indices obtained based on cardiac magnetic resonance images in hypertrophic cardiomyopathy and the left ventricular myocardial strain quantified by the cardiac magnetic resonance feature tracking (CMR-FT) technique. Methods: A historical cohort study was adopted. Patients diagnosed with HCM clinically and by cardiac magnetic resonance (CMR) from January 2015 to December 2024 were included. The end-diastolic myocardial thickness (EDTH) was measured. The blood pool-signal intensity myocardial perfusion curves of the base, middle, and apex of the left ventricle were drawn. The maximum slope (Slopemax), time to peak (tpeak), and peak signal intensity (Slpeak) of the myocardial signal intensity for each segment were obtained. The left ventricular myocardial strain parameters including global radial, circumferentia, longitudinalpeak strain (GRS, GCS, GLS) were obtained through the CVI42 Strain module. According to EDTH, each myocardial segment in the HCM group is based on whether the myocardial wall is greater than 15 mm. Independent sample t-tests were used to compare parameters, such as Slpeak, Slopemax, and tpeak between groups. Pearson correlation analysis is used in statistics. Results: ① For the group with myocardial wall thickness greater than or equal to 15 mm (625 segments) and the group with myocardial wall thickness less than 15 mm (751 segments), the tpeak was (100.40 ± 82.43) and (32.06 ± 111.34) , respectively; the Slopemax was (32.01 ± 12.32) and (108.63 ± 103.30) , respectively; the SIpeak was (1095.54 ± 566.68) and (1146.89 ± 590.79), respectively. Compared with the non-hypertrophic segment group, the tpeak was significantly higher in the hypertrophic segment group (P < 0.01), and the Slopemax was lower (P < 0.01) 0.01). (2) Slopemax was negatively correlated with GLS (r = -0.385, P < 0.001); Slpeak was negatively correlated with GLS (r = -0.579, P < 0.001) and GCS (r = -0.261, P < 0.001). Conclusion: (1) 3.0 T MR myocardial perfusion imaging can reliably demonstrate abnormal microcirculation function of myocardial segments and has the capability to reveal coronary microcirculation disorders in HCM patients at an early stage. ⁽²⁾ The CMR-FT technique can be utilized to evaluate the abnormal left ventricular myocardial strain in HCM patients. The combined application with perfusion parameters can better provide a more comprehensive risk stratification for HCM patients.

Keywords

Hypertrophic Cardiomyopathy, Cardiac Magnetic Resonance, Coronary Microcirculation Disorder, Strain

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ву

1. 前言

肥厚型心肌病((hypertrophic cardiomyopathy, HCM)最先由 Braunwald 等人描述,是最常见的遗传性心脏病。HCM 的特点是心肌组织肥大,最常见的原因是肌节蛋白的基因突变;组织病理学变化包括心肌细胞紊乱、间质和血管周围纤维化[1]。冠脉微血管功能障碍(MVD)是 HCM 的一个常见特征,导致 HCM 中缺血介导的心肌细胞死亡,最终导致替代性纤维化和左心室(LV)重塑[2]。在肥厚型心肌病患者中,目前

导致临床进展恶化和死亡的预测因素中,微血管功能障碍的程度是非常重要的预测因素。严重的微血管功能障碍通常出现在症状轻微或无症状的患者中,并且可能在临床恶化之前数年出现[3]。心肌应变是指心肌在张力作用下的形变能力,目前心脏磁共振使用 CMR 特征追踪技术(cardiovascular magnetic resonance feature tracking, CMR-FT)来分析整体和节段性心肌应变,而心肌应变,可以评估 LV 功能。一些学者研究了 HCM 中应变与预后之间的联系,得出 FT-CMR 测量的 LA 和 LV 应变可以准确识别 SCD 高危的 HCM 患者[4] [5]。HCM 患者远期预后较差,早期识别高危 HCM 患者是指导个体化治疗和管理的关键。SCD 是 HCM 最严重的并发症,临床上需要评估 SCD 风险,进而指导 ICD 的应用。因此,本研究运用心脏磁 共振首过心肌灌注成像及心脏磁共振特征追踪技术探讨 HCM 患者冠脉微循环障碍及心肌应变,旨在提 高临床医师对 HCM 心肌缺血及心肌应变的认识,为 HCM 患者 SCD 风险分层提供更多的增量预测价值。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

收集本院 2015 年 1 月~2024 年 1 月经临床及心脏磁共振(CMR)确诊为 HCM 的患者 86 例,其中男 59 例,女 27 例,年龄 20~79 岁,平均(56.3±22.4)岁。全部受试者均无 MR 检查禁忌证(体内金属、心脏 起搏器、幽闭恐惧症等),检查前均签署知情同意书。本研究经我院医学伦理委员会审查批准。

2.2. 仪器与方法

采用 PhilipsAchieva3.0T 多源发射 MR 扫描仪, 16 通道相控阵心脏线圈, 胸前导联心电门控技术。 采用快速梯度回波序列完成长轴位四腔心和二腔心扫描及左心室短轴位扫描,定位扫描采用 TrueFISP 序 列(TR 400 ms, TE 1.08 ms, 层厚 6 mm, FOV 311 mm × 340 mm); 电影序列(TR39.76 ms, TE1.22 ms, 层厚 8 mm, FOV 276 mm × 340 mm),动态屏气扫描,一个心动周期采集 25 帧图像。采用高压注射器经 肘静脉团注 Gd-DTPA, (0.2 mmol/kg 体质量),流速 3.5 ml/s。采用快速梯度回波序列(TR 2.3 ms, TE 1.12 ms, 层厚 10 mm, 层数 3 层, FOV 350 mm × 350 mm)获得短轴位首过灌注图像。首过灌注后二次注入 Gd-DTPA,于对比剂注射 10~15 min 后行 PSIR-TFE-BH 序列扫描(TR 6.1 ms, TE 3.0 ms, 层厚 10 mm, FOV 320 mm × 320 mm)获得短轴位延迟期图像。

2.3. 图像分析

图像分析是通过运用心脏后处理软件 CVI 42 (Circle Cardiovascular Imaging, Calgary, Alberta, Canada) 来进行的。根据美国心脏病协会提出的"17节段分法"将左心室分为4区17节段,4区分别为基底部、中部、心尖部及心尖,各节段包括基底部和中部前壁(1、7节段)、前室间隔(2、8节段)、下室间隔(3、9节段)、下壁(4、10节段)、下侧壁(5、11节段)、前侧壁(6、12节段),心尖部前壁(第13节段)、室间隔(第14节段)、下壁(第15节段)、侧壁(第16节段),及心尖(第17节段)。分析各节段灌注情况,但其中不包括第17节段(即心尖)。

2.3.1. 首过期心肌灌注

分别于左心室基底部、中部及心尖部短轴切面测量各节段的舒张末期心肌厚度(end-diastolic thickness, EDTH),绘制左心室基底部、中部及心尖部血池 - 信号强度心肌灌注曲线,获得各节段达峰时间、心肌 信号强度最大上升斜率、峰值信号强度(T_{peak}、Slope_{max}、SI_{peak}),根据心肌各节段 EDTH 厚度,将 HCM 组 分为肥厚亚组与肥厚亚组(图 1~4)。

2.3.2. 心肌应变参数

进一步左室心肌应变参数的测量:将短轴、两腔、三腔和四腔心脏电影图像置于 Strain 模块,手动

勾画左心室舒张末期和收缩末期心内膜、心外膜轮廓,进行 Strain 分析,生成整体纵向、径向、周向峰值 应变(GLS、GRS、GCS)(图 5)。



Figure 1. Short-axis view of the apical part of the left ventricle in the first-pass perfusion image 图 1. 左心室心尖部短轴位首过灌注图像



Figure 2. Short-axis view of the middle part of the left ventricle in the first-pass perfusion image 图 2. 左心室中间部短轴位首过灌注图像



Figure 3. Short-axis view of the basal part of the left ventricle in the first-pass perfusion image 图 3. 左心室基底部短轴位首过灌注图像



Figure 4. Blood pool-signal intensity myocardial perfusion curve 图 4. 血池 - 信号强度心肌灌注曲线



Figure 5. Global strain map of the left ventricle 图 5. 左心室整体应变图

2.4. 统计学分析

采用 SPSS29.0 统计分析软件,采用独立样本 t 检验比较组间 SIpeak、Slopemax 和 tpeak 等参数;采 用皮尔逊相关分析,分析参数之间的相关性;P<0.05 为差异有统计学意义。

3. 结果

一、HCM 肥厚节段与非肥厚节段各灌注参数比较: 肥厚节段组(625 段)、非肥厚节段组(751 段): tpeak 分别为(100.40±82.43)、(32.06±111.34), Slopemax 分别为(32.01±12.32)、(108.63±103.30), Slpeak 分别为(1095.54±566.68)、(1146.89±590.79)。其中肥厚节段较非肥厚节段 tpeak 升高(P<0.01), Slopemax 降低(P<0.01); 而 Slpeak 在两组之间差异无统计学意义(表 1)。

		·		
组别	节段数	tpeak	Slope _{max}	SIpeak
肥厚节段	625	100.40 ± 82.43	32.01 ± 12.32	1095.54 ± 566.68
非肥厚节段	751	32.06 ± 11.34	108.63 ± 103.30	1146.89 ± 590.79
F 值	\	36.664	23.065	0.564
P 值	\	< 0.001	< 0.001	0.454

Table 1. Comparison of myocardial segment perfusion parameters between the two groups ($\bar{x} \pm s$) **表 1.** 2 组心肌节段灌注参数比较($\bar{x} \pm s$)

注: tpeak: 峰值时间; SIpeak: 峰值信号强度; Slopemax: 心肌信号强度最大上升斜率。

二、HCM 患者整体灌注参数与心肌应变参数相关性: Slopemax 与 GLS 呈负相关(r=-0.385, P<0.001); SIpeak 与 GLS 呈负相关(r=-0.579, P<0.001); SIpeak 与 GCS 呈负相关(r=-0.261, P<0.001) (表 2)。

Table 2. Correlation between global perfusion parameters and strain in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM) 表 2. HCM 患者整体灌注参数与应变的相关性

P值 R值	tpeak	Slopemax	SIpeak
GLS	0.075 (0.245)	-0.385 (0.001)	-0.579 (0.001)
GCS	0.050 (0.325)	-0.030 (0.391)	-0.261 (0.001)
GRS	0.076 (0.245)	0.045 (0.341)	0.081 (0.229)

注: GLS: 整体纵向应变; GCS: 整体周向应变; GRS: 整体径向应变。

4. 讨论

肥厚型心肌病是最常见的单基因遗传性疾病,主要由肌节蛋白的独特遗传变异引起,最常受影响的 关键肌节基因是心肌肌球蛋白结合蛋白 C (MYBPC3)和 β-肌球蛋白重链(MYH7)。异常蛋白触发心肌组织 重塑,导致小血管疾病(即血管重塑)、心脏肥大、肌细胞紊乱、心肌纤维化并最终损害心脏功能[6]。冠脉 微血管功能障碍(MVD)是 HCM 的一个常见特征,导致 HCM 中缺血介导的心肌细胞死亡,最终导致替代 性纤维化和左心室(LV)重塑[7]。CMR 作为一种无创技术,通过多种图像后处理对心肌各节段灌注情况进 行定性及半定量测定,评估心肌缺血情况,经图像后处理可从时间 - 信号强度曲线中获得 Toeak、Slopemax、 SI_{beak} 等参数, tpeak 代表时间,是指造影剂到达局部峰值浓度所需要的时间, Slopemax 表示最大的上升 斜率,能够反映造影剂的局部浓度增加引起的 T1 变化的速度, Slpeak 代表信号强度,能表示造影剂的局 部峰值浓度。tpeak、Slopemax 及 Slpeak 均能反映心肌灌注储备,而心肌灌注储备又与冠脉微血管功能密 切相关。因此通过 MR 心肌灌注成像可定量评估 HCM 冠状动脉微循环障碍[8] [9]。本研究对 86 例 HCM 患者分析显示,肥厚节段较非肥厚节段 tpeak 升高(P < 0.01), Slopemax 降低(P < 0.01),说明肥厚节段组 较非肥厚节段组发生了心肌微循环障碍;而在两组之间 SIpeak 差异无统计学意义;考虑是由于 HCM 患 者 CMD 的病因复杂; 涉及毛细血管密度减小、LV 流出道梗阻、血管重塑(VR)、舒张机能障碍、纤维化、 心室肥厚所致的血管外压迫、肌细胞失调等原因[10]。心肌应变是指心肌在张力作用下的形变能力,量化 后的心肌应变值可以反映心肌早期的舒缩功能状态,它主要包括3个方向:径向应变、周向应变、纵向 应变。CMR-FT 是分析心肌应变的一种新技术,本研究选取三个应变指数:整体径向应变、整体周向应 变、整体纵向应变。测量其与灌注指数的相关性,结果显示: Slopemax 与 GLS 呈负相关(r = -0.385, P < 0.001); SIpeak 与 GLS 呈负相关(r = -0.579, P < 0.001); SIpeak 与 GCS 呈负相关(r = -0.261, P < 0.001)。 这一结果表明微循环障碍区域与心肌应变有一定的相关性,也符合目前国内外研究结论。目前国内外学

者多项研究得出: GLS 与左心室质量和最大室壁厚度增加、左心室和右心室射血分数降低以及左室心室 壁的存在和程度增加有关;目前有着作为 HCM 患者疾病进展、心力衰竭和 SCD 的独立预测因子的价值 [11]-[14]。本研究进一步证实在没有心外膜冠状动脉异常的情况下肥厚型心肌病患者易发生冠状动脉微 血管功能障碍(CMD),进而导致心肌缺血,慢性和反复发作的缺血可导致心肌纤维化,心肌纤维化导致 心肌应变能力发生变化,最终导致左心室重塑和心力衰竭,增加患者的不良预后。本研究的局限性在于 并没有入组医院患者 MRI 检查结果正常的患者作为健康对照组,笔者认为,医院患者虽然 MRI 检查结 果正常,并不能排除有早期隐匿性病变,考虑研究严谨性,进而进行实验对象自身对照,此外,本组样 本数量相对较少,仍需扩大样本进一步研究。

参考文献

- Gill, R., Siddiqui, A., Yee, B., DiCaro, M.V., Houshmand, N. and Tak, T. (2024) Advancements in the Diagnosis and Treatment of Hypertrophic Cardiomyopathy: A Comprehensive Review. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 11, Article 290. <u>https://doi.org/10.3390/jcdd11090290</u>
- [2] Das, A., Kelly, C., Teh, I., Nguyen, C., Brown, L.A.E., Chowdhary, A., *et al.* (2021) Phenotyping Hypertrophic Cardiomyopathy Using Cardiac Diffusion Magnetic Resonance Imaging: The Relationship between Microvascular Dysfunction and Microstructural Changes. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, 23, 352-362. <u>https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab210</u>
- [3] Aguiar Rosa, S., Rocha Lopes, L., Fiarresga, A., Ferreira, R.C. and Mota Carmo, M. (2020) Coronary Microvascular Dysfunction in Hypertrophic Cardiomyopathy: Pathophysiology, Assessment, and Clinical Impact. *Microcirculation*, 28, e12656. <u>https://doi.org/10.1111/micc.12656</u>
- [4] She, J., Zhao, S., Chen, Y., Zeng, M. and Jin, H. (2023) Detecting Regional Fibrosis in Hypertrophic Cardiomyopathy: The Utility of Myocardial Strain Based on Cardiac Magnetic Resonance. *Academic Radiology*, **30**, 230-238. <u>https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.03.022</u>
- [5] Zhu, X., Shi, Y., Lian, J., Shen, H., Li, L., Wu, H., et al. (2024) Left Atrial and Left Ventricular Strain in Feature-Tracking Cardiac Magnetic Resonance for Predicting Patients at High Risk of Sudden Cardiac Death in Hypertrophic Cardiomyopathy. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 14, 3544-3556. <u>https://doi.org/10.21037/qims-23-1615</u>
- [6] Ku, M., Kober, F., Lai, Y., Pohlmann, A., Qadri, F., Bader, M., et al. (2021) Cardiovascular Magnetic Resonance Detects Microvascular Dysfunction in a Mouse Model of Hypertrophic Cardiomyopathy. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 23, 63. <u>https://doi.org/10.1186/s12968-021-00754-z</u>
- [7] Zhu, L., Zhao, X.X. and Sun, L. (2018) Evaluation of Myocardial Ischemia in Hypertrophic Cardiomyopathy Using MR Myocardial First Pass Perfusion Imaging. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, **34**, 214-218.
- [8] 朱黎, 赵新湘, 孙林. MR 心肌首过灌注成像评估肥厚型心肌病心肌缺血[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(2): 214-218.
- [9] Hozumi, T., Ito, T., Suwa, M., Sakai, Y. and Kitaura, Y. (2006) Effects of Dual-Chamber Pacing on Regional Myocardial Deformation in Patients with Hypertrophic Obstructive Cardiomyopathy. *Circulation Journal*, **70**, 63-68. https://doi.org/10.1253/circj.70.63
- [10] Fong, L.C.W., Lee, N.H.C., Poon, J.W.L., Chin, C.W.L., He, B., Luo, L., et al. (2022) Prognostic Value of Cardiac Magnetic Resonance Derived Global Longitudinal Strain Analysis in Patients with Ischaemic and Non-Ischaemic Dilated Cardiomyopathy: A Systematic Review and Meta-analysis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 38, 2707-2721. <u>https://doi.org/10.1007/s10554-022-02679-9</u>
- [11] Urtado, S., Hergault, H., Binsse, S., Aidan, V., Ouadahi, M., Szymanski, C., et al. (2022) Usefulness of Longitudinal Strain Adjusted to Regional Thickness in Hypertrophic Cardiomyopathy. Journal of Clinical Medicine, 11, Article 2089. https://doi.org/10.3390/jcm11082089
- [12] Sucato, V., Novo, G., Madaudo, C., Di Fazio, L., Vadalà, G., Caronna, N., et al. (2023) Longitudinal Strain Analysis and Correlation with TIMI Frame Count in Patients with Ischemia with No Obstructive Coronary Artery (INOCA) and Microvascular Angina (MVA). Journal of Clinical Medicine, 12, Article 819. <u>https://doi.org/10.3390/jcm12030819</u>
- [13] Zhou, S.L. and Gong, L.G. (2021) Application Progress of Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking Technology in Hypertrophic Cardiomyopathy. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, **37**, 458-461.
- [14] 周淑丽, 龚良庚. 心脏磁共振特征追踪技术在肥厚型心肌病中的应用进展[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(3): 458-461.