

磁共振成像在心脏疾病中的应用进展

肖秀梅¹ 徐 辉² (通讯作者)

1.青海大学临床医学院 青海 西宁 810000

2.青海省人民医院核磁室 青海 西宁 810000

【摘要】：随着人口老龄化、生活方式的改变以及慢性病的增加，心脏疾病的发病率和死亡率持续上升，其已经成为全球健康的重大威胁，其早期诊断对改善预后至关重要。心脏磁共振成像（Cardiac magnetic resonance imaging, CMRI）因其高软组织分辨率、无辐射、多参数成像等优势，能够提供心脏结构、功能、血流动力学等详细信息，对心肌纤维化、水肿、灌注和微结构进行深入评估，在心脏疾病的诊断中发挥着核心作用。本文综述了 CMRI 的技术进展以及在心脏疾病诊断、评估和治疗监测中的应用进展。

【关键词】：磁共振成像；心脏疾病；影像学；综述

DOI:10.12417/2982-3676.25.03.021

引言

磁共振成像（MRI）作为一种无创、高分辨率的成像技术，在心脏疾病的诊断和评估中发挥了越来越重要的作用。近年来，随着技术的不断进步，心脏磁共振成像（CMR）在临床应用中取得了显著进展。CMR 不仅能够提供心脏结构的详细解剖信息，还能通过多种成像序列和对比剂的应用，评估心肌功能、心肌灌注、心肌组织特性以及心脏周围的血管和组织情况。

1 磁共振成像新技术的发展

1.1 四维血流磁共振成像（4D flow magnetic imaging）

相位对比（PC）技术的进一步发展使得能够获取时间分辨率（CINE）、三维（3D）PC-MRI，并进行三方向速度编码，通常被称为四维血流磁共振成像。它是一种能够同时获取时间、空间和速度信息的成像技术，可以全面评估血流动态和血管结构。近期的多项研究^[1-2]表明 4D-Flow 技术能够可视化心腔内血流模式，对于建立心室功能预测指标很有价值。

1.2 首过灌注（First pass myocardial perfusion）

首过灌注是指在人体静脉内快速注射对比剂，对比剂经过右心房-右心室-肺动脉-左心室-冠状动脉-心肌的过程，正常心肌表现为“快进快出”，刚开始表现为高信号，一段时间后心肌呈低信号，若一开始心肌灌注即呈低信号，提示心肌缺血。

Chan AT 等人^[3]在其研究中探讨了首过灌注心脏磁共振成像（CMR）在癌症相关心脏肿块预后风险分层中的额外价值。

1.3 心肌延迟强化（myocardial delayed enhancement）

也称晚期钆增强，采用 IR（Inversion REcovery）反转恢复序列，可以增强不同组织间的 T1 对比度，通过检测心肌细胞内外的钆对比剂分布，识别心肌纤维化和瘢痕组织，有助于评估心脏疾病患者的预后^[4]。LGE 还能反映心肌坏死和纤维化，对心肌炎患者的危险分层至关重要^[5-6]。然而，大多数 LGE 研究集中于瘢痕的位置和形态，对左心室心肌的整体评估，尤其是非增强区域，存在局限^[7]。

1.4 心脏组织特征性成像（Tissue Characterization）

组织特征成像利用不同的脉冲序列和技术，如磁共振指纹成像和定量参数映射，评估心肌组织的微观结构和病理变化。

磁共振指纹成像是一种先进的成像技术，它通过特殊的脉冲序列对组织特性产生敏感反应，生成包含 T1、T2、M0、ADC 和 T2* 等参数的高分辨率特性图，实现快速准确的组织成分定量成像。定量参数映射技术，以其对心肌组织微观结构的深入洞察，如 T1、T2 映射，已成为提升诊断精确度的关键^[8]。

2 磁共振成像在心脏疾病中的临床应用

2.1 缺血性心肌病

是指由于冠状动脉供血不足导致心肌缺血或缺氧的一类疾病。其主要病因是冠状动脉粥样硬化，导致血管狭窄或阻塞。

（1）冠状动脉粥样硬化性心脏病：冠心病全称为冠状动脉粥样硬化性心脏病，它是由动脉血管的粥样硬化病变引起的，这种病变导致血管腔狭窄或阻塞，进而引发心肌缺血、缺氧甚至坏死等一系列症状^[9-10]。Bularga A 等人^[11]通过 CMR 对 2 型心肌梗死患者的全面评估进行患者疾病的重新分类，对该类患者的精确治疗具有重大意义。Andrew E Arai 等人^[12]在比较应力灌注心脏磁共振成像及单光子发射计算机断层扫描（SPECT）对于诊断冠心病的研究中，再一次证明了 CMR 对于冠心病等心血管疾病的优越性。

（2）急性心肌梗死：急性心肌梗死是指心脏冠状动脉血供急剧减少或中断引起的心肌急性缺血性坏死，是冠心病最严重的一种类型，发病急骤。当前，科研工作者^[13-15]们正积极投身于一项开创性的磁共振成像技术研究，旨在为尚未经历心肌梗死的人群提供精准的风险评估或者对已发生急性心肌梗死后患者的心脏功能变化的评估。Qi H 等人^[14]引入了一种新颖的深度生成学习方法，称为电影生成增强（CGE），通过多中心收集急性心肌梗死患者数据进行内部及外部测试，发现此方法不需要造影剂，可以实现扫描的图像优于晚期钆增强（LGE）

的图像质量,并可对患者进行准确的梗死区域的勾画,此外,还减少了扫描时间提高了效率。

2.2 非缺血性心脏病

是指心肌病变或心脏功能障碍并非由冠状动脉供血不足引起的疾病。其病因多样,包括遗传、感染、代谢等因素。

(1) 先天性心脏病: 20 世纪 80 年代起至今,复杂的先天性心脏病(CHD)存活率从 50%提高到 85%,不太复杂的先天性心脏病从 70%提高到 92%,而简单的先天性心脏病已经从 95%高到 99%^[16]。由于 CMR 没有电离辐射的优势,在先天性心脏病儿童的应用中更具有优先性。Salehi D 等人^[17]从七名儿童受试者中成功重建了 4D 流动电影体积,其中 97%的测量血流曲线在整个心脏周期中表现出相位行为,这体现了其能够提供一致的时空分辨矢量速度场,并能为主要胎儿血管提供定量的血流数据。不过在此研究中依旧存在空间分辨率和较长时间分辨率的问题,有待逐步突破。

(2) 二尖瓣疾病: 二尖瓣疾病是一种瓣膜性心脏病^[18],通常在患者无症状显现下进一步发展,最终导致左心室负荷过重、功能障碍、频繁的心力衰竭失代偿发作和过早死亡^[19]。目前,超声心动图仍是评估瓣膜性心脏病的首选影像检测手段,但在评估二尖瓣反流的严重程度及干预时机方面,CMR 作为更出色的影像手段用于提供补充信息^[20]。其中常用电影成像的方法评估瓣膜解剖结构和运动的视觉评估,测量的左心室/左心房(LV/LA)体积、MR 量化、病因和心肌组织左心室用于评估二尖瓣反流,关键作用包括预测 LV 重塑、MV 干预时机、识别心力衰竭亚型、评估心律失常性和死亡风险。S Figliozzi 等人^[21]对过去三年通过 CMR 收集到的 103 例二尖瓣脱垂

(MVP)患者和 57 名健康志愿者对比,评估了 MVP、心腔、主动脉尺寸和 Haller 指数,这些结果揭示了二尖瓣脱垂(MVP)患者主动脉和骨骼系统存在异常,为后续 CMR 在二尖瓣疾病更深入的应用打下基础。

(3) 心力衰竭: 心力衰竭是各种心脏结构或功能性疾病导致心室充盈和(或)射血功能受损,以呼吸困难、活动耐量减低和体液潴留等为主要表现的一组综合征^[22]。对于出现心力衰竭综合征的患者,主要的一步是评估左心室收缩功能状态,并确定病因,特别是是否存在缺血性心脏病。其实除左心室功能以外,右心室和左心房的 CMR 体积和功能对于进一步解释心力衰竭也有所帮助。

3 总结与展望

磁共振成像(MRI)已成为心脏疾病诊断和预后评估的关键无创工具,提供从形态到功能的全方位信息。它能够精确展示心脏解剖结构,辅助诊断心肌病、先天性心脏病等多种病症,并在心肌功能评估、灌注及活性检测方面表现出色,有助于发现心肌缺血等异常。

MRI 技术有望通过提升成像速度和分辨率,减少扫描时间,提高患者舒适度,并在心血管疾病的早期筛查和精准治疗中发挥更大作用。结合人工智能等新技术,MRI 将更智能地分析图像、预测疾病进展。此外,心脏 MRI 的应用范围将进一步拓展,与 PET、CT 等多模态成像技术结合,提供更全面的诊断信息,并在新药研发、疗效评估中发挥作用。随着技术进步,心脏 MRI 将从宏观成像向微观、分子成像发展,为心血管疾病的早期诊断和治疗提供新途径。

参考文献:

- [1] Nallamotheu T,Pradella M,Markl M,Greenland P,Passman R,Elbaz MS.Robust and fast stochastic 4D flow vector-field signature technique for quantifying composite flow dynamics from 4D flow MRI:Application to left atrial flow in atrial fibrillation.Med Image Anal.2024 Feb;92:103065.
- [2] X Morales Ferez,A Elsayed,D Zhao,F Loncaric,G Quill,K Gilbert,R Dunphy,M Ramos,A Doltra,M Sitges,B Lowe,A Young,M Nash,O Camara,B Bijmens,Left atrial haemodynamic evaluation using 4D flow cardiac magnetic resonance imaging:application to hypertension and hypertrophic cardiomyopathy,European Heart Journal,Volume 44,Issue Supplement_2,November 2023,ehad655.240.
- [3] Chan AT,Maya TR,Park C,Tak K,Liberman N,Jain RH,Park MJ,Park RY,Grizzard J,Kim G,Tap WD,Jessurun J,Liu J,Kim J,Steingart RM,Weinsaft JW.Incremental Utility of First-Pass Perfusion CMR for Prognostic Risk Stratification of Cancer-Associated Cardiac Masses.JACC Cardiovasc Imaging.2024 Feb;17(2):128-145.
- [4] 郑英杰,耿建芳,付力博,等.磁共振弥散加权成像及延迟强化技术评估缺血性心肌病预后的应用价值[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2024,22(07):77-79+89.
- [5] LI H J,ZHU H,YANG Z X,et al.The study of CMR for short-term follow up in fulminant myocarditis[J].Radiol Pract,2020,35(2):175-179.
- [6] Georgiopoulos G,Figliozzi S,Sanguineti F,Aquaro GD,di Bella G,Stamatelopoulous K,Chiribiri A,Garot J,Masci PG,Ismail TF.Prognostic Impact of Late Gadolinium Enhancement by Cardiovascular Magnetic Resonance in Myocarditis:A Systematic Review and Meta-Analysis. Circ Cardiovasc Imaging.2021 Jan;14(1):e011492.

- [7] S Mohamed,M Kunz,S Casey,W Katsiyannis,R Abdelhadi,K Storey,A Berg,C Schmidt,J Sengupta,P1077 Late gadolinium enhancement with cardiac magnetic resonance imaging demonstrates left ventricular involvement is under-recognized in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy,EP Europace,Volume 22,Issue Supplement_1,June 2020,euaa162.138,
- [8] Infante,T,Cavaliere,C.,Punzo,B.,Grimaldi,V.,Salvatore,M.,&Napoli,C.(2021).Radiogenomics and Artificial Intelligence Approaches Applied to Cardiac Computed Tomography Angiography and Cardiac Magnetic Resonance for Precision Medicine in Coronary Heart Disease:A Systematic Review.Circulation:Cardiovascular Imaging,14,1133-1146.
- [9] Sugane H,Asaumi Y,Ogata S,Kimura M,Kanaya T,Hoshi T,Sato A,Miura H,Tomishima Y,Morita Y,Nakao K,Otsuka F,Kataoka Y,Kawasaki T,Nishimura K,Narula J,Yasuda S,Noguchi T.Evaluation of fractional flow reserve and atherosclerotic plaque characteristics on coronary non-contrast T1-weighted magnetic resonance imaging.Atherosclerosis.2024 May;392:117530.
- [10] He L,Zhao R,Wang Y,Liu H,Wang X.Research Progress on Catalpol as Treatment for Atherosclerosis.Front Pharmacol.2021 Jul 13;12:716125.
- [11] Bularga A,Hung J,Daghem M,et al.Coronary Artery and Cardiac Disease in Patients With Type 2 Myocardial Infarction:A Prospective Cohort Study.Circulation.2022 Apr;145(16):1188-1200.
- [12] Arai AE,Schulz-Menger J,Shah DJ,Han Y,Bandettini WP,Abraham A,Woodard PK,Selvanayagam JB,Hamilton-Craig C,Tan RS,Carr J,Teo L,Kramer CM,Wintersperger BJ,Harisinghani MG,Flamm SD,Friedrich MG,Klem I,Raman SV,Haverstock D,Liu Z,Brueggewerth G,Santiuste M,Berman DS,Pennell DJ.Stress Perfusion Cardiac Magnetic Resonance vs SPECT Imaging for Detection of Coronary Artery Disease.J Am Coll Cardiol.2023 Nov 7;82(19):1828-1838.
- [13] A Schaefer,T Koenig,D Berliner,M Akin,T Pfeffer,J Bauersachs,Supersaturated oxygen therapy in patients with acute anterior myocardial infarction reduces infarct size,European Heart Journal,Volume 45,Issue Supplement_1,October 2024,ehae666.1646.
- [14] Qi H,Qian P,Tang L,Chen B,An D,Wu LM.Predicting Late Gadolinium Enhancement of Acute Myocardial Infarction in Contrast-Free Cardiac Cine MRI Using Deep Generative Learning.Circ Cardiovasc Imaging.2024 Sep;17(9):e016786.
- [15] 卢文杰,李品纯,黄小婷.MR 扩散张量成像对急性心肌梗死后室性心律失常的评估价值[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2024,22(04):59-62.
- [16] Dellborg,M.(2024).Adult Congenital Heart Disease.Circulation,149(14),1397-1399.
- [17] Salehi D,Fricke K,Bhat M,Arheden H,Liuba P,Hedström E.Utility of fetal cardiovascular magnetic resonance for prenatal diagnosis of complex congenital heart defects.JAMA Netw Open.2021;4(3):e213538.
- [18] A.L Constant Dit Beaufils,O Huttin,N Piriou,C Cueff,T Senage,M Marrec,K Warin-Fresse,C Banasiak,J.M Sellal,D Mandry,C Venner,L Filippetti,J.M Serfaty,C Selton-Suty,T Le Tourneau,Determinants and prognostic significance of focal myocardial fibrosis by cardiac magnetic resonance imaging in patients with mitral valve prolapse,European Heart Journal,Volume 41,Issue Supplement_2, November 2020,ehaa946.2006.
- [19] Pankaj Garg,Anna Giulia Pavon,Martin Penicka,Seth Uretsky,Cardiovascular magnetic resonance imaging in mitral valve disease, European Heart Journal,2024,ehae801.
- [20] Garg,P.,Swift,A.J.,Zhong,L.et al.Assessment of mitral valve regurgitation by cardiovascular magnetic resonance imaging.Nat Rev Cardiol 17,298–312(2020).
- [21] S Figliozzi,M Bernardi,A S Perera Molligoda Arachige,K Stankowski,V Battaglia,C Guarino,G Georgiopoulos,L Monti,R Bragato,G Stefanini,G Biondi-Zoccai,S Sciarretta,P G Masci,M Francone,G Condorelli,Systemic manifestations of connective tissue abnormalities in patients with Mitral Valve Prolapse assessed by Cardiac Magnetic Resonance,European Heart Journal,Volume 45,Issue Supplement_1, October 2024,ehae666.260
- [22] Wen-dong CHEN,Jing HUANG,Yun-bo ZHAO,Yan-bo CHEN,Ai-yuan ZHANG.Research progress in left atrial function and ejection fraction preserved heart failure[J].Chinese Heart Journal,2022,34(2):228-231,238.