

心脏 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 技术及其在心肌梗死中的应用

王淑荔, 赵世华, 陆敏杰

【摘要】 心脏磁共振成像是一种无创评估心脏解剖结构和功能参数的心脏检查手段之一, 目前已广泛应用于心血管疾病各个领域, 成为全面、有效评估缺血性心肌病重要方法。常规评估心肌活性的磁共振技术有延迟强化、心脏电影及灌注等, 随着心血管磁共振迅速发展, 出现了 T_1 -mapping、 T_2 -mapping 等新技术。与传统技术相比, 该技术可直接测量心肌组织 T_1 、 T_2 值, 计算心肌细胞外间质容积分数(EVC), 定量评估心肌纤维化、出血及心肌水肿的程度和范围, 引起了人们的关注。本文旨在介绍 T_1 和 T_2 -mapping 成像技术及其在急性及陈旧性心肌梗死中应用进展。

【关键词】 心脏; 磁共振成像; T_1 -mapping; T_2 -mapping; 心肌梗死

【中图分类号】 R322.11; R445.2; R542.22 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2019)06-0694-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



我国缺血性心肌病发病率逐年上升, 严重危害人类健康。心脏磁共振成像是一种无创评估心脏解剖结构和功能参数的心脏检查手段之一, 目前已广泛应用于心血管疾病各个领域, 成为全面、有效评估缺血性心肌病重要方法。常规评估心肌活性的磁共振技术有延迟强化、心脏电影及灌注等, 随着心血管磁共振迅速发展, 出现了 T_1 -mapping、 T_2 -mapping 等新技术。与传统技术相比, 该技术可直接测量心肌组织 T_1 、 T_2 值, 计算心肌细胞外间质容积分数(EVC), 定量评估心肌纤维化、出血及心肌水肿的程度和范围, 引起了人们的关注。本文旨在介绍 T_1 和 T_2 -mapping 成像技术及其在急性及陈旧性心肌梗死中应用进展。

T_1 -mapping 技术

目前有多种 T_1 -mapping 成像方法用来定量 T_1 值, 各个成像方法都有优点和局限性。 T_1 -mapping 成像序列包括基于反转恢复(inversion recovery, IR)和饱和恢复(saturation recovery, SR)的序列, 两者单独或联合使用。IR 序列较早应用于 T_1 -mapping 的序列, 也是目前应用较广泛的 T_1 -mapping 技术, 包括 Look-Locker(LL)、改良 LL(modified look-locker inversion recovery, MOLLI)及缩短 MOLLI(shortened MOLLI, ShMOLLI) T_1 -mapping 技术。SR 扫描序列

有饱和恢复单次采集(saturation recovery single shot acquisition, SASHA)等。近年来 T_1 -mapping 技术不断发展改进, 以求在得到更好的准确度和精确度同时, 缩短扫描时间。以下介绍 5 种较为常用的 T_1 -mapping 成像方法。

1. Look-Locker

技术 1970 年 Look 和 Locker 提出了 LL 技术^[2], 该技术是在每个反转脉冲后, 利用多个 TI 来采集多个纵向磁化矢量信号, 然后施加射频脉冲产生梯度回波, 使用梯度回波读出 MR 信号。与标准的反转恢复准备的单次自旋回波技术相比, LL 序列缩短了 T_1 成像时间, 成像速度更快。但是 LL 技术也存在局限性, 由于心脏的搏动, 每幅图像处于心动周期的不同阶段, 无法生成 T_1 图^[3], 梯度回波读出信息后也使得反转恢复曲线发生变化^[1], 得到的不是“真实” T_1 , 而是一个持续时间较短的“明显的” T_1 , 通常称为 T_1^* , 会低估组织 T_1 值^[4]。

2. 改良 Look-Locker 反转恢复技术

Messroghli 等^[5]提出了改良的 LL 技术即 MOLLI 技术, 是目前应用最广泛的 T_1 -mapping 技术之一。该技术克服了 LL 技术的一些缺点, 在一次屏气(17 个心动周期)完成扫描, 分别在 3 次反转恢复脉冲后采集, 每次采集间隔 3 个心动周期, 第一次、第二次采集 3 幅图像, 第三次采集 5 幅。常规用符号 3(3)3(3)5 表示 MOLLI 扫描模式, 括号外数字表示每次采集图像数量(共 17 幅), 括号中数字表示间隔 3 个心动周期。MOLLI 技术采用平衡稳态自由进动(bSSFP)序列读出信号, 避免了 LL 技术读出信号时磁化矢量的缺点, 具有更高的信噪比^[6]。有报道显示 MOLLI 技

作者单位: 100012 北京, 航空总医院影像科(王淑荔); 100037 北京, 中国医学科学院阜外医院/北京协和医学院/国家心血管病中心磁共振影像科(赵世华、陆敏杰)

作者简介: 王淑荔(1991-), 女, 山西, 研究生, 住院医师, 主要从事心血管影像方向。

通讯作者: 陆敏杰, E-mail: coolkan@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(81571647, 81771811); 国家自然科学基金(7152124); 首都临床特色项目(Z151100004015141)

术还具有很好的可重复性和分辨率^[7],但其缺点是扫描时间较长,每幅图像需要 17 个心动周期,有些患者难以完成屏气。

3. 缩短的 MOLLI 技术

ShMOLLI 序列在 MOLLI 的基础上继续改进,进一步缩短扫描时间。与 MOLLI 相比,ShMOLLI 可在 9 个心动周期完成单层图像成像,屏气时间更短,对心率依赖减小,而 MOLLI 则需要 17 个心动周期。ShMOLLI 使用序列 5(1)1(1)1 扫描模式,每两个反转恢复之间只间隔 1 个心动周期,在最后 2 次采集数据时,纵向磁化矢量可能没有完全恢复到平衡状态,仅当 T_1 足够短,在第二和/或第一 Look-Locker 循环之后纵向弛豫时间可完全恢复到平衡状态,这样才能使用来自最后 2 个 Look-Locker 循环的数据^[8]。另外用于 T_1 曲线拟合的图像数量不足,可能影响 ShMOLLI 的准确性。Roujol 等^[4]认为 ShMOLLI 和 MOLLI 同样会低估组织的 T_1 值,该方法是缩短扫描时间和屏气要求的折衷。

4. 饱和和恢复单次采集技术

研究对 MOLLI 进一步改良,用饱和和恢复方法代替反转恢复方法。基于饱和和恢复的 T_1 -mapping 方法在每个心动周期进行采集,不需等待纵向磁化矢量完全恢复到平衡状态,成像速度快,且不受心率影响^[9],是对 IR T_1 -mapping 技术很好的补充。

SASHA 技术是目前常用的 SR T_1 -mapping 技术,在每个心动周期舒张末采集,使用 bSSFP 读出信号,第 1 幅图像采集不施加饱和脉冲,余下图像在饱和脉冲后不同的饱和恢复时间点采集,每单层图像成像在 10 个心动周期完成。Chow 等^[10]研究发现 SASHA 的绝对 T_1 、 T_2 值、翻转角和心率是独立的,非共振频率高达 696 Hz,不需考虑读出信号磁化衰减,比 MOLLI、shMOLLI 准确性更高^[4],但信噪比和精度降低^[11]。

5. 细胞外间质容积分数(ECV)

心肌组织包括心肌细胞和心肌细胞外间质,ECV 值是心肌细胞外间质占整个心肌组织的容积比值。ECV 是心肌重塑的标志物,提供生理上直观测量单位,可通过测量钆对比剂增强前后 T_1 值得出,计算公式为 $ECV = (1 - \text{血细胞比容}) \times (1 / \text{增强后心肌 } T_1 - 1 / \text{平扫心肌 } T_1) / (1 / \text{增强后心肌血池 } T_1 - 1 / \text{平扫血池 } T_1)$ 。正常心肌细胞 ECV 范围为 $(25.3 \pm 3.5)\%$ ^[12]。除心肌淀粉沉积,ECV 增加最常是由于胶原沉积过多,可评估心肌纤维化的有效方法。

T_2 -mapping 扫描技术

T_2 -mapping 常用于评价软骨、腰间盘退变等研究

中,近来随着心脏成像技术的多元化发展, T_2 -mapping 技术以其准确、快速高效的成像特点,被应用于各种心肌疾病中,成为评估心肌损伤的有效方法。 T_2 -mapping 技术有基于单回波的自旋回波序列、基于多回波的快速自旋回波序列(multi-echo fast spin-echo, MESE)和基于 T_2 准备的平衡稳态自由进动序列(T_2 prepared steady-state free precession sequence, T_2 p-SSFP)。心脏磁共振 T_2 -mapping 成像通常使用 T_2 p-SSFP 成像技术,每次采集时施加不同 T_2 准备时间,在 7 个心动周期完成单层图像成像,每次采集间隔 2 个心动周期,随后 SSFP 序列读出信号,产生 3 幅 T_2 图像,每幅影像的信号代表一个不同的回波时间,通过计算拟合出 T_2 衰减曲线^[13,14],计算公式为 $S(t) = A \exp(-t/T_2)$,Si 表示信号强度,A 表示刻度因子,t 表示 T_2 准备时间。

T_1 和 T_2 -mapping 在心肌梗死中的应用

1. 急性心肌梗死

心肌梗死主要是由冠脉病变引起的。急性心肌梗死后,缺血心肌细胞从有氧代谢变为无氧酵解,毛细血管通透性增加使水分渗透并滞留于组织间,心肌内自由水增加。 T_1 和 T_2 -mapping 技术可定量组织 T_1 弛豫时间和 T_2 弛豫时间,并随着心肌细胞外水(水肿,局灶性或弥漫性纤维化)、脂肪、铁及淀粉样蛋白含量而变化,急性心梗时梗死区 T_1 、ECV 及 T_2 值均会升高。磁共振成像可以根据梗死的位置、面积、透壁性、出血、危险区(area at risk, AAR)诊断 AMI 并进行危险程度分级^[1]。延迟强化(LGE)是磁共振诊断心肌梗死的“金标准”。研究显示平扫 T_1 -mapping 评估急性陈旧性心梗面积与 LGE 均有较高的一致性(急性心梗:偏倚, $-3.38 \pm 19.38\%$; $R^2 = 0.96$;陈旧性心梗:偏倚, $-10.55 \pm 10.90\%$; $R^2 = 0.90$)^[15]。Cui 等^[16]动物实验也证实平扫 T_1 -mapping 和 LGE 在心肌梗死区域一致。也有研究发现增强后 T_1 -mapping 在评估检测急性心梗异常节段的敏感度和特异度分别为 96% 和 91%,具有很好的诊断效能^[17]。Tahir 等^[18]研究发现心肌缺血初始 T_1 与 T_2 可较好的评估心肌水肿,区分急性陈旧性心肌梗死,准确度分别为 97.5% 和 97.9%,优于常规 T_2 WI 序列。Bauner 等^[19]研究也发现表明初始 T_1 和 T_2 在鉴别急慢性心梗方便优于其他 MR 成像方法。有关 ECV 在急性脑梗死的研究表明 ECV 在预测透壁心肌梗死后室壁运动改善方面,比 LGE 准确性高(曲线下面积分别为 0.77, 0.66, $P = 0.02$)。

冠脉狭窄或堵塞引起心肌缺血,缺血区域即 AAR 区,包括可逆性心肌损伤区和不可逆的心肌损伤区,是

评估急性心肌梗塞(AMI)血运重建后抢救区域的重要参数,对于指导临床治疗,危险因素分层和预后判断至关重要^[20,21]。近年发展 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 的技术,为 AMI 的诊断提供了有效的工具。Langhans 等^[22]研究发现平扫 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 在评估急性心肌梗死 AAR 区域时与 ^{99m}Tc -sestamibi SPECT 具有较好的一致性。Ugander 等^[23]研究也发现平扫 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 与微球技术对比,在评估 AAR 时具有较好的一致性。Zhang 等^[24]研究通过与病理对照,证明 T_2 -mapping 是定量评估 AAR 可挽救心肌和心梗后心肌梗死的可靠方法。

2. 陈旧性心肌梗死

陈旧性心肌梗死时水肿吸收、坏死的心肌细胞形成纤维瘢痕。陈旧性心肌梗死中,初始 T_1 值较急性心肌梗死时减低,而 ECV 值较正常心肌明显升高。Kali 等^[25]研究表明平扫 T_1 -mapping 能确定梗死的位置、大小和透壁性,敏感度和特异度分别为 95% 和 97%。由于脂肪 T_1 值比较低,平扫 T_1 -mapping 还可以检测陈旧性心肌梗死脂肪瘤的化生区域^[26]。陈旧性心肌梗死 ECV 值明显高于正常心肌组织,但略低于急性心肌梗死^[27],增强后 T_1 值和 ECV 在 42% ECV 阈值下可准确评估心纤维瘢痕^[25], T_1 -mapping 与 LGE 在评估陈旧性心肌梗死时一致性更高^[17]。

目前 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 还没有广泛应用于临床。后处理多样化,还没有统一的规范标准,拟合出 T_1 曲线也存在差异。各成像方法需要进一步改进,提高图像分辨率、信噪比,缩短成像时间。虽然存在很多不足,但是其扫描便捷、快速、安全,特别是平扫 T_1 -mapping 和 T_2 -mapping,无需使用对比剂,可用于肾功能低下的患者,具有很好的发展前景。

参考文献:

- [1] Kim PK, Hong YJ, Im DJ, et al. Myocardial T_1 and T_2 -mapping: techniques and clinical applications[J]. Korean J Radiology, 2017, 18(1):113-131.
- [2] Look DC, Locker DR. Time saving in measurement of NMR and EPR relaxation times[J]. Rev Sci Instr, 1970, 41(2):250-251.
- [3] Nacif MS, Turkbey EB, Gai N, et al. Myocardial T_1 -mapping with MRI: comparison of look-locker and MOLLI sequences[J]. J Magnetic Resonance Imaging, 2011, 34(6):1367-1373.
- [4] Roujol S, Weingartner S, Foppa M, et al. Accuracy and reproducibility of four T_1 -mapping sequences: a head-to-head comparison of MOLLI, ShMOLLI, SASHA, and SAPHIRE[J]. J Cardiovascular Magnetic Resonance, 2014, 16(1):1-3.
- [5] Messroghli DR, Radjenovic A, Kozierke S, et al. Modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) for high-resolution T_1 -mapping of the heart[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2004, 52(1):141.
- [6] Scheffler K, Hennig J. T_1 quantification with inversion recovery TrueFISP[J]. Magnetic Resonance in Medicine Official Journal of the Society of Magnetic Resonance in Medicine, 2001, 45(4):720-723.
- [7] Messroghli DR, Plein S, Higgins DM, et al. Human myocardium: single-breath-hold MR T_1 -mapping with high spatial resolution—reproducibility study[J]. Radiology, 2006, 238(3):1004-1012.
- [8] Piechnik SK, Ferreira VM, Dall Armellina, et al. Shortened Modified Look-Locker Inversion recovery (ShMOLLI) for clinical myocardial T_1 -mapping at 1.5 and 3T within a 9 heartbeat breathhold[J]. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance, 2010, 12(1):1-11.
- [9] Higgins DM, Ridgway JP, Aleksandra R, et al. T_1 measurement using a short acquisition period for quantitative cardiac applications[J]. Medical Physics, 2005, 32(6):1738-1746.
- [10] Chow K, Flewitt JA, Green JD, et al. Saturation recovery single-shot acquisition (SASHA) for myocardial T_1 -mapping[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2014, 71(6):2082.
- [11] Fernandes JL, Rochitte CE. T_1 -mapping: technique and applications[J]. Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America, 2015, 23(1):25-34.
- [12] Haaf P, Garg P, Messroghli DR, et al. Cardiac T_1 -mapping and Extracellular Volume (ECV) in clinical practice: a comprehensive review[J]. J Cardiovascular Magnetic Resonance, 2017, 18(1):89.
- [13] Giri S, Chung YC, Merchant A, et al. T_2 quantification for improved detection of myocardial edema[J]. J Cardiovascular Magnetic Resonance, 2009, 11(1):56.
- [14] Hamlin SA, Henry TS, Little BP, et al. Mapping the future of cardiac MR imaging: case-based review of T_1 and T_2 -mapping techniques[J]. Radiographics A Review Publication of the Radiological Society of North America Inc, 2014, 34(6):1594-1611.
- [15] Liu X, Hou JL, Yang ZG, et al. Native T_1 -mapping for characterization of acute and chronic myocardial infarction in swine: comparison with contrast-enhanced MRI[J]. J Magnetic Resonance Imaging: JMRI, 2018, 47(5):1406-1414.
- [16] Cui C, Wang S, Lu M, et al. Detection of recent myocardial infarction using native T_1 -mapping in a swine model: a validation study[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):7391.
- [17] Messroghli DR, Walters K, Plein S, et al. Myocardial T_1 -mapping: application to patients with acute and chronic myocardial infarction[J]. Magn Reson Med, 2007, 58(1):34-40.
- [18] Tahir E, Sinn M, Bohnen S, et al. Acute versus chronic myocardial infarction: diagnostic accuracy of quantitative native T_1 and T_2 -mapping versus assessment of edema on standard T_2 -weighted cardiovascular MR images for differentiation[J]. Radiology, 2017, 285(1):83.
- [19] Bauner KU, Biffar A, Theisen D, et al. Extracellular volume fractions in chronic myocardial infarction[J]. Investigative Radiology, 2012, 47(9):538-545.
- [20] Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, et al. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis[J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(7):1151-1158.
- [21] Hu S, Liu S, Zheng Z, et al. Isolated coronary artery bypass graft

- combined with bone marrow mononuclear cells delivered through a graft vessel for patients with previous myocardial infarction and chronic heart failure: a single-center, randomized, double-blind, placebo-controlled Cl[J]. J American College of Cardiology, 2011, 57(24):2409.
- [22] Langhans B, Nadjiri J, Jahnichen C, et al. Reproducibility of area at risk assessment in acute myocardial infarction by T₁- and T₂-mapping sequences in cardiac magnetic resonance imaging in comparison to ^{99m}Tc-sestamibi SPECT[J]. International J Cardiovascular Imaging, 2014, 30(7):1357-1363.
- [23] Ugander M, Bagi PS, Oki AJ, et al. Myocardial edema as detected by pre-contrast T₁ and T₂ CMR delineates area at risk associated with acute myocardial infarction[J]. JACC Cardiovascular imaging, 2012, 5(6):596-603.
- [24] Zhang Y, Xu Y, Wang L, et al. Quantitative assessment of salvaged myocardial zone and intramyocardial hemorrhage using non-contrast faster T₂-mapping in a rat model by 7T MRI[J]. Exp Therapeutic Medicine, 2017, 14(4):3425-3432.
- [25] Kali A, Sharif B, Li D, et al. Determination of location, size, and transmural of chronic myocardial infarction without exogenous contrast media by using cardiac magnetic resonance imaging at 3T[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2014, 7(3):471-481.
- [26] Ferreira VM, Holloway CJ, Piechnik SK, et al. Is it really fat? Ask a T₁-map[J]. Eur Heart J Cardiovascular Imaging, 2013, 14(11):1060.
- [27] Garg P, Saunders LC, Swift AJ, et al. Role of cardiac T₁-mapping and extracellular volume in the assessment of myocardial infarction[J]. Anatol J Cardiol, 2018, 19(6):404-411.

(收稿日期:2018-06-25 修回日期:2018-08-30)

中华医学会第二十六次全国放射学学术大会

中华医学会第二十六次全国放射学学术大会(CCR2019)将于2019年11月13~17日在北京市国家会议中心召开。本次会议由中华医学会和中华医学会放射学分会共同主办,旨在打造医学影像学多学科融合的国际化学术交流平台,充分展示我国放射学整体水平和专业特色,努力提升我国医学影像学的国际地位和影响力。会议将邀请众多国内外放射学界知名专家、学者做专题学术报告,如前任RSNA主席Richard Ehman教授,前任European Radiology杂志主编Maximilian Reiser教授,现任德国放射学会主席Stefan Schoenberg教授,现任法国放射学会主席Jean-Francois Meder教授等等,并将举办多场精彩的学术交流与比赛。会议旨在通过广泛交流与学习,进一步提高放射界医务工作者、科研人员、教师、研究生的临床技能与科研水平。2018年参会的国内外专家和代表在万人以上。预计2019年参会人数将继续突破万人。

征文内容:关于影像技术及最新进展、疾病诊断与鉴别诊断、介入治疗等方面的中英文论文及个案报道。

投稿内容可涵盖放射学各方面,请参看大会官方网站投稿系统。

征文要求:原创并且在投稿截止前尚未发表的论文,要求800字以内的中文摘要或2000字符以内(包括空格)的英文摘要,按照规定格式(目的、方法、结果和结论四个部分)。

登录大会官方网站 <http://www.cmacsr.org>, <http://www.chinaradiology.org>, 在线填写投稿。

论文交流形式包括:①大会发言;②发言者在指定会场内对自己目前的研究成果进行口头汇报,请自备相应中英文版本幻灯片;③电子展板,将在指定场馆内展示,作者须准备中英文版本幻灯片,在规定时间内上传至大会电子展板系统,向参会者介绍其研究成果;④传统展板,将在会场走廊内展示,作者必须在指定时间内站在自己的展板旁,回答参会者的提问。

所投论文必须具备科学性强、重点突出、文字简练,摘要中不附图表。截稿日期:2019年8月1日。此次会议授予国家级I类继续医学教育学分,项目编号为2019-09-01-308(国)

会议时间:2019年11月13~17日

会议地点:北京市国家会议中心(中国北京朝阳区天辰东路7号)。

(中华医学会 中华医学会放射学分会)