

Application of MR fingerprinting technology in medical imaging

WANG Jingbo, TAO Xiaofeng*, YUAN Ying, WU Yingwei

(Department of Radiology, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China)

[Abstract] MR fingerprinting (MRF) is a technology which can be used to quickly get quantitative images and post-processing. The program of signal acquisitions, post-processing and virtualization of MRF are innovatively designed, being able to obtain a highly repeatable and multi-parametric quantification map in one scanning. MRF has shown various advantages, such as short scanning time, high fault tolerance and easy recognition of image data with computer, therefore having broad prospect in clinical application. The research progresses of MRF were reviewed in this article.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Magnetic resonance fingerprinting; Image processing, computer-assisted
DOI:10.13929/j.1672-8475.201711055

MR 指纹技术在医学影像诊断中的应用

王晶波, 陶晓峰*, 袁 瑛, 吴颖为

(上海交通大学医学院附属第九人民医院放射科, 上海 200011)

[摘 要] MR 指纹技术(MRF)可快速获取定量图像及后处理,其数据采集、后处理及可视化程序设计新颖,可在一次扫描中提供高度可重复的多参数量化图,具有成像时间短、容错率高及成像数据易被计算机识别处理等诸多优势,在临床应用中具有广阔的前景。本文对 MRF 在医学影像诊断的应用进行综述。

[关键词] 磁共振成像;磁共振指纹技术;图像处理,计算机辅助

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2018)01-0059-04

MR 因能精细地生成组织或物质的繁多信息而被广泛应用于物理、生物及医学领域。开发基于影像数据的生物标志物、定量分析 MR 参数、摆脱主观评估的偏倚,对精准医学的发展至关重要^[1-2]。MR 指纹技术(MR fingerprinting, MRF)具有扫描时间短和可定量获取信息等独特优势,可为快速获得高质量 MR 图像提供有力手段。本文对 MRF 在医学影像诊断的应

用进行综述。

1 MRF 概述

传统 MRI 无法提供定量指标及明确反映异常信号的差异程度,从而影响敏感度^[3]。目前 MR 定量序列局限于测量波谱峰值、ADC 及空间体积等^[4]。如何稳定地获取完全定量的 MR 图像一直是热点研究课题^[5]。MRF 有望成为解决此问题的突破口^[3]。首先,在数据采集方面,与传统 MR 采用重复多种序列扫描获取 ROI 方法不同,MRF 采用“伪随机”获取方式,不同物质或组织产生独特的信号,形成特异属性的“指纹”;其次,在数据后处理方面,MRF 采用网状重建及正交匹配方式,将获得的信号“指纹”与预先设定的“预测信号演变库”相匹配并进行可视化,最终生成 ROI 所期望参数(T1、T2 值等)的完全量化图。MRF 与“压缩感知”(compressed sensing, CS)有关,具有 CS

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目(81402461)、国家自然科学基金面上项目(81471709、81771901)、上海市卫生系统重要疾病联合攻关项目(2014ZYJB0007)。

[第一作者] 王晶波(1989—),女,湖北武汉人,硕士,医师。研究方向:头颈影像诊断。E-mail: wangjing-bo@hotmail.com

[通信作者] 陶晓峰,上海交通大学医学院附属第九人民医院放射科,200011。E-mail: cjr.taofeng@vip.163.com

[收稿日期] 2017-11-28 **[修回日期]** 2017-12-14

的相关优势。研究^[3]表明,在与传统 MR 相同扫描时间内,MRF 能完整扫描全定量数据、规避常见快速扫描方法对系统环境敏感的问题。此外,传统 MR 一次扫描获得的参数信息有限,而 MRF 可在足够的扫描时间下同时定量扫描多种参数^[3],与目前基因组及蛋白研究的电脑辅助分析相似。在辨认参数的算法恰当时,MRF 能抑制数据在获取中噪声导致的不良影响;且 MRF 可直接应用于其他 MR 领域,如动态增强 MRI(dynamic contrast enhanced MRI, DCE-MRI)及动态磁敏感对比增强 MRI(dynamic susceptibility contrast, DSC-MRI)^[6]。

2 MRF 在临床应用中的优势

MRF 在临床应用中显示出巨大的潜力。与传统 MR 序列相比,MRF 具有时空不连续的特点,可忽略空间样本量过少导致的误差,并通过减少读出信号次数来缩减序列时间,在未来有望提供加速获取图像的新方法。在测试加速极限的试验^[7-8]中,MRF 仅通过一次信号读取,在 12.3 s 内即可获得误差较高的原始数据,通过对比“库”,降低误差,进而得到高质量图像。MRF 还具有较高的运动伪影容错能力,有学者^[3]采用 MRF 扫描被试者头部 15 s,并要求被试者在最后 3 s 晃动检测部位(头部),而获得的图像质量与传统序列相同。定量检查序列驱动平衡脉冲观测弛豫时间(driven equilibrium single pulse observation of T1/2, DESPOT)技术为效率较高的弛豫时间参数检测序列,而研究^[9]表明 MRF 的检测效率为 DESPOT 序列的 1.8 倍。

由于 MRF 是基于 bSSFP 序列开发而成,而 bSSFP 对 B0 及 B1 磁场不均匀较为敏感,故 MRF 对磁场不均匀同样敏感;但 MRF 可通过调节“指纹库”来适应磁场不均匀,故在真实扫描环境中,MRF 可消除诸如“空气—组织交界”这类因磁场不均导致的伪影^[10]。MRF 能在 MR 硬件水平上获得更好的图像质量;而硬件条件较差时,MRF 也可获得与目前 MR 同等质量的图像;提示在硬件条件较差的医院,采用 MRF 也可获得满意的检查效果^[3]。MRF 可在足够长的时间内获得 ROI 多种数据,使 MRF 定性诊断组织成为可能。如果“指纹库”中存有已知病理组织的“指纹”,理论上,MRF 可能将 ROI 组织与“库”对比,找出相应的病理组织,并进行定性诊断^[3]。此外,MRF 与 CS 密切相关,使其成为计算机辅助诊断(computer aided diagnosis, CAD)分析多参数 MR 数据的切入点^[8,11-16]。

3 MRF 在临床研究中的应用

有学者^[17-20]采用 MRF 观察脑血管的正常血容量、血管直径及氧合图谱,建立烟雾病、脑卒中及脑肿瘤血管模型;还采用 MRF 分析腹部脏器、成人脑肿瘤、心肌及前列腺癌。

3.1 中枢神经病变 MRF 首先应用于检测脑组织。Badve 等^[21]采用 MRF 检测无症状志愿者的脑组织,发现脑的不同部位在不同年龄及性别的弛豫时间相异,且某些特定部位的改变与年龄密切相关;证实 MRF 定量检测脑组织的有效性,且研究结果支持目前神经生物学的理论;Badve 等^[21]还将检测数据制成“指纹库”,以供后续研究参考。同时上述研究也暴露了 MRF 的不足:由于当时 MRF 无三维重建技术,所获取的 MR 图像均为层厚 1.2 mm 的二维图像,导致标注不同脑组织结构的准确性受到影响。2017 年,Badve 等^[22]采用 MRF 检测脑内肿瘤,发现不同级别胶质瘤的 T1、T2 值差异有统计学意义,提示 MRF 可更加准确地诊断脑肿瘤恶性程度分级;但该研究样本数量和肿瘤类别较少,未来研究中可加大样本量及疾病种类,并结合基因及分子标记物进行研究。

3.2 腹盆腔脏器 MR 可清晰显示肝及前列腺等实质脏器;而空腔脏器,如胃和肠等,由于运动及空气与腔壁交界处磁场不均匀等原因导致伪影,从而影响成像质量。腹部 MR 需在一次屏气中完成图像获取,故扫描时间要求尽可能短。MRF 成像较快,且可采用“指纹演变库”校对伪影,故在探查腹盆腔疾病中具有独特优势。Chen 等^[23]采用 MRF 在 19 s 的上腹部扫描时间内,可同时获得腹部组织的各类参数,包括腹腔各正常组织以及转移灶的 T1、T2 值,此研究结果支持转移灶 T1 及 T2 值较高的观点,并发现 T1 值有望成为预测疾病预后的指征。Yu 等^[24]采用 MRF 联合弥散技术检测前列腺癌的 T1、T2 和 ADC 值,发现采用上述测值可鉴别诊断前列腺周围组织癌与前列腺增生组织及不同级别的前列腺癌;提示 MRF 可定量检测病灶,但因获取 MRF 及 ADC 数据需两次独立的扫描过程,故所获取的 T1、T2 图像及 ADC 图像可能存在错位的风险。联合获取多种参数的高分辨率序列有待进一步开发。

3.3 心脏 Hamilton 等^[25]采用心电触发 MRF 扫描心脏,在 11 名受检者单次屏气(分别约 4~16 次心跳)时间内,便可测得心肌 T1、T2 及 M0 值;且上述测值的准确性与传统定量扫描技术相同。由于此项技术的“库”与心率相关,故当扫描数据在时空高度不连续的情况下,受检者心律不齐不仅不会干扰图像,反而能成

为图“库”配套的线索;但此项技术不适合无法长时间屏气或心率快的患者。

3.4 其他 目前,关于呼吸系统、骨肌系统的 MRF 研究较罕见。由于 MR 对于肺部检查无明显优势,故 MRF 是否适合检查肺部疾病尚未明确。此外,颌面颈部因受呼吸运动影响,也需快速扫描成像,故颌面颈部疾病也应是 MRF 适用范围之一。

4 MRF 的不足及改进

MRF 的不足主要为检查期间易受磁场不均影响、所得图像三维重建困难及分辨率低。

4.1 易受磁场不均影响 可在扫描同时加用 Bloch-Siegert 技术,减小 B1 磁场不均性,从而提高图像质量^[22]。

4.2 三维重建困难 可在扫描采集数据的过程中减少弛豫间隔,以缩短扫描时间,在单位时间内获取更多“指纹”信息,有利于获取 3D MRF 图像^[26];还可在与“库”匹配进行可视化时,采用 Sparse Approximation of the Hessian 理论以减少计算时间^[27]。

4.3 分辨率低 可在后处理时应用 Low-Rank and Subspace Modeling 的重建方法,增加图像准确性,减少重建时间^[28]。

另有学者^[29-30]将 MRF 与其他成像技术结合,如与音乐结合,使扫描时机器能发出音乐声来提高患者舒适度。

综上所述,MRF 可提高诊断疾病的准确率、加快 MR 检测速度、缓解影像学检查压力及提高患者就诊效率。

[参考文献]

- [1] 赵世华. 迎接心脏磁共振成像新技术挑战. 中国医学影像技术, 2017, 33(8):1125-1128.
- [2] 文明, 李少林. 磁共振成像用于分子影像学. 中国医学影像技术, 2007, 23(1):147-150.
- [3] Ma D, Gulani V, Seiberlich N, et al. Magnetic resonance fingerprinting. *Nature*, 2013, 495(7440):187-192.
- [4] 任丽香, 吴昆华, 张虹, 等. MRI 定性定量分析类风湿关节炎患者手腕部骨关节改变. 中国介入影像与治疗学, 2017, 14(10): 632-635.
- [5] Warntjes JB, Dahlqvist O, Lundberg P. Novel method for rapid, simultaneous T1, T2*, and proton density quantification. *Magn Reson Med*, 2007, 57(3):528-537.
- [6] European Society of Radiology (ESR). Magnetic resonance fingerprinting—a promising new approach to obtain standardized imaging biomarkers from MRI. *Insights Imaging*, 2015, 6(2): 51-52.
- [7] Kim TH, Setsompop K, Haldar JP. LORAKS makes better SENSE: Phase-constrained partial fourier SENSE reconstruction without phase calibration. *Magn Reson Med*, 2017, 77(3): 1021-1035.
- [8] Jin KH, Lee D, Ye JC, et al. A general framework for compressed sensing and parallel MRI using annihilating filter based low-rank hankel matrix. *IEEE Trans Comput Imaging*, 2016, 2(4):480-495.
- [9] Deoni SC, Peters TM, Rutt BK. High-resolution T1 and T2 mapping of the brain in a clinically acceptable time with DESPOT1 and DESPOT2. *Magn Reson Med*, 2005, 53(1):237-241.
- [10] Ma D, Coppo S, Chen Y, et al. Slice profile and B1 corrections in 2D magnetic resonance fingerprinting. *Magn Reson Med*, 2017, 78(5):1781-1789.
- [11] Bilgic B, Goyal VK, Adalsteinsson E. Multi-contrast reconstruction with Bayesian compressed sensing. *Magn Reson Med*, 2011, 66(6):1601-1615.
- [12] Lustig M, Donoho D, Pauly JM. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging. *Magn Reson Med*, 2007, 58(6):1182-1195.
- [13] Donoho DL. Compressed sensing. *IEEE Trans Inf Theory*, 2006, 52(4):1289-1306.
- [14] Candes EJ, Tao T. Near-optimal signal recovery from random projections: Universal encoding strategies. *IEEE Trans Inf Theory*, 2006, 52(12):5406-5425.
- [15] Wang Z, Li HS, Zhang QW, et al. Magnetic resonance fingerprinting with compressed sensing and distance metric learning. *Neurocomputing*, 2016, 174(PB):560-570.
- [16] Gómez PA, Ulas C, Sperl JI, et al. Learning a spatiotemporal dictionary for magnetic resonance fingerprinting with compressed sensing. *Patch Based Tech Med Imaging*, 2015:112-119.
- [17] Pouliot P, Gagnon L, Lam T, et al. Magnetic resonance fingerprinting based on realistic vasculature in mice. *Neuroimage*, 2017, 149:436-445.
- [18] Su P, Mao D, Liu P, et al. Multiparametric estimation of brain hemodynamics with MR fingerprinting ASL. *Magn Reson Med*, 2017, 78(5):1812-1823.
- [19] Illemasson B, Pannetier N, Coquery N, et al. MR vascular fingerprinting in stroke and brain tumor models. *Sci Rep*, 2016, 6: 37071.
- [20] Christen T, Pannetier NA, Ni WW, et al. MR vascular fingerprinting: A new approach to compute cerebral blood volume, mean vessel radius, and oxygenation maps in the human brain. *Neuroimage*, 2014, 89:262-270.
- [21] Badve C, Yu A, Rogers M, et al. Simultaneous T1 and T2 brain relaxometry in asymptomatic volunteers using magnetic resonance fingerprinting. *Tomography*, 2015, 1(2):136-144.
- [22] Badve C, Yu A, Dastmalchian S, et al. MR fingerprinting of adult brain tumors: Initial experience. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(3):492-499.

- [23] Chen Y, Jiang Y, Pahwa S, et al. MR fingerprinting for rapid quantitative abdominal imaging. *Radiology*, 2016, 279 (1): 278-286.
- [24] Yu AC, Badve C, Ponsky LE, et al. Development of a combined MR fingerprinting and diffusion examination for prostate cancer. *Radiology*, 2017, 283(3):729-738.
- [25] Hamilton JI, Jiang Y, Chen Y, et al. MR fingerprinting for rapid quantification of myocardial T1, T2, and proton spin density. *Magn Reson Med*, 2017, 77(4):1446-1458.
- [26] Amthor T, Doneva M, Koken P, et al. Magnetic resonance fingerprinting with short relaxation intervals. *Magn Reson Imaging*, 2017, 41:22-28.
- [27] Wuebbeler G, Elster C. A Large-scale optimization method using a sparse approximation of the hessian for magnetic resonance fingerprinting. *SIAM J Imaging Sci*, 2017, 10(3): 979-1004.
- [28] Zhao B, Setsompop K, Adalsteinsson E, et al. Improved magnetic resonance fingerprinting reconstruction with low rank and subspace modeling. *Magn Reson Med*, 2017 Apr 15. [Epub ahead of print].
- [29] Anderson CE, Donnola SB, Jiang Y, et al. Dual contrast-magnetic resonance fingerprinting (DC-MRF): A platform for simultaneous quantification of multiple MRI contrast agents. *Sci Rep*, 2017, 7(1):8431.
- [30] Ma D, Pierre EY, Jiang Y, et al. Music-based magnetic resonance fingerprinting to improve patient comfort during MRI examinations. *Magn Reson Med*, 2016, 75(6):2303-2314.

《中国医学影像技术》杂志 2018 年征订启事

《中国医学影像技术》杂志于 1985 年创刊,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊。刊号:ISSN 1003-3289, CN 11-1881/R。曾获百种中国杰出学术期刊,现为中国精品科技期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、英国《科学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊。

《中国医学影像技术》杂志是临床医学影像学及影像医学工程及理论研究相结合的综合性学术期刊,刊登放射、超声、核医学、介入治疗、影像技术学、医学物理与工程学等方面的基础研究及临床实验研究的最新成果。以论文质量优、刊载信息量大、发刊周期短为其特色,是我国影像医学研究探索和学术交流的良好平台。

《中国医学影像技术》为月刊,160 页,大 16 开本,彩色印刷。单价 20 元,全年定价 240 元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号 82-509;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail: cjmit@mail.ioa.ac.cn 网址: www.cjmit.com

编辑部地址:北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编:100190

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 账号:110907929010201

开户行:招商银行北京分行清华园支行 联系人:田苗

