

• MR 影像学新技术专题 •

压缩感知联合并行成像在肝脏多动脉期增强磁共振成像中的应用

刘锴, 陈财忠, 温喜喜, 王剑, 曾蒙苏

【摘要】 目的:应用压缩感知联合并行成像(uCS)技术进行肝脏增强磁共振多动脉期成像,评估其临床应用价值。**方法:**纳入本院临床诊断肝脏占位的病例 80 例,所选病例分为压缩感知联合并行成像(uCS)扫描组和常规并行成像(PI)扫描组,每组患者各 40 例进行磁共振肝脏增强扫描。对 uCS 组扫描所得多组动脉期图像成像效果和图像质量对比 PI 组做综合评价,根据连续多组动脉期图像绘制病灶及肝脏强化曲线。**结果:**uCS 组显示连续 8 组动脉期图像,所示动脉晚期精确率优于 PI 组(100% vs 88%)。uCS 组呼吸伪影评分显著高于 PI 组(3.50 ± 0.51 vs 2.97 ± 0.73 , $P < 0.01$)。uCS 肝脏边缘清晰度优于 PI 组(3.25 ± 0.63 vs 2.95 ± 0.71 , $P < 0.05$)。uCS 组病灶对比度低于 PI 组(2.65 ± 0.53 vs 3.30 ± 0.65 , $P < 0.01$)。uCS 组图像质量总体评分与 PI 组差异无统计学意义(3.08 ± 0.73 vs 3.10 ± 0.74 , $P > 0.05$),uCS 组多期图像可描述病灶动脉期连续强化过程。**结论:**uCS 技术应用于肝脏增强磁共振成像可提高时间分辨力,减少动脉期伪影,获取更多病灶血供信息,有广泛的应用前景。

【关键词】 磁共振成像; 压缩感知; 肝脏

【中图分类号】 R445.2; R735.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)11-1182-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.11.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of compressed sensing combined with parallel imaging in multi-arterial phase enhanced MR imaging of liver LIU Kai, CHEN Cai-zhong, WEN Xi-xi, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to evaluate the clinical applicability of unit-ed compressed sensing (uCS) technology utilized in multi-arterial phase imaging for contrast-enhanced magnetic resonance (CE-MR) scan on liver. **Methods:** Eighty patients with clinically diagnosed liver masses in our hospital were enrolled in this study. The selected patients were divided into two groups: uCS group ($n=40$) and parallel imaging (PI) group ($n=40$). Forty patients in each group underwent contrast-enhanced magnetic resonance (CE-MR) scan on liver. The multi-arterial phase imaging effect and image quality of uCS group were evaluated comprehensively by comparing that of PI group. The lesion and liver enhancement curve were illustrated according to the continuous multi-arterial phase images. **Results:** Eight consecutive groups of arterial phase images were displayed in the uCS group. It showed that the precision ratio of the late arterial phase was better than that of PI group (100% vs 88%). The respiratory artifact score of uCS group was significantly higher than that of PI group (3.50 ± 0.51 vs 2.97 ± 0.73 , $P < 0.01$). The clarity of the liver edge in the uCS group was superior to that of PI group (3.25 ± 0.63 vs 2.95 ± 0.71 , $P < 0.05$). The contrast ratio of lesions in the uCS group was lower than that of PI group (2.65 ± 0.53 vs 3.30 ± 0.65 , $P < 0.01$). There was no statistically significant difference in the image quality of the arterial phase between the uCS group and the PI group (3.08 ± 0.73 vs 3.10 ± 0.74 , $P > 0.05$). The multi-arterial phase image of uCS group could describe the continuous enhancement process in arterial phase of lesions. **Conclusion:** The uCS technique holds advantages of shorter acquisition time and more blood supply information, and the uCS sequence is worthy being popularized and applied.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Compressed sensing; Liver

作者单位: 200032 上海, 复旦大学附属中山医院放射科, 上海市影像医学研究所(刘锴、陈财忠、王剑、曾蒙苏); 201807 上海, 上海联影医疗科技有限公司(温喜喜)

作者简介: 刘锴(1980—), 男, 主管技师, 主要从事磁共振影像技术研究及临床应用工作。

通讯作者: 曾蒙苏, E-mail: zeng.mengsu@zs-hospital.sh.cn

肝脏占位性病变是目前临床常见疾病,不同性质肝脏占位有其不同的供血特点,准确观测病变的供血变化对占位性病变的性质鉴别和治疗都有着重要意义^[1-2]。但由于屏气时间限制和动脉期首过期相的快速性,常规肝脏磁共振增强扫描动脉期只采集一个期相,对整个肝脏动脉期内的动态供血变化缺乏描述,不能对肝脏占位提供更为丰富的血供变化信息。现文献报道观测动脉多期成像的技术较少,且多数为动脉三至五期成像^[3],而压缩感知联合并行成像(united compressed sensing,uCS)技术在常用的并行采集和半傅里叶采集两种快速成像技术基础上加入压缩感知技术^[4]。三种快速成像方法相结合,可减少并行采集造成的混叠伪影、保证图像质量的同时实现了高倍加速成像,极大的缩短成像时间,目前临床少见文献报道。本研究使用 uCS 技术行肝脏多动脉期扫描并与常规并行成像(parallel imaging,PI)技术扫描动脉晚期图像进行成像效果和多方面质量评价,探讨 uCS 技术在肝脏多动脉期的初步应用价值。

材料与方法

1. 患者资料

选择 2018 年 7 月—2019 年 2 月复旦大学附属中山医院临床确诊既往肝脏肿瘤病史或经超声诊断为肝脏实质性占位的 80 例患者进行前瞻性研究,其中使用 uCS 采集 40 例,单独 PI 采集 40 例。排除标准:对比剂过敏,严重肝肾及心功能不全患者。其中男 36 例,女 44 例,年龄 33~79 岁,平均 57.9±12.4。

2. MR 检查方法

采用联影 3.0T uMR 770 超导磁共振扫描仪,联合应用 12 通道腹部相控阵表面线圈和 32 通道脊柱矩阵线圈。完成常规 T₂WI 抑脂、DWI 扫描后,uCS 组进行肝脏连续 T₁WI 多动脉期扫描。扫描方案:注射对比剂后 18 s 开始第一期扫描,采用 16 倍加速连续获得 8 期相图像(1~4 为动脉早、中期,5~8 为动脉晚期)时间分辨率为 2 s/期;PI 组只扫描单次 18 s 动脉晚期,采用透视法监测点置于肝门静脉水平腹主动脉中心区,门静脉期和延迟期分别为对比剂注射后延迟 70 s、180 s 扫描。对比剂按 0.2 mmol/kg 标准静脉注入 Gd-DTPA,注射完毕后使用 15 mL 生理盐水 1.0 mL/s 冲洗。动脉早期为动脉显影,肝门静脉及肝静脉未显影;动脉晚期为肝实质轻度强化,肝门静脉显示而肝静脉未显影。扫描参数见表 1。

3. 图像分析

由两名放射科从事腹部诊断 8 年以上经验高年资医师使用同一工作站阅片,包括对肝脏边缘锐利度,呼吸伪影,肝管血管结构及病灶是否清晰显示共同进行

表 1 uCS 组和 PI 组扫描参数

参数	uCS	PI
扫描野(mm ²)	400×300	400×270
TR(ms)	2.85	3.5
TE(ms)	1.25	1.64
矩阵	256×204	320×288
层厚(mm)	3	3
层间距(mm)	0	0
扫描时间(s)	17	18
翻转角(°)	10	10
带宽(Hz)	780	650
动脉期数(组)	1~8	1

图像质量评估,并取得一致意见。评估采取 5 级评分:4 分为图像清晰对比良好,无伪影;3 分为图像轻度伪影,组织结构清晰可辨;2 分为图像中度伪影对比度一般,或病灶显示欠清;1 分为图像伪影较大肝脏或血管边缘模糊影明显,病灶显示欠清但尚能诊断;0 分为伪影大,血管或病灶模糊图像质量较差,无法用于诊断。

分别在病灶中心、肝实质绘制兴趣区(region of interest,ROI),绘制区域避开胆管和伪影,可分别显示不同 ROI 连续 8 个动脉期相的动态强化曲线。

4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 进行统计学分析。图像评分使用 Wilcoxon 秩和检验法进行对比。数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 图像效果评价

uCS 组扫描所得动脉 8 期相图像均可显示肝脏结构细节,血管及胆管显影清晰,连续显示动脉早期至动脉晚期强化过程可显示肿瘤供血动脉,标准动脉晚期时相显示 40/40 例,占总数 100%(图 1)。常规 PI 组有少部分动脉晚期时相把握不够精确,标准动脉晚期时相 35/40 例,占总数 88%(图 2)。

2. 图像质量评分

uCS 组 8 期图像均为连续独立成像,屏气不佳短暂呼吸伪影只影响部分图像,对诊断无影响(图 3);PI 组动脉期成像为动脉晚期单期成像,呼吸伪影可影响成像整体效果(图 4)。uCS 技术可减轻呼吸伪影影响,肝脏边缘清晰度优于 PI 组,但对比度较 PI 组稍差,总体评分两组差异无统计学意义(表 2)。

3. 动脉期强化曲线

使用 uCS 技术扫描获得动脉期连续 8 组图像,涵盖所有动脉早期至动脉晚期时相,观察病灶连续强化过程(图 1),可绘制动脉期包括肝脏、病灶区动态强化状态图,反映病灶血供变化(图 5)。

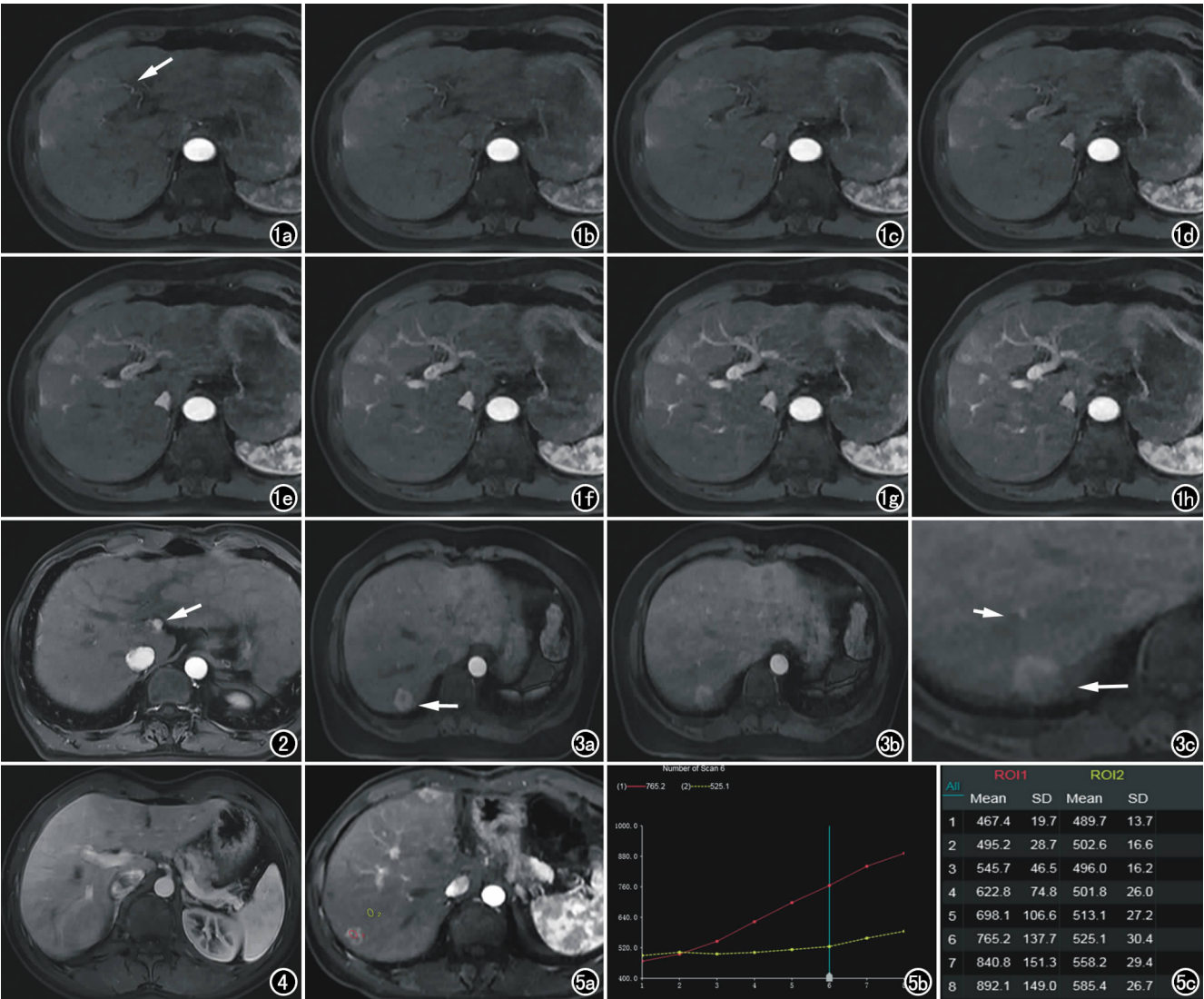


图 1 男,62 岁,肝细胞肝癌术后复发。a)uCS 扫描 8/1 期显示动脉早期效果,可显示病灶局部供血动脉及血管途径(箭);b)uCS 扫描 8/2 期;c)uCS 扫描 8/3 期;d)uCS 扫描 8/4 期;e)uCS 扫描 8/5 期门静脉充盈,开始显示动脉晚期效果;f)uCS 扫描 8/6 期门静脉充分显示;g)uCS 扫描 8/7 期,肝实质轻度强化;h)uCS 扫描 8/8 期病灶及肝实质持续强化。 图 2 男,56 岁,肝硬化肝癌介入术后尾状叶复发,PI 扫描单动脉期图像显示肝实质及门静脉未见显影,捕捉动脉晚期时相过早(箭)。 图 3 女,53 岁,右后叶局灶性结节。a)uCS 肝脏扫描第 8/6 动脉晚期显示病灶中心强化不均,病灶轮廓及周围血管清晰显示(箭);b)uCS 肝脏扫描第 8/7 动脉晚期图像显示右叶病灶处呼吸伪影;c)b 图病灶处放大显示病灶及肝脏边缘模糊影(长箭),肝右静脉显示欠佳(短箭)。 图 4 男,33 岁,上腹疼痛。肝脏增强磁共振检查,PI 扫描动脉晚期显示屏气不佳,肝实质及血管影模糊。 图 5 男,65 岁,乙肝肝肿瘤病史,多发肝细胞肝癌。a)uCS 扫描第 8/6 动脉晚期在肝右叶病灶及肝实质处绘制 ROI;b)分别显示病灶(红)和肝实质(黄)动脉 8 期相动态强化曲线;c)病灶与肝实质 8 期相信号强度变化数据对比。

表 2 uCS 与 PI 组图像质量评价

图像质量	uCS 组	PI 组	Z 值	P 值
呼吸伪影	3.50±0.51	2.97±0.73	-3.32	<0.001
病灶对比度	2.65±0.53	3.30±0.65	-4.33	<0.001
肝脏边缘	3.25±0.63	2.95±0.71	-2.05	<0.05
总体评价	3.08±0.73	3.10±0.74	-0.18	>0.05

讨 论

肝脏占位性病变的病种较多,病变多与其供血情况存在密切联系。肝肿瘤血供较为复杂,不仅涉及肝动脉和门静脉,还与肝脏自身病变的演变过程相关,明确其血供状态有助于进行诊断与治疗。MRI 技术是早期发现肝肿瘤和进行病变鉴别诊断的重要检查手段

之一^[1,5],特别是磁共振动态增强扫描对准确评估肝肿瘤的血供及新生血管与肿瘤的关系具有一定优势,对早期诊断和治疗都有较大帮助^[6]。

目前常规所使用的肝脏磁共振增强扫描期相包括动脉晚期、门静脉期、平衡期以及延迟期。由于动脉期是肝脏动态成像的首过期相,对肝占位病变的鉴别诊断特别重要,但其出现时间短暂通常只选择一组动脉期(动脉晚期)扫描。而常规 PI 技术捕捉单动脉晚期可因各种因素造成动脉期相把握不准或患者屏气不佳造成动脉期图像显示不佳,从而影响疾病诊断。此外,目前对肝硬化背景下早期肝癌的发现和诊断仍有难点,特别是非典型影像学表现的肝脏肿瘤和一过性强化的小肝癌病变仍缺乏优势。近年来有文献报道使用 CDT 快速序列可以连续取得动脉三期动脉期图像,对早期小肝癌的诊断有明显优势,所以观测多期动脉期表现对肝脏占位性病变的诊断有重要意义^[3,7]。

uCS 序列是一种新的快速成像扫描方法:它结合了传统的并行采集技术、半傅立叶技术和新的压缩感知技术,将三种快速成像技术融合一体,能够在极短的时间内完成快速多期 3D 成像。特别是压缩感知技术是基于图像的稀疏可压缩性特点,通过小波、Total Variation 等技术,把大量图像信息压缩快速采样后再通过重建还原原始图像,从而达到极快速成像的效果^[8-9]。本研究使用 uCS 技术可通过一次 17 s 的屏气扫描完成动脉多达 8 个时像的连续采集,平均单期图像成像时间 2 s,相对常规单期相 17~20 s 的屏气时间可以有效减少呼吸和脏器蠕动伪影。在对图像质量评估中发现,虽然 uCS 组多动脉期图像因其成像矩阵小于对比组,在图像对比度评估方面不及常规单动脉期,但其 2 s 完成一组全肝扫描图像的成像速度有效冻结了呼吸和内脏的运动,故其图像在呼吸伪影和肝脏边缘锐利度方面优于常规增强图像,其整体图像质量可满足诊断需求。有研究认为特异性对比剂较常规对比剂更易引起动脉期伪影,减少独立单期屏气时间可提高动脉期图像质量^[10],故提高扫描时间分辨率,有效减少单期成像时间对提升特异性对比剂的应用效果也有一定意义。相比常规单动脉期成像,uCS 技术可以在保有较高图像质量的前提下完整记录所有动脉期成像过程,观察到其他单动脉期增强检查(VIBE, LA-VA)不能观测到的动脉早、中期图像,并可同时绘制病灶、肝脏和血管的连续动态强化曲线,从而描述病灶完整动脉期相的强化特征。uCS 技术一次扫描所得多达

8 期的动脉期图像包含所有动脉早期至动脉晚期图像,且每一期相都是独立成像而不依赖其他期相内数据。若有患者在扫描期间因屏气困难造成短暂的屏气不佳或血管搏动伪影,只会影响到相关期相的图像质量,医师仍可通过其他各组图像完整观察动脉期,避免了常规单次动脉期扫描中因屏气不佳等原因造成图像欠佳甚至扫描失败的情况。

本研究尚存在一些局限性:纳入病例数较少,对肝脏肿瘤的动态强化特点仍需要大数据进行进一步研究;其次新技术多期扫描的临床应用方案尚在完善成熟阶段。

综上所述,uCS 技术作为磁共振新一代快速成像方法,在保证图像质量情况下达到极高的时间分辨率,可用一次屏气完成多期像采集包含所有肝脏动脉期相,有利于减少呼吸伪影并保证肝脏动态成像的成功率。uCS 技术应用于肝脏磁共振动态增强成像可为肝脏占位性病变的诊断提供更多肿瘤血供信息,值得临床应用推广。

参考文献:

- [1] 盛若凡,曾蒙苏,饶圣详,等.小肝细胞肝癌和肿块型肝内小胆管细胞癌的 MR 表现特征[J].中华放射学杂志,2014,48(4):288-293.
- [2] 侯毅斌,王忠富,施裕新,等.磁共振弥散加权成像联合动态增强在评估肝癌 TACE 术后病灶残留及随访中的应用价值[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2018,16(1):108-110.
- [3] 刘豪,何颖,孙伟,等.CDT 序列在肝脏病变中的应用研究[J].中国医学计算机成像杂志,2017,23(6):571-574.
- [4] Li G, Hennig J, Raithel E, et al. An L1-norm phase constraint for half-Fourier compressed sensing in 3D MR imaging[J]. MAGMA, 2015,28(5):459-472.
- [5] 蒋涵羽,刘曦娇,宋彬.磁共振成像技术在肝细胞癌中的应用进展[J].磁共振成像,2015,6(2):91-97.
- [6] 潘丹,梁长虹,刘再毅.动态增强 MRI 在肝脏恶性肿瘤疗效评估中的临床应用[J].中华放射学杂志,2014,48(6):523-525.
- [7] Albrecht MH, Bodelle B, Varga-Szemes A, et al. Intra-individual comparison of CAIPIRINHA VIBE technique with conventional VIBE sequences in contrast-enhanced MRI of focal liver lesions[J]. Eur J Radiol, 2017,86(1):20-25.
- [8] Lustig M, Donoho D, Pauly JM. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging[J]. Magn Reson Med, 2007,58(6):1182-1195.
- [9] 王水花,张煜东.压缩感知磁共振成像技术综述[J].中国医学物理学杂志,2015,32(2):158-162.
- [10] 叶枫,吴宁,欧阳汉,等.钆塞酸二钠和钆喷酸葡胺肝脏多期动态增强呼吸伪影对比研究[J].放射学实践,2015,30(1):45-48.

(收稿日期:2019-08-26 修回日期:2019-10-15)