

论 著

压缩感知技术在颅脑T2-FLAIR序列中的应用价值研究

王丽坤 赵田瑞* 李 瑞

首都医科大学附属北京友谊医院放射科
(北京 100000)

【摘要】目的 比较颅脑2D T2-FLAIR序列在分别使用CS技术和SENSE技术加速的情况下的扫描时间和图像质量。**方法** 收集2023年1月内于首都医科大学附属北京友谊医院行颅脑MR检查的患者(26例), 分别用CS序列和SENSE序列进行扫描。比较灰白质区域的SNR和CNR, 分别用三分法和五分法进行主观评分。**结果** 使用CS技术的扫描时间较用于SENSE的时间缩短; T2-FLAIR-CS组灰白质SNR、灰白质CNR均优于SENSE组(CS: 灰质SNR=47.25±11.927、白质SNR=45.41±12.974、灰白质CNR=4.48±0.861, SENSE: 灰质SNR=37.74±15.487、白质SNR=37.39±8.256、灰白质CNR=3.44±1.74, P<0.05)。图像运动伪影评分方面CS组优于SENSE组, 图像质量主观评分方面CS组和SENSE组没有统计学差异。**结论** 在使用CS后, 可以缩短序列扫描时间, 且图像质量优于SENSE组。

【关键词】 压缩感知; 并行采集;
运动伪影; 颅脑磁共振成像

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.003

Research on the Application Value of Compressed Sensing Technology in Brain T2-FLAIR Sequences

WANG Li-kun, ZHAO Tian-ruì*, LI Rui.

Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100000, China

ABSTRACT

Objective To compare the scanning time and image quality of 2D T2-FLAIR sequences of the brain under the acceleration of CS and SENSE techniques, respectively. **Methods** A total of 26 patients who underwent cranial MRI examination in Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University within January 2023 were collected and scanned using CS and SENSE sequences, respectively. Compare the SNR and CNR of gray and white matter areas, and subjectively score them using the three point and five point methods, respectively. **Results** The scanning time using CS technology is shorter than that using SENSE; The T2-FLAIR-CS group had better gray white matter SNR and gray white matter CNR than the SENSE group (CS: gray matter SNR=47.25 ± 11.927, white matter SNR=45.41 ± 12.974, gray white matter CNR=4.48 ± 0.861, SENSE: gray matter SNR=37.74 ± 15.487, white matter SNR=37.39 ± 8.256, gray white matter CNR=3.44 ± 1.74 P<0.05). In terms of image motion artifact score, the CS group was superior to the SENSE group, and there was no statistically significant difference in subjective image quality score between the CS group and the SENSE group. **Conclusion** After using CS, the sequence scanning time can be shortened, and the image quality is better than that of the SENSE group.

Keywords: Compressive Sensing; Parallel Acquisition; Motion Artifact; Brain MRI

颅脑MRI在颅脑外伤、肿瘤、急性脑血管病等各个疾病诊疗过程中发挥了巨大的作用。T2液体衰减反转恢复(T2 fluid-attenuated inversion recovery, T2-FLAIR)是结合了反转准备水抑制的T2加权序列。该序列对脑脊液具有很好的抑制效果, 增大了病变与正常脑组织的对比, 对脱髓鞘、脑梗死等白质病变有较好的检出效果。但T2-FLAIR序列对水抑制效果依赖TR和TI组合, 为了达到较好的对比通常使用较长的TR和TI时间。这就导致了T2-FLAIR序列扫描时间长, 运动伪影重的问题。为解决该问题, 以往的临床应用中通常使用并行采集(SENSE)等技术来缩短扫描时间, 但同时并行采集技术也对图像质量有较大影响。而有学者研究压缩感知(compressed sensing, CS)技术在缩短扫描时间的同时, 对图像质量影响相对较小。因此本文将CS技术和SENSE技术在颅脑T2-FLAIR序列中的应用进行研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料 随机收集2023年1月内于我院行颅脑磁共振检查的患者, 标准如下: ①无磁共振检查禁忌证; ②患者无颅脑疾病史, 无精神药物成瘾史; ③扫描后图像无明显运动伪影。最终共收集患者26例, 其中男性12例, 女性14例, 年龄18~86岁。

1.2 检查设备与参数 使用荷兰飞利浦3.0T Ingenia超导型磁共振成像系统, 颅脑20通道相控阵线圈, 常规序列包括: 横断面T2WI、T1WI、T2FLAIR、DWI、矢状面T1WI。CS序列包括横断面T2FLAIR。详细参数见表1。

1.3 影像学分析

1.3.1 客观评价 客观评价采用信噪比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)评价, 每个患者分别在2组图像上测量八个感兴趣区(region of interest, ROI), 包括: 双侧额叶皮层、双侧枕叶皮层, 取其信号强度平均值作为脑灰质(gray matter, GM)平均信号强度, 取其噪声平均值作为脑灰质平均噪声值; 双侧半卵圆中心、胼胝体膝部、胼胝体压部, 取其信号强度平均值作为脑白质(white matter, WM)平均信号强度, 取其噪声平均值作为脑白质平均噪声值。其中每次测量ROI均为4mm², 且均测量三次取平均值作为最终结果。ROI具体放置方法见图1。

(1)信噪比计算公式

$$SNR_{GM/WM} = \text{平均信号} / \text{平均噪声}$$

(2)对比噪声比计算公式

$$CNR_{GM/WM} = |\text{白质平均信号} - \text{灰质平均信号}| / \text{白质平均噪声} + \text{灰质平均噪声}$$

1.3.2 主观评价 主观评分由两部分组成: 扫描时由扫描技师进行三分制运动伪影评分, 评分标准如下: 3分, 图像完全无运动伪影; 2分, 图像存在轻微运动伪影, 但不影响图像观察; 1分, 图像存在明显运动伪影, 影响图像观察。但运动伪影评分为1分时, 重新扫描图像并记录为一次重新扫描, 直到获得2分及以上图像。得到无运动伪影图像后由两位年资在5年以上的医生采用5分法分别对灰白质显示清晰程度进行双盲图像质量评分。当图像质量评分不同时由两位医生讨论后给出最终评分。图像质量具体评分标准如下: 5分, 灰白质对比非常清晰; 4分, 灰白质对比比较清晰; 3分, 灰白质对比模糊, 但

【第一作者】王丽坤, 女, 技师, 主要研究方向: 磁共振成像。E-mail: 719189902@qq.com

【通讯作者】赵田瑞, 男, 技师, 主要研究方向: 磁共振加速技术。E-mail: ztr19971210@163.com

可分辨；2分，模糊，较难分辨灰白质边界；1分，完全无明确灰白质界限。其中我们将3分及以上图像定义为可用于诊断图像。

1.4 统计学分析 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析。计数资料

用频数表示，采用 χ^2 检验进行比较。计量资料采用Shapiro-Wilk检验进行正态性检验，符合正态分布的用表示，并采用配对样本t检验进行比较， $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

表1 常规FLAIR序列与FLAIR-CS序列扫描参数比较

序列	加速技术	加速因子	重复时间(ms)	反转时间(ms)	回波时间(ms)	层厚(mm)	矩阵	视野(mm)	扫描时间(m:s)
T2FLAIR	SENSE	2	9000	2500	120	6.2	308×141	230×209	84
T2FLAIR-CS	CS	3	9000	2500	120	6.2	308×141	230×209	54

2 结果

2.1 客观分析 经正态性检验，灰白质信噪比SNR、对比噪声比CNR相关数据均符合正态分布，配对样本t检验具体分析数据见表2。经统计分析，FLAIR-SENSE灰质信噪比为 37.74 ± 15.487 ，FLAIR-CS灰质信噪比为 47.25 ± 11.927 ， $P < 0.05$ ，两者差异有统计学意义；FLAIR-SENSE白质信噪比为 37.39 ± 8.256 ，FLAIR-CS白质信噪比为 45.41 ± 12.974 ， $P < 0.01$ ，两者差异有统计学意义；FLAIR-SENSE灰白质对比噪声比为 3.44 ± 1.74 ，FLAIR-CS灰白质对比噪声比为 4.48 ± 0.861 ， $P < 0.01$ ，两者差异有统计学意义。

2.2 主观分析 26例患者的图像中，FLAIR-SENSE与FLAIR-CS序列运动伪影比较中，CS组3分20例、2分4例、1分2例；SENSE组3分13例、2分8例、1分5例，两组间 $P < 0.05$ ，差异具有统计学意义，详细数据见表3。另外CS组有2例患者进行了重新扫描，比例为7.69%，SENSE组有5例患者进行了重新扫描，比例为

19.23%。在图像质量比较中：CS组中26例均为5分，SENSE组中5分25例、4分1例，两组间 $P = 0.317$ ，差异不具有统计学意义。

(3)重新扫描比例计算公式

$$\text{重新扫描比例} = (\text{重新扫描数} / \text{总例数}) \times 100\%$$

表2 SENSE序列与CS序列SNR与CNR比较

序列	FLAIR-SENSE	FLAIR-CS	P值
灰质SNR	37.74 ± 15.487	47.25 ± 11.927	< 0.05
白质SNR	37.39 ± 8.256	45.41 ± 12.974	< 0.01
灰白质CNR	3.44 ± 1.74	4.48 ± 0.861	< 0.01

表3 SENSE序列与CS序列运动伪影结果比较(例, n=26)

方法	FLAIR				
	1分	2分	3分	重新扫描数	重新扫描比例
CS	2	4	20	2	7.69%
SENSE	5	8	13	5	19.23%
统计值	3.162				
P值	< 0.05				

表4 SENSE序列与CS序列主观评价结果比较(例, n=26)

方法	FLAIR				
	1分	2分	3分	4分	5分
CS	0	0	0	0	26
SENSE	0	0	0	1	25
统计值	1.000				
P值	0.317				

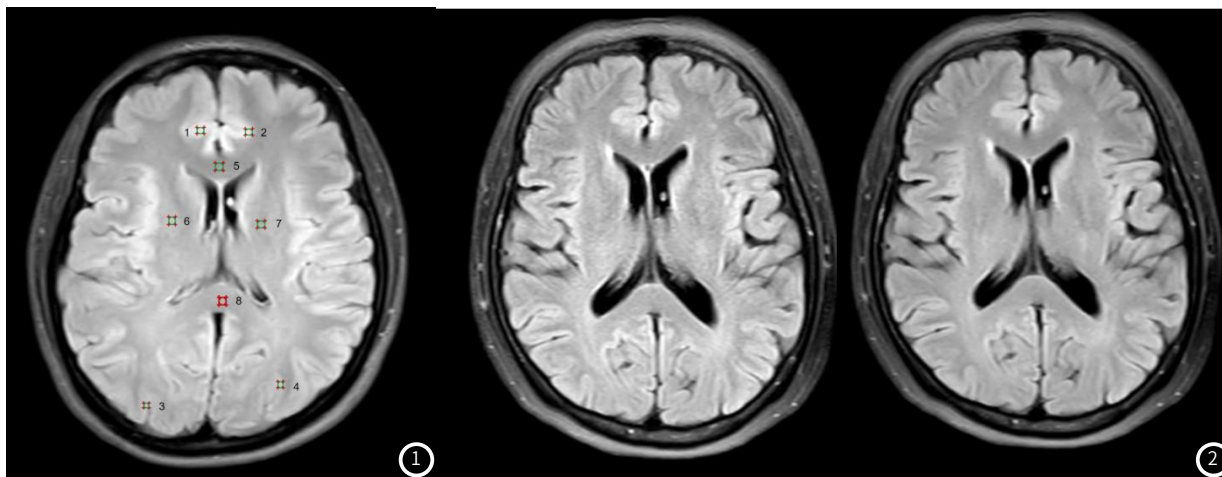


图1 图1为ROI的具体放置方法，ROI1~8依次为右侧额叶皮层、左侧额叶皮层、右侧枕叶皮层、左侧额叶皮层、胼胝体膝部、右侧半卵圆中心、左侧半卵圆中心、胼胝体压部。

图2 图2依次为胼胝体层面T2-FLAIR-SENSE、T2-FLAIR-CS上图中可见SENSE组图像灰白质信噪比均差于CS组，而两组图像灰白质对比噪声比无明显差距。

3 讨论

颅脑T2-FLAIR序列在颅脑外伤、肿瘤、血管源性病变^[1]等病变的诊疗中发挥了巨大作用,也有研究将T2-FLAIR序列用于颅脑钆对比剂增强后扫描^[2],也能发现常规T1增强不能发现的微小病灶。但T2-FLAIR良好的灰白质对比以及病变对比高度依赖于TR、TI时间的设置,为获得较好的图像质量需要较长的TR、TI组合。这也导致了T2-FLAIR序列扫描时间长、运动伪影较重的问题,为了解决这一问题,通常只能采用降低图像采集矩阵的方法。其中尤以相位编码影响为主,但直接降低相位编码数会导致图像空间分辨率下降,容易遗漏微小病灶。而SENSE技术和CS技术都可以在不影响图像空间率的情况下减少采集的相位编码数,达到缩短扫描时间,减少运动伪影的效果。

SENSE技术是利用多通道相控阵线圈采集,以增加K空间内采集位置的距离,达到减少K空间采样密度的目的。在小视野内通过专门的重建算法,在保持空间分辨力不衰减的情况下使采集时间减少的一种快速成像技术。但当加速因子过高或校准图像与实际采集图像空间位置不同时会出现并行采集伪影降低图像质量^[3],甚至放大运动伪影,从而影响进一步提高采集速度。

CS技术在2007年由Lustig等应用于MRI成像^[4],CS在采样过程中利用图像内在的稀疏性完成了数据压缩的过程。用少于奈奎斯特采样定理的采样点,实现了和全采样近乎一致的效果。

对于像磁共振成像,CS就可以发挥巨大优势。速度慢是MRI的一大缺陷。而应用CS技术后,只需要采集全采样几分之一的数据,就可以重建出原图。这样就可以把成像速度提高好几倍,同时对图像质量影响不大。现在已有大量的学者研究将CS技术用于颅脑^[5]、血管成像^[6],骨关节成像^[7],乃至全身各部位^[8-10],均有较大意义。

本文主要对颅脑2D的FLAIR序列分别使用SENSE技术和CS技术进行加速,且在CS组加速因子更大,扫描时间更短的情况下(CS组54s、SENSE组84s,扫描速度缩短了35.7%)。对比发现,CS组在缩短扫描之后,运动伪影评分高于SENSE组,差异具有统计学意义,重新扫描比例由19.23%下降为7.69%,极大程度提高扫描效率。图像质量方面CS组的灰质对比度、白质对比度以及灰白质对比信噪比均优于SENSE组,差异有统计学意义;图像主观评分上,CS组26例患者均为5分;SENSE组中25例为5分,一例为4分,差异没有统计学意义。

从上述结果可以看出在CS组在灰白质信噪比、对比噪声比等客观评分方面均优于SENSE组,但主观评分方面两组确无统计学差异。主要原因可能如下:(1)T2-FLAIR序列中主要影响图像质量的因素为运动伪影,而在本实验中在临床扫描过程,对图像运动伪影较重的病例均进行了重新扫描,故在图像质量评价中剔除了运动伪影对图像质量的影响;(2)虽然CS组图像在客观评分中灰白质对比噪声比较高,但在主观评分中由报告医生的评分确并未体现出此差距,可能是由于CS成像须满足3个必备条件:图像的稀疏性、不相干采样和迭代重建。因此CS技术加速效果主要取决于图像信息的稀疏程度,稀疏程度越大可压缩程度越大,加速效果越好。而2D序列总体较3D序列而言,图像信息的稀疏程度不足,因此该实验中图像出现了“蒙蜡样”改变,两方面因素综合下,CS组图像和SENSE组图像在主观评分上并未出现明显差异。

综上所述,对于颅脑2D T2-FLAIR序列而言,使用CS技术较SENSE技术可以更大程度缩短扫描时间,减低重新扫描比例并可获得更好的图像治疗。但该研究还存在较多不足之处:其一是纳入病例数较少;其二是未研究CS技术在病变组织检出中是否会有不足。以上也是该研究之后可以进一步深入的地方。

参考文献

- [1]李青云,江功远,戴维龙,等.T2 FLAIR大脑中动脉高信号血管征在急性期和亚急性期脑梗死的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(7):11-13.
- [2]梁泓中,郭睿,肖运平.增强T2 FLAIR序列在颅内肿瘤影像诊断中的研究进展[J].磁共振成像,2024,15(4):207-213.
- [3]朱熹,叶靖,王志军,等.并行采集技术在头颅磁共振中产生伪影的原因及处理方法[J].中国医学物理学杂志,2019,36(9).
- [4]Yi J, Lee Y H, Hahn S, et al. Fast isotropic volumetric magnetic resonance imaging of the ankle: acceleration of the three-dimensional fast spin echo sequence using compressed sensing combined with parallel imaging[J]. European Journal of Radiology, 2019, 112.
- [5]杨婧,苗延巍.压缩感知技术在颅脑MRI的临床应用进展[J].磁共振成像,2022,13(9).
- [6]袁颖,任浩,韩昕君,等.压缩感知技术在非对比增强肾动脉MRA中的应用[J].中国中西医结合影像学杂志,2023,21(5).
- [7]张汉智,王植,孟祥虹,等.3D view序列联合压缩感知技术精准诊断踝周韧带损伤[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(6).
- [8]赵田瑞,王丽坤,李瑞.压缩感知技术在颅脑MRI 2D序列中的应用价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2025,23(12):5-7.
- [9]范伟雄,张添辉,钟炜,等.MRI人工智能辅助压缩感知心脏电影序列在心功能评估中的应用价值[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(9):79-81.
- [10]孙源源,王雪利,刘子琳,等.非增强Dixon水脂分离CS-SENSE全心动态CMRA技术在冠状动脉狭窄诊断中的价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2025,23(9):78-81.

(收稿日期:2024-06-27)

(校对编辑:翁佳鸿)