

论 著

# 压缩感知技术在颅脑MRI 2D序列中的应用价值研究

赵田瑞\* 王丽坤 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、T1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月内于我院行颅脑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, 用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-CS组灰白质SNR、灰白质CNR均优于SENSE组(CS: 灰质SNR=37.76±11.60、白质SNR=47.98±15.97、灰白质CNR=8.63±3.25, SENSE: 灰质SNR=31.90±9.84、白质SNR=26.66±7.57、灰白质CNR=6.50±2.21, P<0.05); T1-CS组只有白质SNR优于SENSE组, 灰质SNR、灰白质CNR无统计学差异(CS: 白质SNR=95.91±31.59, SENSE: 白质SNR=60.80±31.59, P<0.05), 主观评分方面CS组差于SENSE。**结论** 在使用CS后, T2WI序列图像优于SENSE; T1WI序列图像较SENSE差。

**【关键词】** 压缩感知; 并行采集; 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.1672-5131.2025.12.002

# Research on the Application Value of Compressive Sensing Technology in 2D Sequences of Cranial MRI

ZHAO Tian-ru<sup>\*</sup>, WANG Li-kun, LI Rui.

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

## ABSTRACT

**Objective** To compare the scanning time and image quality of 2D T2 and T1 brain sequences under the acceleration of CS and SENSE techniques, respectively. **Methods** A total of 26 patients who underwent cranial MRI examination in our hospital within January 2023 were collected and scanned using CS and SENSE sequences, respectively. Compare the SNR and CNR of gray white matter areas and subjectively score using a five point method. **Results** The scanning time using CS technology is shorter than that using SENSE; The gray white matter SNR and gray white matter CNR in the T2-CS group were better than those in the SENSE group (CS: gray matter SNR=37.76±11.60, white matter SNR=47.98±15.97, gray white matter CNR=8.63±3.25, SENSE: gray matter SNR=31.90±9.84, white matter SNR=26.66±7.57, gray white matter CNR=6.50±2.21, P<0.05); The T1-CS group only had better white matter SNR than the SENSE group, and there was no statistically significant difference in gray matter SNR and gray white matter CNR (CS: white matter SNR=95.91±31.59, SENSE: white matter SNR=60.80±31.59, P<0.05). In terms of subjective scores, the CS group was worse than the SENSE group. **Conclusion** After using CS, T2WI sequence images are superior to SENSE; T1WI sequence images are worse than SENSE. **Keywords:** Compressive sensing; Parallel Acquisition; Brain MRI

MRI因其出色的软组织对比度和其多参数成像的特点在人体各部位均有广泛的应用,尤其在神经系统成像中有着广泛的应用。但采集时间长是MRI的一个弱势,较长的采集时间限制了MRI的广泛应用。以往的MRI加速技术如并行采集(sensitivity encoding,SENSE)等在缩短扫描时间的同时<sup>[1]</sup>也降低了图像质量<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。但前者的研究主要针对3D序列,针对2D序列的研究较少。因此本研究将对CS技术在颅脑2D序列中的应用进行研究和比较。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 随机纳入2023年1月内于我院行颅脑磁共振检查的患者。

纳入标准如下:无磁共振检查禁忌症;患者无颅脑疾病史,无精神药物成瘾史;扫描后图像无明显运动伪影。最终共纳入患者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,其中T2WI、T1WI均使用SENSE加速技术。CS序列包括横断面T2WI、T1WI。详细参数见表1。

表1 SENSE序列与CS序列扫描参数比较

序列	加速技术	加速因子	重复时间 (ms)	回波时间 (ms)	层厚 (mm)	矩阵	视野 (mm)	扫描时间 (s)
T2WI-SENSE	SENSE	2	3400	120	6	210×308	180×220	27
T2WI-CS	CS	3	3400	120	6	210×308	180×220	20
T1WI-SENSE	SENSE	2	1900	18	6	141×256	180×220	51
T1WI-CS	CS	3	1900	18	6	141×256	180×220	40

## 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4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4mm<sup>2</sup>,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。

**【第一作者】** 赵田瑞,男,技师,主要研究方向:磁共振加速成像。E-mail: ztr19971210@163.com

**【通讯作者】** 赵田瑞

(1)信噪比计算公式

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

(2)对比噪声比计算公式

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

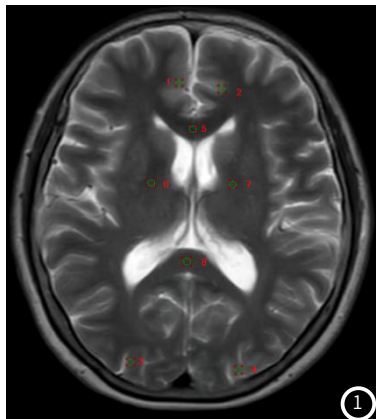


图1 图1为ROI的具体放置方法, ROI 1~8依次为右侧额叶皮层、左侧额叶皮层、右侧枕叶皮层、左侧枕叶皮层、胼胝体膝部、右侧半卵圆中心、左侧半卵圆中心、胼胝体压部。

1.3.2 主观评价 主观评分由两位年资在5年以上的医生采用5分法对灰白质显示清晰程度、图像伪影两方面进行双盲评价,当评分不同时由第三位年资更高的医生做出评价。具体评分标准如下:

5分,非常清晰且图像无伪影;4分,较清晰或有极轻微的伪影;3分,模糊,但可分辨或有轻微伪影;2分,模糊,较难分辨或有明显伪影;1分,无明确界限或严重伪影。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 $\chi^2$ 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( $\bar{x} \pm s$ )表示,使用采用配对样本t检验进行比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 客观分析 经正态性检验,SNR、CNR相关数据均符合正态分布,客观分析详细数据见表2。经统计分析,T2WI-SENSE序列灰质信噪比为 $31.90 \pm 9.84$ ,T2WI-CS序列灰质信噪比为 $37.76 \pm 11.60$ , $P < 0.01$ ,两者差异有统计学意义;T2WI-SENSE序列白质信噪比为 $26.66 \pm 7.57$ ,T2WI-CS序列白质信噪比为 $47.98 \pm 15.97$ , $P < 0.01$ ,两者差异有统计学意义;T2WI-SENSE序列灰白质对比噪声比为 $6.50 \pm 2.21$ ,T2WI-CS序列灰白质对比噪声比为 $8.63 \pm 3.25$ , $P < 0.01$ ,两者差异有统计学意义;T1WI-SENSE序列灰质信噪比为 $27.49 \pm 8.22$ ,T1WI-CS序列灰质信噪比为 $24.54 \pm 6.62$ , $P > 0.05$ ,两者差异没有统计学意义;T1WI-SENSE序列白质信噪比为 $60.80 \pm 31.59$ ,T1WI-CS序列白质信噪比为 $95.91 \pm 31.59$ , $P < 0.01$ ,两者差异有统计学意义;T1WI-SENSE序列灰白质对比噪声比为 $17.32 \pm 16.00$ ,T1WI-CS序列灰白质对比噪声比为 $16.07 \pm 4.94$ , $P > 0.05$ ,两者差异没有统计学意义。

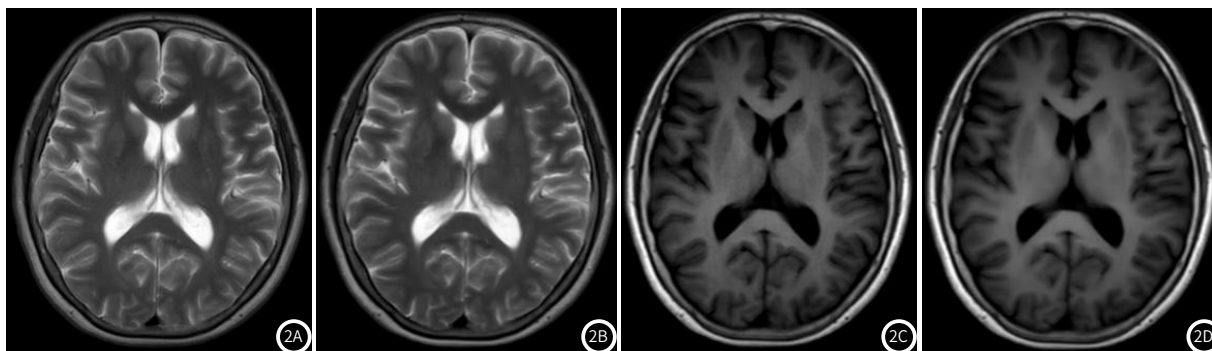
2.2 主观分析 26例患者的图像中,T2WI-CS序列与T2WI-SENSE序列比较,差异没有统计学意义( $P > 0.05$ );T1WI-CS序列与T1WI-SENSE序列比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),T1WI-SENSE序列优于T1WI-CS序列详细数据见表3、图2。

表2 SENSE序列与CS序列SNR与CNR比较

序列	T2WI-SENSE	T2WI-CS	P值	T1WI-SENSE	T1WI-CS	P值
灰质SNR	$31.90 \pm 9.84$	$37.76 \pm 11.60$	$< 0.01$	$27.49 \pm 8.22$	$24.54 \pm 6.62$	0.06
白质SNR	$26.66 \pm 7.57$	$47.98 \pm 15.97$	$< 0.01$	$60.80 \pm 31.59$	$95.91 \pm 31.59$	$< 0.01$
灰白质CNR	$6.50 \pm 2.21$	$8.63 \pm 3.25$	$< 0.01$	$17.32 \pm 16.00$	$16.07 \pm 4.94$	0.70

表3 SENSE序列与CS序列主观评价结果比较(例, n=26)

方法	T2WI					T1WI				
	1分	2分	3分	4分	5分	1分	2分	3分	4分	5分
CS	0	0	0	0	26	0	0	2	7	17
SENSE	0	0	0	1	25	0	0	0	2	24
统计值	1.020					5.973				
P值	$> 0.05$					$< 0.05$				



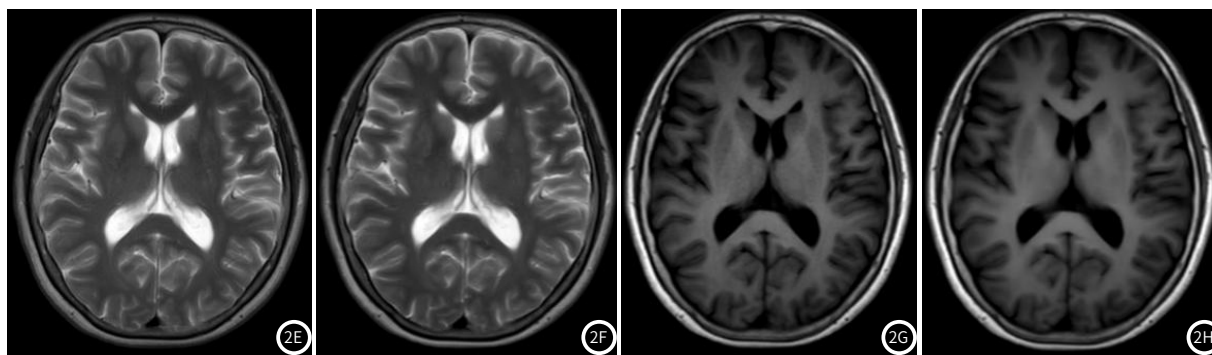


图2 图2中2A~2D依次为胼胝体层面T2WI-SENSE、T2WI-CS、T1WI-SENSE、T1-CS；2E~2H依次为脑干层面T2WI-SENSE、T2WI-CS、T1WI-SENSE、T1-CS。上图中可见对于T2WI图像无论是使用SENSE技术还是CS技术图像并无明显差异；对于T1WI图像，使用CS技术组出现了明显的脑灰白质分界不清，图像质量较SENSE技术组有较大下降。

### 3 讨论

MRI扫描时间主要受K空间采样数据点的数目受影响，其中尤其以相位编码数影响为主。并行采集技术与压缩感知技术都是基于减少相位方向编码数的加速技术。SENSE技术已在临床扫描中得到了广泛的应用，其原理是通过K空间相对规律欠采样的方式来实现扫描速度的提升，再利用线圈敏感度信息恢复完整图像。但SENSE技术当加速因子过高时会出行并行采集伪影降低图像质量，因此限制了扫描速度的进一步提升。CS技术在2007年由Lusting等应用于MRI成像，CS技术利用图像结果内在稀疏性和欠采样K空间数据重建获得接近全采样的图像质量<sup>[4]</sup>，从而缩短了扫描速度。国内外已有大量的学者研究将CS技术用于骨关节成像<sup>[5]</sup>、颅脑3D结构像<sup>[6]</sup>、磁敏感加权成像<sup>[7]</sup>、3D血管成像等<sup>[8]</sup>，发现在提高图像质量、缩短检查时间方面有较好效果。

本文主要对比颅脑2D T1WI和T2WI加权序列，分别使用SENSE技术和CS技术进行加速。CS组使用了更大的加速因子，T2WI-CS较T2WI-SENSE时间缩短25.9%，T1WI-CS较T2WI-SENSE时间缩短21.5%。对比两组图像质量发现T2WI序列，CS组灰质SNR、白质SNR以及灰白质CNR均优于SENSE组，差异有统计学意义；主观评分方向CS组26例患者均为5分；SENSE组25例为5分，一例为1分，差异没有统计学意义。上述数据表明了CS组扫描速度更快的情况下，图像质量更优。T1WI序列，发现仅有白质SNR方面，CS组优于SENSE组。而灰质SNR和灰白质CNR，两组间均无统计学差异。主观评分方面，SENSE组24例为5分，2例为4分；CS组17例为5分，7例为4分，2例为3分。CS组虽然全部图像为可诊断图像，但整体图像评分低于SENSE组，差异有统计学意义。综上，对于T1WI加权序列，CS组图像质量差于SENSE组。

在主观评分中发现，T1WI序列CS组图像出现了“蒙蜡样”改变，整体图像肉眼对比下降，灰白质边界相较模糊，导致了主观评分的下降。考虑原因主要是由于CS技术原理所致，实现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T2WI序列相较于T1WI序列稀疏程度更高。因此我们在此研究中发现T2WI序列CS加速效果优于SENSE组，而T1WI组SENSE组图像质量优于CS组，可能与此相关。

本研究尚存在很多不足，其一是纳入病例相对较少，且均为颅内无明显疾病的患者，下一步研究应增加纳入患者数，且增加有颅脑病变的患者研究SENSE组和CS组对于病变检出率和病变对比间有无差异；其二是只对比了CS和SENSE两种加速技术之间的差异，未对CS技术下的不同重建参数进行研究且未对比不同加速因子对CS图像的影响，不知更改重建参数后CS技术能否改善T1WI序列图像质量，这也是之后研究的重点方向。

综上所述，对于颅脑2D序列扫描，T2WI序列可使用CS技术进行加速可以获得更好的图像质量；T1WI序列仍是SENSE技术加速图像质量更优。

### 参考文献

- [1] 谭丽梅, 陈峙, 陈世稳, 等. 并行采集技术在颅脑扫描中的应用[J]. 医学信息, 2013(11).
- [2] 朱嘉, 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).
- [3] 李烁, 王效春. 压缩感知磁共振成像技术的临床应用进展[J]. 磁共振成像, 2023, 14(12): 198-202.
- [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] 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).
- [6] 李贝贝, 张浩南, 方鑫, 等. 不同压缩感知加速因子对头部3D-T1WI成像质量及基于体素的形态测量定量参数的影响[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(11).
- [7] 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).
- [8] 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).

(收稿日期: 2024-06-14)

(校对编辑: 韩敏求)