

Impacts of compressed sensing acceleration factors on imaging quality of head 3D-T1WI and voxel-based morphometry quantitative parameters

LI Beibei, ZHANG Haonan, FANG Xin, HU Shuai, MIAO Yanwei,
SONG Qingwei, PU Renwang, LIU Yijun*

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of
Dalian Medical University, Dalian 116011, China)

[Abstract] **Objective** To observe the impacts of different compressed sensing (CS) acceleration factors on imaging quality of head 3D-T1WI and quantitative parameters of voxel-based morphometry (VBM), and to screen the optimal CS acceleration factor. **Methods** Head 3D-T1WI of 25 healthy volunteers were collected with sensitivity encoding (SENSE) technology using 3 as phase acceleration factor and 4, 6, 8, and 10 of CS technology with different acceleration factors, including 3D-T1WI_{SENSE3}, 3D-T1WI_{CS4}, 3D-T1WI_{CS6}, 3D-T1WI_{CS8} 及 3D-T1WI_{CS10}. The signal intensity (SI) and standard deviation (SD) of bilateral caudate nucleus gray matter and white matter of genu, splenium corpus callosum and parietal lobe were measured, then SNR and CNR of images were calculated, and subjective image score was evaluated. The total intracranial volume (TIV), gray matter volume (GMV), white matter volume (WMV) and cerebrospinal fluid volume (CSFV) were obtained with VBM based on 3D-T1WI, and the image signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), subjective score and VBM quantitative parameters were compared. **Results** There were statistical differences of SNR, CNR and subjective scores among 3D-T1WI (all $P < 0.05$). Paired comparison showed that there was no significant difference of image SNR and CNR of 3D-T1WI_{CS6} and 3D-T1WI_{SENSE3} (all $P > 0.05$), nor of subjective scores of 3D-T1WI_{CS4}, 3D-T1WI_{CS6} and 3D-T1WI_{SENSE3} (all $P > 0.05$), while significant differences of image SNR, CNR and subjective scores were found among the rest 3D-T1WIs (all $P < 0.05$). There was no significant difference of TIV, GMV, WMV nor CSFV values of VBM quantitative parameters based on 3D-T1WI (all $P > 0.05$). **Conclusion** Acquisition of head 3D-T1WI with CS could shorten scanning time without affecting VBM results and imaging quality, and CS6 was the optimal acceleration factor.

[Keywords] brain; magnetic resonance imaging; compressed sensing; voxel-based morphometry

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2022.11.031

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

李贝贝, 张浩南, 方 鑫, 胡 帅, 苗延巍, 宋清伟, 浦仁旺, 刘义军*

(大连医科大学附属第一医院放射科, 辽宁 大连 116011)

[摘要] **目的** 观察不同压缩感知(CS)加速因子对头部 3D-T1WI 及基于体素的形态测量(VBM)定量参数的影响, 筛选 CS 最佳加速因子。 **方法** 对 25 名成人健康志愿者分别以敏感性编码(SENSE)技术(相位加速因子为 3)和不同加速

[第一作者] 李贝贝(1998—), 女, 安徽亳州人, 在读硕士。研究方向: 医学影像技术。E-mail: 2865951193@qq.com

[通信作者] 刘义军, 大连医科大学附属第一医院放射科, 116011。E-mail: yijunliu@126.com

[收稿日期] 2022-05-13 [修回日期] 2022-06-27

因子(4、6、8、10)CS 技术采集头部 3D-T1WI,测量 3D-T1WI_{SENSE3}、3D-T1WI_{CS4}、3D-T1WI_{CS6}、3D-T1WI_{CS8}及 3D-T1WI_{CS10}中的双侧尾状核灰质及胼胝体膝、压部和颅脑顶部白质信号强度(SI)及标准差(SD),计算图像信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR),对图像质量进行主观评分;并行 VBM,获得全脑体积(TIV)、灰质体积(GMV)、白质体积(WMV)及脑脊液体积(CSFV),比较各 3D-T1WI 的 SNR、CNR、主观评分及 VBM 定量参数的差异。**结果** 不同 3D-T1WI 的 SNR、CNR 及主观评分差异均有统计学意义(P 均 <0.05);两两比较,3D-T1WI_{CS6}与 3D-T1WI_{SENSE3}的 SNR、CNR,3D-T1WI_{CS4}及 3D-T1WI_{CS6}与 3D-T1WI_{SENSE3}主观评分差异均无统计学意义(P 均 >0.05),其余图像的 SNR、CNR 及主观评分差异均有统计学意义(P 均 <0.05)。基于各 3D-T1WI 的 VBM 定量参数 TIV、GMV、WMV 及 CSFV 差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。**结论** 以 CS 技术采集头部 3D-T1WI 可在保证成像质量且不影响 VBM 结果的前提下缩短扫描时间;CS6 为最佳加速因子。

【关键词】 脑;磁共振成像;压缩感知;基于体素的形态测量

【中图分类号】 R322.81; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-3289(2022)11-1730-05

3D-T1WI 可显示颅脑细微解剖结构,有助于检出微小病灶^[1];结合基于体素的形态测量(voxel-based morphometry, VBM),能在体素水平显示全脑结构,检测灰、白质结构细微改变^[2],但扫描时间较长、噪声大,使其临床应用受限。以压缩感知(compressed sensing, CS)技术^[3]结合非线性重建算法,可利用较少的采样数据重建原始信号,在保证图像质量的前提下显著缩短扫描时间。本研究观察不同 CS 加速因子对头部 3D-T1WI 成像质量及 VBM 分析结果的影响,并以满足临床诊断要求及精确 VBM 结果为前提,筛选 CS 最佳加速因子。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2022 年 4 月—6 月对大连医科大学附属第一医院 25 名无 MR 检查禁忌证的健康成年志愿者行头部 MR 扫描,其中男 16 名、女 9 名,年龄 20~75 岁,中位年龄 24.0 岁。本研究经医院伦理委员会批准(批准号: PJ-KS-KY-2021-121),检查前受试者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Ingenia CX 3.0T MR 扫描仪、32 通道头部线圈采集头部 MRI。分别以常规敏感性编码(sensitivity encoding, SENSE)技术(相位加速因子 3)及 CS 技术(加速因子为 4、6、8、10)采集头部矢状位 3D 快速梯度回波 T1WI, TR 8.1 ms, TE 3.7 ms, FA 8°, 层厚 1 mm, 层间距 1 mm, FOV 180 mm×219 mm×180 mm, 体素 1 mm×1 mm×1 mm, NEX 1, 矩阵 180×199×180, 获得 3D-T1WI_{SENSE3} 和 3D-T1WI_{CS4}、3D-T1WI_{CS6}、3D-T1WI_{CS8} 及 3D-T1WI_{CS10}, 扫描时间分别为 380、280、181、136 及 109 s。

1.3 图像质量分析

1.3.1 客观评价 将图像导入 Philips 后处理工作站(IntelliSpace Portal, ISP)行轴位及冠状位重建,分别

于轴位图像同层面双侧尾状核灰质及胼胝体膝、压部和颅脑顶部白质信号均匀处放置面积 20~30 mm² 的圆形 ROI, 测量其信号强度(signal intensity, SI)及标准差(standard deviation, SD), 连续测量 3 层, 取平均值, 将胼胝体白质 SI 记作 SI_{WM}, 尾状核灰质 SI 记作 SI_{GM}; 以颅脑顶部白质 SD 为噪声信号强度(noise signal intensity, NSI), 计算图像信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR): $SNR = SI_{WM} / NSI$; $CNR = (SI_{WM} - SI_{GM}) / NSI$ 。

1.3.2 主观评价 由 2 名具有 5 年以上头部影像学诊断经验的副主任医师以盲法采用 5 分法^[4]进行主观评价: 1 分, 灰、白质完全显示不清, 脑沟、脑回边缘难以分辨, 伪影及噪声极明显, 细节无法辨认, 无法诊断; 2 分, 灰、白质显示不清, 脑沟、脑回边界模糊, 伪影明显, 噪声较大, 细节较难辨认, 无法诊断; 3 分, 灰、白质显示较清晰, 脑沟、脑回边界尚锐利, 图像略有伪影, 噪声一般, 大部分细节可辨认, 能满足诊断需求, 极少数图像无法评价; 4 分, 灰、白质显示较清晰, 脑沟、脑回边界较锐利, 无伪影, 噪声较小, 图像均能评价; 5 分, 灰、白质及细节显示清晰, 脑沟、脑回边界锐利, 无伪影及噪声, 解剖结构形态清楚, 能准确评价。

1.4 VBM 分析 采用 MRICron 软件(<https://people.cas.sc.edu/rorden/mricron/dcm2nii.html>) dcm2nii 工具将图像由 DICOM 格式转换为 NIfTI 格式。于 Matlab R2018b 平台上采用统计参数图软件包(statistical parametric mapping software, SPM12)(<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>)中的计算解剖学工具箱(computational anatomy toolbox, CAT12)(<http://dbm.neuro.uni-jena.de/cat12/>)对图像进行预处理^[5]: ①以胼胝体前后联合为原点, 行手动 AC 校正; ②以蒙特利尔神经研究所(Montreal neurological institute, MNI)为标准模板进行配准; ③校

正偏置场;④设置体素重采样大小为 1.5 mm^3 ;⑤将平滑参数半高全宽设置为 8 mm ;⑥检查图像质量。之后进行 VBM 分析,获得全脑体积(total intracranial volume, TIV)、灰质体积(gray matter volume, GMV)、白质体积(white matter volume, WMV)及脑脊液体积(cerebrospinal fluid volume, CSFV)。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 24.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,以中位数(上下四分位数)表示不符合者,组间比较采用单因素方差分析(两两比较采用 LSD- t 法)或 Friedman 检验。以 Kappa 检验分析 2 名观察者图像质量主观评分结果的一致性: $\text{Kappa} \leq 0.20$ 为一致性极差, $0.20 < \text{Kappa} \leq 0.40$ 为一致性较差, $0.40 < \text{Kappa} \leq 0.60$ 为一致性一般, $0.60 < \text{Kappa} \leq 0.80$ 为一致性较好, $0.80 < \text{Kappa} \leq 1.00$ 为一致性好。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量

2.1.1 客观评价 3D-T1WI_{SENSE3}、3D-T1WI_{CS4}、3D-T1WI_{CS6}、3D-T1WI_{CS8} 及 3D-T1WI_{CS10} 的 SNR 和 CNR 总体差异均有统计学意义(P 均 < 0.001 , 表 1)。3D-T1WI_{CS4} 的 SNR、CNR 均高于 3D-T1WI_{SENSE3} (P 均 < 0.05), 3D-T1WI_{CS6} 与 3D-T1WI_{SENSE3} 的 SNR、CNR 差异均无统计学意义(P 均 > 0.05), 3D-T1WI_{CS8}、3D-T1WI_{CS10} 的 SNR、CNR 均较 3D-T1WI_{SENSE3} 降低(P 均 < 0.05); CS 图像中, SNR 及 CNR 随加速因子增加而降低(P 均 < 0.05)。见表 1。

2.1.2 主观评价 2 名观察者对 3D-T1WI_{SENSE3}、3D-T1WI_{CS4}、3D-T1WI_{CS6}、3D-T1WI_{CS8} 及 3D-T1WI_{CS10} 的主观评分的一致性较好 ($\text{Kappa} = 0.684、0.719、0.687、0.800、0.734$, P 均 < 0.05), 故对其中 1 名观察者的评估结果进行分析; 5 组图像主观评分总体差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 两两比较, 3D-T1WI_{CS4} 及 3D-T1WI_{CS6} 的主观评分与 3D-T1WI_{SENSE3} 差异无统计学意义 (P 均 > 0.05), 3D-T1WI_{CS8} 及 3D-T1WI_{CS10} 的主观评分均低于 3D-T1WI_{SENSE3} (P

均 < 0.05), CS 图像的主观评分结果随加速因子增加而降低(P 均 < 0.05)。见表 1。

2.2 VBM 分析 不同 3D-T1WI 的 TIV、GMV、WMV 及 CSFV 差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 见表 2 及图 1。

3 讨论

基于 3D-T1WI 的 VBM 能在体素水平分析脑解剖学结构, 对诊断及鉴别诊断精神分裂症、终末期肾病、帕金森病和早期阿尔兹海默病等具有较高临床价值^[6-8]。3D-T1WI 多采用容积激发采集, 且至少有两个方向的相位编码, 扫描时间较长, 可致老年人、婴幼儿及认知功能障碍、意识障碍等患者难以配合完成检查; 提高扫描速度有利于临床广泛开展 VBM。

利用 CS 技术能在保证成像质量的前提下缩短扫描时间。针对不同检查部位及不同扫描序列^[9-10], 所用 CS 加速因子不一; 且提高加速因子虽可明显缩短扫描时间, 但可致图像 SNR 显著下降, 使得如何适当选择 CS 加速因子称为临床 MR 检查中受到重点关注的问题^[11], 而在头部 3D-T1WI 中, 还需在满足诊断要求的同时不影响 VBM 参数。

临床多以相位加速因子为 3 的常规 SENSE^[12] 技术采集 3D-T1WI。本研究采用不同加速因子 CS 技术(加速因子为 4、6、8、10)采集 3D-T1WI, 发现随加速因

表 1 各 3D-T1WI 成像质量客观评价和主观评分结果比较($n=25$)

图像	客观评价结果		主观评分结果(分)
	SNR	CNR	
3D-T1WI _{SENSE3}	46.73 $\pm$ 1.33	21.10 $\pm$ 0.61	4.00(4.00, 5.00)
3D-T1WI _{CS4}	56.00 $\pm$ 1.48*	25.20 $\pm$ 0.88*	5.00(4.50, 5.00)
3D-T1WI _{CS6}	46.59 $\pm$ 1.26 [#]	21.56 $\pm$ 0.80 [#]	5.00(4.00, 5.00) [#]
3D-T1WI _{CS8}	40.20 $\pm$ 1.31* [▲]	17.45 $\pm$ 0.45* [▲]	4.00(3.00, 4.00)* [▲]
3D-T1WI _{CS10}	36.40 $\pm$ 1.43* ^{▲★}	15.67 $\pm$ 0.52* ^{▲★}	3.00(2.00, 3.00)* ^{▲★}
F/χ^2 值	72.020	47.060	86.840
P 值	< 0.001	< 0.001	< 0.001

注: * : 与 3D-T1WI_{SENSE3} 比较 $P < 0.05$; # : 与 3D-T1WI_{CS4} 比较 $P < 0.05$; ▲ : 与 3D-T1WI_{CS6} 比较 $P < 0.05$; ★ : 与 3D-T1WI_{CS8} 比较 $P < 0.05$

表 2 基于不同 3D-T1WI 的 VBM 分析结果比较(cm^3 , $n=25$)

图像	TIV	GMV	WMV	CSFV
3D-T1WI _{SENSE3}	1451.24 $\pm$ 28.64	643.16 $\pm$ 15.92	516.88 $\pm$ 11.42	291.20 $\pm$ 13.41
3D-T1WI _{CS4}	1453.50 $\pm$ 27.87	650.48 $\pm$ 16.12	514.28 $\pm$ 11.35	288.50 $\pm$ 12.84
3D-T1WI _{CS6}	1455.45 $\pm$ 28.30	644.32 $\pm$ 16.09	516.16 $\pm$ 11.42	295.17 $\pm$ 13.36
3D-T1WI _{CS8}	1459.38 $\pm$ 29.16	642.16 $\pm$ 15.89	514.04 $\pm$ 11.52	299.30 $\pm$ 12.82
3D-T1WI _{CS10}	1463.07 $\pm$ 28.46	638.52 $\pm$ 15.58	520.72 $\pm$ 11.76	303.83 $\pm$ 12.58
F 值	0.027	0.075	0.055	0.224
P 值	0.999	0.990	0.994	0.925

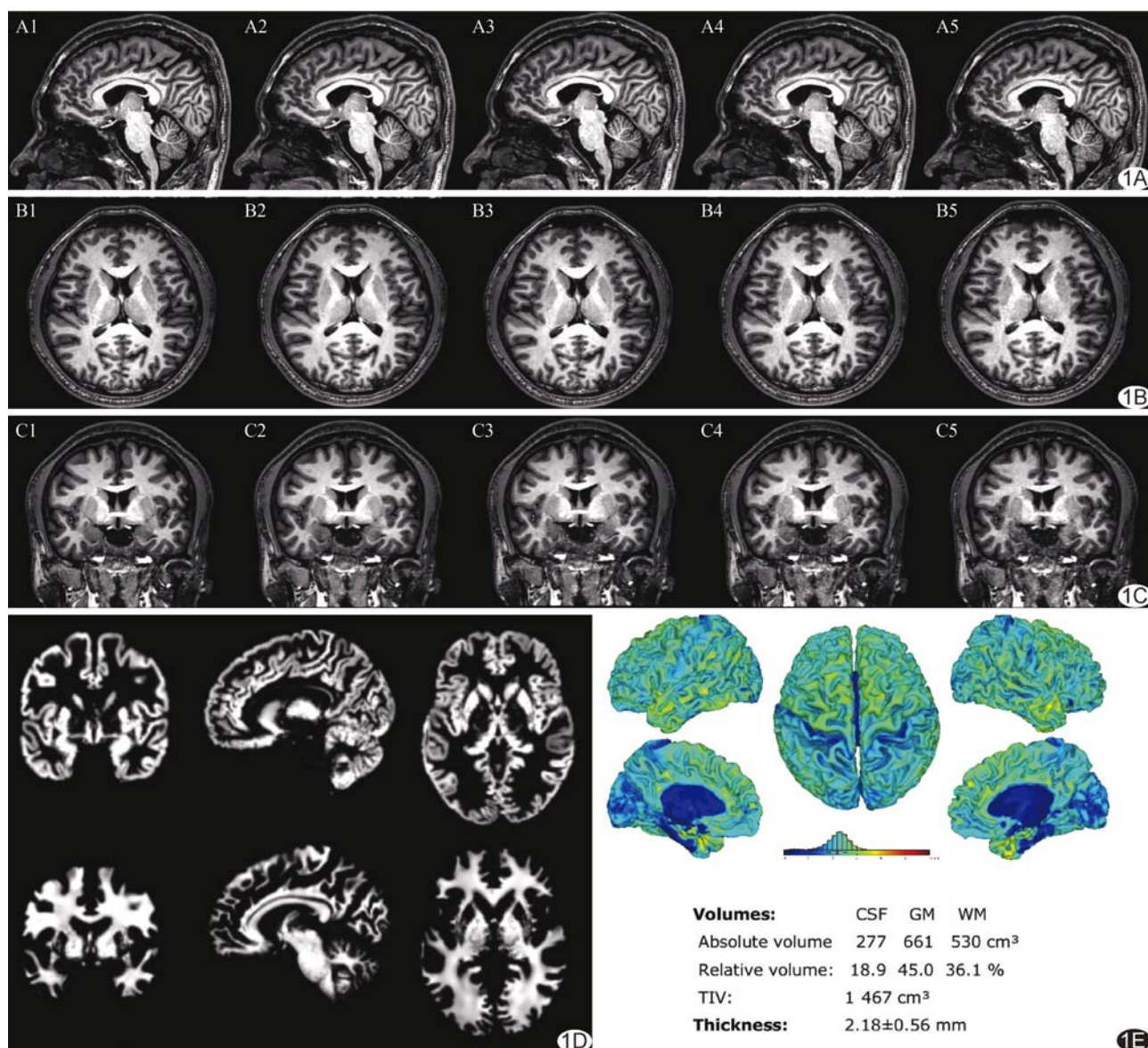


图1 受检者男, 32岁, A(A1~A5)、B(B1~B5)及C(C1~C5)分别为头部矢状位、轴位、冠状位同层面 3D-T1WI_{SENSE3}、3D-T1WI_{CS4}、3D-T1WI_{CS6}、3D-T1WI_{CS8}及3D-T1WI_{CS10}; D、E. 基于3D-T1WI_{SENSE3}的VBM分析

子增加, 图像 SNR、CNR 及主观评分逐渐降低; 相比 3D-T1WI_{SENSE3}, 3D-T1WI_{CS4} 客观评价更佳, 且扫描时间缩短为 280 s; 3D-T1WI_{CS6} 客观评价及主观评分结果与 3D-T1WI_{SENSE3} 差异无统计学意义, 而扫描时间缩短为 181 s; 3D-T1WI_{CS8} 和 3D-T1WI_{CS10} 的客观评价及主观评分均低于 3D-T1WI_{SENSE3}, 诊断性能差, 可能导致漏诊小病灶。以上结果表明, CS 技术虽可缩短扫描时间, 但其基于采样数据稀疏和非线性重建特性可影响图像的对比度及空间分辨力, 故应针对具体部位及序列适当选择 CS 加速因子。

本研究基于上述不同 3D-T1WI 进行 VBM 分析, TIV、GMV、WMV 及 CSFV 差异均无统计学意

义, 表明图像 SNR 虽随 CS 加速因子增加而降低, 但对其 VBM 分析结果的影响并不显著^[13-14]; 利用 CS 技术采集 3D-T1WI 时, CS6 为最佳加速因子, 可在同时满足成像质量和 VBM 精准测量的前提下提高扫描速度。

综上所述, 采集头部 3D-T1WI 时, 应用 CS6 能在保证图像质量且不影响 VBM 结果的前提下缩短扫描时间; CS6 为最佳加速因子。本研究的主要局限性: ①仅以可重复性较好的 CAT-12 软件行 VBM 分析, 缺乏相应对比; ②样本量少, 且均为健康志愿者, 有待后续纳入中枢神经系统疾病患者, 针对特定脑结构进一步深入观察。

[参考文献]

- [1] RYU K H, BAEK H J, SKARE S, et al. Clinical feasibility of ultrafast contrast-enhanced T1-weighted 3D-EPI for evaluating intracranial enhancing lesions in oncology patients: Comparison with standard 3D MPRAGE sequence [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2022, 43(2):195-201.
- [2] SAARINEN A I L, HUHTANISKA S, PUDAS J, et al. Structural and functional alterations in the brain gray matter among first-degree relatives of schizophrenia patients: A multimodal meta-analysis of fMRI and VBM studies [J]. Schizophr Res, 2020, 216:14-23.
- [3] 王学东, 刘爱连, 张钦和, 等. 压缩感知技术对 3D mDIXON Quant 定量分析肝脏脂肪的影响[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(11): 1662-1666.
- [4] SARTORETTI E, SARTORETTI-SCHEFER S, van SMOORENBURG L, et al. Contrast-enhanced T1-weighted head and neck MRI: Prospective intraindividual image quality comparison of spiral GRE, cartesian GRE, and cartesian TSE sequences[J]. AJR Am J Roentgenol, 2022, 218(1):132-139.
- [5] 赵秋月, 杜鑫, 张杨, 等. 中老年人 2 型糖尿病遗传风险与脑灰质体积的关联研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2022, 33(1):1-6.
- [6] 邹文锦, 李日鹏, 黄建伟, 等. 基于体素形态学脑灰质体积改变及静息态比率低频振幅分析首发精神分裂症青年患者[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(12):1782-1786.
- [7] 贾秀琴, 高帅, 张卫国, 等. 中国人群帕金森病患者灰质萎缩: 采用中国人脑图谱 Chinese2020 的基于体素的形态学研究[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(1):4-8.
- [8] 俞元临, 肖泽彬, 张桦, 等. 阿尔茨海默病及轻度认知障碍所致脑灰质体积及脑功能改变[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(2): 200-205.
- [9] FENG L, BENKERT T, BLOCK K T, et al. Compressed sensing for body MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(4): 966-987.
- [10] 杨婧, 苗延巍, 高冰冰, 等. 不同加速因子压缩感知技术对大脑磁敏感加权成像质量及核团相位值的影响[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(2):286-290.
- [11] 王诗瑜, 刘爱连, 王家正, 等. 压缩感知不同加速因子对肝脏 3D-mDixon 序列成像质量的影响[J]. 放射学实践, 2020, 35(12): 1605-1609.
- [12] 张浩南, 宋清伟, 张楠, 等. 基于压缩感知技术的快速自旋回波扩散加权成像在颅底成像中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(2):340-345.
- [13] GOTO M, KARIMA R, HAGIWARA A, et al. Measured volumes using segmented tissue probability data obtained using statistical parametric mapping 12 were not influenced by the contrasts of analyzed images[J]. J Clin Neurosci, 2020, 74: 69-75.
- [14] 马媛媛, 李彦, 张雪坤, 等. 基于 T1W-3D 序列探讨光梭成像技术的临床应用价值[J]. 磁共振成像, 2021, 12(11):52-56.

消 息

《中国医学影像技术》作者投稿请登录本刊网站(www.cjmit.com)主页, 点击左上角“作者登录”进入, 第一次投稿需完成作者注册; 专家审稿请点击“审稿登录”进入。

为了便于广大作者、读者查阅本刊文献, 本站提供从 1985 年创刊起所有期刊的全文检索。