

论 著

高清弥散Resolve序列对头颅磁共振检查图像质量的影响研究\*

匡海山<sup>1,\*</sup> 杨雄杰<sup>2</sup> 乐剑平<sup>1</sup>  
施 培<sup>1</sup> 程广金<sup>1</sup>

1.芜湖市中医医院医学影像科  
2.芜湖市中医医院神经内科  
(安徽 芜湖 241000)

【摘要】目的 探讨高清弥散多次激发弥散加权成像(Resolve)序列对头颅磁共振检查(MRI)图像质量的影响。方法 以本院收治行头颅检查患者80例为研究对象作回顾性研究,均接受头颅MRI及弥散加权成像(DWI)检查,DWI扫描采用单次激发平面回波(SS-EPI)及Resolve序列,比较SS-EPI、Resolve序列的图像质量。结果 相比于SS-EPI-DWI序列,Resolve序列所获图像质量主观指标中伪影、图像变形程度、病灶清晰度、病灶周围结构清晰及总体得分均更高(P<0.05);与SS-EPI-DWI序列相比,除ADC外,Resolve序列所获图像质量客观指标中SNR、RR及CR均更高(P<0.05)。结论 在头颅磁共振检查中,应用高清弥散Resolve序列进行DWI检查所获图像质量较好,具有较佳临床应用价值。

【关键词】头颅;MRI;高清弥散;Resolve序列  
【中图分类号】R445.2  
【文献标识码】A  
【基金项目】安徽省高等学校科学研究项目(自然科学类)(2022AH040329)  
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.014

Study on the Effect of High-resolution Diffuse Resolve Sequence on the Image Quality of Skull Magnetic Resonance Examination\*

KUANG Hai-shan<sup>1,\*</sup>, YANG Xiong-jie<sup>2</sup>, YUE Jian-ping<sup>1</sup>, SHI Pei<sup>1</sup>, CHENG Guang-jin<sup>1</sup>.  
1.Department of Medical Imaging, Wuhu Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhu 241000, Anhui Province, China  
2.Department of Neurology,Wuhu Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhu 241000, Anhui Province, China

**ABSTRACT**  
**Objective** To investigate the effect of high-resolution diffusion multiple excitation diffusion weighted imaging (Resolve) sequence on the image quality of skull magnetic resonance imaging (MRI). **Methods** A retrospective study was conducted on 80 patients who underwent head examination in our hospital. All of them were examined by head MRI and diffuse-weighted imaging (DWI). The DWI scans were performed using single excitation plane echo (SS-EPI) and Resolve sequence, and the image quality of SS-EPI and Resolve sequences was compared. **Results** Compared with SS-EPI-DWI sequence, artifacts, degree of deformation, focus clarity, clarity of surrounding structures and overall scores of Resolve sequence were higher (P<0.05). Compared with SS-EPI-DWI sequence, SNR, RR and CR of Resolve sequence were higher than those of ADC (P<0.05). **Conclusion** The quality of the image obtained by DWI with high-resolution Resolve sequence is good and has good clinical application value.  
**Keywords:** Skull; MRI; Hd Dispersion; Resolve Sequence

凭借无电离辐射及高分辨率特性,磁共振成像(MRI)已成为颅脑疾病诊断重要检查方式<sup>[1]</sup>。随MRI技术革新,MRI成像及序列日益完善,扩散加权成像(DWI)可弥补常规MRI成像(T2W1、T1W1、T2FLAIR等)无法反映水分子扩散运动的不足,且自90年代末应用于临床以来,技术日趋成熟,已成为MRI检查不可或缺的一环,通过结合常规MRI影像表现,可显著提高颅脑疾病尤其是急性脑梗死的检查率及定性诊断准确率<sup>[2]</sup>。目前,DWI序列通常采用单次激发平面回波(SS-EPI),可在单个重复时间内获得图像的全部信息,成像速度较快,但受相位编码方向上采集时间相对长、空间分辨率低限制,较易出现伪影及模糊效应,难以保证高质量图像<sup>[3-4]</sup>。而图像质量的好坏直接关系到颅内疾病的正确诊断及治疗决策,为有效解决这一问题,相关学者推出一种优化序列,即高清弥散多次激发弥散加权成像(Resolve),通过在SS-EPI读出方向实施分段采样,且应用全面自动校准部分并行采集技术,采样时间有所缩短,一定程度上有助于提升图像质量<sup>[5]</sup>。基于此,本文旨在探讨Resolve序列对头颅MRI图像质量的影响,以期明确其确切临床应用价值,作报道如下。

1 资料与方法  
1.1 一般资料 回顾性研究,以本院收治行头颅检查患者80例为研究对象。

纳入标准:年龄20~90岁;符合MRI、DWI检查指征;患者及家属对研究知情同意;排除标注:伴有严重系统疾病;幽闭恐惧症;临床资料缺失。其中,男44例,女36例;年龄28~89岁,平均(67.89±11.50)岁;体重42~89kg,平均(68.84±9.60)kg;疾病及症状类型:脑卒中48例、眩晕证23例、风湿性关节炎1例、慢性心功能不全1例、高血压2例、面神经麻痹2例及头痛3例。本研究获经医院伦理委员会审核执行。

1.2 检查方法 全部患者均接受头颅MRI及DWI,仪器选择 MAGENTON Avanto 1.5T超导MRI系统(德国Siemens公司)及适配8通道头颈线圈,行轴位T2W1、T1W1、T2FLAIR、SS-EPI-DWI及Resolve-DWI序列扫描,具体参数见表1。均完成b=0及1000s/mm<sup>2</sup>值的图像重建。

表1 不同序列参数设置

| 参数                       | T2W1    | T1W1    | T2FLAIR | SS-EPI-DWI | Resolve-DWI |
|--------------------------|---------|---------|---------|------------|-------------|
| 重复时间(TR)(ms)             | 2730    | 326     | 3200    | 3320       | 3320        |
| 回波时间(TE)(ms)             | 93      | 8.7     | 92      | 80         | 80或129      |
| 视野(FOV)(mm)              | 220×220 | 220×220 | 220×220 | 220×220    | 220×220     |
| 层厚(mm)                   | 5       | 5       | 5       | 5          | 5           |
| 间距(mm)                   | 1       | 1       | 1       | 1          | 1           |
| 扫描时间(s)                  | 56s     | 76s     | 60s     | 60s        | 120s        |
| 弥散b值(s/mm <sup>2</sup> ) | /       | /       | /       | 0,1000     | 0,1000      |

【第一作者】匡海山,男,主管技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: 17856698791@163.com  
【通讯作者】匡海山

**1.3 观察指标** 观察SS-EPI、Resolve序列的图像质量，从主观指标及客观指标2方面综合评估，主观指标即评估DWI图像质量，具体包括伪影、图像变形程度、病灶清晰度、病灶周围结构清晰度4方面，采用Likert 5级评分法，并计算总体得分，公式为伪影+图像变形程度+病灶清晰度+病灶周围结构清晰度/4，评估由2名工作年限(9年、13年)影像医师在双盲下进行评估，若意见相左，会同第3名医师商讨统一意见；客观指标主要包括信噪比(SNR)、表观弥散系数(ADC)、相对分辨率(RR)及对比分辨率(CR)，均在MAGENTON Avanto 1.5T后处理工作站Syngo MR上进行测量。

**1.4 统计学处理** 采用SPSS 22.0软件，计量资料以“ $\bar{x} \pm s$ ”表示，行t检验，若 $P < 0.05$ ，差异有统计学意义。

**2 结 果**

**2.1 SS-EPI、Resolve序列相同层面图像比较** 相同层面下，SS-EPI序列病灶周围结构不够清晰，辨认相对困难，见图1A-图1B；Resolve序列图像病灶形态与周围结构显示良好，易于辨认，无变性、无伪影，清晰度良好，见图1C-1D。

**2.2 SS-EPI、Resolve序列图像质量主观指标比较** 相比于SS-EPI-DWI序列，Resolve序列所获图像质量主观指标中伪影、图像变形程度、病灶清晰度、病灶周围结构清晰及总体得分均更高( $P < 0.05$ )，见表2。

**2.3 SS-EPI、Resolve序列图像质量客观指标比较** 与SS-EPI-DWI序列相比，除ADC外，Resolve序列所获图像质量客观指标中SNR、RR及CR均更高( $P < 0.05$ )，见表3。

表2 SS-EPI、Resolve序列图像质量主观指标比较(分)

| 参数                | 伪影        | 图像变形程度    | 病灶清晰度     | 病灶周围结构清晰度 | 总体        |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SS-EPI-DWI(n=80)  | 3.14±0.78 | 3.02±0.83 | 3.07±0.64 | 3.10±0.67 | 3.05±0.79 |
| Resolve-DWI(n=80) | 4.08±0.52 | 3.96±0.61 | 4.01±0.54 | 4.03±0.49 | 4.02±0.53 |
| t                 | 8.969     | 8.162     | 10.040    | 10.021    | 9.120     |
| P                 | <0.001    | <0.001    | <0.001    | <0.001    | <0.001    |

表3 SS-EPI、Resolve序列图像质量客观指标比较

| 参数                | SNR          | ADC( $\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ) | RR          | CR        |
|-------------------|--------------|----------------------------------------------|-------------|-----------|
| SS-EPI-DWI(n=80)  | 62.36±13.74  | 0.562±0.029                                  | 40.27±10.31 | 1.17±0.32 |
| Resolve-DWI(n=80) | 110.37±20.75 | 0.558±0.041                                  | 65.81±16.28 | 1.48±0.39 |
| t                 | 17.255       | 0.712                                        | 3.429       | 5.496     |
| P                 | <0.001       | 0.477                                        | 0.001       | <0.001    |

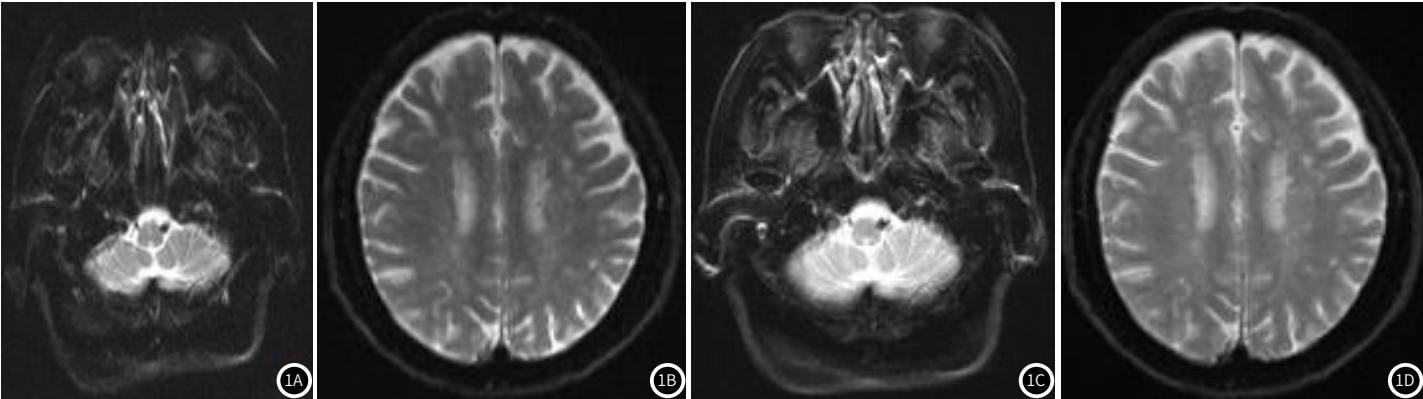


图1A-图1D 不同序列相同层面头颅成像，1A-1B 头颅SS-EPI序列成像；1C-1D 头颅Resolve序列成像。

**3 讨 论**

目前，无创性的DWI是检测活体组织内水分子扩散运动的唯一方法。通常来说，当机体水分子弥散正常时，DWI影像多为等信号改变，若机体水分子弥散受限时，DWI影像则多为异常高信

号改变。可为常规MRI检查颅脑疾病时提供缺血严重程度及范围等重要信息，在诊断卒中<sup>[6]</sup>、脑脓肿<sup>[7]</sup>、囊肿<sup>[8]</sup>、脑炎<sup>[9]</sup>、脑肿瘤<sup>[10-11]</sup>(脑膜瘤、胶质瘤)及脑转移瘤<sup>[12]</sup>均有较高临床应用价值，

且可用于头痛、眩晕及高血压、慢性心力衰竭合并颅脑症状的病因筛查<sup>[13]</sup>。而目前1.5T MRI系统中DWI常用序列为SS-EPI，K空间组成包括相位编码及读出方向2个梯度，可在单个TR时间内对K空间所有数据进行采集，具有较快成像速度，但由于相位编码梯度方向K空间填充时间相对缓慢，不可避免延长采样时间，较易导致重建过程中图像模糊，空间失真，且颅底及组织交界区域磁场均匀性不佳，可导致相位编码梯度方向相位误差累积，可出现图像畸变导致体素增加呈现高信号伪影<sup>[14]</sup>。由此，行颅脑MRI患者接受DWI中SS-EPI序列检查时，可能因图像质量不佳导致疾病诊断的出现偏差。

基于以上原因考虑，相关学者对DWI的SS-EPI序列进行优化改善，提出了一种新的DWI序列，即Resolve。但DWI的Resolve是否有益于颅脑MRI患者图像质量的提高所涉研究不多，有待更多循证研究作进一步证实。由本文结果显示：相比于SS-EPI序列，Resolve序列伪影、图像变形程度、病灶清晰度、病灶周围结构清晰及总体得分均更高。提示颅脑MRI患者应用DWI中Resolve序列检查，经影像医师主观评价的伪影、图像变形程度、病灶清晰度、病灶周围结构清晰等图像质量指标均有明显提高。因存在一定主观性偏倚，本文还监测SNR、ADC、RR及CR等指标进行客观评价。而SNR作为MRI图像中最关键的质控参数，指的是信号强度与背景随机噪声强度的比值，不仅是评价一副图像质量好坏的基础，亦是保证良好对比度及高分辨率的前提，若SNR偏低，检查所获图像会给医师一种模糊的感受，不好进行评估判断。ADC主要反映DWI的信号强度，在不同类型颅脑疾病中变化特征不一。有研究证据指出急性缺血性脑梗死患者从缺血区边缘至梗死中心，ADC值逐步降低，范围 $0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 左右<sup>[15]</sup>。至于RR及CR越高，提示不同组织间的相对信号强度差异越高，图像质量越佳，更利于病变的检出。由本文结果显示：与SS-EPI序列比较，除ADC值外，Resolve序列SNR、RR及CR均更高。由于ADC主要判断颅脑疾病水分子扩散是否首先，在采用SS-EPI、Resolve序列序列进行检查时并不会影响ADC水平。表明在颅脑MRI图像质量客观评价上，应用DWI的Resolve序列检查亦表现出较大优势。故综合主观及客观结果，应用高清弥散Resolve序列进行DWI检查在头颅MRI检查中所获图像质量较好。具体分析原因<sup>[16-18]</sup>：高清弥散Resolve序列采用多次激发分段采集，可缩短采样时间，相应减少了相位误差在相位编码梯度方向的累积，可减少图像畸变导致体素叠加出现的高信号伪影，且回波时间更短，还可减少T2\*的模糊效应，进而提升图像的清晰度。不过，在减少单次采样时间时读出方向梯度分段数增加，可增加总采样时间，由“1.2节”中参数设置中高清弥散Resolve序列扫描时间达120s，较SS-EPI序列扫描时间增加1倍，但仍在临床检查可接受范围内。考虑到采样时间增加会增加受试者自主及不自主运动，高清弥散Resolve序列还兼容并行采样技术、2D导航技术用以避免上述风险发生。此外，增加了导航回波用以相位信息记录，便于在后续重建图像中作进一步校正，图像伪影得以进一步减少。这与相关研究结论一致<sup>[19]</sup>。

综上所述：在头颅MRI检查中，应用高清弥散Resolve序列进行DWI检查所获图像质量较好，具有较佳临床应用价值。但本文存在一定局限：回顾性研究，且样本量较少，研究结论有一定偏倚。

## 参考文献

- [1] 朱杰, 宋彬. 多模态头颅MRI对轻型颅脑损伤的评估价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(10): 14-16.
- [2] 周杰, 王开乐, 张欣. 多模态MRI评估急性缺血性脑梗死侧支循环的临床分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(5): 26-29.
- [3] rfanoglu MO, Sarlls J, Nayak A, et al. Evaluating corrections for Eddy-currents and other EPI distortions in diffusion MRI: methodology and a dataset for benchmarking[J]. Magn Reson Med, 2019, 81(4): 2774-2787.
- [4] 朱光源, 李启锡. 低磁场MRI对早期外伤性小灶性脑出血的诊断价值[J]. 罕少疾病杂志, 2015, 22(6): 12-13.
- [5] Okuchi S, Fushimi Y, Yoshida K, et al. Comparison of TGSE-BLADE DWI, RESOLVE DWI, and SS-EPI DWI in healthy volunteers and patients after cerebral aneurysm clipping[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 17689.
- [6] Liang J, Liu Y, Xu X, et al. Cerebral Perforating artery disease: characteristics on high-resolution magnetic resonance imaging[J]. Clin Neuroradiol, 2019, 29(3): 533-541.
- [7] Siddiqui H, Vakil S, Hassan M. Diagnostic accuracy of echo-planar diffusion-weighted imaging in the diagnosis of intra-cerebral abscess by taking histopathological findings as the gold standard[J]. Cureus, 2019, 11(5): e4677.
- [8] Maekawa T, Hori M, Murata K, et al. Choroid plexus cysts analyzed using diffusion-weighted imaging with short diffusion-time[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 57: 323-327.
- [9] Kamata Y, Shinohara Y, Kuya K, et al. Computed diffusion-weighted imaging for acute pediatric encephalitis/encephalopathy[J]. Acta Radiol, 2019, 60(10): 1341-1347.
- [10] Fages J, Oura TJ, Sutherland-Smith J, et al. Atypical and malignant canine intracranial meningiomas may have lower apparent diffusion coefficient values than benign tumors[J]. Vet Radiol Ultrasound, 2020, 61(1): 40-47.
- [11] 刘晓艳. 扩散加权成像和MRS对病毒性肺炎和脑低级别胶质瘤的鉴别诊断分析[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(1): 17-18.
- [12] Zhong YH, Yang Q, Liu Z, et al. The value of MRI plain scan and DWI in the diagnosis of brain metastases[J]. Zhonghua Zhong Liu Za Zhi, 2021, 43(4): 466-471.
- [13] Lv Y, Zhang Y, Wu J. Diffusion-weighted imaging image combined with transcranial Doppler ultrasound in the diagnosis of patients with cerebral infarction and vertigo[J]. Contrast Media Mol Imaging, 2022, 2022: 5313238.
- [14] 于阳, 李琼阁, 赵澄, 等. 高场强术中磁共振成像高分辨率扩散加权成像在脑肿瘤中的应用研究[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(2): 81-84.
- [15] 齐晓凤, 严福华, 倪根雄. 高分辨率扩散加权成像与常规扩散加权成像在颅脑MRI中的比较研究[J]. 诊断学理论与实践, 2014(4): 408-411.
- [16] Abdulaal OM, MacMahon PJ, Rainford L, et al. Evaluation of image quality of diffusion weighted readout segmentation of long variable echo-trains MR pulse sequence for lumbosacral nerve imaging at 3T[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(1): 196-209.
- [17] Stocker D, Manoliu A, Becker AS, et al. Image quality and geometric distortion of modern diffusion-weighted imaging sequences in magnetic resonance imaging of the prostate[J]. Invest Radiol, 2018, 53(4): 200-206.
- [18] 王丹, 王茹茹, 田卫卫, 等. 颅脑常见弥散受限类疾病MRI特点[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(4): 7-9.
- [19] Ishida G, Oishi M, Morii K, et al. Application of brain diffusion-weighted imaging performed using readout segmentation of long variable echo trains[J]. No Shinkei Geka, 2015, 43(1): 31-40.

(收稿日期: 2024-08-08)

(校对编辑: 翁佳鸿)