

论 著

MSG-EPI序列在非增强冠状动脉MRA中的应用*

朱佳佳¹ 李文婧¹ 卢光明²
金东生¹ 胡秋菊¹ 袁 勇¹
赵艳娥^{1,*}

1.南京医科大学附属老年医院放射科

2.南京大学附属金陵医院放射科

(江苏 南京 210000)

【摘要】目的 比较单次屏气多激发梯度回波平面成像(multishot gradient-echo planar imaging, MSG-EPI) 序列和三维超快平衡场回波(three-dimensional balanced turbo field echo, 3D BTFE) 序列在非增强冠状动脉磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)的差异, 评估MSG-EPI序列的价值。**方法** 回顾性分析2023年6月至12月行冠状动脉MRA的患者资料, 比较MSG-EPI和3D BTFE两种序列的扫描时间、主观图像评分、信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)的组间差异。**结果** MSG-EPI 序列采集时间相较于3D BTFE序列明显缩短(17.1 ± 1.3 s vs 550.3 ± 117.6 s, $P < 0.01$)。3D BTFE序列冠状动脉的主观评分显著高于MSG-EPI序列(P 值均 < 0.05)。SNR中, 3D BTFE序列的LAD中段、LCX近段和远段显著高于MSG-EPI序列(P 值分别为0.014、0.009、0.003), 其余节段没有显著差异($P > 0.05$)。3D BTFE和MSG-EPI序列间冠状动脉各节段的CNR组间差异显著($P < 0.05$)。**结论** MSG-EPI序列具有快速成像的优势, 图像质量满足诊断需求, 在冠状动脉MRA评估中是一个有前景的序列。

【关键词】 冠状动脉; 磁共振成像;
回波平面成像; 图像质量

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 江苏省干部保健科研课题基金
(BJ23017);
南京医科大学科技发展基金
(NMUB20240131)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.025

Application of MSG-EPI Sequence in Non-enhanced Coronary MRA*

ZHU Jia-jia¹, LI Wen-jing¹, LU Guang-ming², JIN Dong-sheng¹, HU Qiu-ju¹, YUAN Yong¹, ZHAO Yan-e^{1,*}

1.Department of Radiology, Geriatric Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

2.Department of Radiology, Jinling Hospital Affiliated to Nanjing University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To compare the differences between multishot gradient-echo planar imaging (MSG-EPI) sequence and three-dimensional balanced turbo field echo (3D BTFE) sequence in non-enhanced coronary artery magnetic resonance angiography (MRA), and evaluate the value of MSG-EPI sequence. **Methods** The data of patients undergoing coronary artery MRA in Geriatric Hospital of Nanjing Medical University from June to December 2023 were retrospectively analyzed. Compared the differences between the MSG-EPI and 3D BTFE sequence in acquisition time, image scores, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR). **Results** The acquisition time of MSG-EPI sequence was significantly shorter than that of 3D BTFE sequence (17.1 ± 1.3 s vs 550.3 ± 117.6 s, $P < 0.01$). The scores of coronary arteries in 3D BTFE sequence were significantly higher than those in MSG-EPI sequence ($P < 0.05$). In 3D BTFE sequence, the SNR of LAD middle segment, LCX proximal and distal segment was significantly higher than that of MSG-EPI sequence (P values were 0.014, 0.009, 0.003, respectively). There were no significant differences in other segments ($P > 0.05$). There were significant differences in CNR of coronary artery segments between 3D BTFE and MSG-EPI sequences ($P < 0.05$). **Conclusion** MSG-EPI sequence has the advantage of rapid imaging and the image quality meets the diagnostic requirements, which is a promising sequence in the evaluation of coronary artery MRA.

Keywords: Coronary Artery; Magnetic Resonance Imaging; Echo-plane Imaging; Image Quality

冠状动脉疾病(coronary artery diseases, CADs)发病率较高, 研究统计显示全世界冠心病患者年病死例数约为700万, 位居单病种死因首位^[1]。因此早期筛查及准确诊断CADs对于疾病风险分层和指导临床管理具有重要意义。冠状动脉CT血管造影(CT angiography, CTA)是目前临床上首选的影像学检查, 在CADs的诊断、疗效评估及预后等方面具有重要作用^[2], 但其具有辐射且需造影剂。非增强冠状动脉磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)与CTA检查相比, 具有无电离辐射且不需使用碘对比剂等优势, 在儿童、孕妇及造影剂过敏的患者中具有优势, 为CADs筛查提供一种新的成像方法。并且冠状动脉CTA可由于血管充盈不佳和斑块钙化出现漏诊及误诊^[3]。冠状动脉MRA可以避免斑块钙化产生的开花伪影, 其评估CADs的价值已得到了广泛证实^[4-6]。

3D超快平衡场回波(Three-dimensional Balanced Turbo Field Echo, 3D BTFE)序列是一种常用的梯度回波技术, 已广泛用于冠状动脉MRA, 在CADs检测的诊断准确度很高^[7-8]。但该序列扫描时间较长, 限制了其临床应用。单次回波平面成像(echo-planar imaging, EPI)是获取MRI的最快方法(100ms/slice), 但其空间分辨率有限, 并且对非共振伪影敏感^[9]。单次屏气多激发梯度平面回波成像(multishot gradient-echo planar imaging, MSG-EPI) 序列是一种全新的快速扫描技术, 结合了梯度回波成像和回波平面成像的优点, 可以在一个射频激励下可获得多个回波^[9-10]。目前有研究对比了MSG-EPI和平衡稳态自由进动(balanced steady-state free precession, b-SSFP) 序列在肾动脉、胸主动脉的图像质量差异, 结果显示MSG-EPI采集时间显著缩短且图像质量优于b-SSFP序列^[11-12]。Iyama Y等^[10]在小样本健康志愿者中探索了单次屏气MSG-EPI序列在非增强冠状动脉MRA的可行性。

本研究的目的是进一步探索单次屏气MSG-EPI序列在非增强冠状动脉MRA的可行性, 比较MSG-EPI序列和3D BTFE序列的图像质量, 并且评估MSG-EPI序列在冠状动脉中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究获得南京医科大学附属老年医院伦理委员会批准(伦理号: 2024第001-1号)。回顾性收集2023年6月至12月于南京医科大学附属老年病医院接受冠状动脉MRA的患者, 共156例患者。

纳入标准: 同时采集MSG-EPI和3D BTFE序列; 无心脏手术史(心脏起搏器植入术后、冠状动脉支架植入或冠状动脉搭桥术后等); 无幽闭恐怖症。共纳入51例患者, 其中有9例患者呼吸配合不佳; 4例患者图像无法进行图像后处理; 2例患者图像扫描不全。最终36例患者入组, 其中男性21例, 女性15例, 年龄范围18-76岁, 平均年龄 51.4 ± 19.0 岁。合并有糖尿病11例, 高血压14例, 高血脂12例, 有吸烟史10例, 存在家族冠心病病史的有7例。

【第一作者】 朱佳佳, 女, 住院医师, 主要研究方向: 影像诊断。E-mail: zhujiatia961114@163.com

【通讯作者】 赵艳娥, 女, 主任医师, 主要研究方向: 影像诊断。E-mail: 15335137@qq.com

1.2 检查方法 在飞利浦3.0T MR扫描仪(Elition, Philips Healthcare, Best, Netherlands)上进行冠状动脉MRA扫描。若患者心率>75次/min,患者检查前需要口服药物β受体阻滞剂,服用剂量为50-100mg,保证患者的心率低于75次/min;所有患者均需要进行呼吸训练。嘱患者仰卧,双手下摆,采用呼吸门控技术采集胸部轴位、冠状位及矢状位定位图像,以实时电影序列获取膈肌运动最低点及运动幅度。

自由呼吸3D BTFE序列采用心电门控触发,具体参数如下:TR/TE=3.1/1.56ms,翻转角=70°,T2准备时间=40ms,FOV=380×280×217mm³,采集体素大小=1.4×1.4×1.4mm³,重建体素大小=0.7×0.7×0.7mm³,并行成像采用压缩感知技术,加速因子为4.5。

单次屏气MSG-EPI序列的扫描参数为:TR/TE=13/6.0ms,翻转角度=20°,FOV=300×300mm²,矩阵=192×135,层厚=3mm,层间距=1.5mm,采集空间分辨率=1.56×1.95×3mm³,TFE因子=18,EPI因子=9。敏感度编码(sensitivity encoding, SENSE)3.0×1.5。分别记录两组序列的扫描时间。

1.3 图像质量分析 在飞利浦后处理工作站(IntelliSpace Portal, Philips Healthcare)中对冠状动脉进行曲面重建。将每例患者冠状动脉分为8段进行评估,包括左前降支(left anterior descending, LAD)和右冠状动脉(right coronary artery, RCA)的近、中、远段,以及左旋支(left circumflex, LCX)的近、远段。

1.3.1 图像质量主观分析 所有图像分别由两位具有15年和5年诊断经验的医师盲法记录、测量并评分。使用5分制对图像质量进行评估^[8,13]: (1)极差(冠状动脉血管不可见); (2)差(冠状动脉血管几乎不明显或图像噪声严重); (3)一般(冠脉可见,但诊断置信度低); (4)良好(冠状动脉显像充分,具有诊断质量的图像); (5)优秀

(冠状动脉清晰描绘)。图像质量≥3分达到诊断需求。

1.3.2 图像质量定量分析 由一名具有4年诊断经验的医师分别在轴位MSG-EPI和3D BTFE序列中绘制感兴趣区(region of interest, ROI)。ROI应略小于管腔大小,尽量避开血管、伪影及狭窄区域,为了尽量减少单次测量的偏差,连续测量三次并计算平均值。测量并记录冠状动脉各分段及室间隔的信号强度(signal intensity, SI)及标准差(standard deviation, SD),计算冠状动脉各分段的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR),公式如下:SNR=SI_{冠脉}/SD_{室间隔}; CNR=(SI_{冠脉}-SI_{室间隔})/SD_{室间隔}。

1.4 统计学分析 采用SPSS 27.0统计软件进行分析,计量资料用s表示。使用配对样本t检验比较两组的采集时间。使用Wilcoxon非参数检验分析评价两序列的图像评分、SNR和CNR组间差异。Kappa检验用于评价两医师组间一致性(0.0—0.2为差;0.2-0.4为一般;0.4-0.6为中等;0.6-0.8为良好;0.8-1.0为优秀)。P值<0.05有统计学意义。

2 结果

MSG-EPI序列采集时间相较于3D BTFE序列显著缩短(17.1±1.3s vs 550.3±117.6s, P<0.01)。3D BTFE序列冠状动脉各节段评分均显著高于MSG-EPI序列(P<0.05),详见表1。Kappa值范围在0.64~0.82之间,组间一致性较好。

3D BTFE序列中,LAD中段、LCX近段和远段的SNR显著高于MSG-EPI序列(P值分别为0.014、0.009、0.003)。其余分段的SNR包括RCA的全段与LAD的近段和远段,组间无显著差异(P>0.05)。3D BTFE和MSG-EPI序列间冠状动脉各节段的CNR均具有显著差异(P<0.05),详见表2。典型病例如图1所示。

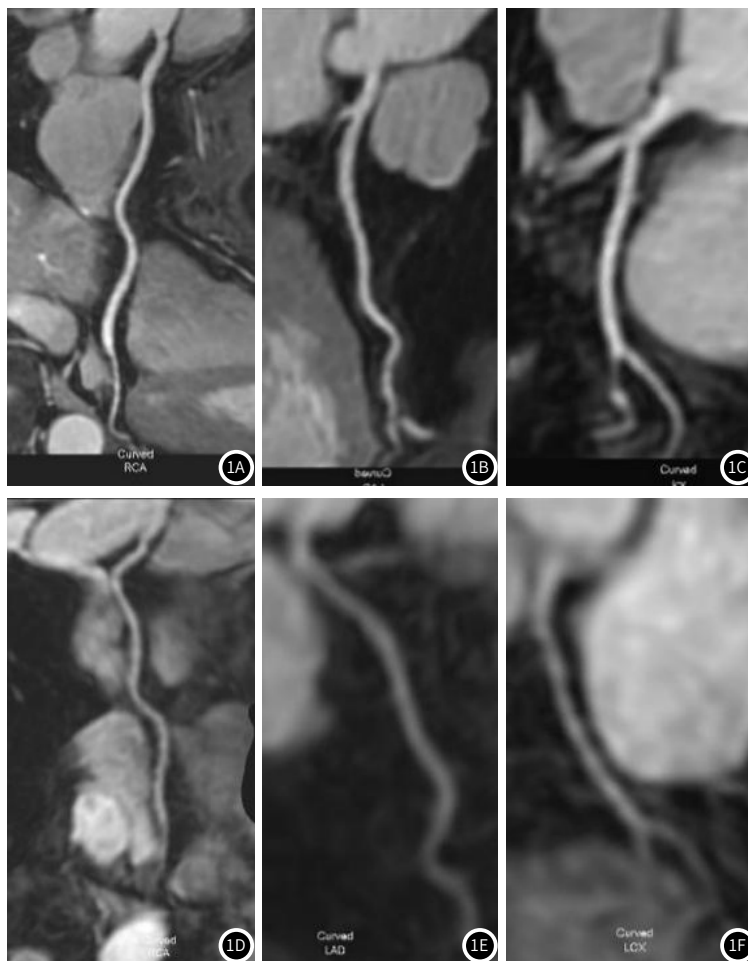


图1A-图1F 一例69岁男性患者的3D BTFE及MSG-EPI序列图像。1A-1C: 3D BTFE序列分别显示的RCA、LAD、LCX,管腔边缘锐利,冠状动脉清晰描绘,主观评分5分;1D-1F: MSG-EPI序列显示的RCA、LAD、LCX,冠状动脉显像充分,具有可诊断的图像质量,主观评分4分。

表1 3D BTFE和MSG-EPI序列的冠状动脉主观评分对比

	3D-BTFE	TFE-EPI	<i>P</i> 值
RCA	4.49±0.60	3.81±0.83	<0.001
RCA p	4.89±0.48	3.97±0.88	0.001
RCA m	4.67±0.60	3.88±0.88	0.003
RCA d	4.44±0.67	3.58±0.65	<0.001
LAD	4.44±0.60	3.57±0.73	<0.001
LAD p	4.78±0.48	3.67±0.62	<0.001
LAD m	4.56±0.65	3.63±0.76	<0.001
LAD d	4.11±0.60	3.41±0.77	<0.001
LCX	4.32±0.70	3.45±0.72	<0.001
LCX p	4.56±0.65	3.58±0.60	<0.001
LCX d	4.22±0.73	3.33±0.80	<0.001
RCA+LAD+LCX	4.43±0.63	3.63±0.78	<0.001

注：3D BTFE为3D超快平衡场回波序列；MSG-EPI为多激发梯度平面回波成像序列；RCA p、RCA m、RCA d分别代表右冠状动脉近段、中段及远段；LAD p、LAD m、LAD d分别代表左前降支近段、中段及远段；LCX p、LCX d为左回旋支近段及远段。

表2 3D BTFE和MSG-EPI序列的SNR及CNR对比

	RCA p	RCA m	RCA d	LAD p	LAD m	LAD d	LCX p	LCX d
SNR								
3D BTFE	36.40±19.53	35.22±23.03	36.50±26.06	36.88±25.18	30.71±20.50	24.99±21.98	38.91±26.29	32.99±21.13
MSG-EPI	29.11±14.47	27.69±14.15	28.09±13.05	26.86±15.42	21.31±11.86	18.75±13.54	27.08±14.32	24.44±15.92
<i>P</i> 值	0.099	0.207	0.259	0.053	0.014	0.107	0.009	0.030
CNR								
3D BTFE	16.16±8.56	14.94±12.91	16.22±16.32	16.52±13.28	10.16±10.14	5.05±10.16	18.35±14.35	12.75±10.24
MSG-EPI	8.12±8.49	6.45±8.23	6.51±8.53	5.97±8.84	-0.03±7.99	-3.13±7.18	6.19±7.28	3.19±9.15
<i>P</i> 值	<0.001	0.004	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：3D BTFE为3D超快平衡场回波序列；MSG-EPI为多激发梯度平面回波成像序列；RCA p、RCA m、RCA d分别代表右冠状动脉近段、中段及远段；LAD p、LAD m、LAD d分别代表左前降支近段、中段及远段；LCX p、LCX d为左回旋支近段及远段；SNR为信噪比；CNR为对比噪声比。

3 讨 论

MSG-EPI序列结合了梯度回波成像和EPI序列的优点，与3D BTFE 序列不同的是MSG-EPI序列可以在一个射频激励下完成K空间填充，在一次TR下采集多个EPI回波，减少采集时间^[10]。本研究结果再次证实了与自由呼吸3D BTFE序列相比，单次屏气MSG-EPI序列能够大幅缩短采集时间(17.1±1.3s vs 550.3±117.6s, *P*<0.01)，平均扫描时间减少了96.9%。

MSG-EPI序列对血流和心脏运动敏感，并且T2*效应会在图像中产生一些伪影，这使MSG-EPI序列中冠脉的SNR减低^[14]。本研究中显示3D BTFE的图像主观质量无论是基于冠状动脉分段水平、分支水平或者是个体水平，评分皆优于MSG-EPI，这与我们的预期相符。但是MSG-EPI在分段水平、分支水平及个体水平的评分都在3分以上，可以满足影像诊断的需要，这表明MSG-EPI序列在大幅度缩短采集时间的前提下，图像质量能够基本满足诊

断需求。如存在3D BTFE序列扫描图像血管显示不清的情况，重复扫描会增加检查时间，引起患者不适，而MSG-EPI序列可以作为3D-BTFE序列的补充，避免重复扫描。

本研究中，LAD中段的SNR差异显著可能是因为在我们的样本中有8例患者存在LAD中段心肌桥，LAD中段与心肌信号分界不清，受心脏搏动影响较大，MSG-EPI序列中SNR减低。LCX的SNR差异显著可能是由于LCX走行于心肌间，同样受心脏搏动影响较大。而在RCA全段、LAD近段及远段两序列间SNR无显著差异，表明RCA和LAD中MSG-EPI的SNR不劣于3D BTFE。与我们的结果不同的是，Iyama Y等人^[10]在3.0T 扫描仪上研究了14名同时进行冠状动脉MRA的MSG-EPI和TFE序列扫描的健康志愿者，发现MSG-EPI序列的图像质量评分及SNR均高于TFE序列，可能的原因是他们研究的样本量相对较小，且使用的序列参数如TFE

因子及EPI因子不同。李玮等人^[15]比较MSG-EPI序列与TFE序列在3.0 T非增强冠状动脉MR血管成像中的图像差异，发现了冠状动脉近段的SNR差异均无统计学意义，但是他们并未对血管远段进行分析。

与之前在肾动脉、胸主动脉中比较MSG-EPI和3D BTFE序列差异的结果不符^[11-12]，本研究中MSG-EPI序列的CNR显著低于3D BTFE。可能的原因相较于肾动脉及胸主动脉，冠状动脉存在血管周围脂肪和心肌的干扰信号、血管走行迂曲等问题，以及心脏搏动及呼吸运动造成的运动伪影，导致单次屏气冠状动脉MRA的临床应用相较于3D BTFE序列仍存在一定挑战^[16-17]。未来可以基于人工智能算法对MSG-EPI序列进行不断优化^[18]。

本研究存在一定的局限性。首先是MSG-EPI序列需要屏气进行扫描，部分患者不能坚持，本研究中有9例患者呼吸配合不佳，失败率较高，临床推广受限。其次，没有对MSG-EPI序列进行诊断效能的评估，后续会继续收集病例进一步研究评估其临床价值。此外，本研究纳入的参数较为单一，未评估心率、体质量指数(body mass index, BMI)及诸如EPI因子、TFE因子等成像参数对图像质量的影响。后续我们将继续收集病例，扩大样本量，评估不同机型下、不同参数对图像质量的影响。

综上所述，单次屏气MSG-EPI序列可以在大幅缩短采集时间的前提下，获得可诊断的图像并对3D BTFE序列进行补充，在非增强冠状动脉MRA中是一种有前景的成像序列。

参考文献

[1]王勇, 武汉忠, 常燕翔, 等. 冠心病患者主要不良心脏事件的相关因素及CTA相关参数的诊断价值研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (8): 82-84.

[2]吴丹. 冠状动脉CT血管造影判断冠心病病变情况的价值分析[J]. 罕少疾病杂志, 2025, 32 (1): 74-76.

[3]赵爽, 曹美楠, 徐广玲. 多层螺旋CT (MSCT) 诊断冠状动脉狭窄程度的准确性及漏诊、误诊的原因分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (5): 58-60.

[4]中国医学装备协会磁共振应用专业委员会. 冠状动脉MR血管成像临床应用专家共识 (第一版) [J]. 中华放射学杂志, 2021, 55 (9): 895-902.

[5]Hamdan A, Asbach P, Wellenhofer E, et al. A prospective study for comparison of MR and CT imaging for detection of coronary artery stenosis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011, 4 (1): 50-61.

[6]Panda A, Francois CJ, Bookwalter CA, et al. Non-contrast magnetic resonance angiography: techniques, principles, and applications[J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2023, 31 (3): 337-360.

[7]Kato S, Kitagawa K, Ishida N, et al. Assessment of coronary artery disease using magnetic resonance coronary angiography: a national multicenter trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 56: 983-991.

[8]Kim YJ, Seo JS, Choi BW, et al. Feasibility and diagnostic accuracy of whole heart coronary MR angiography using free-breathing 3D balanced turbo-field-echo with SENSE and the half-fourier acquisition technique[J]. Korean J Radiol, 2006, 7 (4): 235-242.

[9]Deshpande VS, Wielopolski PA, Shea SM, et al. Coronary artery imaging using contrast-enhanced 3D segmented EPI[J]. J Magn Reson Imaging, 2001, 13 (5): 676-681.

[10]Iyama Y, Nakaura T, Nagayama Y, et al. Single-Breath-Hold Whole-heart Unenhanced Coronary MRA Using Multi-shot Gradient Echo EPI at 3T: Comparison with Free-breathing Turbo-field-echo Coronary MRA on Healthy Volunteers[J]. Magn Reson Med Sci, 2018, 7 (2): 161-167.

[11]Morita K, Nakaura T, Yoneyama M, et al. Non-contrast renal MRA using multi-shot gradient echo EPI at 3-T MRI[J]. Eur Radiol, 2021, 31 (8): 5959-5966.

[12]Iyama Y, Nakaura T, Nagayama Y, et al. Comparison between multi-shot gradient echo EPI and balanced SSFP in unenhanced 3T MRA of thoracic aorta in healthy volunteers[J]. Eur J Radiol, 2017, 96: 85-90.

[13]Nagata M, Kato S, Kitagawa K, et al. Diagnostic accuracy of 1.5-T unenhanced whole-heart coronary MR angiography performed with 32-channel cardiac coils: initial single-center experience[J]. Radiology, 2011, 259 (2): 384-392.

[14]Duerk JL, Simonetti OP. Theoretical aspects of motion sensitivity and compensation in echo-planar imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 1991, 1 (6): 643-650.

[15]李玮, 崔晨, 刘佳, 等. TFE-EPI序列与TFE序列在3.0 T非增强冠状动脉MR血管成像中的对比研究[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56 (10): 5.

[16]Manning WJ, Stuber M, Danias PG, et al. Coronary magnetic resonance imaging: current status[J]. Curr Probl Cardiol 2002, 27: 275-333.

[17]邢威, 贺俊景, 李婷婷, 等. 3.0T无对比剂MR冠状动脉造影图像质量的影响因素[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39 (6): 899-904.

[18]孔海涛, 郭子祺, 刘婷婷. 人工智能技术结合低剂量方案在胸部CT成像中的应用研究探讨[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31 (12): 75-76, 102.

(收稿日期: 2024-04-20) (校对编辑: 赵望淇)