论　著

多模态磁共振成像诊断轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的临床意义*

褚爱鹏[1]　李景周[2,*]　陈　辉[1]
黄文起[3]　宋艳军[1]　林　洁[1]
1.商丘市第一人民医院放射科
(河南 商丘 476100)
2.商丘市第一人民医院急诊抢救室
(河南 商丘 476100)
3.商丘市第一人民医院核磁共振室
(河南 商丘 476100)

【摘要】**目的** 本研究评价多模态磁共振成像(MMRI)技术对轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的检测价值，旨在优化该病的早期影像学诊断策略。**方法** 本次应用回顾性研究方法，纳入2020年1月至2025年1月期间248例经临床确诊的轻型创伤性颅脑损伤病例，以MMRI诊断结果为金标准，最终确诊脑微出血患者96例，非脑微出血患者152例。对比分析MMRI、常规影像检查序列、弥散加权成像(DWI)、磁敏感加权成像(SWI)序列对轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的诊断价值及结果一致性。**结果** 脑微出血组的格拉斯哥昏迷(GCS)评分明显低于非脑微出血组，脑微出血组的短暂昏迷发生率明显多于非脑微出血组($P<0.05$)。研究对象中MMRI检出96例脑微出血，微出血灶383个；SWI序列检出脑微出血90例，检出微出血灶361个；DWI序列检出脑微出血83例，检出微出血灶333个；T2FLAIR序列检出脑微出血52例，检出微出血灶202个；T2WI序列检出脑微出血47例，检出微出血灶180个；T1WI序列检出脑微出血43例，检出微出血灶174个。SWI诊断的准确度、敏感度等效能参数均高于其他诊断模式，五组间比较有显著统计学意义($P<0.05$)，且SWI与金标准的一致性最高，Kappa值为0.752，高于其他诊断模式的一致性。**结论** GCS评分降低和短暂昏迷史或许可作为预测轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的重要临床指标，MMRI在诊断中展现出显著的临床价值，诊断效能优于传统单模态MRI检查方式，且SWI与MMRI的诊断一致性比较理想。

【关键词】多模态磁共振成像；创伤性颅脑损伤；脑微出血；磁敏感加权成像；诊断效能
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
【基金项目】河南省医学科技攻关计划项目(LHGJ20230981)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.009

Clinical Significance of Multimodal Magnetic Resonance Imaging in the Diagnosis of Mild Traumatic Brain Injury with Cerebral Microbleeds*

CHU Ai-peng[1], LI Jing-zhou[2,*], CHEN Hui[1], HUANG Wen-qi[3], SONG Yan-jun[1], LIN Jie[1].
1.Department of Radiology, The First People's Hospital of Shangqiu, Shangqiu 476100, Henan Province, China
2.Emergency Rescue Room, The First People's Hospital of Shangqiu, Shangqiu 476100, Henan Province, China
3.MRI Room, The First People's Hospital of Shangqiu, Shangqiu 476100, Henan Province, China

ABSTRACT
Objective This study evaluates the diagnostic value of multimodal magnetic resonance imaging (MMRI) technology for mild traumatic brain injury with cerebral microbleeds, aiming to optimize the early imaging diagnosis strategy of the disease. ***Methods*** This study applied a retrospective research method and included 248 clinically diagnosed cases of mild traumatic brain injury from January 2020 to January 2025. Using MMRI diagnostic results as the gold standard, 96 patients with cerebral microbleeds and 152 patients without cerebral microbleeds were ultimately diagnosed. Comparative analysis of the diagnostic value and consistency of MMRI, conventional imaging sequences, diffusion-weighted imaging (DWI), and magnetic susceptibility weighted imaging (SWI) sequences for mild traumatic brain injury induced cerebral microbleeds. ***Results*** The GCS score of the cerebral microbleeds group was significantly lower than that of the non cerebral microbleeds group, and the incidence of transient coma in the cerebral microbleeds group was significantly higher than that in the non cerebral microbleeds group ($P<0.05$). Among the research subjects, MMRI detected 96 cases of cerebral microbleeds and 383 microbleeds lesions; SWI sequence detected 90 cases of cerebral microbleeds and 361 microbleeds lesions; DWI sequence detected 83 cases of cerebral microbleeds and 333 microbleeds lesions; T2FLAIR sequence detected 52 cases of cerebral microbleeds and identified 202 microbleeds; 47 cases of cerebral microbleeds were detected by T2WI sequence, with 180 microbleeds detected; 43 cases of cerebral microbleeds were detected by T1WI sequence, with 174 microbleeds detected. The accuracy and sensitivity equivalent energy parameters of SWI diagnosis are higher than other diagnostic modes, and there is significant statistical significance among the five groups ($P<0.05$). SWI has the highest consistency with the gold standard, with a Kappa value of 0.752, which is higher than the consistency of other diagnostic modes. ***Conclusion*** The decrease in GCS score and brief history of coma may serve as important clinical indicators for predicting mild traumatic brain injury induced cerebral microbleeds. MMRI has shown significant clinical value in diagnosis, with diagnostic efficacy superior to traditional single modality MRI examination methods, and the diagnostic consistency ratio between SWI and MMRI is ideal.

Keywords: Multimodal Magnetic Resonance Imaging; Traumatic Brain Injury; Cerebral Microbleeds; Magnetic Sensitivity Weighted Imaging; Diagnostic Efficiency

国外研究[1]表明，创伤性颅脑损伤中超过50%为轻度，典型特征为格拉斯哥昏迷(GCS)评分13~15分、意识丧失低于半小时、创伤后遗忘持续时间低于24小时等。脑微出血的出血病灶直径微小，因早期症状隐匿且常规影像学检出率相对较低，既往易被临床忽视[2]。最新发现[3]显示，此类患者容易在伤后3个月至1年左右出现认知障碍、记忆减退、抑郁等后遗症，严重影响其生活质量。国内外研究[4-5]已经发现，早期干预可改善创伤性颅脑损伤性脑微出血人群的预后，而精准诊断是关键。尽管磁敏感加权成像(SWI)曾被视为创伤性颅脑损伤诊断的金标准，但其在急性期(24到72小时)的假阴性率较高，脑表面病灶易受磁敏感伪影的干扰而容易导致漏诊[6]，因此，探索更有效的影像学诊断模式对降低患者后遗症发生率以及改善患者预后至关重要。本研究旨在评估多模态磁共振成像(MMRI)对轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的检测价值，以优化早期诊断策略。如下报道。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究应用回顾性研究方法，纳入2020年1月至2025年1月期间248例经临床确诊的轻型创伤性颅脑损伤病例。致病因素中车祸创伤166例(66.94%)、暴力打架50例(20.16%)、摔倒20例(8.06%)、高处坠落砸伤12例(4.84%)；其中男150例(60.48%)、女98例(39.52%)；年龄9~87岁，平均(46.80±9.81)岁。

纳入标准：(1)明确颅脑外伤史，与最新的轻型创伤性颅脑损伤的诊断内容[7]吻合，多数伴急性精神神经症状(如24小时内的一过性遗忘、短暂昏迷、头痛不适、记忆力减退或者恶心呕吐等)；(2)GCS评分[8]在13~15分区间；(3)意识障碍≤30分钟(可无意识障碍)；(4)外伤24小时内完成颅脑计算机断层扫描(CT)检查；(5)住院治疗者；(6)仅纳入脑

【第一作者】褚爱鹏，男，副主任医师，主要研究方向：影像诊断。E-mail：17503706992@163.com
【通讯作者】李景周，男，副主任医师，主要研究方向：急诊重症。E-mail：17503706992@163.com

实质出血灶的短径≤10 mm者；(7)配合度良好。排除标准：(1)既往头部外伤史或外伤史不明确者；(2)存在认知功能障碍史或语言表达困难；(3)临床或影像无法准确鉴别外伤性脑微出血与小血管病相关性脑微出血的情形。

1.2 方法 本研究对轻型创伤性颅脑损伤患者进行了系统的磁共振成像(MRI)评估。所有病例在住院期间接受了至少2次常规MRI检查和弥散加权成像(DWI)、磁敏感加权成像(SWI)序列检查。检查西门子1.5T和GE 3.0T超导型磁共振系统，通过头颅线圈完成颅脑扫描。常规扫描序列包括横断位和矢状位SE-T1WI、横断位TSE-T2WI及TSE-T2FLAIR等；DWI采用双b值扫描(0 s/mm^{2}和1000 s/mm^2)，参数设置为重复时间(TR)为2810 ms、回波时间(TE)为105 ms；SWI则使用VEN-BOLD-HR三维梯度回波序列结合SENSE技术，其中层厚设为6.5 mm，层间距为1 mm，重组像素为1 mm。

诊断过程由三位高年资的副主任及以上级别的医师采用单盲法独立阅片，依据随访CT、常规MRI序列、DWI和SWI结果评估。研究分别统计了不同MRI检查模式(单独序列及综合所有MRI序列的MMRI模式)对脑微出血的诊断效能。对于存疑病例，经三位医师共同讨论达成一致诊断，否则予以剔除，以提高诊断的客观性和准确性。

1.3 观察指标 (1)患者的基线资料统计：统计患者的性别、年龄、GCS评分情况、一过性遗忘、短暂昏迷的情况；(2)MRI不同诊断模式及MMRI的检测情况：统计T1WI、T2WI、T2FLAIR、DWI、SWI、MMRI诊断轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的阳性、阴性情况；(3)MRI不同诊断模式的诊断效能及一致性：统计各序列对脑微出血的诊断准确度、敏感度等效能及Kappa值。

1.4 统计学方法 以SPSS 26.0统计学软件分析数据，计数资料统计为n(%)，多组间比较行检验；正态分布的计量资料统计为($\bar{x}\pm s$)，多组间比较为F检验，不同MRI影像诊断模式与MMRI进行一致性检验，P<0.05为有统计学意义，Kappa值≥0.75反映有理想的一致性，介于0.40至0.75之间为一致性较高，不足0.40为一致性偏差。

2 结 果

2.1 患者的基线资料情况 脑微出血组的GCS评分明显低于非脑微出血组，脑微出血组的短暂昏迷发生率明显多于非脑微出血组(P＜0.05)。见表1。

2.2 不同的MRI诊断模式及MMRI的检测情况 研究对象中MMRI检出96例脑微出血，152例非脑微出血病例，微出血灶383个，非微出血灶152个；SWI序列检出脑微出血90例，检出微出血灶361个；DWI序列检出脑微出血83例，检出微出血灶333个；T2FLAIR序列检出脑微出血52例，检出微出血灶202个；T2WI序列检出脑微出血47例，检出微出血灶180个；T1WI序列检出脑微出血43例，检出微出血灶174个，见图1~2。见表2。

2.3 不同的MRI诊断模式的诊断效能及一致性 以MMRI结果为金标准，SWI诊断的准确度、敏感度等效能参数均高于其他诊断模式，五组间比较有显著统计学意义(P＜0.05)，且SWI与金标准的一致性最高，Kappa值为0.752，高于其他诊断模式的一致性。见表3。

表1 患者的基线资料统计

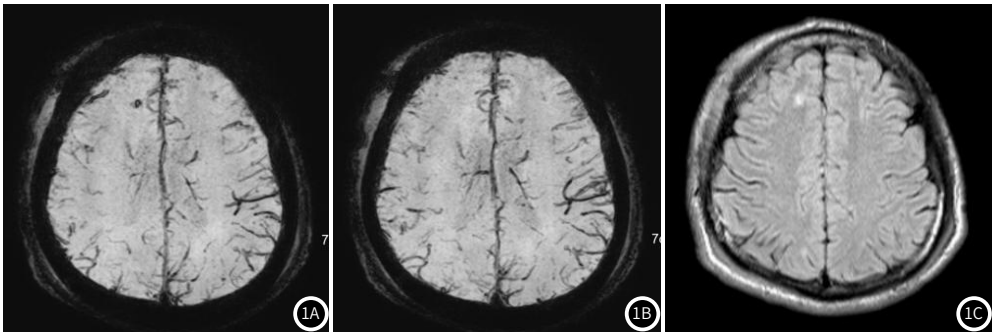
基线资料	轻型创伤性颅脑损伤(248)	脑微出血组(96)	非脑微出血组(152)	χ^2/F值	P值
性别(男/女)	150/98	58/38	92/60	0.000	0.986
年龄(岁)	46.80±9.81	48.11±10.50	46.59±9.64	1.168	0.244
GCS评分(分)	13.69±0.52	13.31±0.72	13.89±0.61	6.546	0.000
短暂昏迷	132	59	73	4.264	0.039
一过性遗忘	141	62	79	3.814	0.051

表2 不同的MRI诊断模式及MMRI的检测情况

MMRI	数量	T1WI		T2WI		T2FLAIR		DWI		SWI	
		阳性	阴性	阳性	阴性	阳性	阴性	阳性	阴性	阳性	阴性
病例阳性	96	43	53	47	49	52	44	83	13	85	11
病例阴性	152	89	63	84	68	72	80	24	128	12	140
病灶阳性	383	174	209	180	203	202	181	333	50	361	22
病灶阴性	152	64	88	60	92	53	99	36	116	21	131

表3 MRI不同诊断模式的诊断效能及一致性

诊断方式	准确度(%)	敏感度(%)	特异度(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	P值	Kappa值
MMRI/SWI	91.94(228/248)	88.54(85/96)	94.08(143/152)	87.63(85/97)	92.72(140/151)	0.000	0.752
MMRI/DWI	85.08(211/248)	86.46(83/96)	84.21(128/152)	77.57(83/107)	90.78(128/141)	0.000	0.621
MMRI/T2FLAIR	53.23(132/248)	54.17(52/96)	52.63(80/152)	41.94(52/124)	65.52(80/124)	0.047	0.430
MMRI/T2WI	46.37(115/248)	48.96(47/96)	44.74(68/152)	35.88(47/131)	58.12(68/117)	0.053	0.391
MMRI/T1WI	43.95(109/248)	44.79(43/96)	41.45(63/152)	32.58(43/132)	54.31(63/116)	0.162	0.357
χ^2值	131.084	41.344	96.374	68.741	53.094		
P值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		



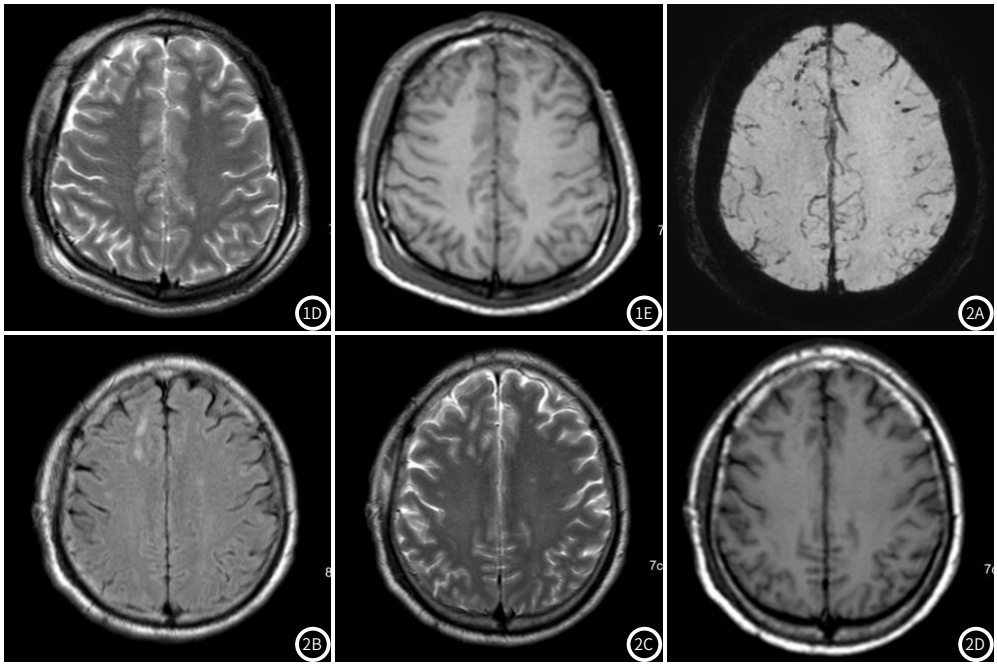


图1 男，20岁，外伤致头疼13小时，双侧额顶叶微出血灶，图1A、1B：SWI横断面；图1C：FLAIR横断面；图1D：T2横断面；图1E：T1横断面。

图2 男，52岁，头部外伤6小时，双侧额叶微出血灶。图2A：SWI横断面；图2B：FLAIR横断面；图2C：T2横断面；图2D：T1横断面。

3 讨　论

脑微出血以微量出血为初始特征，随病程进展患者的出血量不断增加，可累及皮质、基底节及脑干等关键区域，导致不可逆神经损伤甚至危及生命[9]。MRI作为临床主要的诊断手段，虽能清晰显示颅内病变，但对≤10 mm的微出血灶检出率有限，常规平扫序列易造成漏诊，延误治疗的时机。近年随着MRI技术的不断发展，DWI和SWI等高灵敏度序列的应用显著提升了脑微出血灶的早期识别能力，为精准干预提供了重要依据。

本研究对248例轻型创伤性颅脑损伤患者进行检测，MMRI诊断模式下共发现96例患者存在脑微出血，总计383个微出血灶，检出率达38.71%(96/248)，明显高于既往同类研究[10-11]。本结果反映出GCS评分降低及短暂昏迷史或许可以预测脑微出血的发生。这一发现与国内研究[12]的结论一致，即伴有昏迷史的轻型创伤性颅脑损伤患者脑微出血的检出率更高。当前研究初步反映出，轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血患者的GCS评分普遍更低，且短暂昏迷发生率更高，提示临床可通过评估这两项指标早期识别复杂型轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血患者，为后续针对性影像学检查提供依据。有近年的国外文献[13-14]显示，传统CT和常规MRI序列对轻型创伤性颅脑损伤的检出率不足30%。本研究评估了MMRI在轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血中的诊断情况，发现其具有比较显著的诊断价值。本研究显示SWI表现出一定的诊断优势，其对轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的检出率最高，诊断准确度、敏感度等效能参数值均在90%上下浮动。此结论与部分文献[15-16]结论的方向基本一致。值得注意的是，SWI与MMRI的诊断一致性最为理想(Kappa=0.752)。根据已有文献尚不足以确立SWI可以单独作为轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的诊断金标准。

综上，GCS评分降低和短暂昏迷史或许可作为预测轻型创伤性颅脑损伤性脑微出血的重要临床指标，MMRI在诊断中展现出显著的临床价值，诊断效能优于传统单模态MRI检查方式，且SWI与MMRI的诊断一致性比较理想。但本研究存在单中心、小样本的局限性，未来需扩充样本以进一步验证研究结论的普适性。

参考文献

[1]Hageman G,Hof J,Nihom J.Susceptibility-weighted MRI and microbleeds in mild traumatic brain injury:prediction of posttraumatic complaints[J]?Eur Neurol,2022,85(3):177-185.
[2]缪熙音,史张,韩世鸿,等.5.0T MR磁敏感加权成像显示脑小静脉及检测脑微出血[J].中国医学影像技术,2024,40(5):657-660.
[3]Delmonico RL,Theodore BR,Sandel ME,et al.Prevalence of depression and anxiety disorders following mild traumatic brain injury[J].PMR,2022,14(7):753-763.
[4]Silverberg ND,Panenka WJ,Lizotte PP,et al.Promoting early treatment for mild traumatic brain injury in primary care with a guideline implementation tool:a pilot cluster randomised trial[J].BMJ Open,2020,10(10):35527.
[5]刘惠敏,文芳,杨晓亮,等.早期康复护理对创伤性颅脑损伤患者预后的影响分析[C].临床医学健康与传播学术研讨会论文集(第二册),重庆市:重庆市健康促进与健康教育学会,2025:1-9.
[6]罗孝全,孙谋,唐辉.磁敏感加权血管成像联合CT检测评估创伤性脑损伤后远期预后恢复的价值研究[J].中国医学装备,2022,19(10):33-37..
[7]Gil-Jardiné C,Payen JF,Bernard R,et al.Management of patients suffering from mild traumatic brain injury 2023[J].Anaesth Crit Care Pain Med,2023,42(4):101260.
[8]李小舟,索明果,赵广阔,等.格拉斯哥昏迷量表评分对肝性脑病患者预后评估价值的多中心研究[J].上海医学,2024,47(12):744-749.
[9]钟运强,刘钦裕,李佳佳,等.多模态MRI对颅内微小出血灶的诊断价值分析[J].医学理论与实践,2024,37(4):642-644.
[10]Hageman G,Hof J,Nihom J.Susceptibility-weighted MRI and microbleeds in mild traumatic brain injury:prediction of posttraumatic complaints[J]?Eur Neurol,2022,85(3):177-185.
[11]朱萍,李跃华,李晓兵,等.轻度创伤性脑损伤后磁敏感加权成像脑内微出血与外伤后抑郁发生的相关性[J].中国临床医学,2017,24(1):31-36.
[12]罗锐,陈军,陈辉.磁敏感加权成像与常规二维梯度回波成像对轻型脑损伤评估价值的比较分析[J].中华创伤杂志,2014,30(11):1107-1111.
[13]Bischof GN,Cross DJ.Brain Trauma Imaging[J].J Nucl Med,2023,64(1):20-29.
[14]Gosset A,Wagman H,Pavel D,et al.Using single-photon emission computerized tomography on patients with positive quantitative electroencephalogram to evaluate chronic mild traumatic brain injury with persistent symptoms[J].Front Neurol,2022,11(13):704844.
[15]Hageman G,Hof J,Nihom J.Susceptibility-weighted MRI and microbleeds in mild traumatic brain injury:prediction of posttraumatic complaints[J]?Eur Neurol,2022,85(3):177-185.
[16]Wang WT,Li N,Papageorgiou I,et al.Segmented 3D echo planar acquisition for rapid susceptibility-weighted imaging:application to microhemorrhage detection in traumatic brain injury[J].J Magn Reson Imaging,2022,56(5):1529-1535.

(收稿日期：2025-09-17)
(校对：韩敏求　排版：张鸿燊)