论 著

# 磁共振成像QSM序列在高血压性脑微出血诊断中的价值分析*

闫 蕾 秦雅宏 刘洪波
武 宜*
**山西省中西医结合医院核磁共振室**
**(山西 太原 030013)**

【摘要】**目的** 分析磁共振定量磁敏感序列(QSM)在高血压性脑微出血(CMBs)诊断中的价值。**方法** 回顾性分析2020年10月至2024年3月期间收治的患有高血压且合并有CMBs的81例患者的临床、磁共振资料，比较不同序列对高血压患者CMBs的检出情况；比较不同序列对不同脑区微出血灶数目的检出率；不同人群高血压患者的CMBs磁化率值比较；比较高血压CMBs患者的磁化率值与收缩压、舒张压、病灶部位、病灶面积、高血压病程的相关性。**结果** 81例高血压性CMBs患者，QSM序列的阳性检出率为100%(81/81)，常规序列的阳性检出率为29.63%(24/81)，差异具有统计学意义($P<0.05$)；QSM序列共检出脑区病灶779处，主要分布在皮质及皮质下、基底节区和丘脑，常规序列共检出病灶226处，差异具有统计学意义($P<0.05$)；男性和女性高血压性CMBs患者的磁化率值差异无统计学意义($P>0.05$)，年龄≥65岁、病程≥3年的患者磁化率值高于18~64岁、病程<3年的患者($P<0.05$)，三级高血压患者的磁化率值高于一级和二级患者($P<0.05$)，患者脑区中基底节-丘脑部位的磁化率值最高($P<0.05$)，不同性别、年龄之间的患者的病灶面积差异无统计学意义($P>0.05$)，病程≥3年、三级高血压患者、基底节-丘脑的病灶面积较高($P<0.05$)；Pearson相关检验结果显示，高血压CMBs患者的收缩压、舒张压、皮层-皮层下、基底节-丘脑、幕下区、病灶面积、高血压病程均与磁化率值为显著正相关关系($P<0.05$)。**结论** QSM序列检测CMBs效果均优于常规序列，可用于评估高血压所致CMBs。

【关键词】高血压性脑微出血；磁共振；定量磁敏感序列；相关性；检出率
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
【基金项目】山西省卫生健康委科研课题计划(2019087)
**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.008

# Analysis of the Value of Magnetic Resonance Imaging Quantitative Susceptibility Mapping Sequences in the Diagnosis of Hypertensive Cerebral Microhaemorrhage*

YAN Lei, QIN Ya-hong, LIU Hong-bo, WU Yi*.
MRI Room, Shanxi Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Taiyuan 030013, Shanxi Province, China

**ABSTRACT**
***Objective*** To analyze the clinical value of magnetic resonance quantitative susceptibility mapping (QSM) on hypertensive cerebral microbleeds (CMBs). ***Methods*** The clinical and MRI data of 81 patients with hypertension complicated with CMBs admitted from October 2020 to March 2024 were retrospectively analyzed, and the detection status of CMBs in patients with hypertension by different sequences was compared. The detection rates of different sequences for the number of microbleeds in different brain regions were compared. CMBs magnetic susceptibility values in patients with hypertension in different populations were compared, and the correlation between magnetic susceptibility value and systolic blood pressure, diastolic blood pressure, lesion location, lesion area and course of hypertension in patients with hypertensive CMBs was compared. ***Results*** Among 81 patients with hypertensive CMBs, the positive detection rates of QSM sequence and conventional sequence were 100% (81/81) and 29.63% (24/81) respectively ($P<0.05$). 779 brain lesions were detected by QSM sequence, which were mainly distributed in cortex and subcortex, basal ganglia and thalamus, and 226 lesions were detected by conventional sequence ($P<0.05$). There was no statistical significance in magnetic susceptibility between male and female patients with hypertensive CMBs ($P>0.05$). The magnetic susceptibility value of patients with age≥ 65 years old and disease course≥3 years was higher than that of patients with age of 18-64 years old and disease course<3 years ($P<0.05$). The magnetic susceptibility valve of patients with grade III hypertension was higher than that of patients with grade I and grade II hypertension ($P<0.05$). The magnetic susceptibility value of basal ganglia-thalamus was the highest in the brain region of patients ($P<0.05$). There was no statistical difference in lesion area among patients with different genders and ages ($P>0.05$). The lesion area was higher in patients with course of disease≥3 years, grade III hypertension and basal ganglia-thalamus ($P<0.05$). Pearson correlation test results showed that systolic blood pressure, diastolic blood pressure, cortex-subcortex, basal ganglia-thalamus, subtentorial area, lesion area and course of hypertension in patients with hypertensive CMBs were significantly positively correlated with magnetic susceptibility value ($P<0.05$). ***Conclusion*** The effect of QSM sequence in detecting CMBs is better than that of conventional sequence, which can be used to evaluate CMBs caused by hypertension.

***Keywords: Hypertensive Cerebral Microbleeds; Magnetic Resonance; Quantitative Susceptibility Mapping; Correlation; Detection Rate***

脑微出血(cerebral microbleeds, CMBs)的概念最早在20世纪90年代中期提出，是指红细胞从小血管中漏出，引起脑内含铁血黄素沉积所致，是脑小血管病的典型影像学表现之一[1]。CMBs可发生于脑内任何部位，其致病机制各异，与高血压、白质脑病、淀粉样变性等因素有关[2]。长期高血压引起的动脉病变以纤维组织或坏死组织取代血管平滑肌，导致血管破裂为特征，促进深部/幕下CMBs形成[3]。高血压相关的CMBs在临床上十分常见，CMBs可以理解为慢性高血压引起的一种靶器官损害，CMBs的严重程度与血压升高的程度呈正相关，血压控制越差，CMBs的发生率越高[4]。目前CMBs的防治尚在探索之中，CMBs是亚临床脑血管病的标志，是出血或缺血性脑血管事件的预测指标，因此提高CMBs的诊断准确度至关重要。使用磁共振成像(MRI)可以对体内铁进行可视化，磁敏感加权成像(SWI)序列已被证实具有显著诊断价值。为了对CMBs进行更精确的定量评估，定量磁敏感序列(Quantitative susceptibility mapping, QSM)应运而生。到目前为止，QSM研究主要集中在神经病学应用方面，特别是识别含铁物质，例如与出血相关的含铁血黄素、更普遍的铁和顺磁性造影剂[5]。本研究主要探讨QSM和磁化率值在识别高血压性CMBs及鉴别诊断中的临床应用价值。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集2020年10月至2024年3月就诊于山西省中西医结合医院并行头颅磁共振检查的高血压病人，行头颅QSM序列扫描，筛选出患有高血压且合并有CMBs的患者81例，其中男性49例，女性32例，年龄范围47~81岁，高血压病史1~27年，回顾性分析其临床、磁共振资料。

纳入标准：(1)符合高血压诊断标准，收缩压(SBP)≥140 mmHg或舒张压(DBP)≥90 mmHg[6]；(2)QSM序列上发现CMBs；(3)年龄18~80岁；(4)均知情同意。
排除标准：(1)有MRI检查禁忌症的患者；(2)脑肿瘤、血管瘤破裂；(3)图像质量差，不

【第一作者】闫 蕾，女，主治医师，主要研究方向：神经系统影像诊断。E-mail：yanlei114320@126.com
【通讯作者】武 宜，女，主任医师，主要研究方向：神经系统影像诊断。E-mail：1286046330@qq.com

能达到诊断和测量要求；(4)有静脉溶栓治疗或血管内治疗史；(5)其他中枢神经系统疾病，包括脑出血、动静脉畸形、烟雾病、脑外伤。

**1.2 检查方法** 所有患者入院后3天内行头颅MRI扫描(使用德国西门子公司的1.5T磁共振设备进行扫描)。扫描序列包括常规序列(T1WI、T2WI、FLAIR)和定量磁敏感(QSM)序列。扫描序列及参数如下：T1加权成像：回波时间(TE)20 ms，重复时间(TR)2 000 ms，层厚5 mm，视场230 mm×186 mm，反转恢复(IR)延迟800 ms；T2加权成像：TE 80 ms、TR 3000 ms、层厚5 mm、视场230 mm×185 mm、体素大小0.62×0.77 mm；T2流体衰减反转恢复：TE 125 ms、TR 8000 ms、层厚5 mm、视场230 mm×230 mm、IR延迟2500 ms、体素大小0.8×0.9 mm；SWI：体素大小0.7×0.8×0.5 mm、视场220×180 mm(120个横向切片)、TE 20 ms、TR 2000 ms、15°翻转角。

**1.3 QSM图像处理** 定量磁化率映射重建采用MATLAB软件(版本R2016b)进行。使用T2*加权梯度回波序列获取幅度和相位图像。幅度图像用于创建大脑的掩模以提供感兴趣的体积。展开相位图像(例如使用基于路径或基于拉普拉斯的方法，以去除原始相位图像或拟合场图中出现的~2π跳跃。然后在掩模区域内对展开的相位图像执行背景相位过滤，以消除来自背景源的相位贡献。可以使用多种方法去除背景场，包括高通空间滤波、投影到偶极场、SHARP处理及其变体和HARPERELLA算法。最后，通过应用正则化方法解决不适定逆问题(即偶极子反演)获得组织磁化率图。

**1.4 影像学诊断** 本研究CMBs的选取标准为QSM图像上表现为圆形或卵圆形、边界清晰的高信号病灶，直径约为2~10mm，并结合其他序列的影响征象除外钙铁沉积和血管流空(见图1~图3)，记录CMBs的数量和位置。

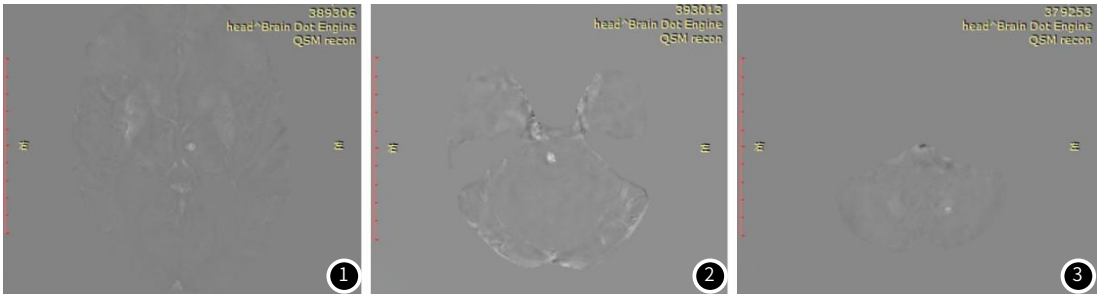



**图1** 男，80岁，左侧丘脑微出血灶磁化率图，左侧丘脑可见类圆形高信号影；**图2** 男，71岁，脑桥微出血灶磁化率图，脑桥可见类圆形高信号影；**图3** 女，68岁，左侧小脑半球微出血灶磁化率图，左侧小脑半球可见类圆形高信号影。

**1.5 观察指标** 使用QSM序列和常规序列对高血压患者CMBs的检出情况进行分析；

使用QSM序列和常规序列对高血压CMBs患者脑区病灶情况进行分析；

比较不同性别、年龄、高血压病程、高血压危险分层分组的CMBs的磁化率值、病灶面积；

比较高血压CMBs患者的磁化率值与收缩压、舒张压、病灶部位、病灶面积、高血压病程的相关性。

**1.6 统计学分析** 使用SPSS 26.0软件，计量资料以平均值±标准差表示。数值变量的正态性通过Kolmogorov-Smirnov检验评估。正态分布变量的比较采用单对双尾独立组t检验。分类变量以百分比表示，并通过 $\chi^2$ 检验进行比较。相关性分析采用Pearson相关检验。$P$<0.05为有统计学意义。

## 2 结 果

**2.1 不同序列对高血压患者CMBs的检出情况** 81例高血压性CMBs患者，QSM序列的阳性检出率为100%(81/81)，常规序列的阳性检出率为29.63%(24/81)，差异具有统计学意义($P$<0.05)。

**2.2 不同序列对不同脑区微出血灶的检出率** QSM序列共检出脑区病灶779处，主要分布在皮质及皮质下、基底节区和丘脑，常规序列共检出病灶226处，差异具有统计学意义($P$<0.05)，见表1。

**2.3 不同人群高血压患者的CMBs磁化率值比较** 男性和女性高血压性CMBs患者的磁化率值差异无统计学意义($P$>0.05)，年龄≥65岁、病程≥3年的患者磁化率值高于18~64岁、病程<3年的患者($P$<0.05)，三级高血压患者的磁化率值高于一级和二级患者($P$<0.05)，患者脑区中基底节-丘脑部位的磁化率值最高($P$<0.05)，不同性别、年龄之间的患者的病灶面积差异无统计学意义($P$>0.05)，病程≥3年、三级高血压患者、基底节-丘脑的病灶面积较高($P$<0.05)，见表2。

**表1 各序列检出不同脑区微出血灶总数目(个)**

| 脑区 | QSM | 常规序列 |
|---|---|---|
| 皮质及皮质下 | 316 | 58 |
| 基底节区 | 207 | 69 |
| 脑干 | 55 | 40 |
| 小脑 | 74 | 32 |
| 丘脑 | 127 | 27 |
| 总计 | 779 | 226 |

**表2 不同人群高血压患者的CMBs磁化率值比较**

| 组别 | 磁化率值(ppm) | F/t | $P$ | 病灶面积($mm^2$) | F/t | $P$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 男(n=49) | 1.51±0.22 | 0.548 | 0.585 | 17.34±2.67 | 1.201 | 0.233 |
| 女(n=32) | 1.54±0.27 | | | 16.65±2.29 | | |
| 18~64岁(n=28) | 1.42±0.18 | 2.642 | 0.010 | 16.82±2.26 | 0.571 | 0.570 |
| ≥65岁(n=53) | 1.57±0.27 | | | 17.20±3.11 | | |
| 病程<3年(n=42) | 1.45±0.25 | 2.405 | 0.019 | 16.27±1.95 | 3.219 | 0.002 |
| 病程≥3年(n=39) | 1.60±0.31 | | | 17.93±2.66 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 一级高血压(n=37) | 1.13±0.26 | 121.435 | <0.001 | 11.37±1.68 | 237.585 | <0.001 |
| 二级高血压(n=29) | 1.92±0.35 | | | 19.28±2.61 | | |
| 三级高血压(n=15) | 2.71±0.49 | | | 26.85±3.42 | | |
| 皮层-皮层下(n=81) | 0.42±0.08 | 71.743 | <0.001 | 4.31±0.29 | 306.915 | <0.001 |
| 基底节-丘脑(n=81) | 0.59±0.10 | | | 6.95±0.96 | | |
| 幕下区(n=81) | 0.51±0.09 | | | 5.83±0.62 | | |

**2.4 高血压CMBs患者磁化率的相关性分析** Pearson相关检验结果显示，高血压CMBs患者的收缩压、舒张压、皮层-皮层下、基底节-丘脑、幕下区、病灶面积、高血压病程均与磁化率值为显著正相关关系($P<0.05$)，见表3。

**表3 高血压CMBs患者磁化率的相关性分析(r)**

| 项目 | 收缩压 | 舒张压 | 皮层-皮层下 | 基底节-丘脑 | 幕下区 | 病灶面积 | 高血压病程 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 磁化率值(ppm) | 0.942 | 0.886 | 0.629 | 0.739 | 0.758 | 0.927 | 0.622 |

## 3 讨 论

CMBs是一个影像学概念，指与既往微小出血灶相对应的血管周围含铁血黄素沉积的微观病理学。CMBs的发生是一个复杂的过程，涉及许多病理机制。目前认为该过程中最重要的是高血压引起的血管改变和淀粉样血管改变[7]。MRI比CT和其他神经成像方式具有多项优势，因为不需要暴露于辐射，且能根据生理特征精准区分和映射脑组织[8]。MR序列利用这些生理差异，根据水(扩散加权成像)、血液(动脉自旋标记、飞行时间和灌注成像)、脂肪(脂肪饱和成像)或铁(QSM)来表征组织[9]。QSM是一种非侵入性磁共振技术，可以量化局部组织磁化率，具有高空间分辨率，对铁的识别很敏感[10]。

CMBs沿着小动脉、小静脉或毛细血管发展，通常表现为纤维脂肪透明变性或淀粉样微血管病[11]。本研究结果显示，相较于常规序列QSM序列对于高血压患者CMBs的检出率，以及脑区不同部位病灶数目的检出率较高。分析原因在于，铁是一种必需的微量元素，在脑中含量丰富，参与许多基本的神经生物学过程，包括氧气运输、氧化磷酸化、髓鞘的产生和维持，以及神经递质的合成和代谢。含铁血黄素沉积物具有超顺磁性，因此在MRI磁场中表现出相当大的内部磁化和磁化率[12]。QSM测量由组织中的抗磁性、顺磁性和铁磁性成分产生的χ的空间分布。人体中含有微量的几种顺磁性过渡金属离子，例如铜、锰和钴。在健康受试者中，非血红素铁沉积物均匀分布在整个身体中，因此导致的磁化率变化可以忽略不计。而在CMBs患者中，QSM显示病变区域发生顺磁漂移，而通过组织学、光谱法和光谱法证实病变区域的铁浓度异常。刁艳照等[13]研究中指出，原发性高级别胶质瘤假性进展患者表现出大量的微出血灶，QSM序列可利用这一点区分出原发性高级别胶质瘤患者复发和假性进展的区别，因为更多的微出血病灶会产生更多含铁血黄素沉积。

磁化率是组织固有的无量纲电磁特性，它决定了物质如何与施加的磁场相互作用并使其变形[14]。本研究结果显示，三级高血压患者的磁化率值高于一级和二级患者，脑区中基底节-丘脑部位的磁化率值最高，且高血压CMBs患者的收缩压、舒张压、皮层-皮层下、基底节-丘脑、幕下区、病灶面积、高血压病程均与磁化率值为显著正相关关系，说明QSM序列磁化率值能作为高血压CMBs和高血压分级精确诊断的新评估数据。原因在于，顺磁性物质(例如大多数生物形式的铁和铜)具有正磁化率，其磁化强度随施加的磁场强度成比例增加，而抗磁性物质(例如水、髓磷脂、钙化)具有负磁化率，其磁化强度随磁场强度的增加而降低。导致整个大脑磁化率可检测变化的主要因素是髓鞘(弱抗磁性)和含铁分子(大多是强顺磁性)。从组织病理学上看，CMBs代表了含铁血黄素巨噬细胞的积聚，这些巨噬细胞具有顺磁性，能够引起磁场均匀性改变，可以使用T2*梯度回忆回波(GRE)和SWI序列检测，但SWI不能辨别组织磁性，而QSM利用磁共振成像信号的频率偏移来绘制组织内的磁场剖面图，通过利用已知的磁偶极子点扩散函数来解决反问题，从而确定基本磁感应强度的空间分布。由于磁感应强度对比度与磁场强度成比例，因此有机会进行分辨率更高的磁感应强度对比度成像，对髓鞘和铁的敏感度更高，蒋爽等[15]研究也指出，QSM能够反映帕金森病患者脑部磁敏感值强度，准确定量铁含量变化情况。

综上所述，这项探索性研究表明，QSM可能是一种有前途的工具，相较于常规序列，对于高血压患者的CMBs检出和病灶数目检出更具优势，对于指导患者个体化治疗具有重要意义。

## 参考文献


[1]Kuo PY,Tsai HH,Lee BC,et al.Differences in lobar microbleed topography in cerebral amyloid angiopathy and hypertensive arteriopathy[J].Sci Rep,2024,14(1):3774.

[2]刘潇潇,沈腾群,张金彪,等.老年急性缺血性脑卒中患者脑微出血严重程度的影响因素研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2022,24(6):614-617.

[3]刘潇潇,孙海荣,沈腾群,等.老年高血压患者脑微出血与血脂的相关性研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2022,24(12):1240-1243.

[4]Zhang D,Ma H,Liu C,et al.Relationship between morning blood pressure variability and cerebral microbleed burden in patients with hypertension[J].J Clin Hypertens (Greenwich),2024,26(6):665-673.

[5]陈梦颖,武玉朋,逄奇凡,等.全脑同时神经黑色素敏感与定量磁化率成像[J].波谱学杂志,2023,40(4):385-396.

[6]中国高血压防治指南修订委员会,高血压联盟(中国,中华医学会心血管病学分会中国医师协会高血压专业委员会,等.中国高血压防治指南(2018年修订版)[J].中国心血管杂志,2019,24(1):24-56.

[7]Xu CX,Xu H,Yi T,et al.Cerebral microbleed burden in ischemic stroke patients on aspirin:prospective cohort of intracranial hemorrhage[J].Front Neurol,2021,12:742899.

[8]翁强,郑贤应,张宇阳,等.探讨磁共振增强减影技术在颅脑出血性病变中的应用价值[J].罕少疾病杂志,2019,26(6):7-9,27.

[9]柴超,刘虹岩,王慧颖,等.MRI半自动定量磁敏感图评估终末期肾病患者脑微出血严重程度的影响因素及其与认知损害的关系[J].中华放射学杂志,2024,58(1):48-56.

[10]侯鹏飞,韩雪,王红,等.联合酰胺质子转移成像和定量磁化率成像在帕金森病诊断中的应用价值[J].分子影像学杂志,2024,47(3):225-230.

[11]邬宗国,邓有琦,郭鹏,等.急性脑梗死伴微出血患者血清中TNF-α、miR-19a、CD147的检测意义[J].脑与神经疾病杂志,2024,32(7):397-400.

[12]刘歆怡,于爱红,贾秀琴,等.基于定量磁敏感成像的重性抑郁障碍与双相情感障碍脑区测量分析[J].放射学实践,2024,39(5):605-610.

[13]刁艳照,袁振国.QSM和DWI技术在鉴别高级别胶质瘤术后复发和假性进展中的价值[J].医学影像学杂志,2023,33(2):215-219.

[14]苏比努尔·买买提艾力,张雯,蔡晶,等.基于定量磁敏感图成像评估颈动脉狭窄患者脑铁沉积对认知功能的影响[J].中华外科杂志,2024,62(8):771-778.

[15]蒋爽,邵华,阿卜杜热合曼·阿卜力米提,等.早期和晚期帕金森病患者脑铁含量的QSM评价[J].中国医学计算机成像杂志,2022,28(4):337-341.


(收稿日期：2024-11-07) (校对：韩敏求 排版：张鸿燊)