

磁敏感加权成像在脑梗塞诊疗中的应用价值

樊 荣, 孟 姮*

北华大学附属医院(三甲)急诊一楼CT科, 吉林 吉林

收稿日期: 2025年7月22日; 录用日期: 2025年8月16日; 发布日期: 2025年8月26日

摘 要

磁敏感加权成像(Susceptibility Weighted Imaging, SWI)是一种分辨率高、灵敏度高的影像学检测方法,对脑梗塞的诊断、分型、预后评价和治疗方案制定等方面有非常重要的意义。本文对SWI在脑梗塞中的应用进行了全面的梳理,为临床医生,特别是神经内科和放射科医生,提供了一个关于该技术临床价值的快速、系统的参考。脑梗塞是临床常见病和多发病,而SWI作为一种功能强大的无创检查手段,其正确解读对于优化患者管理至关重要。该综述有助于知识的普及和临床实践的规范化。

关键词

磁敏感加权成像, 脑梗塞, 微出血, 侧支循环, 临床特征

The Application Value of Magnetic Sensitivity Weighted Imaging in the Diagnosis and Treatment of Cerebral Infarction

Rong Fan, Heng Meng*

Department of CT, First Floor Emergency Department, Beihua University Affiliated Hospital (Grade III), Jilin Jilin

Received: Jul. 22nd, 2025; accepted: Aug. 16th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

Abstract

Susceptibility Weighted Imaging (SWI) is a high-resolution and highly sensitive imaging detection method, which is of great significance for the diagnosis, classification, prognosis evaluation, and

*通讯作者。

treatment plan formulation of cerebral infarction. This article comprehensively reviews the application of SWI in cerebral infarction, providing a quick and systematic reference for clinical doctors, especially neurology and radiologists, on the clinical value of this technology. Cerebral infarction is a common and frequently occurring clinical disease, and SWI, as a powerful non-invasive diagnostic tool, its correct interpretation is crucial for optimizing patient management. This review contributes to the popularization of knowledge and standardization of clinical practice.

Keywords

Magnetic Sensitivity Weighted Imaging, Cerebral Infarction, Microbleeding, Collateral Circulation, Clinical Features

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑梗塞是中老年人的高发疾病,以高发病率、高致残率、难根治为特点,部分患者还会出现运动功能障碍、吞咽困难等后遗症,严重影响患者日常生活。对于脑梗塞康复患者而言,科学预防可显著降低脑梗塞的复发率,维护大脑健康,提高生活质量。磁敏感加权成像(SWI)是一种新型的磁共振成像方法,其可以通过不同组织之间的磁场敏感度差异,清晰地反映脑部微静脉和铁沉积等病变,为脑梗塞的精确诊治提供新思路。

2. 磁敏感加权成像(SWI)的技术原理与优势

2.1. 技术原理

磁敏感加权成像(SWI)是一种以梯度回波序列为基础的磁共振成像方法,其核心思想是通过获取振幅与相位像,再经过后处理,实现对不同组织之间磁场敏感度的对比。SWI技术的核心是利用不同材料的磁化率差异,产生独一无二的反差。在SWI成像中,由于脱氧血红蛋白、含铁血黄素、钙盐等都会造成局部磁场不均匀,从而造成T2*信号损失,从而在SWI成像上出现低信号。特别是,在生物组织内有磁性材料时,将引起局域磁场的改变,从而引起信号相位的变化。采用高通量滤波器(HPF)消除背景场的影响,能更清晰地观察到相位的变化。相对于传统磁共振成像,SWI具有较高的灵敏度和更好的探测能力,可以检测到一般序列无法发现的微小病灶[1]。SWI可以较好地反映血管的形态,在脑血管病的诊断中具有较高的应用价值。该方法主要由如下步骤组成:第一步,获取原始振幅、相位图;第二步,利用高通量滤波器消除背景场干扰,获得纯相位图;第三步,融合相位图和振幅图得到SWI成像。该方法既能保持强度像的结构信息,又能加强由于磁场敏感度不同而产生的信号改变。

2.2. 技术优势

磁敏感加权成像(SWI)对脑内微出血、静脉血管和铁沉积等异常敏感。SWI可以探测到2 mm以下的微小出血,这是传统MRI无法做到的。SWI利用生物组织磁化率的不同,以相位信息来提高探测灵敏度。该方法能清楚地反映出含铁血黄素和去氧血红蛋白的含量,使图像出现低信号[2]。SWI在不需对比剂的情况下,具有良好的血管成像效果,从而降低了检测的风险与费用。相对于传统造影方法,SWI可以有效地避免对比剂所带来的过敏反应及其他并发症。SWI可以清楚地显示血管的形态,在脑血管病变的

诊断中有很大的应用价值。SWI 具有振幅、相位两种特征, 可用于区分钙化和出血等磁性敏感物质。比如, 由于 SWI 在相位图上显示的是两种截然不同的信号, 因此 SWI 能将钙化与含铁蛋白区分开来。该技术可用于脑肿瘤、脑血管畸形、颅脑损伤等多种神经系统疾病的检测。

3. 脑梗塞的 SWI 特征性表现

3.1. 急性脑梗塞的 SWI 表现

磁敏感血管征(Susceptibility Vessel Sign, SVS)是 SWI 影像学特征之一。SVS 是指在 SWI 影像中, 由于病变动脉中存在大量的去氧血红蛋白, 其管径大于患侧对应的血管, 所以出现了低信号。这是由于心源性栓子多为红细胞, 具有较高的脱氧血红蛋白, 具有较高的磁敏作用。突出皮质静脉(Prominent Cortical Vein, PCV)是脑梗塞 SWI 影像的又一特点。在缺血区, 由于血流淤滞, 静脉扩大, 数量增多, 管径变粗。侧支循环不佳者 PCV 征象与 Tmax 等 CT 灌注指标有显著相关性。提示 PCV 征象可反映脑梗塞患者侧支循环和血流灌注状况, 对判断疾病的严重性和预后有一定的价值。出血性转化是决定急性脑梗塞患者预后的关键因素。SWI 对颅内微小出血的检出灵敏度较高, 可检出<2 mm 的微小出血病灶。已有研究表明, 在急性脑梗塞患者中, SWI 所检出的微量出血量与出血性转化的危险性有显著相关性。如果有 5 个或更多的微小出血, 则其较差的预后危险会明显升高[3]。

3.2. 亚急性及慢性期脑梗塞的 SWI 表现

在亚急、慢性期, SWI 可清楚地观察到铁蛋白的沉淀。在脑梗塞病情进展过程中, 巨噬细胞对血红蛋白进行吞噬, 生成了含铁血黄素。在 SWI 造影中, 含铁血黄素呈边界清楚、低信号的环状结构, 提示陈旧性出血。脑梗塞亚急、慢性期脑梗塞的一个显著特点, 其异常增高与脑梗塞后铁代谢物质的沉积有密切关系。在脑梗塞的亚急性和慢性阶段, 由于侧支循环的逐步形成, 血管的数目将逐渐减少, SWI 信号也将减弱。血管形态的改变是大脑在缺血后的一种补偿机制。亚急性期肝动脉造影时, 因侧支循环的形成, 局部血管开放, 使 SWI 图上的低信号区变小。另外, 随着年龄的增长, 血液中的红细胞含量下降, 而纤维化的成分增多, 使磁性物质的比率下降, SWI 信号也随之改变[4]。

3.3. 不同病因脑梗塞的 SWI 差异

心源性脑梗塞栓子多为红细胞, 其 SWI 呈磁敏血管征。心源性脑梗塞患者的 SVS 阳性率明显高于主动脉粥样硬化型脑梗塞[5]。这是由于心源性栓子中含有大量的去氧血红蛋白, 这一类的顺磁材料可引起局域磁场的变化, 使 SWI 显示出低信号。同时, 也发现心源性脑梗塞患者的动脉内血栓形成的红细胞比例明显增高, 提示 SVS 对心源性脑梗塞的诊断价值。对于动脉粥样硬化型脑梗塞, SWI 成像可以很好地反映出血情况。动脉粥样硬化(SWI)中动脉粥样硬化(SWI)呈低信号, 提示动脉粥样硬化(AS)不稳定。已有研究显示, 动脉粥样硬化斑块中 SWI 信号较弱, 斑块易形成不稳定。另外, 主动脉粥样硬化型脑梗塞患者 SVS 表达明显低于心源性脑梗塞, 其原因在于动脉粥样硬化血栓中含有少量顺磁成分的血小板(富含血小板等)。小动脉梗塞多以腔隙性梗塞为特征, SWI 成像可观察到梗塞灶周边有微小出血。在 SWI 上, 微出血呈低信号, 提示有颅内小血管病变。其出现除反映脑部小血管病变外, 也是影响脑梗塞术后复发及预后的重要因素。不同原因的脑梗塞患者 SWI 表现存在明显的差别, 这对临床诊治有一定的参考价值[6]。

4. SWI 在脑梗塞临床管理中的应用价值

4.1. 诊断和鉴别诊断

磁敏感加权成像(SWI)对脑梗塞的诊断有明显的优势, 特别是对脑内微出血、静脉梗死的检出。SWI

可检出常规 MRI 未发现的微小出血及静脉梗死, 特别是 24 h 以内, 较 CT 具有更高的敏感性。研究显示, SWI 对脑微出血(cerebral microbleeds, CMBs)的灵敏度较高, 可检出<2 mm 的颅内出血[7]。SWI 可以较好地反映血管的形态, 可以很好地反映血管的形态, 在脑血管病的诊断中有很大的应用价值。SWI 对确定脑梗塞的病因也有很大的帮助。SVS 阳性提示有心源性的栓子形成, 而斑块中的出血可能是动脉粥样硬化的原因。心源性脑梗塞阳性患者较其他类型更为明显[8], 提示 SVS 对心源性脑梗塞的诊断价值。SWI 成像技术可以观察到动脉粥样硬化斑块内部的出血, 而动脉粥样硬化斑块的 SWI 呈低信号, 提示动脉粥样硬化斑块的稳定性。SWI 技术在脑梗塞的治疗中有多种用途。首先, SWI 成像技术可以获得更多的图像信息, 从而可以更精确地判断出脑梗塞的病因及病变。然而, SWI 成像时间较长, 对急性缺血早期病灶的影像学表现不佳, 对脑内微出血和周脉腔的区分也存有争论, 其信号变化与临床预后的相关性还不完全明确。

4.2. 侧支循环评估

磁敏感加权成像(SWI)是判断脑梗塞侧支循环的重要手段, 可为临床治疗方案的制定提供重要依据。SWI 可以清楚地显示脑梗塞后侧支供血情况, 是判断脑梗塞后侧支循环的重要指标。本研究发现, 脑梗塞患者中有 68%左右的软脑膜侧支供血, 在急性及亚急性期脑梗塞时表现更显著。另外, 美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)评分与软脑膜侧支供血水平呈显著正相关, 表明侧支循环的丰富程度与疾病的严重程度有直接关系。SWI 技术可用于评价侧支循环的状况, 并可用于判断溶栓或取栓术的疗效。研究表明, 侧支循环不佳的患者, 其再灌注的成功率更低, 而且有更高的出血危险[9]。侧支循环是保证大脑供血、减轻脑缺血损伤的重要手段, 但侧支循环功能不全的患者在进行再灌注时更易发生出血性转变等并发症。SWI 是评价侧支循环状况非常有意义的指标, 其可以帮助临床医师更精确地制定治疗方案。总之, SWI 技术在判断脑梗塞侧支循环方面有明显的优越性, 可为脑梗塞的再灌注治疗提供依据, 对优化治疗方案、提高患者的预后具有重要意义。然而, SWI 不能较好地反映深层侧支血流, 而且侧支循环的分级标准也没有统一, 因此, 其评价指标与预后的定量关系及在不同卒中类型中的应用价值仍然存在争议。

4.3. 预后评估和治疗决策

磁敏感加权成像(SWI)对脑梗塞的预后及治疗方案的制定有重要的指导意义, 可为临床提供重要的影像学依据, 进而指导治疗方案的制定, 提高患者的预后。SWI 是一种灵敏、灵敏的检查方法, 可用于判断脑梗塞后出血转归[10]。在抗凝治疗过程中, 一定要注意 SWI 对脑组织内微出血的影响, 以减少脑出血的发生。SWI 技术可用于观察颅内血肿的形成, 也可用于观察脑内铁的沉积。在 SWI 中, 铁的沉积呈低信号, 且与神经损伤的严重程度呈正相关。前期研究表明, 随着铁沉积量的增加, 患者的改良 Rankin 评分量表(Modified Rankin Scale, mRS)升高, 预示着神经功能的不良预后。结论 SWI 可用于判断脑梗塞患者的功能预后, 有助于临床医师对其预后进行预后判断。根据 SWI 成像结果, 可以为患者提供更多的个体化治疗计划。比如, SVS 阳性表明有心源性栓子存在, 一些患者可能是抗凝药物的理想选择。反之, 如果有主动脉粥样硬化原因, SVS 阴性的患者, 则应采用另一种治疗方法, 例如植入血管内支架。然而, SWI 中微量铁沉积的定量标准还没有统一, 其与疗效的相关性阈值仍有争论, 其对远期预后的影响还有待进一步的研究证实。

4.4. 疗效监测和随访

磁敏感加权成像(SWI)是一种有效的磁共振成像技术, 可为脑梗塞患者的预后评价及预后判断提供重要的影像学依据。SWI 是评价脑梗塞再灌注状况的重要指标。应用 SWI 成像技术可清楚地观察到血栓的

消失和静脉信号的恢复。另外, SWI 可以发现颅内微小出血, 这往往是出血性转换的特征。SWI 技术是一种非常有效的评估手段, 可以对术后发生的各种并发症进行早期诊断和治疗。前期研究发现, SWI 可通过测定脑内铁血黄质的沉积程度, 判断其是否存在认知障碍。研究显示, 脑梗塞 6 个月后 SWI 随访时发现, 脑梗塞患者脑内的铁血黄质沉积程度与其认知能力的减退有明显的相关性。该研究结果表明 SWI 不但可用于临床治疗效果评价, 而且可用于远期预后评价, 有助于临床医师及早发现潜在的认知损害并进行针对性干预。SWI 对脑梗塞患者的治疗效果及后续追踪有其不可取代的价值。SWI 是基于 SWI 的影像学技术, 它可以为临床医师更好地评价疗效, 优化治疗方案, 提高患者的远期预后。然而, 目前 SWI 的随访问隔时间还没有统一的标准, 对于脑微出血的动态变化及其临床意义的阐释也有较大的争论, 其与脑卒中后神经康复之间的定量关系也不完全明确。

5. SWI 的研究进展与挑战

近年来, 在磁敏感加权成像(SWI)中, 高场强 MRI (如 7.0T)得到了越来越多的应用。7.0T SWI 成像更好地改善了图像的分辨率, 对微静脉及斑块中的出血情况也有了更好的了解。这种高分辨的影像学方法在研究脑血管疾病及脑部微观结构改变方面有着非常重要的作用。SWI 与磁共振弥散加权 DWI、灌注 PWI 等磁共振技术相结合, 可以全面地反映脑血流和结构改变。基于多模态数据的多模式融合方法。如 SWI 和 DWI 联合应用, 能更好地鉴别缺血性卒中的半影带。SWI 联合 PWI 可以更精确地反映脑缺血缺氧状况及血流灌注。在 SWI 成像中, 运动伪像是一种普遍现象, 特别是当患者不能很好地配合或者有吞咽动作时, 会造成成像效果的降低。另外, 利用压缩感知等快速成像方法, 也能有效缩短扫描时间, 减少运动伪迹。SWI 对高场强磁共振成像装置和专用后处理软件的需求较大, 难以在基层推广应用。高场强磁共振成像设备价格较高、手术投入成本较高, 限制了其在基层医院的应用。SWI 技术可对脑梗塞患者的微出血和铁沉积等进行高灵敏度检测, 为脑梗塞的精确诊断和治疗奠定基础。在病因鉴别和预后判断等方面有一定的应用价值。

6. 结论

总之, 磁敏感加权成像(SWI)可以为脑梗塞患者提供传统影像学病理生理学信息, 在临床上具有独特的优势。通过建立新的多功能磁共振成像技术, 用于早期诊断、治疗方案制定和预后评估, 特别是对再灌注治疗方案的制定及出血转化风险的判断有重要的临床意义。在未来可以从三个方面开展研究: 建立 SWI 中微量出血和铁沉积的规范化定量标准, 并构建统一的评价指标体系。二是探讨将 SWI 技术和人工智能相融合的自动化分析模式, 以提高在基层医院中实施的可行性。三是通过大样本、长时间的追踪研究, 确定 SWI 信号变化与患者神经转归之间的关系。

参考文献

- [1] 张伟恒, 梁东辉, 石伟辉. 磁敏感加权成像在预测急性脑梗塞患者再通效果中的应用研究[J]. 影像技术, 2024, 36(6): 22-26.
- [2] 何彩平, 高天, 马坤松, 阮刚, 陈木养. 磁敏感加权成像在脑梗塞出血性转化的临床应用价值分析[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(10): 1787-1790, 1794.
- [3] 黄钻明, 王开福, 徐谢生, 柯赛军. 3.0T 磁敏感加权成像在腔隙性脑梗塞中微出血的应用研究[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(14): 10-12.
- [4] 陈婷. 磁敏感加权成像在预测长期服用阿司匹林高血压患者脑出血风险方面的相关应用[J]. 新疆医学, 2022, 52(11): 1290-1293.
- [5] 崔凌, 郝敬军, 郭锐. 脑梗塞与脑出血急性期应用中西医结合磁共振弥散加权成像(DWI)联合磁敏感加权成像(SWI)诊断的临床价值[J]. 黑龙江中医药, 2022, 51(4): 101-103.

- [6] 陈健容. 磁敏感加权成像在早期脑梗塞中微出血的诊断应用[J]. 现代医用影像学, 2022, 31(4): 666-668.
- [7] 郑奎宏, 王津, 胡建锋, 逯巧慧, 符永瑰, 戚晓昆. 大脑皮层层状坏死的磁敏感加权影像学表现[J]. 中国神经免疫学和神经病学杂志, 2022, 29(1): 36-39.
- [8] 王辉. 磁敏感加权成像(SWI)序列在常见颅脑疾病显像中的应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(8): 125-126.
- [9] 黄海峰, 陈禅清, 李立新. 磁敏感加权成像在高血压性脑微出血病变诊断中的应用研究[J]. 实用妇科内分泌电子杂志, 2020, 7(8): 139-140.
- [10] 刘海霞. 1.5T 磁敏感加权成像在检测腔隙性脑梗塞中微出血的应用价值分析[J]. 中国继续医学教育, 2016, 8(18): 53-54.