

SWI在中枢神经系统疾病应用的进展

全棚毅¹, 段圣武^{2*}, 陈 诚²

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²吉首大学株洲临床学院放射科, 湖南 株洲

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月30日

摘 要

中枢神经系统疾病已成为我国最常见的疾病之一, 磁共振成像(MRI)已经广泛用于中枢神经系统疾病的筛查、诊断及随访, 磁敏感加权成像(SWI)作为一种先进的磁共振成像技术, 利用由各种顺磁性(脱氧血红蛋白、血液分解产物)、抗磁性(钙)或含氧血液产生的局部场不均匀性, 从而提供基于磁化率的造影剂, 因此SWI常作为颅内疾病MRI检查的补充序列。本综述系统地探讨了SWI在中枢神经系统常见疾病的应用价值, 其中包括急性缺血性脑卒中、弥漫性轴索损伤、帕金森病、脑血管畸形、脑胶质瘤。

关键词

磁敏感加权成像, 中枢神经系统疾病, 应用价值

Advances in the Application of Susceptibility-Weighted Imaging (SWI) in Central Nervous System Diseases

Xuyi Quan¹, Shengwu Duan^{2*}, Cheng Chen²

¹School of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

²Department of Radiology, Zhuzhou Clinical College of Jishou University, Zhuzhou Hunan

Received: Apr. 28th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

Central nervous system (CNS) diseases have become the most prevalent category of disorders in China. Magnetic resonance imaging (MRI) is widely utilized for screening, diagnosis, and follow-up

*通讯作者。

文章引用: 全棚毅, 段圣武, 陈诚. SWI 在中枢神经系统疾病应用的进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 2588-2593.
DOI: 10.12677/acm.2025.1551655

of intracranial pathologies. Susceptibility-weighted imaging (SWI), an advanced MRI technique, exploits local field inhomogeneities generated by paramagnetic substances (deoxyhemoglobin, blood degradation products), diamagnetic materials (calcium), or oxygenated blood to produce susceptibility-based contrast. Consequently, SWI is frequently incorporated as a supplementary sequence in MRI protocols for intracranial disease evaluation. This review systematically examines the clinical value of SWI in common intracranial disorders, including acute ischemic stroke, diffuse axonal injury (DAI), Parkinson's disease, cerebrovascular malformations, and glioma.

Keywords

Susceptibility-Weighted Imaging, Central Nervous System Diseases, Application Value

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. SWI 技术的成像原理

磁敏感加权成像(SWI)是一种基于梯度回波序列的先进磁共振成像技术,其成像原理主要依赖于不同组织体素间的内在磁敏感性差异。在信号采集过程中,该技术通过设置较长的回波时间,使不同磁化率组织间产生显著的相位差异,同时采用高分辨率、完全流动补偿的三维采集方式,确保了图像的质量和准确性。在图像生成阶段,系统首先分别获取幅值图和相位图,其中相位图经过高通滤波处理后转换为相位掩模,随后与幅值图进行相乘运算,从而显著增强了图像的对比度,最终生成具有高组织对比度的SWI图像。为进一步提升图像质量,还需进行一系列后处理操作,包括对SWI图像进行薄块重建,以及通过最小密度投影(minIP)算法生成mIP图,这些处理步骤有效提高了图像的空间分辨率和组织细节显示能力。

定量磁敏感图(QSM)是SWI的最新发展技术,其核心技术主要包括三个关键步骤:首先,通过去除外部背景场干扰,确保测量数据的准确性;其次,采用反投影算法精确获取组织内部的磁场变化图像;最后,运用正则化方法有效降低图像噪声和改善磁场不均匀性。相较于传统成像技术,QSM具有独特的优势,其定量测量结果不受组织几何形状和磁场强度的限制,QSM在神经系统疾病的研究和诊断中展现出重要的应用价值。

2. SWI 在中枢神经系统疾病的应用

2.1. SWI 在急性缺血性脑卒中的应用

计算机断层扫描(CT)和常规MRI是诊断急性缺血性脑卒中的常用方法,两者可以确定急性缺血血管闭塞部位,但这两种技术都依赖于造影剂和血流相关增强来检测血管闭塞的位置,表明血栓存在,但不能较好地评估血栓的成分及形态[1],在临床上,前瞻性影像学识别血栓亚型是有益的,因为红细胞丰富的血栓对静脉内组织纤溶酶原激活剂(IV-tPA)治疗更敏感[2] [3],血栓的磁化率与组织病理学组成和红细胞、血小板、纤维蛋白、动脉粥样硬化蛋白的不同成分有关,富含红细胞的血栓含有更高水平的顺磁含量,SWI可以直接看到血栓中的高铁含量和脱氧血红蛋白含量的增加导致的血栓,即使是周围较小的血栓或闭塞性血栓远端的碎片化血栓也可以在SWI上被发现,这通常是在时间飞跃法磁共振血管成像(TOF MRA)上看不到的[4]。此外,弯曲的血管壁可能会增加壁面摩擦,这可能会阻碍支架回收装置的通过,SWI在描绘原生血管形态方面优于传统的血管造影技术,因为SWI上存在的血栓会自然地勾勒出血管的

轮廓,这可以提供血管角度的近似估计[5]。

出血转化是急性缺血性脑卒中常见的并发症,早期检测出血转化在临床上至关重要,周小燕[6]通过 SWI 与磁共振弥散加权成像(DWI)两者技术对急性脑梗死疑似伴出血的患者进行检查发现 SWI 扫描获得 mIP 图中能够清楚显示病灶大小、形态和血液成分变化情况,脑实质出血可分为三种主要模式:出血性梗死(HI)、实质血肿(PH)和缺血外血肿。其中,出血性梗死进一步细分为 HI1 (表现为单独点状出血)和 HI2 (表现为合流点状出血)两种亚型;实质血肿则根据出血范围及占位效应分为 PH1 (出血范围占梗死区 30% 以下,仅呈现轻微占位效应)和 PH2 (出血范围占梗死区 30%以上,伴有明显占位效应)。SWI 在检测微出血方面具有很高的敏感性,并且可以识别 HI1 和 HI2 模式,研究表明[7],HI1、HI2 和 PH1 与早期神经系统恶化、发病率和死亡率的风险较低有关。

在急性缺血性脑卒中,病灶常由核心梗死区和缺血半暗带组成,临床上常用计算机断层扫描脑灌注成像(CTP)和磁共振脑灌注成像(PWI)观察急性缺血性脑卒中患者血流灌注情况。研究表明[8],当脑组织处于低灌注时,缺血区氧提取分数增加,此时低灌注区出现代偿现象,在 SWI 上常表现为责任血管供血区域内出现明显增多和扩张的血管(PV),这是 SWI 识别缺血半暗带的标志,并且在氧提取分数增加的情况下,组织间的磁敏感差异性增加,使很多正常情况下不易发现的微小血管得以显现。研究发现[9],PWI 低灌注区域与 SWI 对应区域存在 PV 高度一致,DWI-SWI 不匹配区域与 DWI-MTT 不匹配区域一致,由此可见,SWI 可以在无造影剂的情况下评估急性缺血性脑卒中的缺血半暗带,Eman A. F. Darwish [10]等人根据 Alberta 卒中项目早期 CT 评分(ASPECTS)系统分析急性缺血性脑卒中患者 DWI 与 SWI 病灶图像发现 DWI-SWI 不匹配是可挽救脑组织的指标,如果不进行干预,脑组织有中风进展的风险,错配评分越高表明梗塞生长范围越广,最近,QSM 已经能够定量分析缺血区域内与不对称低血压皮质静脉相关的脱氧血红蛋白水平,但缺血区域皮质静脉氧合水平可能受到侧支循环的影响,但需要进一步研究 QSM 静脉氧合水平与现有磁共振参数(如扩散或灌注序列)的关系[11]。

由此可见,SWI 在临床上不仅能作为急性缺血性脑卒中的辅助诊断手段,其无创、高敏感性的特点为急性缺血性脑卒中的精准分型、治疗选择及预后评估提供了新的视角。

2.2. SWI 在弥漫性轴索损伤的应用

一般来说,中度和重度脑损伤在非增强 CT 图像上能明显地显示创伤后的病灶,SWI 的优势在于微出血(出血性弥漫性轴索损伤或剪切损伤)的影像诊断上,SWI 比 CT 或常规 MRI 扫描能显示更多的病变,这对患者的预后具有很高的价值[12]。弥漫性轴索损伤(DAI)作为一种特殊的脑损伤,其发生机制是头部受到瞬间旋转暴力或弥漫施力所致的脑内剪切伤,引起脑内神经轴索肿胀、断裂、点片状出血和血肿,CT 检查在直接显示受损轴索方面存在局限性,往往出现假阴性结果。此类损伤常伴随弥漫性血管损伤,SWI 可清晰显示沿髓周静脉分布的幕上白质会聚型出血及其向间隔静脉的引流过程。相关研究证实[13],SWI 图像中呈现头状或会聚性头状幕上出血(即弥漫性血管损伤)与不良预后存在关联,甘郑宁[14]研究进一步发现,通过将 DAI 患者的格拉斯哥昏迷(GCS)评分与患者 SWI 图像发现 SWI 检出 DAI 病灶数量与 GCS 呈现负相关,这表明 SWI 序列检出 DAI 的数量可能也可作为评估患者病情的重要参考指标,然而弥漫性轴索损伤与弥漫性血管损伤的精确鉴别及其临床意义仍需后续研究中深入探讨。

2.3. SWI 在帕金森病的应用

帕金森(PD)是一种常见的神经退行性疾病,PD 的病理学改变主要表现为黑质神经元和相关多巴胺受体通路的损伤和黑质区域异常铁沉积增加以及神经黑色素铁复合物含量增加,这会诱导神经胶质细胞聚集,从而导致神经元损伤和细胞死亡加速[15]。铁属于顺磁性物质,其磁化率显著高于周围脑组织,因此,

相较于常规 T2WI 成像, SWI 成像能提供明显的征象。黑体 1 (N1) 的成像最早出现在 7.0 TMRI, 后来也在 3.0 TMRI 也能显示, N1 区域位于黑质后部, 其特征是在高分辨率 SWI 成像上呈高信号, 两侧呈两个低信号线性区域, 类似于燕尾[16], 大部分情况下, 黑质中的铁沉积通常集中在网状区, 而神经黑色素主要集中在黑质的致密区。在 PD 患者中, 黑质致密区的神经黑色素含量降低, 铁沉积增加, 反映了多巴胺神经元的退化过程与变性之间的相关性, 将铁沉积进行定位及定量分析[17] [18], 然而, 通过单一的 SWI、QSM 和 T2WI 序列在测量过程中无法区分黑质的致密区和网状区[19], 尤其是当 PD 患者致密区的铁沉积出现异常增加时, 为解决这一问题, MRI 多模态联合技术展现出了优势[20], 通过将神经黑色素敏感成像(NM-MRI)与 SWI 和常规 T2WI 序列相结合, 能够更准确地勾画黑色素神经元分布区的铁沉积, 实现对黑质致密区铁沉积的定量分析。由此看来, 这种 MRI 多模态联合应用不仅提高了铁沉积检测的精度, 还为 PD 的诊断和研究提供了更为可靠的工具, 有助于更深入地理解多巴胺神经元的退化机制。

2.4. SWI 在脑血管畸形的应用

脑血管畸形是一组因胚胎期血管发育异常或后天性血管结构缺陷导致的颅内血管病变, 发病较隐匿, 可出现缺血性脑卒中、癫痫及脑出血等并发症[21]。本文系统探讨了常见的脑血管畸形疾病: 动静脉畸形, 海绵状血管瘤、发育性静脉畸形、毛细血管扩张症。

发育性静脉畸形(DVA)是由放射状排列的成熟小静脉分支汇合形成较粗大的集合静脉, 与动静脉畸形(AVM)相比, DVA 不表现早期静脉引流, 无需要治疗。SWI 相较于常规 MRI 增强扫描能清晰显示髓静脉汇入中央引流静脉, 呈“水母头征”。

动静脉畸形(AVM)是动脉和静脉之间的连接异常, 通常, 与动脉化静脉引流的病灶相连的扩张动脉在动脉和静脉系统之间形成高流量、低阻力的分流, 是年轻人脑出血的重要原因[22]。快速流动、含氧和高信号的动脉血与缓慢流动、脱氧、低信号的静脉血之间存在内在对比, 这使得 SWI 在检测动静脉分流(AVS)方面具有独特的优势, 如果静脉结构内的 SWI 上看到高流量的动静脉畸形呈现高信号, 引流的高流量动静脉畸形是 AVS 和静脉高压的准确指标, 并且与周围区域脑出血风险增加直接相关。此外, 陈旧性出血也是后续出血的重要预测指标, SWI 上能检测到的陈旧性出血信号, 可能会影响进一步的临床诊治。

海绵状血管瘤(CCM)是脑内的一种低流量血管畸形, 大多数 CCM 是无症状的, 严重时会出现癫痫发作或脑出血。CCM 在 MRI 上常呈现爆米花或桑葚样信号改变。病灶的外围通常显示低信号边缘, 代表含铁血黄素沉积。在传统的自旋回波序列中很有可能会遗漏体积较小的 CCM, 而在 SWI 上能很好显示病灶。

毛细血管扩张症(CCT)是慢流血管畸形, 可能散发或可能与遗传综合征有关。CCT 常位于脑桥和基底神经节, 并常表现为小局灶性病灶, SWI 显示病灶慢静脉血流的信号, 这在其他 MRI 序列上可能无法显示。

2.5. SWI 在脑胶质瘤的应用

脑胶质瘤是神经系统中最常见、疗效最差的恶性肿瘤之一, 具有很高的侵袭性生长特点, 其治疗难度大且易复发, 临床疗效往往不理想[6]。SWI 在脑胶质瘤的诊断和治疗中发挥着重要作用。

在诊断上, SWI 能够检测出脑肿瘤中的微出血和血管, 常表现为肿瘤内部聚集或不聚集、成簇低信号的细微线状或点状结构, 这被定义为肿瘤内易感信号(ITSS)。在 SWI 序列中使用 ITSS 对脑胶质瘤分级及鉴别诊断提供了应用价值, 刘梦霖[23]从分子影像学角度利用 SWI 联合血清 Id1、IGFBP-3 对脑胶质瘤患者进行术前分级发现高级别组 ITSS 评分显著升高, 高级别脑胶质瘤会出现不同数量的 ITSS 征象, 当 Id1、IGFBP-3 在脑胶质瘤患者血清中表达显著升高, 磁共振 SWI 序列联合血清 Id1、IGFBP-3 可以提高

对脑胶质瘤术前分级的评估价值。另有研究表明[24], 肿瘤新生血管与其恶性程度的高低密切相关, 恶性程度高者往往生长情况也更加活跃, 血管大量生成。其次, SWI 还可显示肿瘤周围静脉。此外, 高级别胶质瘤与弥漫大 B 细胞淋巴瘤在常规影像序列表现通常相似, SWI 上 ITSS 的存在表明新血管生成和脑血容量增加, 是胶质母细胞瘤的特征性表现。相反, ITSS 在弥漫大 B 细胞淋巴瘤极少出现影像征象。

在治疗上, 手术是脑胶质瘤常见的治疗方法, 对比增强 SWI (CE-SWI) 为注射对比剂后, 肿瘤表现为信号增强影像, 由于存在丰富的供血和引流血管, 肿瘤周围常表现为高信号, 研究表明[25], CE-SWI 相较于未注射对比剂的 SWI 能够更清晰地显示脑肿瘤的特征和结构, 并能很好地描绘肿瘤边缘, 尤其是当恶性程度较高的肿瘤时, CE-SWI 能更加清晰显示肿瘤实质的异质性和血脑屏障的破坏情况。综上所述, CE-SWI 具有清晰显示肿瘤边缘及浸润情况的能力, 这对制定手术计划提供了重要临床价值。

综上所述, SWI 在脑胶质瘤的应用价值体现在能检测肿瘤微出血评估肿瘤侵袭性, 还可显示肿瘤的新生血管来反映肿瘤的供血情况, 从而辅助临床上脑胶质瘤分级。此外, 结合 CE-SWI 显示肿瘤边缘及浸润情况, 进一步指导脑胶质瘤的手术治疗。

3. 总结与展望

总之, SWI 作为先进 MRI 序列, 在颅内常见疾病诊断与治疗中提供了一定的应用价值, 但在目前的 SWI 应用而言仍具有一定的局限性, 在急性缺血性脑血管病的应用中, QSM 虽可用于评估缺血区域脱氧血红蛋白浓度及其与不对称低血压皮质静脉的相关性, 但皮质静脉氧合状态易受侧支循环干扰, 加之 SWI 扫描耗时较长, 在一定程度上降低了急性缺血性脑卒中患者的诊疗效率。当前 SWI 技术无法确切区分弥漫性轴索损伤与弥漫性血管损伤, 关于 SWI 在脑胶质瘤 ITSS 的应用, 目前没有明确的标准来量化 ITSS, 目前尚未建立统一的量化标准, 究竟是选择 ITSS 最显著层面还是计算肿瘤整体 ITSS 数量, 仍需深入探讨。SWI 扫描在空气与组织交界处和钙化密集部位容易出现伪影, 这一定程度上阻碍了对病变的评估。展望未来, SWI 技术的发展方向主要集中在两个方面: 一方面, 通过与人工智能技术的深度融合, 有望显著提高微出血和血栓的自动识别效率, 从而提升诊断的准确性和效率; 另一方面, 采用三维梯度回波序列等技术改进, 可提供全脑高分辨率图像, 这将有助于 SWI 被纳入颅内疾病的常规扫描序列。

参考文献

- [1] Rubin, A., Waszczuk, L., Trybek, G., Kapetanakis, S. and Bladowska, J. (2022) Application of Susceptibility Weighted Imaging (SWI) in Diagnostic Imaging of Brain Pathologies—A Practical Approach. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **221**, Article 107368. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2022.107368>
- [2] Hsu, C.C., Kwan, G.N.C., Hapugoda, S., Craigie, M., Watkins, T.W. and Haacke, E.M. (2017) Susceptibility Weighted Imaging in Acute Cerebral Ischemia: Review of Emerging Technical Concepts and Clinical Applications. *The Neuro-radiology Journal*, **30**, 109-119. <https://doi.org/10.1177/1971400917690166>
- [3] Hashimoto, T., Hayakawa, M., Funatsu, N., Yamagami, H., Satow, T., Takahashi, J.C., et al. (2016) Histopathologic Analysis of Retrieved Thrombi Associated with Successful Reperfusion after Acute Stroke Thrombectomy. *Stroke*, **47**, 3035-3037. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.116.015228>
- [4] Khaladkar, S.M., Chanabasanavar, V., Dhirawani, S., Thakker, V., Dilip, D. and Paripati, V.K. (2022) Susceptibility Weighted Imaging: An Effective Auxiliary Sequence That Enhances Insight into the Imaging of Stroke. *Cureus*, **14**, e24918. <https://doi.org/10.7759/cureus.24918>
- [5] Schwaiger, B.J., Gersing, A.S., Zimmer, C. and Prothmann, S. (2015) The Curved MCA: Influence of Vessel Anatomy on Recanalization Results of Mechanical Thrombectomy after Acute Ischemic Stroke. *American Journal of Neuroradiology*, **36**, 971-976. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a4222>
- [6] 周小燕, 李铭, 李燕燕, 等. 磁共振磁敏感加权成像检查对脑梗死伴出血转化患者的诊断价值[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(18): 27-29, 45.
- [7] 石静倩. MRI DWI 与 SWI 序列在诊断脑梗死与急性脑出血中的临床价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(4): 71-73.

- [8] 刘佳辉, 肖文丰. 多模态磁共振诊断缺血半暗带的研究进展[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(10): 171-173.
- [9] Mittal, S., Wu, Z., Neelavalli, J. and Haacke, E.M. (2009) Susceptibility-Weighted Imaging: Technical Aspects and Clinical Applications, Part 2. *American Journal of Neuroradiology*, **30**, 232-252. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a1461>
- [10] Darwish, E.A.F., Abdelhameed-El-Nouby, M. and Geneidy, E. (2020) Mapping the Ischemic Penumbra and Predicting Stroke Progression in Acute Ischemic Stroke: The Overlooked Role of Susceptibility Weighted Imaging. *Insights into Imaging*, **11**, Article No. 6. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0810-y>
- [11] Xia, S., Utriainen, D., Tang, J., Kou, Z., Zheng, G., Wang, X., *et al.* (2014) Decreased Oxygen Saturation in Asymmetrically Prominent Cortical Veins in Patients with Cerebral Ischemic Stroke. *Magnetic Resonance Imaging*, **32**, 1272-1276. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2014.08.012>
- [12] Haller, S., Haacke, E.M., Thurnher, M.M. and Barkhof, F. (2021) Susceptibility-Weighted Imaging: Technical Essentials and Clinical Neurologic Applications. *Radiology*, **299**, 3-26. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021203071>
- [13] Iwamura, A., Taoka, T., Fukusumi, A., Sakamoto, M., Miyasaka, T., Ochi, T., *et al.* (2011) Diffuse Vascular Injury: Convergent-Type Hemorrhage in the Supratentorial White Matter on Susceptibility-Weighted Image in Cases of Severe Traumatic Brain Damage. *Neuroradiology*, **54**, 335-343. <https://doi.org/10.1007/s00234-011-0892-9>
- [14] 甘郑宁, 马梦雪. 磁共振 SWI 技术在弥漫性轴索损伤患者诊治中的应用[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(7): 24-26.
- [15] Cao, Q., Huang, J., Tang, D., Qian, H., Yan, K., Shi, X., *et al.* (2023) Application Value of Multiparametric MRI for Evaluating Iron Deposition in the Substantia Nigra in Parkinson's Disease. *Frontiers in Neurology*, **13**, Article 1096966. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1096966>
- [16] Schwarz, S.T., Afzal, M., Morgan, P.S., Bajaj, N., Gowland, P.A. and Auer, D.P. (2014) The 'Swallow Tail' Appearance of the Healthy Nigrosome—A New Accurate Test of Parkinson's Disease: A Case-Control and Retrospective Cross-Sectional MRI Study at 3T. *PLOS ONE*, **9**, e93814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093814>
- [17] Salzman, G., Kim, J., Horga, G. and Wengler, K. (2021) Standardized Data Acquisition for Neuromelanin-Sensitive Magnetic Resonance Imaging of the Substantia Nigra. *Journal of Visualized Experiments*, **8**, e62493. <https://doi.org/10.3791/62493-v>
- [18] Braak, H., Tredici, K.D., Rüb, U., de Vos, R.A.I., Jansen Steur, E.N.H. and Braak, E. (2003) Staging of Brain Pathology Related to Sporadic Parkinson's Disease. *Neurobiology of Aging*, **24**, 197-211. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(02)00065-9)
- [19] Sung, Y.H., Kim, J., Yoo, S., Shin, N., Nam, Y., Ahn, T., *et al.* (2022) A Prospective Multi-Centre Study of Susceptibility Map-Weighted MRI for the Diagnosis of Neurodegenerative Parkinsonism. *European Radiology*, **32**, 3597-3608. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08454-z>
- [20] Sotoudeh, H., Sarrami, A.H., Wang, J., Saadatpour, Z., Razaei, A., Gaddamanugu, S., *et al.* (2021) Susceptibility-weighted Imaging in Neurodegenerative Disorders: A Review. *Journal of Neuroimaging*, **31**, 459-470. <https://doi.org/10.1111/jon.12841>
- [21] 鲁新宇, 张刘璐, 肖遥, 等. 脑血管畸形的 MRI 征象[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2023, 21(4): 451-454.
- [22] Rutledge, C., Cooke, D.L., Hetts, S.W. and Abula, A.A. (2021) Brain Arteriovenous Malformations. *Handbook of Clinical Neurology*, **176**, 171-178. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64034-5.00020-1>
- [23] 刘梦雯, 赵森. 磁共振 SWI 序列联合血清 Id1、IGFBP-3 对脑胶质瘤术前分级的评估价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(2): 5-7.
- [24] 哈特勒哈什·安曼太, 巴图尔·吐尔地. 磁敏感加权成像在脑胶质瘤鉴别诊断、术前病理分级及术中的应用[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(6): 891-896.
- [25] Kang, H. and Jang, S. (2020) The Diagnostic Value of Postcontrast Susceptibility-Weighted Imaging in the Assessment of Intracranial Brain Neoplasm at 3T. *Acta Radiologica*, **62**, 791-798. <https://doi.org/10.1177/0284185120940265>