

5. 0T MR susceptibility weighted imaging for displaying cerebral small veins and detecting cerebral microbleeds

MIAO Xiyin¹, SHI Zhang^{1*}, HAN Shihong², WANG Rui², CHEN Caizhong¹,
RAO Shengxiang¹, LIN Jiang¹, ZENG Mengsu¹

(1. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China;
2. United Imaging Healthcare, Shanghai 201807, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of 5.0T MR susceptibility weighted imaging (SWI) for displaying cerebral small veins and detecting cerebral microbleeds (CMB). **Methods** Head MR examinations were prospectively performed using both 3.0T and 5.0T MR scanner in 30 stroke patients suspected caused by cerebral small vessel disease. The image quality, effect of displaying cerebral small veins and detecting CMB were compared between 3.0T and 5.0T SWI. **Results** The image quality scores, signal-to-noise ratios, contrast-to-noise ratios, scores of displaying deep cerebral veins and subcortical veins, the counts of detecting CMB and iron deposition on cortical surface of 5.0T SWI were all higher than those of 3.0T SWI (all $P < 0.05$). High consistency of CMB positions was found between 3.0T and 5.0T SWI ($Kappa = 1.0$). **Conclusion** The effect of 5.0T MR SWI for displaying cerebral small veins and detecting cerebral microbleeds were better than 3.0T MR SWI, which could be used to assess stroke caused by cerebral small vascular disease.

[Keywords] cerebrovascular disorders; stroke; cerebral veins; intracranial hemorrhages; magnetic resonance imaging; image quality; prospective studies

DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2024.05.005

5. 0T MR 磁敏感加权成像显示脑小静脉及检测脑微出血

缪熙音¹, 史张^{1*}, 韩世鸿², 王睿², 陈财忠¹, 饶圣祥¹, 林江¹, 曾蒙苏¹

(1. 复旦大学附属中山医院放射科, 上海 200032; 2. 上海联影医疗科技股份有限公司, 上海 201807)

[摘要] **目的** 观察 5.0T MR 磁敏感加权成像 (SWI) 显示脑小静脉及检测脑微出血 (CMB) 的价值。 **方法** 前瞻性对 30 例疑似因脑小血管病致脑卒中患者行 3.0T 及 5.0T 头颅 MR 检查, 对比不同场强下 SWI 图像质量、显示脑小静脉及检出 CMB 效果。 **结果** 5.0T SWI 图像质量评分、信噪比、对比度噪声比、显示脑深部静脉及皮层下静脉评分、检测 CMB 数量及脑皮质表面铁沉积检出率均高于 3.0T SWI (P 均 < 0.05)。3.0T 及 5.0T SWI 评估 CMB 位置一致性极好 ($Kappa = 1.0$)。 **结论** 5.0T SWI 显示脑小静脉及检测 CMB 效果均优于 3.0T SWI, 可用于评估脑小血管病所致脑卒中。

[关键词] 脑血管疾病; 卒中; 大脑静脉; 颅内出血; 磁共振成像; 图像质量; 前瞻性研究

[中图分类号] R651.1; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2024)05-0657-04

缺血性脑卒中为脑血管病变使供血区血流灌注减
低、引起脑组织缺血坏死所致, 其发病率、致残率及复

发率均较高, 已成为全球研究热点及健康管理焦点之
一^[1]。既往认为我国约 70% 缺血性脑卒中属于大血

[基金项目] 上海市白玉兰人才计划浦江项目 (2023PJD012)。

[第一作者] 缪熙音 (1975—), 女, 江苏南通人, 本科, 主管技师。研究方向: 全身磁共振成像新技术。E-mail: miao.xiyin@zs-hospital.sh.cn

[通信作者] 史张, 复旦大学附属中山医院放射科, 200032。E-mail: shi.zhang@zs-hospital.sh.cn

[收稿日期] 2023-12-29 **[修回日期]** 2024-02-06

管粥样硬化型卒中或心源性卒中;随着影像学技术的发展,近年来,临床诊断的脑小血管病所致卒中越来越多^[2],以 T2* WI 为主要代表的磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)为显示脑深部静脉及检测脑微出血(cerebral microbleed, CMB)提供了新的可能^[3-4]。目前临床多采用 SWI 与 T1W、T2W 及液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)序列组合诊断脑血管病,但常因扫描时间较长、空间分辨率不高及背景组织抑制不佳等因素导致检测皮层下 CMB 效果不佳而难以满足临床需求。本研究观察 5.0T MR SWI 显示脑小静脉及检测 CMB 的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入 2022 年 10 月—2023 年 10 月复旦大学附属中山医院 30 例疑因脑小血管病致脑卒中患者,男 17 例、女 13 例,年龄 52~71 岁、平均(65.7±5.3)岁;于入院时行头颈部 CT 血管造影(CT angiography, CTA)或 MR 血管造影(MR angiography, MRA),并于其后 48 h 内分别以 3.0T 及 5.0T MR 仪行头颅检查。纳入标准:①入院前 1 周内短暂性脑缺血发作,或出现单侧肢体麻木、言语不清及口角歪斜等脑卒中症状;②CTA 或 MRA 显示颈动脉及颅内动脉狭窄均≤50%;③记忆力减退或认知障碍。排除标准:①大血管粥样硬化型、心源性或血管性脑卒中;②曾因动脉瘤接受手术治疗;③体内存在金属植入物、假体,或携胰岛素泵;④幽闭恐惧症;⑤患者配合不佳。本研究经院伦理委员会批准(B2022-112R),检查前患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用联影 uMR Omega 3.0T MR 仪及 24 通道头部线圈,或联影 uMR Jupiter 5.0T MR 仪及 48 通道头部线圈采集颅脑 T1WI、T2WI,行 T2-FLAIR、弥散加权成像(diffusion weighted imaging,

DWI)及 SWI;SWI 体素均为 0.51 mm×0.51 mm×1.50 mm,最小密度投影(minimum intensity projection, MinIP)层数均为 10,其余扫描参数见表 1。

1.3 分析图像 由分别具有 5 年及 8 年 MRI 诊断经验且不知晓所用 MR 设备场强的影像科医师各 1 名评估 SWI 图像质量。观察其显示脑小静脉及检出 CMB 效果。

1.3.1 图像质量 采用 Likert 5 分量表法评估 SWI 图像质量:5 分,图像质量优秀、可用于诊断;4 分,图像质量良好、可用于诊断;3 分,图像质量有瑕疵、但不影响诊断;2 分,图像质量欠佳、影响诊断;1 分,图像质量差、不能诊断。评分≥3 视为总体评价优良。分别将 2 个直径 5~6 mm 的圆形 ROI 置于胼胝体周围深部静脉层面 SWI 所示静脉腔及脑白质内,测量其信号,计算信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)。

1.3.2 显示脑小静脉 基于 MinIP 图以 3 分量表法评估 SWI 显示脑深部静脉及皮层下静脉效果:3 分,显示血管节段清晰、管径均匀,可用于诊断;2 分,血管节段可见,信号对比度欠佳,但不影响诊断;1 分,血管节段显示模糊,影响诊断;0 分,血管节段不可见。以评分≥2 为显示优良。

1.3.3 检测 CMB 以直径<1.5 mm 且于原始 SWI、相位图及 MinIP 图中均呈点状低信号的病灶为 CMB。计数额叶、顶叶、颞叶、枕叶、小脑、脑干及基底节区 CMB 数量,观察脑皮质表面有无铁沉积。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 24.0 统计分析软件。以 $\bar{x}±s$ 表示正态分布计量资料,行配对 *t* 检验;以中位数(上下四分位数)表示不符合正态分布的计量资料,行 Wilcoxon 符号秩检验。采用配对 χ^2 检验比较以 3.0T 及 5.0T SWI 显示脑皮质表面有无铁沉积的差

表 1 3.0T 及 5.0T MR 各序列扫描参数

序列	场强	TR(ms)	TE(ms)	FOV(mm×mm)	ETL	层厚(mm)	扫描时间	AF	FA(°)
T1W	3.0T	567	16	220×220	43	5	4 min 20 s	—	43
	5.0T	2 130	8.83	230×220	43	5	1 min 47 s	—	43
T2W	3.0T	2 883	50	220×220	90	5	3 min 51 s	—	32
	5.0T	5 000	114.6	230×200	90	5	2 min 15 s	—	23
T2-FLAIR	3.0T	6 500	414.12	230×220	220	5	5 min 25 s	—	21
	5.0T	8 500	348.3	230×200	180	5	3 min 41 s	—	30
DWI	3.0T	5 300	74.3	220×220	69	5	42 s	—	90
	5.0T	3 272	57.2	230×220	69	5	59 s	—	90
SWI	3.0T	30	20	230×200	1	5	7 min 11 s	2, 2	15
	5.0T	28.1	19	220×180	1	2	5 min 26 s	3	10

异。以 Kappa 检验对 3.0T 及 5.0T SWI 所示 CMB 位置进行一致性分析,以 $Kappa \geq 0.8$ 为一致性极好。以组内相关系数 (intra-class correlation coefficient, ICC) 分析观察者内及观察者间评估结果的一致性,以 $ICC > 0.75$ 为一致性良好。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

30 例中, T2-FLAIR 图显示 28 例 (28/30, 93.33%) 脑白质内存在高信号, 18 例 (18/30, 60.00%) DWI 可见 CMB; 根据 DWI 诊断 4 例 (4/30, 13.33%) 急性脑梗死。

2.1 SWI 图像质量 5.0T SWI 图像质量评分、SNR 及 CNR 均高于 3.0T SWI (P 均 < 0.05), 见表 2。

2.2 SWI 显示脑小静脉 5.0T SWI 显示脑深部静脉及皮层下静脉的评分均高于 3.0T SWI (P 均 < 0.05), 见表 3。

表 2 以不同场强 MR 仪所获 SWI 图像质量比较 ($n=30$)

场强	图像质量评分	SNR(dB)	CNR(dB)
5.0T	5.0(5.0,5.0)	128.81(102.57,198.79)	108.35(79.84,183.00)
3.0T	5.0(4.0,5.0)	48.89(39.37,64.67)	39.81(32.15,51.50)
Z 值	2.828	4.703	4.703
P 值	0.005	< 0.001	< 0.001

表 3 以不同场强 MR 仪所获 SWI 显示脑小静脉比较 ($n=30$)

场强	显示脑深部静脉评分	显示皮层下静脉评分
5.0T	3.0(3.0,3.0)	3.0(3.0,3.0)
3.0T	3.0(2.0,3.0)	3.0(2.0,3.0)
Z 值	2.121	3.000
P 值	0.034	0.003

2.3 SWI 检测 CMB 30 例中, 3.0T 及 5.0T SWI 均诊断 18 例 (18/30, 60.00%) CMB, 且二者判断 CMB 位置的一致性极好 ($Kappa = 1.0$)。5.0T SWI 检出 CMB 病灶数量及脑皮质表面铁沉积均高于 3.0T SWI (P 均 < 0.05)。见表 4 及图 1。

表 4 不同场强下 MR SWI 检测 CMB 及脑皮质表面铁沉积比较

场强	CMB 位置 ($n=18$)								CMB 数量 ($n=18$)		脑皮质表面铁沉积 ($n=30$)	
	额叶	颞叶	顶叶	枕叶	小脑	脑干	基底节区	多发	有	无		
5.0T	3	2	2	2	1	1	4	3	5.0(3.0,7.5)	9	21	
3.0T	3	2	2	2	1	1	4	3	4.0(3.0,7.5)	3	27	
Kappa/Z 值	1.0								3.051	—		
P 值	—								0.002	0.003		

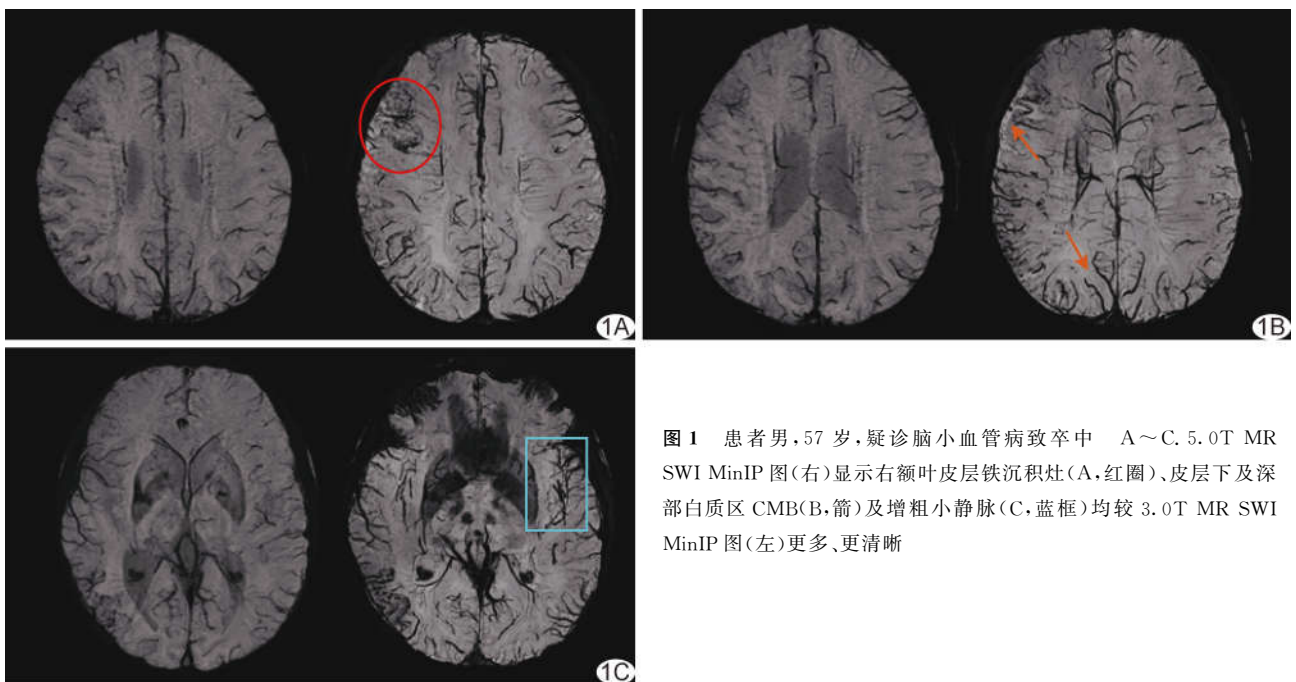


图 1 患者男, 57 岁, 疑诊脑小血管病致卒中 A~C. 5.0T MR SWI MinIP 图(右)显示右额叶皮层铁沉积灶(A, 红圈)、皮层下及深部白质区 CMB(B, 箭)及增粗小静脉(C, 蓝框)均较 3.0T MR SWI MinIP 图(左)更多、更清晰

2.4 一致性 观察者内及观察者间对于上述各项评价结果的一致性均良好 (ICC 均 > 0.90), 见表 5。

表 5 观察者内及观察者间一致性检验结果

观察主体	图像质量评分	显示脑深部静脉评分	显示皮层下静脉评分	CMB 位置	CMB 数量
观察者内	0.984	0.972	0.970	0.981	0.939
观察者间	0.913	0.945	0.922	0.948	0.904

3 讨论

7.0T MR 仪在显示人体脑小静脉方面表现出色^[5]。理论上, 伴随场强提升, MRI 分辨率及显示结构细节亦应提高, 但在实际应用中发现, 超高场强亦将带来 B1 场不均性增大、图像局部亮暗差异大等问题。有学者^[6]发现, B1 场不均是造成颅底动脉段(颈内动脉虹吸段及基底动脉近段)在 7.0T MR 头颅血管成像中信号缺失的重要原因之一^[7]。

作为我国自主研发的超高场 MR 系统, 5.0T MR 仪突破了高场射频技术壁垒, 可提升显示脑小血管清晰度而避免局部信号不均匀或缺失, 使全身扫描成为可能。本团队前期研究^[6]发现, 5.0T MR 仪可在提升图像质量的前提下增强显示颅内动脉及其分支细节的能力。本组以前瞻性研究对比观察 3.0T 与 5.0T MR SWI 显示脑小静脉效果, 发现 5.0T SWI 图像质量评分、SNR 及 CNR 均高于 3.0T SWI, 显示脑深部静脉及皮层下静脉效果亦均优于 3.0T SWI, 进一步证实了基于 5.0T MR 仪行 SWI 对于显示脑小静脉具有优势, 为以超高场强 MR 仪诊断及鉴别诊断脑小血管病提供了技术支持。

2023 年最新脑小血管病影像学指南^[8]明确指出, CMB 为脑小血管病的重要影像学征象之一, 且皮层下 CMB 可作为其独立征象, 同时强烈推荐将 SWI 纳入综合评估脑小血管病的必要序列。已有研究表明, 3.0T SWI 对于评估 CMB 具有较高价值, 而 7.0T MR 对于筛查小出血灶更具优势^[9]。本研究结果显示, 3.0T 及 5.0T SWI 均有助于检出 CMB, 且二者判别病灶位置的一致性极好 (Kappa = 1.0), 有助于辅助诊断脑小血管病所致卒中; 5.0T SWI 可检出更多微小出血灶及脑皮质表面铁沉积, 为评估皮层下 CMB 提供客观依据。

综上所述, 5.0T SWI 显示脑小静脉及检测 CMB 均优于 3.0T SWI, 二者评估 CMB 位置一致性极好; 5.0T SWI 可用于评估脑小血管病所致缺血性脑卒中。本研究的局限性: ①仅针对 SWI 进行分析, 未涉及其他常规 MR 序列; ②评价静脉或微出血灶缺乏金

标准; ③未针对白质高信号进行深入探讨; ④缺乏与 7.0T MR 的对比分析; ⑤样本量有限, 有待后续开展大样本量队列研究进一步观察。

利益冲突: 全体作者声明无利益冲突。

作者贡献: 缪熙音研究实施、撰写文章; 史张研究实施、统计分析、修改文章; 韩世鸿、王睿、陈财忠研究实施; 饶圣祥、林江、曾蒙苏研究设计。

[参考文献]

- [1] 张堉, 苏春秋, 施海彬, 等. 氨基质子转移成像用于缺血性脑卒中进展[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(5): 768-771.
- [2] WARDLAW J M, SMITH C, DICHGANS M, et al. Small vessel disease: Mechanisms and clinical implications[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(7): 684-696.
- [3] HALLER S, HAACKE E M, THURNHER M M, et al. Susceptibility-weighted imaging: Technical essentials and clinical neurologic applications[J]. Radiology, 2021, 299(1): 3-26.
- [4] LEE K, ELLISON B, SELIM M, et al. Quantitative susceptibility mapping improves cerebral microbleed detection relative to susceptibility-weighted images[J]. J Neuroimaging, 2023, 33(1): 138-146.
- [5] BIAN W, HESS C P, CHANG S M, et al. Susceptibility-weighted MR imaging of radiation therapy-induced cerebral microbleeds in patients with glioma: A comparison between 3T and 7T [J]. Neuroradiology, 2014, 56(2): 91-96.
- [6] SHI Z, ZHAO X, ZHU S, et al. Time-of-flight intracranial MRA at 3 T versus 5 T versus 7 T: Visualization of distal small cerebral arteries[J]. Radiology, 2023, 306(1): 207-217.
- [7] WU X, SCHMITTER S, AUERBACH E J, et al. Mitigating transmit B1 inhomogeneity in the liver at 7T using multi-spoke parallel transmit RF pulse design[J]. Quant Imaging Med Surg, 2014, 4(1): 4-10.
- [8] DUERIERING M, BIESELS G J, BRODTMANN A, et al. Neuroimaging standards for research into small vessel disease-advances since 2013[J]. Lancet Neurol, 2023, 22(7): 602-618.
- [9] SHAABAN C E, AIZENSTEIN H J, JORGENSEN D R, et al. In vivo imaging of venous side cerebral small-vessel disease in older adults: An MRI method at 7T [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(10): 1923-1928.