

【DOI】 10.3969/j.issn.1671-6450.2023.07.018

综 述

磁敏感血管征在缺血性脑卒中的临床应用进展

谭洋, 张良综述 王斌审校

作者单位: 021500 呼伦贝尔市, 内蒙古民族大学第二临床医学院影像科

通信作者: 王斌, E-mail: 76658085@qq.com



【摘要】 缺血性脑卒中发病率高、复发率高, 是造成我国居民残疾和死亡的主要原因之一。近年来, 磁敏感加权成像上发现的磁敏感血管征越来越得到临床重视, 其形成机制以及与脑卒中的关系已成为目前研究热点。现就磁敏感血管征的临床应用进行综述, 旨在为缺血性脑卒中的诊疗提供更多的参考。

【关键词】 缺血性脑卒中; 磁敏感加权成像; 磁敏感血管征

【中图分类号】 R743.3 **【文献标识码】** A

Progress in clinical application of magnetic sensitive vascular sign in ischemic stroke Tan Yang, Zhang Liang, Wang Bin. Department of Imaging, The Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia University for Nationalities, Hulunbuir 021500, China

Corresponding author: Wang Bin, E-mail: 76658085@qq.com

【Abstract】 Ischemic stroke has a high incidence rate and recurrence rate, which is one of the main causes of disability and death of Chinese residents. In recent years, the magnetic sensitive vascular sign discovered on magnetic sensitive weighted imaging has received increasing clinical attention, and its formation mechanism and relationship with stroke have become current research hotspots. This article reviews the clinical application of magnetic sensitive vascular sign, aiming to provide more references for the diagnosis and treatment of ischemic stroke.

【Key words】 Susceptibility weighted imaging; Susceptibility vessel sign; Ischemic cerebral stroke

脑卒中是我国居民致死、致残的首要病因。据调查显示, 脑卒中的总发病率呈现逐年下降趋势, 但缺血性脑卒中的发病率却在不断上升^[1]。磁敏感加权成像 (susceptibility weighted imaging, SWI) 是在 T2* 加权梯度回波序列的基础上发展而来的成像技术, 其优势在于进一步提高了不同磁性物质间的对比度, 能比常规梯度回波序列 (gradient recalled echo, GRE) 更敏感地显示出细小静脉和微出血灶^[2]。近年来 SWI 序列在缺血性脑血管疾病诊疗领域的相关研究与应用受到学界广泛关注, 在 SWI 序列上发现的磁敏感血管征 (susceptibility vessel sign, SVS) 与缺血性脑卒中的相关研究也逐渐受到研究者的重视, 并成为该领域关注的热门话题。

1 SVS 形成的基本原理

常规的磁共振成像原理是根据组织间质子含量不同, 在能量衰减时间上存在差异来形成图像, 而 SWI 则是基于不同物质磁敏感性差异而成像。SWI 将 T2* 加权幅度图像与梯度回波序列获取的滤波相位图像以乘法关系相结合, 进一步增强了不同磁敏感性组织之间的对比^[3], 使其在不同磁敏感性物质显示方面更具有优势。

磁敏感性是物质的固有特性, 它反映了物质在外加磁场作用下的磁化水平, 通常用磁化率来衡量物质的磁敏感性的强

弱。铁是人体内磁敏感性较高的物质, 其不同状态下所表现出的磁化率存在显著差异。血红蛋白在人体内含铁量很高, 其代谢过程会经历氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白、正铁血蛋白以及含铁血黄素等变化; 根据是否含有不成对电子, 可以将这些代谢物质划分为顺磁性的脱氧血红蛋白、含铁血黄素和反磁性的氧合血红蛋白, 而正铁血蛋白则因为偶极子效应磁敏感性很弱^[4]。在大脑不同部位的血液中, 红细胞内含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白的含量存在差异, 这些差异会引起磁敏感性发生改变, 并在 SWI 的图像上显现出来。

Chalela 等^[5]最早报道了 SVS 的出现, 他们在急性缺血性脑卒中 (acute ischemic stroke, AIS) 患者的 GRE 序列上发现沿大脑中动脉走行区域的卵圆形低信号影, 并认为此征象能够提示急性血栓形成, 由此提出了 SVS 的概念, 即 GRE 序列上 AIS 患者患侧大脑中动脉走行区域内直径超过对侧血管直径的低信号影。Kim 等^[6]认为 SVS 是急性血栓中顺磁性脱氧血红蛋白由于自旋失相而产生明显的信号丢失, 在 SWI 序列上呈现低信号改变。随着血栓的收缩以及纤维蛋白的聚合, 血栓中红细胞堆积和脱氧血红蛋白浓度进一步升高, 使得这种改变更为明显。目前 SVS 被认为是反映缺血性脑卒中责任血管内血栓存在的可靠征象。

2 SVS 在缺血性脑卒中临床诊断中的应用

2.1 SVS 对责任血管内血栓的显示 早期、快速且准确地显示 AIS 患者责任血管内血栓对 AIS 再通治疗方法的选择以及预后的改善有着重要作用。临床上常采用数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)技术作为确诊血栓存在的金标准。为了验证 SVS 与 DSA 诊断血栓的一致性, Naggara 等^[7]以 DSA 作为参考, 发现 SVS 诊断血栓的敏感度为 81.1%, 此外他们的研究还发现 SVS 可以可靠地评估血栓的位置和长度(特别是长度大于 6 mm 的血栓), 且与 DSA 诊断结果具有良好的一致性。磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)技术是临床用来评估脑血管狭窄和寻找 AIS 责任血管的又一重要手段, Payabvash 等^[8]用 SVS 与 MRA 对比来诊断 AIS 患者动脉内的血栓, 发现其敏感度为 51%, 而特异度高达 99%。这些结果都表明 SVS 对急性血栓的显示有着很高的价值。黄月等^[9]在一项前瞻性研究中发现 SVS 在诊断责任动脉血栓方面与 MRA 有良好的一致性且 SVS 的诊断能力高于 MRA, 但王立爽等^[10]的研究却发现 MRA 显示血栓的能力大于 SVS, 而在显示大脑中动脉远端血栓时 SVS 要较 MRA 更具优势。目前, 运用 SVS 来诊断急性脑梗死动脉血栓已被学界广泛接受, 联合 SWI 与 MRA 等多序列将为 AIS 患者责任血管内血栓的显示提供更全面和准确的影像资料, 为 AIS 临床诊断和治疗提供更多帮助。

2.2 SVS 提示缺血性脑卒中的发病时期 缺血性脑卒中按时间可以分为超急性期、急性期、亚急性期以及慢性期。对于 SVS 的出现时期目前存在不同的说法。SVS 的出现与血栓内顺磁性的脱氧血红蛋白成分有关, Aoki 等^[11]认为 SVS 的存在为急性或亚急性期血栓的影像表现, 因为血栓中氧合血红蛋白到脱氧血红蛋白的过程需要一段时间, 所以 SVS 在缺血性脑卒中的急性期或亚急性期更常见。Soize 等^[12]在一项回顾性试验中纳入从发病到 MR 检测小于 8 h 的患者, 发现在梗死后 1 h SVS 出现的几率约为 60%, 而梗死后 8 h 则可上升至 90%, 这表明 SVS 的出现几率会随着时间的延长而增加。然而, 有一部分学者研究却发现 SVS 的出现几率似乎会随时间延长而降低。Vanacker 等^[13]对 59 例未接受溶栓治疗缺血性脑卒中患者进行研究后发现, 在血管闭塞后 24 h 内, 有 37% 的患者出现了自发再通, 这会使得 SVS 的阳性率降低。夏爽等^[14]对 20 例 SVS 阳性患者进行随访, 发现 2 周后 17 例患者 SVS 消失且预后良好。还有一些学者的研究认为 72 h 内, SVS 出现几率没有差异^[15]。即血栓中的脱氧血红蛋白数量 72 h 内保持相似, 但这与血栓的演化并不相符。杨志宏等^[16]对 43 例 SVS 阳性患者分别于 7 d、2 周、3 个月进行 SWI 检查, 发现患者的 SVS 早期为均匀低信号, 恢复期时则为等低混杂信号, 最终变为等信号, 认为 SVS 的变化是缺血性脑卒中血栓成分随时间改变的体现。

总之, 对于 SVS 能否提示 AIS 发病时期以及其在不同时期如何变化仍然存在争议, 还有待与更多不同时期取栓后的病理结果进行对比研究。

2.3 SVS 预测缺血性脑卒中亚型 依据类肝素药物治疗急性缺血性脑卒中试验(Trial of Org 10 172 in acute stroke treatment,

TOAST)分型, 缺血性脑卒中可以分为大动脉粥样硬化型、心源性栓塞型、小动脉闭塞型、其他病因以及病因不明等 5 类^[17], 其中心源性栓塞型是缺血性脑卒中重要的病因之一。Liu 等^[18]在一项荟萃分析中指出 SVS 阳性与心源性卒中密切相关。这可能是由于心源性血栓多为红色血栓, 其内有较多的红细胞, 在血栓的演化过程中, 红细胞内的含氧血红蛋白逐渐变成脱氧血红蛋白, 进而在 SWI 上表现为 SVS。Zhang 等^[19]对 SVS 进一步进行量化, 并提出了高估率的概念, 他们将高估率定义为 SVS 宽度与对应的责任血管宽度的比值。有研究表明 SWI 上随着高估率增加, 血栓来源于心脏可能性更大, 且在受试者工作特征曲线(ROC)上当高估率为 2.003 时, 其预测缺血性脑卒中为心源性栓塞型的可能性最高, 敏感度和特异度分别可达 97.1% 和 91.3%^[20-21]。

尽管上述研究均指出 SVS 多为心源性血栓的表现, 但是取栓治疗后血栓的成分分析似乎并不支持这一观点。有学者对急性缺血性脑卒中患者进行机械取栓治疗, 并将术中取得的血栓进行定量分析, 发现大动脉粥样硬化型卒中患者血栓中红细胞含量较心源性栓塞型患者明显增加^[22-23]。这与学界普遍认为的大动脉粥样硬化型血栓多产生于血流快速的区域, 其成分以纤维蛋白和血小板为主; 而心源性栓塞型则来源于血流缓慢(如左心耳)的区域, 故以红细胞为主要成分的观点相悖。Horie 等^[24]的试验对这种现象提供了一定的解释, 发现用支架回收器取得的血栓比抽吸导管取栓血栓得到的血栓纤维蛋白百分比增加, 且术前运用 rt-PA 的患者取得的血栓纤维蛋白百分比更高。还有研究表明多次取栓会损伤血管壁, 使取得的血栓样本中纤维组织含量增高^[25]。这些因素都会影响血栓的成分, 导致 SVS 与心源性血栓的相关性存疑。

此外, 研究设备的差异也会对 SVS 的显示产生影响, Bourcier 等^[26]的一项多中心体外研究表明, 在不同厂家和不同磁场的磁共振扫描仪中 SVS 的显示存在很大差异。可能需要对扫描仪的磁场以及参数等进行统一, 才能更好地使用 SVS 来预测血栓亚型。

目前看来, SVS 能否正确预测缺血性脑卒中亚型还存在争议, 需要对取栓方式、取栓前药物的使用、取栓治疗次数以及磁共振扫描标准等统一后进行验证。

3 SVS 对缺血性脑卒中治疗策略选择及预后的影响

3.1 SVS 对缺血性脑卒中治疗策略选择 血栓根据成分不同, 可分为以红细胞为主的红色血栓, 以血小板、纤维蛋白为主的白色血栓, 以及两者兼有的混合血栓, 而目前对于血栓的治疗方式主要有静脉溶栓治疗、机械取栓治疗以及桥接治疗等。

溶栓治疗作为治疗缺血性脑卒中的主要方法, 已经受到了广泛的研究和临床应用, 并且形成了专家共识^[27]。白色血栓是富含血小板的血栓, Desilles 等^[28]的综述中指出富含血小板的血栓比富含红细胞的血栓更能抵抗溶栓药物, 溶栓后不易再通。Liebeskind 等^[29]认为 SVS 的出现常代表血栓为红细胞含量丰富的红色血栓, 并预示着溶栓治疗有较高的再通率。但另一部分学者的研究结果却与之恰恰相反, Aoki 等^[30]研究发现 M1 近端 SVS 阳性患者早期再通的可能性远远低于 M1 SVS 阴

性患者。骆嵩等^[31]对 25 例急性缺血性脑卒中中的患者进行研究也获得了类似结果,可能是因为相对陈旧的红色血栓比新鲜血栓更容易表现出 SVS,而陈旧的血栓结构更为致密,rt-PA 更难渗透,血栓内的纤维蛋白网架结构溶解效果较差,所以溶栓后再通困难。还有研究在对 SVS 进一步分析中发现,单独 SVS 存在并不能预测静脉溶栓后血管是否再通,血管的再通与 SVS 位置、形状及长度关系更为密切,当患者的 SVS 长度较短且位于大脑中动脉远端时,更容易在静脉溶栓治疗后实现血管再通^[32]。Yan 等^[33]对 SVS 长度进行研究,发现 SVS 长度大于 20 mm 的患者,其静脉溶栓后再通效果往往不佳;而小于 20 mm 患者再通效果则受到 SVS 形状的影响。目前 SVS 是否能作为溶栓再通的指标还有待更多试验验证。

除了溶栓治疗,近年来血管内取栓治疗在脑梗死治疗中也得到了越来越多的应用。Darcourt 等^[34]进行了一项前瞻性研究,研究对象为前循环急性缺血性脑卒中的 SVS 阳性患者,发现 SVS 的出现与机械取栓后较高再通率相关。这可能是因为红细胞含量较多的血栓结构较为疏松,更容易通过取栓治疗取出^[35],而 SVS 为脱氧血红蛋白的显影,SVS 的出现反映该区域血栓中的红细胞更多,机械取栓再通效果更好。目前机械取栓方法以支架取栓术和直接血栓抽吸术为主。Bourcier 等^[36]进行了接触式抽吸对比支架回收成功血运重建(The Contact Aspiration vs Stent Retriever for Successful Revascularization, ASTER)试验,试图确定 SVS 能否作为机械取栓策略选择的参考,试验结果显示 SVS 存在时使用支架取栓有更高的再通率,所以提出 SVS 阳性患者选用支架取栓方法对取栓治疗血管再通更有利。

桥接治疗是在静脉溶栓基础上再进行机械取栓,以往认为桥接治疗更有利于患者血管再通,但是 Seners 等^[37]研究发现对于 SVS 小于 9 mm 的轻微脑卒中患者,单纯的溶栓治疗便可实现早期再通,不需再进一步取栓治疗,只有大于 9 mm 患者才有桥接治疗的必要。而且不必要的桥接治疗还会增加颅内出血、血栓碎裂和迁移的可能^[38]。就此而言,SVS 作为缺血性脑卒中患者桥接治疗方式选择的参考值得深入研究。

3.2 SVS 对缺血性脑卒中患者临床预后的预测 影响患者临床预后的因素有很多,再通时间以及血栓的位置被认为是影响预后的重要因素。血栓位于动脉近端患者神经功能受损往往要比远端患者更为严重,预后也自然较差。SVS 可以反映血栓形态位置,对缺血性脑卒中患者预后结果评估有着积极的意义。

有学者发现^[29],M1 段 SVS 是溶栓治疗后预后不良的有力预测因素,认为这可能与 M1 段血栓通常较大,溶栓治疗后不易再通有关,且 M1 段为大脑中动脉近端,比远端血栓引起的脑功能受损更为严重。Legrand 等^[39]根据 SVS 显示血栓位置的特点,将其运用于血栓负荷评分(Clots Burden Score, CBS)的评价,发现 CBS 较高(>6 分)的患者 24 h 内有较高的再通率,且预示着 3 个月后预后结果良好。此外,还发现单独 SVS 的存在似乎并不能预测预后,而将其纳入血栓负荷评分后能够更准确地预测 AIS 患者的临床结局。取栓预后的好坏除了受再通时间影

响以外,还受到取栓完整性的影响。Belachew 等^[40]认为 SVS 的存在是取栓治疗后成功再通和预后良好的有力预测指标,但 Soize 等^[41]的研究却发现取栓后的成功再通与 SVS 的存在无关,而与 SVS 反映的血栓长度有关。这可能是取栓过程中较长血栓更容易破碎,破碎的栓子会引起血管远端堵塞和新区域的梗死,进而导致患者预后不良。由此,有学者提出了血栓长度和支架长度关系会影响取栓后的成功再通和预后结果的假设。通过试验发现取栓前用 SVS 评估血栓长度后,再选择合适长度的支架能够有效降低血栓破碎率,并改善患者预后^[42]。

在实际的临床治疗中,还有很大部分患者由于医疗条件的不允许以及就诊时间的延误等而错过了溶栓和取栓的时间窗,只能接受抗凝等常规治疗。张冰等^[43]研究了 SVS 与未溶栓和取栓的急性脑梗死患者预后的相关性,发现 SVS 阳性组较阴性组脑梗死灶的面积更大、入院时的 NIHSS 评分更高、神经功能的缺损程度更重、短期预后也更差。刘慧勤等^[44]对未接受溶栓和取栓 AIS 患者的 SVS 进行量化,探讨在未溶栓和取栓患者群体中 SVS 形态和位置等参数是否对患者的预后也存在影响,研究结果发现 SVS 的出现预示着未接受溶栓和取栓的患者远期预后不良,但 SVS 的形态和位置等参数并未表现出与远期预后结果的相关性,患者的远期预后仅与患者入院时 NIHSS 评分相关。

以上研究表明,SVS 对缺血性脑卒中患者临床预后的预测有着重要意义,可以作为判断缺血性脑卒中患者预后结果的影响参考。

4 小结

近年来 SVS 与缺血性脑卒中的相关性研究越来越多,也越来越完善。尽管目前对于 SVS 临床意义的研究仍存在争议,但是 SVS 在显示血栓形态、反映血栓位置、判定血栓性质、预测血栓来源等方面的能力被越来越多的学者认可。在一些研究中 SVS 已经被当做 AIS 患者治疗方式选择的依据以及预后结果评价的指标,但是 SVS 仍然有着一些明显的缺点:首先,在 SWI 序列上颅底及鼻窦内气体产生的伪影会影响 SVS 的评估;其次,不同的磁共振仪器以及主磁场强度会对 SVS 显示效果产生影响;再次,钙化在 SWI 序列上也表现为低信号,如果大脑动脉管壁存在钙化,可能引起 SVS 的误判;最后,有些研究单纯将 SWI 上动脉内低信号判定为 SVS,而无论其宽度是否超过对侧血管,这样会提升 SVS 的阳性率,降低检查结果的准确性。以上这些因素也是 SVS 相关研究结果存在争议的重要原因。目前有越来越多的研究者提倡将 SWI 作为磁共振检查的常规序列,以此来为 SVS 的进一步研究提供更多的样本。相信随着技术的发展以及对 SVS 研究的深入,其在缺血性脑卒中患者的病因诊断、临床治疗策略选择以及预后预测等领域将发挥更为重要的作用。

参考文献

- [1] 王陇德,彭斌,张鸿祺,等.《中国脑卒中防治报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144. DOI:10.3969/j.issn.1672-5921.2022.02.011.
- Wang LD, Peng B, Zhang HQ, et al. Brief report on stroke prevention and treatment in China, 2020[J]. Chin J Cerebrovasc Dis, 2022, 19

- (2):136-144. DOI:10.3969/j.issn.1672-5921.2022.02.011.
- [2] 王丽娟,刘玉波,王光彬.磁敏感加权成像原理概述[J].磁共振成像,2010,1(3):227-230. DOI:10.3969/j.issn.1674-8034.2010.03.014.
Wang LJ, Liu YB, Wang GB. Brief overview about the principles of susceptibility weighted imaging [J]. Chin J Magn Reason Imagin, 2010, 1 (3) : 227-230. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-8034. 2010. 03. 014.
- [3] Liu C, Li W, Tong KA, et al. Susceptibility-weighted imaging and quantitative susceptibility mapping in the brain[J]. Journal of magnetic resonance imaging, 2015, 42(1):23-41. DOI:10.1002/jmri.24768.
- [4] 王昊,高培毅,薛静.“磁敏感血管征”在急性期缺血性脑卒中的研究应用进展[J].医学影像学杂志,2016,26(7):1307-1310. issn. 1006-9011.
Wang H, Gao PY, Xue J. Research progress of Susceptibility vessel sign in hyperacute ischemic stroke [J]. Med Imaging, 2016, 26(7): 1307-1310. issn. 1006-9011.
- [5] Chalela JA, Haymore JB, Ezzeddine MA, et al. The hypointense MCA sign [J]. Neurology, 2002, 58(10):1470. DOI:10.1212/wnl.58.10.1470.
- [6] Kim SK, Yoon W, Heo TW, et al. Negative susceptibility vessel sign and underlying intracranial atherosclerotic stenosis in acute middle cerebral artery occlusion [J]. American Journal of Neuroradiology, 2015, 36(7):1266-1271. DOI:10.3174/ajnr.A4280.
- [7] Naggara O, Raymond J, Domingo Ayllon M, et al. T2 * “susceptibility vessel sign” demonstrates clot location and length in acute ischemic stroke [J]. PLoS One, 2013, 8(10):e76727. DOI:10.1371/journal.pone.0076727.
- [8] Payabvash S, Benson JC, Taleb S, et al. Susceptible vessel sign: Identification of arterial occlusion and clinical implications in acute ischaemic stroke [J]. Clinical Radiology, 2017, 72(2):116-122. DOI:10.1016/j.crad.2016.11.001.
- [9] 黄月,梅文丽,刘慧勤,等.磁敏感血管征的血栓负荷评分对急性脑梗死动脉血栓的诊断价值及其与预后的相关性[J].中华医学杂志,2017,97(1):7-11. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.01.003.
Huang Y, Mei WL, Liu HQ, et al. Diagnostic value of dot burden score of susceptibility vessel sign in arterial thrombosis of acute ischemic stroke and its association with prognosis [J]. Natl Med J China, 2017, 97(1):7-11. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.01.003.
- [10] 王立爽,马亚光,赵红梅.SWI-SVS与MRA在大脑动脉闭塞评估中的应用[J].医学影像学杂志,2020,30(8):1349-1352.
Wang LS, Ma YG, Zhao HM. Application of SWI-SVS and MRA in evaluation of cerebral artery occlusion [J]. Med Imaging, 2020, 30(8): 1349-1352.
- [11] Aoki J, Kimura K, Shibazaki K, et al. DWI-ASPECTS as a predictor of dramatic recovery after intravenous recombinant tissue plasminogen activator administration in patients with middle cerebral artery occlusion [J]. Stroke, 2013, 44(2):534-537. DOI:10.1161/STROKEAHA.112.675470.
- [12] Soize S, Manceau PF, Gauberti M, et al. Susceptibility vessel sign in relation with time from onset to magnetic resonance imaging [J]. Stroke, 2021, 52(5):1839-1842. DOI:10.1161/STROKEAHA.120.032198.
- [13] Vanacker P, Lambrou D, Eskandari A, et al. Improving the prediction of spontaneous and post-thrombolytic recanalization in ischemic stroke patients [J]. Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases, 2015, 24(8):1781-1786. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.04.002.
- [14] 夏爽,闫铎,柴超,等.大脑中动脉磁敏感加权成像的磁敏感征对临床病人的影响[J].国际医学放射学杂志,2014,37(4):307-310,322. DOI:10.3874/j.issn.1674-1897.2014.04.L0401.
Xia S, Yan L, Chai C, et al. The effect of middle cerebral artery susceptibility sign on susceptibility weighted imaging [J]. International Journal of Medical Radiology, 2014, 37(4):307-310, 322. DOI:10.3874/j.issn.1674-1897.2014.04.L0401.
- [15] Zheng MZ, Yang QY, Lu XD, et al. Middle cerebral artery thrombus susceptibility-weighted imaging mapping predicts prognosis [J]. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, 2019, 9(9):1556. DOI:10.21037/qims.2019.08.17.
- [16] 杨志宏,李鑫,王昕光,等.磁敏感加权成像对大面积脑梗死预后评估的临床应用价值[J].大连医科大学学报,2015,37(2):137-141. DOI:10.11724/jdmu.2015.02.08.
Yang ZH, Li X, Wang XG, et al. Prognostic value of susceptibility-weighted imaging in massive cerebral infarction [J]. Journal of Dalian Medical University, 2015, 37(2):137-141. DOI:10.11724/jdmu.2015.02.08.
- [17] Yang XL, Zhu DS, Lv HH, et al. Etiological classification of cerebral ischemic stroke by the TOAST, SSS-TOAST, and ASCOD systems: the impact of observer's experience on reliability [J]. The Neurologist, 2019, 24(4):111-114. DOI:10.1097/NRL.000000000000236.
- [18] Liu M, Li L, Li G. The different clinical value of susceptibility vessel sign in acute ischemic stroke patients under different interventional therapy: A systematic review and meta-analysis [J]. Journal of Clinical Neuroscience, 2019, 62:72-79. DOI:10.1016/j.jocn.2019.01.002.
- [19] Zhang R, Zhou Y, Liu C, et al. Overestimation of susceptibility vessel sign: a predictive marker of stroke cause [J]. Stroke, 2017, 48(7):1993-1996. DOI:10.1161/STROKEAHA.117.016727.
- [20] Bourcier R, Legrand L, Soize S, et al. Validation of overestimation ratio and TL-SVS as imaging biomarker of cardioembolic stroke and time from onset to MRI [J]. European Radiology, 2019, 29(5):2624-2631. DOI:10.1007/s00330-018-5835-y.
- [21] Kang DW, Jeong HG, Kim DY, et al. Prediction of stroke subtype and recanalization using susceptibility vessel sign on susceptibility-weighted magnetic resonance imaging [J]. Stroke, 2017, 48(6):1554-1559. DOI:10.1161/STROKEAHA.116.016217.
- [22] Ahn SH, Hong R, Choo IS, et al. Histologic features of acute thrombi retrieved from stroke patients during mechanical reperfusion therapy [J]. International Journal of Stroke, 2016, 11(9):1036-1044. DOI:10.1177/1747493016641965.
- [23] 梅照军,陈伟,钱宇,等.血栓成分与脑卒中病因的关系及其对预后的影响[J].中华神经医学杂志,2021,20(1):35-39. DOI:10.

- 3760/cma. j. cn115354-20200820-00675.
- Mei ZJ, Chen W, Qian Y, et al. Relation of thrombus composition with stroke etiology and influence of thrombus composition in prognoses of stroke[J]. Chinese Journal of Neuromedicine, 2021, 20(1):35-39. DOI:10.3760/cma. j. cn115354-20200820-00675.
- [24] Horie N, Shobayashi K, Morofuji Y, et al. Impact of mechanical thrombectomy device on thrombus histology in acute embolic stroke[J]. World Neurosurgery, 2019, 132: e418-e422. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.130
- [25] Funatsu N, Hayakawa M, Hashimoto T, et al. Vascular wall components in thrombi obtained by acute stroke thrombectomy: clinical significance and related factors[J]. J Neurointerv Surg, 2019, 11(3): 232-236. DOI:10.1136/neurintsurg-2018-014041.
- [26] Bourcier R, Détraz L, Serfaty JM, et al. MRI interscanner agreement of the association between the susceptibility vessel sign and histologic composition of thrombi[J]. Journal of Neuroimaging, 2017, 27(6): 577-582. DOI:10.1111/jon.12464.
- [27] Berge E, Whiteley W, Audebert H, et al. European Stroke Organisation (ESO) guidelines on intravenous thrombolysis for acute ischaemic stroke[J]. European Stroke Journal, 2021, 6(1): I-LXII. DOI: 10.1177/2396987321989865.
- [28] Desilles JP, Di Meglio L, Delvoye F, et al. Composition and Organization of Acute Ischemic Stroke Thrombus: A wealth of information for future thrombolytic strategies[J]. Frontiers in Neurology, 2022, 13. DOI:10.3389/fneur.2022.870331.
- [29] Liebeskind DS, Sanossian N, Yong WH, et al. CT and MRI early vessel signs reflect clot composition in acute stroke[J]. Stroke, 2011, 42(5): 1237-1243. DOI:10.1161/STROKEAHA.110.605576.
- [30] Aoki J, Kimura K, Shibazaki K, et al. The susceptibility vessel sign at the proximal MI: a strong predictor for poor outcome after intravenous thrombolysis[J]. Journal of the Neurological Sciences, 2015, 348(1-2): 195-200. DOI:10.1016/j.jns.2014.12.002.
- [31] 骆嵩, 屈洪党, 马博, 等. 磁敏感血栓征在急性缺血性脑卒中病人诊治中的意义[J]. 蚌埠医学院学报, 2021, 46(2): 166-168. DOI: 10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.02.007.
- Luo S, Qu HD, Ma B, et al. Clinical application value of susceptibility vessel sign in patients with acute ischemic stroke [J]. Journal of Bengbu Medical College, 2021, 46(2): 166-168. DOI:10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.02.007.
- [32] 黄飞文, 张俊成, 吕小亮, 等. 磁敏感血栓征预测脑梗死静脉溶栓血管再通的影响因素分析[J]. 广东医学, 2019, 40(7): 981-984. DOI:10.13820/j.cnki.gdyx.20181898.
- Analysis of influencing factors of magnetic sensitive thrombus sign in predicting the recanalization of venous thrombolysis in cerebral infarction[J]. Guangdong Medical Journal, 2019, 40(7): 981-984. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20181898.
- [33] Yan S, Hu H, Shi Z, et al. Morphology of susceptibility vessel sign predicts middle cerebral artery recanalization after intravenous thrombolysis [J]. Stroke, 2014, 45(9): 2795-2797. DOI: 10.1161/STROKEAHA.114.006144.
- [34] Darcourt J, Withayasuk P, Vukasinovic I, et al. Predictive value of susceptibility vessel sign for arterial recanalization and clinical improvement in ischemic stroke [J]. Stroke, 2019, 50(2): 512-515. DOI:10.1161/STROKEAHA.118.022912.
- [35] Duffy S, McCarthy R, Farrell M, et al. Per-Pass analysis of thrombus composition in patients with acute ischemic stroke undergoing mechanical thrombectomy [J]. Stroke, 2019, 50(5): 1156-1163. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.023419.
- [36] Bourcier R, Mazighi M, Labreuche J, et al. Susceptibility vessel sign in the ASTER trial: higher recanalization rate and more favourable clinical outcome after first line stent retriever compared to contact aspiration [J]. Journal of Stroke, 2018, 20(2): 268. DOI:10.5853/jos.2018.00192.
- [37] Seners P, Delepiere J, Turc G, et al. Thrombus length predicts lack of post-thrombolysis early recanalization in minor stroke with large vessel occlusion [J]. Stroke, 2019, 50(3): 761-764. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.023455.
- [38] Kolahchi Z, Rahimian N, Montazmanesh S, et al. Direct Mechanical Thrombectomy versus Prior Bridging Intravenous Thrombolysis in acute ischemic stroke: A systematic review and Meta-analysis [J]. Life, 2023, 13(1): 185. DOI:10.3390/life13010185.
- [39] Legrand L, Naggara O, Turc G, et al. Clot burden score on admission T2 * -MRI predicts recanalization in acute stroke [J]. Stroke, 2013, 44(7): 1878-1884. DOI:10.1161/STROKEAHA.113.001026.
- [40] Belachew NF, Dobrocky T, Aleman EB, et al. SWI susceptibility vessel sign in patients undergoing mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke [J]. American Journal of Neuroradiology, 2021, 42(11): 1949-1955. DOI:10.3174/ajnr.A7281.
- [41] Soize S, Batista AL, Rodriguez Regent C, et al. Susceptibility vessel sign on T2 * magnetic resonance imaging and recanalization results of mechanical thrombectomy with stent retrievers: A multicentre cohort study [J]. European Journal of Neurology, 2015, 22(6): 967-972. DOI:10.1111/ene.12693.
- [42] Belachew NF, Dobrocky T, Meinel TR, et al. Risks of undersizing stent retriever length relative to thrombus length in patients with acute ischemic stroke [J]. American Journal of Neuroradiology, 2021, 42(12): 2181-2187. DOI:10.3174/ajnr.A7313.
- [43] 张冰, 刘筠, 廉凯茜, 等. 磁敏感加权成像诊断急性脑梗死动脉血栓的临床应用价值 [J]. 中国临床医学影像杂志, 2017, 28(5): 315-317, 340. DOI:10.3969/j.issn.1008-1062.2017.05.003.
- Zhang B, Liu J, Lian KQ, et al. Clinical application value of susceptibility weighted imaging in diagnosing arterial thrombosis in acute cerebral infarction [J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2017, 28(5): 315-317, 340. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1062.2017.05.003.
- [44] 刘慧勤, 梅文丽, 王聪, 等. 磁敏感血管征对急性前循环缺血性脑卒中患者预后的预测价值 [J]. 中华神经医学杂志, 2017, 16(12): 1218-1224. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1671-8925. 2017.12.007.
- Liu HQ, Mei WL, Wang C, et al. Predictive value of susceptibility vessel sign in clinical outcomes of patients with acute anterior circulation ischemic stroke [J]. Chinese Journal of Neuromedicine, 2017, 16(12): 1218-1224. DOI:10.3760/cma. j. issn. 1671-8925. 2017.12.007.

(收稿日期: 2023-03-09)