

FVH 在急性脑梗死诊治中的研究进展

齐厚瑜, 张孟玉, 莽靖综述, 徐忠信审校

摘要: 磁共振成像液体衰减翻转序列血管高信号征(FVH)是一种在急性脑梗死中出现的与局部血流紊乱和代偿相关的血管征象。相当多的研究关注 FVH 与急性脑梗死梗死体积、早期神经功能恶化、梗死生长以及功能结局的临床意义。本文主要对 FVH 的形成机制、病情评估、预后评估等方面的研究进行综述。

关键词: 磁共振成像; 血管高信号征; 脑梗死

中图分类号: R743 **文献标识码:** A

Research advances in FLAIR vascular hyperintense sign in diagnosis and treatment of acute cerebral infarction
QI Houyu, ZHANG Mengyu, MANG Jing, et al. (Inpatient Area IV, Department of Neurology, China-Japan Union Hospital of Jilin University, Changchun 130031, China)

Abstract: FLAIR vascular hyperintense sign (FVH) is a vascular sign that occurs in acute cerebral infarction and is associated with local blood flow disorders and compensatory mechanisms. A large number of studies have focused on the clinical significance of FVH in infarct volume, early neurological deterioration, infarct growth, and functional outcomes in acute cerebral infarction. This article reviews the formation mechanism, disease assessment, and prognostic evaluation of FVH.

Key words: Magnetic resonance imaging; Vascular hyperintense sign; Cerebral infarction

急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)是全球致残和致死的首要病因之一,我国每年新发 ACI 患者超过 280 万例^[1]。在 ACI 的诊疗过程中,通过各种影像学工具识别梗死进展高危人群、再通治疗获益潜力以及择期介入手术的远期获益,是优化治疗策略的关键环节。磁共振液体衰减翻转序列(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)广泛应用于各种颅内疾病,是脑梗死磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查的常规检查序列之一。磁共振成像液体衰减翻转序列血管高信号征(FLAIR vascular hyperintense sign, FVH)被定义为一种出现在磁共振 T₂ FLAIR 序列上的点状、线性或蛇形的高信号,由 Cosnard 于 1999 年首次报道^[2],这种征象广泛存在于大动脉狭窄或闭塞引起的脑梗死病例中。现有大量研究认为 FVH 与急性脑梗死的侧支循环、缺血半暗带、梗死体积和预后等密切相关。本文就 FVH 在急性脑梗死中的形成机制、病情评估、预后评估等方面进行综述。

1 FVH 的机制和计数方法

1.1 FVH 的机制 FVH 的病理生理学机制存在多种解释,主要有血栓形成和血流缓慢两种学说。早期研究认为 FVH 是血栓形成的征象,红色血栓和白色血栓均可呈现高信号^[3]。近期研究多认为 FVH 与血流减慢相关。正常流速的血流因“流空现象”在 T₂ FLAIR 序列上呈现无信号或低信号,当出现血管狭窄或闭塞时,出现慢速血流,“流空现象”消失,在原本无信号或低信号的血管腔位置表现为高信号。不同位置的 FVH 所代表的意义不同,近端 FVH 定义

为狭窄和闭塞的大血管主干或其周围的 FVH,往往代表着病变近端的血流瘀滞或血栓;远端 FVH 定义为狭窄和闭塞的大血管远端分支或脑沟内的 FVH,往往代表着通过狭窄处后的慢速顺向血流、远端缓慢的逆向代偿血流^[4-6]。在大动脉闭塞与大动脉狭窄中,远端 FVH 的意义不尽相同:在大血管闭塞时,软膜动脉的代偿是狭窄下游组织唯一血流来源, FVH 的存在可被认为是侧支血流的可靠标志。而在大动脉狭窄时,可能存在因近端狭窄所致的远端血流不足、流速减慢而出现 FVH 和软膜动脉代偿引起的 FVH 2 种情况。

FVH 在不同供血区的阳性率不同,在颈内动脉系统大血管病变中, FVH 阳性率为 49%~97%^[6-10],并以大脑中动脉供血区为主,椎基底动脉系统中 FVH 阳性率为 28.7%^[11],现有研究主要围绕大脑中动脉供血区的 FVH 展开。大脑中动脉 M1 段、M2 段、M3 及其远端血管狭窄时 FVH 的阳性率分别是 96.3%、63.6%、35.7%^[12]。FVH 在各解剖位置出现比例依次为外侧裂及其附近(94%)、颞叶及其附近(89%)、额叶(53%)和顶叶(34%)^[6]。

FVH 的阳性率与发病时间相关^[5,6]。有研究者将从发病到 MRI 检查的时间差进行分层研究后得

收稿日期:2025-06-30;修订日期:2025-09-20

基金项目:吉林省财政厅卫生人才专项(2023SCZ45)

作者单位:(吉林大学中日联谊医院神经内科四病区,吉林 长春 130031)

通信作者:徐忠信, E-mail: xuzhongxin@jlu.edu.cn

出, FVH在24 h内、1~4 d和5~9 d的阳性率分别约为100%、40%和18%^[11],提示FVH是一种主要出现在缺血早期并与时间高度相关的血管征象。

1.2 FVH在研究中的计数方法 FVH的计数方法主要分为定性法和定量法。定性法根据影像学上是否存在FVH,分为阳性组和阴性组。定量法主要包括Lee评分法、Olindo评分法、改良ASPECT评分法。

Lee评分法: FVH阴性组计为0分, FVH阳性组根据FVH分布范围是否超过大脑中动脉供血区的1/3,分为轻微组和显著组,轻微组计1分,显著组

计2分^[10]。

Olindo评分法: 根据T₂ FLAIR上大脑中动脉M1区出现的第一个层面上观察10个磁共振切面,若无FVH为0分,每多1个层面计1分,最多10分^[13]。

改良ASPECT法: 根据改良ASPECT早期CT评分法,将每个出现FVH的区域计1分^[4]。

Lee评分法对于FVH的空间分布和定量分层较为粗糙,Olindo评分法侧重于影像学上的空间位置有更好的代表性且对预后预测价值较好,改良ASPECT评分法对不同供血区的划分有更好的代表性^[14]。3种定量法的流程图见图1。

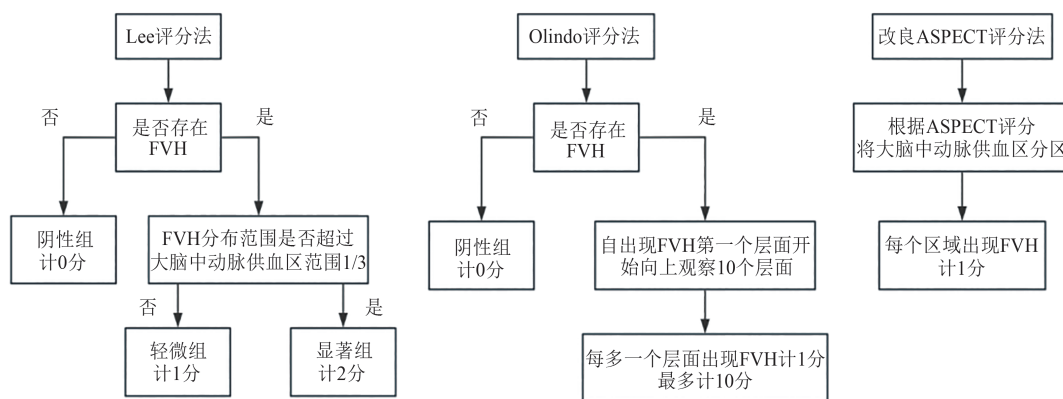


图1 3种FVH的定量计数方法流程图

2 FVH在疾病评估中的意义

2.1 不同病因中FVH的动态演化特征 急性脑梗死按TOAST分型可分为大动脉粥样硬化型(large artery atherosclerosis, LAA)、心源性栓塞型(Cardioembolism, CE)、小动脉闭塞型、其他病因型、原因不明型^[15]。其中LAA和CE中FVH阳性率高,二者的动态演化过程存在差异,由于FVH通常与缓慢的顺向血流、侧支血流相关,图2、图3使用血流动态变化作示意FVH的演变过程。

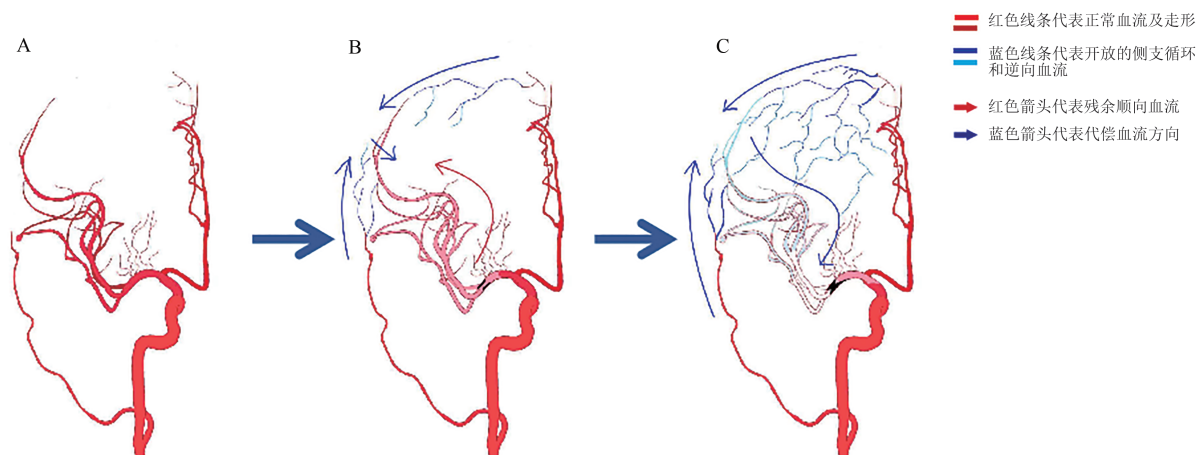
在责任血管远端缓慢的顺向血流或代偿血流均可表现为FVH阳性,如图2所示,在LAA中动脉粥样硬化引起血管狭窄,远端顺行血流流速减低,部分侧支开放,二者可表现为远端FVH阳性;当动脉硬化斑块进展至血管闭塞时,顺行血流完全消失,侧支循环进一步开放,这些代偿血流可表现为广泛的远端FVH阳性;如图3所示,在CE中因动脉被栓子栓塞,远端侧支循环部分开放,可表现为远端FVH阳性^[4,5,16]。在病变近端,病变附近瘀滞的血流或血栓/栓子都可表现为近端FVH阳性^[3,10,17]。尽管LAA与CE的血流和病理演变过程虽有差异,且针对CE中FVH的演变过程仍有缺乏详细研究,FVH本身对二者的分辨能力尚无进一步研究,对病因的准确推断仍需结合患者病史、心电图、心脏超声、血管影像

学检查及实验室检查进行综合判断。

2.2 FVH对侧支循环的评估 侧支循环是指血管主干近侧分支和远侧分支之间所形成的固有血管网,当主干血管血流不足时充盈从而其补充或替代主干血管作用,是缺血性脑卒中发作时重要的保护机制。

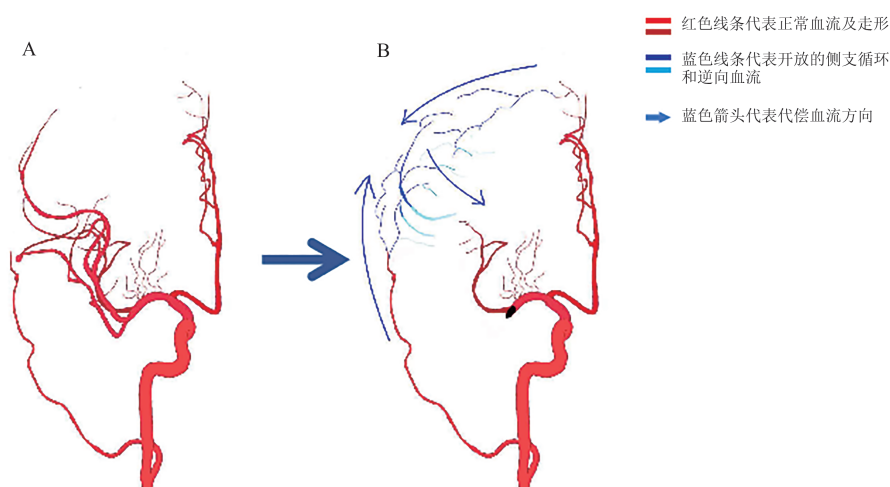
FVH可以作为脑梗死急性期侧支循环存在的影像学标志^[6,13]。定量研究表明广泛的FVH与侧支循环水平呈正相关^[5,9,18-21]。这一关联可能的机制在于:病变远端的FVH代表着已有效开放的侧支循环的慢速逆向代偿血流,当急性脑梗死发生时更充足的侧支循环储备有效开放,组织缺血失代偿区得到更大范围和更高流量的侧支循环保护,此时在MRI的T₂ FLAIR序列上表现为更广泛分布的FVH^[5,22,23]。鉴于远端FVH对侧支代偿功能具有明确的代表性,目前相关研究多以远端FVH为核心,重点围绕其对缺血区域的保护作用及对患者远期预后的影响展开。

2.3 FVH对缺血半暗带的评估 缺血半暗带是指缺血性脑卒中中已出现低灌注但未完全梗死的区域,即梗死区与低灌注区域的不匹配区域,缺血半暗带的评估直接影响脑梗死超急性期和急性期治疗方案的选择,是临床制定干预策略的关键依据。



注:A表示正常脑血管;B表示出现大动脉粥样硬化性血管狭窄时,狭窄处远端残余顺向血流速度减慢,侧支血管部分开放,两者均可表现为远端FVH;C表示动脉硬化进一步加重至血管闭塞后,大动脉残余顺向血流消失,侧支血管完全开放,侧支血流和逆向慢速血流可表现为远端FVH。

图2 大动脉硬化型脑梗死随病情进展FVH及血流方向的动态演变过程



注:A表示正常脑血管;B表示血管因心源性栓塞而闭塞后,远端侧支血管部分开放,侧支血流和部分远端逆向慢速血流可表现为FVH。

图3 心源性栓塞型脑梗死随病情进展FVH及血流方向的动态演变过程

目前,临床通常使用磁共振灌注加权成像(perfusion weighted imaging, PWI)或CT灌注成像(computed tomography perfusion imaging, CTP)与弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)进行图像对比,通过PWI-DWI/CTP-DWI的错配是评估缺血半暗带。现有研究认为FVH阳性提示存在缺血半暗带,具体表现为FVH阳性时的PWI-DWI/CTP-DWI错配程度更显著^[10,20,24],且更广泛存在的FVH常有更显著的PWI-DWI/CTP-DWI错配率^[7]。FVH-DWI错配被定位为FVH阳性区域大于DWI阳性区域,FVH-DWI错配也是评估缺血半暗带也是一种有效的方式,有研究表明FVH-DWI错配预测PWI-DWI错配时拥有较好的敏感度和特异性^[8,25]。这一现象可解释为在大血管病变引起ACI时,梗死核心区外组织在侧支循

环代偿下形成缺血半暗带,此时FVH阳性;更广泛存在的FVH提示更大范围的侧支循环和缺血半暗带;FVH-DWI错配意味着侧支循环需要供应的区域大于以发生细胞毒性水肿和坏死的区域,意味着存在>DWI阳性区域的缺血半暗带。这种间接的影像学方法对于无法进行PWI、CTP的患者评估是否存在缺血半暗带及指导进一步血管开通治疗有重大意义。

2.4 FVH对梗死体积和形态评估 现有研究表明,FVH阳性的病例初始DWI阳性体积小于较FVH阴性病例,但随着病情进展,最终梗死体积会进一步增大^[7,12,25,26],这可能是因为FVH阳性代表存在缺血半暗带,在未得到有效临床干预时,随时间进展最终梗死体积将会进一步增大。FVH-DWI错配阳

性相对于FVH-DWI错配阴性的患者初始梗死灶更小,最终梗死灶体积更小,这可能因为存在FVH-DWI错配时梗死区周围存在更广泛的侧支循环和缺血半暗带,经过有效治疗后最终梗死体积较小^[25,26]。有研究者提出可以将FVH的位置作为预测梗死形态和体积的指标,远端FVH更多表现为穿支动脉或分水岭梗死,近端出现FVH常表现为大面积脑梗死^[27]。

FVH对梗死体积的预测效能具有时间相关性,在发病后6 h~14 d内广泛的FVH预示着更大体积的梗死,且这种预测价值随着时间进展而减弱^[8]。因此在通过FVH评估及预测梗死体积和形态时,MRI检查距发病时间的间隔也是需要考虑的因素之一。

2.5 FVH对血管狭窄或闭塞的诊断价值 现有多项研究表明FVH常提示大血管病变,且与血管狭窄严重程度和闭塞之间存在关联性。FVH主要出现在颅内大血管重度狭窄或闭塞区域,在无血管受累的区域常无法观测到FVH,因此FVH是可预测有无严重血管病变及病变严重程度的影像学标志^[6,16,28,29],具备较高灵敏度(62.0%~96.4%)和特异度(71.8%~88.0%)^[12,30]。FVH阳性患者的血管狭窄率、闭塞率高于FVH阴性患者,提示FVH阳性与责任血管的狭窄-闭塞程度正相关^[12,29,31-33]。

3 FVH与治疗及预后

3.1 FVH与机械取栓术的临床意义 在接受机械取栓的患者中,FVH和FVH联合DWI的影像学标志被认为是保护性因素。广泛存在的FVH与术后3个月mRS评分负相关^[19,21,34,35],这些研究主要认为更多的FVH意味着在血管急性闭塞时,更好的侧支循环,对于缺血时的代偿更好,是神经功能恢复与远期良好预后的有利因素。同时也有研究的报道,更广泛FVH与3个月mRS评分正相关,意味着更差的预后,这可能因为机械取栓的不良预后与更大面积的脑梗死有关,更大范围出现FVH意味着更大的缺血受累面积有关^[36]。FVH-DWI错配是一种对机械取栓预后有利的影像学标志,FVH-DWI错配阳性组相对于FVH-DWI阴性错配组的入院初始DWI体积更小,最终DWI体积较小,侧支循环评分较高,早期神经功能恶化更少,远期神经功能结局更好,这一结论在大量研究中具有较好的一致性^[18,37-43]。

也有研究指出,FVH出现在DWI阳性的梗死区内是机械取栓治疗后出血转化的独立预测因子,这提示着部分患者在实施机械取栓有更高的出血转化风险^[43]。

3.2 FVH与静脉溶栓治疗及预后评估 对于符合超早期静脉溶栓治疗指征的患者,广泛存在的FVH与溶栓后NIHSS评分、远期mRS评分负相关,是溶栓后神经功能恢复与远期良好预后的有利因素,与这一现象机制可能在于,广泛存在的FVH意

味着更充足的侧支循环代偿能力,可对缺血脑组织形成更有效的保护,从而降低神经功能损伤程度、改善预后^[44]。也有研究得出相反的结论,认为FVH阳性的患者经过超早期静脉溶栓后远期预后不佳^[45],这种相反现象的机制可能是,FVH阳性时存在相比于DWI阳性区域更大的缺血区,若超早期静脉溶栓后血管再通效果不理想,最终梗死区域将进一步扩大,进而造成更严重的神经功能损伤,最终表现为远期预后不佳。

有研究指出超早期FVH的减少可能意味着缺血改善,超早期静脉溶栓后FVH较治疗前减少通常与更好的神经功能恢复、更小的最终梗死体积及更优的临床结局相关^[19,46,47],其机制可能是经过超早期静脉溶栓后,大动脉狭窄程度和血流缓慢得到改善,低灌注的缺血半暗带的血流增加,对侧支循环依赖减少^[48]。因此可将FVH的变化作为评估静脉溶栓疗效的指标,在溶栓治疗后复查T₂ FLAIR序列,与溶栓治疗前影像进行对比,若溶栓后FVH无明显减少或增加可能预示着血运改善不理想,需要桥接动脉取栓治疗。

3.3 FVH与非急诊血管再通治疗的预后评估 在关于FVH与非血管再通治疗预后的研究中,结果存在较多差异。有研究认为FVH阳性与远期mRS正相关,广泛的FVH是早期神经功能恶化的独立影响因素^[7,33,49]。也有研究表明更大范围的FVH预示着更小的梗死体积和更好的临床预后^[9,17]。

4 小结

FVH是一种在大血管狭窄或闭塞引起的脑梗死中常见的MRI征象,在不同位置的发生率不同,且随发病时间变化。现有的不同的研究证明已FVH阳性与侧支循环代偿、可挽救的缺血半暗带之间存在关联,对预测存在大血管病变有重大的价值,在联合DWI时可对缺血半暗带和机械取栓术后疗效有良好的预测效能。同时在利用FVH进行评估时,应注意结合FVH的位置、检查时间等因素进行多维度综合评估。

在现有研究中,基于FVH对机械取栓的预后评估研究结果的高度一致性,但基于FVH对超早期静脉溶栓和非血管再通治疗的预后评估的研究结果存在较大差异。经过对比各研究特点可以发现,机械取栓的研究中纳入病例存在:治疗前均存在大血管闭塞、检查时间较发病时间较短、临床干预手段一致性高、血管开通效果确切的特点,这些研究中所纳入病例基线一致程度高,在这类病例中主要体现了FVH阳性代表的侧支循环保护性作用和可挽救的缺血半暗带,因此各研究结果高度一致。在FVH对非血管再通治疗预后评估的研究中,存在病因学一致性差、各病例发病至MRI检查时间间隔一致性差、血运重建效果和闭塞动脉再通率低、临床干预手段缺

乏统一性等因素,因此研究结论存在较大差异甚至相反结论。

现有研究中FVH对于非血管再通治疗的预后评估仍未达成高度共识,这意味着在进行进一步此类研究中,需要进行更细致的分层和变量控制,以求得到更一致的研究结论。同时,基于FVH评估非急诊血管内治疗的研究也有待进一步探索。颅内段动脉狭窄和闭塞是否需要择期介入治疗现尚无定论,已有研究者基于脑血管造影术中侧支循环形态预测ACI复发风险^[50,51],而FVH对筛选复发风险大脑中动脉狭窄ACI的效能有待进一步验证。

综上,基于FVH的脑梗死评估和治疗决策需整合多重维度信息,而人工判读在效率和准确性方面存在一定局限。引入人工智能(artificial intelligence, AI)辅助影像判读系统有望提升评估效率和准确性。目前AI辅助影像判读主要依托深度学习模型和影像组学技术,实现对图像特征进行的提取和识别。实现高效分析的关键是模型对感兴趣区域(region of interest, ROI)的提取和识别。在缺血性卒中领域, AI辅助影响判读应用涵盖疾病分型鉴别、病灶分割和定位、神经功能缺损的量化评估、风险预后分层和治疗决策辅助支持等方面,基于MRI水平的研究尤为重要,例如,已有文献报道基于LightGBM算法的预测模型可利用DWI影像与临床数据对缺血性卒中复发风险进行有效预测^[52],另有研究基于影像组学和机器学习技术,整合临床数据和多模态MRI对血管再通治疗后出血转化风险进行有效预测^[53]。现有模型仍缺乏在常规MRI序列实现ROI精确提取血管结构,且易受干扰。基于FVH的相关AI辅助影像判读仍有待进一步研究。在我们进一步的研究中将进一步尝试对基于FVH的缺血性卒中预测模型的开发,最终为FVH的个体化解读和治疗决策辅助提供更可靠的AI驱动支持。

利益冲突声明:所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:齐厚瑜负责拟定写作思路、撰写论文;张孟玉负责修改论文;莽靖负责提出建设性意见并指导修改论文;徐忠信负责指导撰写论文并最终定稿。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 脑血管病防治指南(2024年版)[EB/OL]. 磁共振成像. (2024-12-31). <https://www.nhc.gov.cn/ylyjs/zcwj/202412/ba037e931fff4870930f65ff667ea9ed.shtml>.
- [2] Cosnard G, Duprez T, Grandin C, et al. Fast FLAIR sequence for detecting major vascular abnormalities during the hyperacute phase of stroke: A comparison with MR angiography[J]. *Neuroradiology*, 1999, 41(5): 342-346.
- [3] Hu XY, Ge ZF, Zee CS, et al. Differentiation of white and red thrombus with magnetic resonance imaging: A phantom study[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2012, 125(11): 1889-1892.
- [4] Lee SH, Seo KD, Kim JH, et al. Correlation between hyperintense

- vessels on FLAIR imaging and arterial circulation time on cerebral angiography[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2016, 15(1): 105-110.
- [5] Kamran S, Bates V, Bakshi R, et al. Significance of hyperintense vessels on FLAIR MRI in acute stroke [J]. *Neurology*, 2000, 55(2): 265-269.
- [6] Sanossian N, Saver JL, Alger JR, et al. Angiography reveals that fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensities are due to slow flow, not thrombus [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(3): 564-568.
- [7] Kufner A, Galinovic I, Ambrosi V, et al. Hyperintense vessels on FLAIR: Hemodynamic correlates and response to thrombolysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36(8): 1426-1430.
- [8] Shang WJ, Chen HB, Shu LM, et al. The association between FLAIR vascular hyperintensity and stroke outcome varies with time from onset [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(8): 1317-1322.
- [9] 辛奕, 周胜利, 周芯羽, 等. FLAIR血管高信号征对急性缺血性脑卒中的临床预后及侧支循环的相关性研究[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(7): 1141-1146.
- [10] Lee KY, Latour LL, Luby M, et al. Distal hyperintense vessels on FLAIR: An MRI marker for collateral circulation in acute stroke? [J]. *Neurology*, 2009, 72(13): 1134-1139.
- [11] Seo KD, Lee KO, Choi YC, et al. Fluid-attenuated inversion recovery hyperintense vessels in posterior cerebral artery infarction [J]. *Cerebrovasc Dis Extra*, 2013, 3(1): 46-54.
- [12] 卜玮艺, 高利珍, 刘筠, 等. FLAIR高信号血管征在大脑中动脉急性脑梗死中的发生规律[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(6): 983-987.
- [13] Olindo S, Chausson N, Joux J, et al. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity: An early predictor of clinical outcome in proximal middle cerebral artery occlusion [J]. *Arch Neurol*, 2012, 69(11): 1462-1468.
- [14] 郭华爱, 尚淑怡, 崔亚琼, 等. 磁共振液体衰减反转恢复序列血管高信号征不同评分方法对急性前循环脑梗死伴同侧大脑中动脉狭窄患者预测价值研究[J]. *临床军医杂志*, 2023, 51(12): 1321-1323, 1327.
- [15] Adams HP Jr, Bendixen BH, Kappelle LJ, et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment [J]. *Stroke*, 1993, 24(1): 35-41.
- [16] Bourcier R, Thiaudière R, Legrand L, et al. Accelerated MR evaluation of patients with suspected large arterial vessel occlusion: Diagnostic performances of the FLAIR vessel hyperintensities [J]. *Eur Neurol*, 2020, 83(4): 389-394.
- [17] Huang X, Liu W, Zhu W, et al. Distal hyperintense vessels on FLAIR: A prognostic indicator of acute ischemic stroke [J]. *Eur Neurol*, 2012, 68(4): 214-220.
- [18] Nave AH, Kufner A, Bücke P, et al. Hyperintense vessels, collateralization, and functional outcome in patients with stroke receiving endovascular treatment [J]. *Stroke*, 2018, 49(3): 675-681.
- [19] Jiang L, Chen YC, Zhang H, et al. FLAIR vascular hyperintensity in acute stroke is associated with collateralization and functional outcome [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(9): 4879-4888.
- [20] Tomari S, Lillicrap T, Garcia-Esperon C, et al. Collateral assessment on magnetic resonance imaging/angiography up to 30 hours after stroke onset [J]. *PLoS One*, 2024, 19(9): e0309779.
- [21] Xin Y, Zhou H, Xue MC, et al. Correlation of fluid-attenuated inversion recovery sequence vascular hyperintensity in magnetic resonance with collateral circulation and short-term clinical prognosis

- in acute ischemic stroke [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(6): 4123-4133.
- [22] Maruyama D, Yamada T, Murakami M, et al. FLAIR vascular hyperintensity with DWI for regional collateral flow and tissue fate in recanalized acute middle cerebral artery occlusion [J]. *Eur J Radiol*, 2021, 135: 109490.
 - [23] Lyu J, Hu J, Wang X, et al. Association of fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity with ischaemic events in internal carotid artery or middle cerebral artery occlusion [J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2023, 8(1): 69-76.
 - [24] Haussen DC, Koch S, Saraf-Lavi E, et al. FLAIR distal hyperintense vessels as a marker of perfusion-diffusion mismatch in acute stroke [J]. *J Neuroimaging*, 2013, 23(3): 397-400.
 - [25] 童鲜淇. 磁共振成像液体衰减反转恢复血管高信号征与急性脑梗死患者神经功能、梗死面积及血管狭窄程度相关性分析 [J]. *中国医疗器械信息*, 2023, 29(17): 88-90.
 - [26] 汤闻仪, 黄文冲. MRI 检查 FLAIR 序列 HVS 对 MCA 供血区域的诊断价值 [J]. *广州医药*, 2023, 54(9): 94-97.
 - [27] Zhai DY, Zhu SG, Zhang W, et al. Infarct morphology assessment in patients with carotid artery/middle cerebral artery occlusion using fast fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) vascular hyperintensity (FVH) [J]. *PLoS One*, 2017, 12 (11): e0188078.
 - [28] Xu J, Chen X, Lin M. Significance of magnetic resonance imaging (MRI) T2 hyperintense endo-vessels sign in progressive posterior circulation infarction [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24: 3873-3881.
 - [29] Ding B, Chen Y, Jiang H, et al. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensities in transient ischemic attack within the anterior circulation [J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020: 7056056.
 - [30] 周芬莉, 樊东升. 急性缺血性卒中患者头颅核磁 DWI-FLAIR 不匹配与侧支循环的相关性 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2016, 14(1): 10-14.
 - [31] 童鲜淇. 磁共振仪 FLAIR 血管高信号征对急性脑梗死患者预后预测价值分析 [J]. *中国医疗器械信息*, 2023, 29(5): 88-90.
 - [32] 李 欣, 卢景海, 刘占波, 等. FLAIR 血管高信号征预测急性缺血性脑卒中患者预后的应用价值分析 [J]. *中国老年保健医学*, 2021, 19(1): 27-29.
 - [33] Chai Y, Xie XH, Wang D, et al. The association between FLAIR vascular hyperintensities and outcomes in patients with border zone infarcts treated with medical therapy may vary with the infarct subtype [J]. *Acad Radiol*, 2025, 32(2): 691-701.
 - [34] Derraz I, Pou M, Labreuche J, et al. Clot burden score and collateral status and their impact on functional outcome in acute ischemic stroke [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(1): 42-48.
 - [35] Derraz I, Ahmed R, Benali A, et al. FLAIR vascular hyperintensities and functional outcome in nonagenarians with anterior circulation large-vessel ischemic stroke treated with endovascular thrombectomy [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(10): 7406-7416.
 - [36] Bani-Sadr A, Escande R, Mechtouff L, et al. Vascular hyperintensities on baseline FLAIR images are associated with functional outcome in stroke patients with successful recanalization after mechanical thrombectomy [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2023, 104(7-8): 337-342.
 - [37] Jiang L, Peng M, Chen H, et al. Diffusion-weighted imaging (DWI) ischemic volume is related to FLAIR hyperintensity-DWI mismatch and functional outcome after endovascular therapy [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(2): 356-367.
 - [38] Zhou SB, Zhang XM, Gao Y, et al. Diffusion-weighted imaging volume and diffusion-weighted imaging volume growth in acute stroke: Associations with fluid-attenuated inversion recovery hyperintensities-diffusion-weighted imaging mismatch and functional outcome [J]. *Neuroreport*, 2019, 30(13): 875-881.
 - [39] Legrand L, Ture G, Edjlali M, et al. Benefit from revascularization after thrombectomy according to FLAIR vascular hyperintensities-DWI mismatch [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(10): 5567-5576.
 - [40] Jiang L, Peng M, Geng W, et al. FLAIR hyperintensities-DWI mismatch in acute stroke: Associations with DWI volume and functional outcome [J]. *Brain Imaging Behav*, 2020, 14 (4): 1230-1237.
 - [41] Wang Y, Zhou Z, Ding S. FLAIR vascular hyperintensity-DWI mismatch most likely to benefit from recanalization and good outcome after stroke [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99 (2): e18665.
 - [42] Tokunaga K, Tokunaga S, Hara K, et al. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity-diffusion-weighted imaging mismatch and functional outcome after endovascular reperfusion therapy for acute ischemic stroke [J]. *Interv Neuroradiol*, 2024, 30(2): 189-194.
 - [43] Liu D, Scalzo F, Rao NM, et al. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity topography, novel imaging marker for revascularization in middle cerebral artery occlusion [J]. *Stroke*, 2016, 47(11): 2763-2769.
 - [44] Zhu L, Jiang F, Wang M, et al. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity as a potential predictor for the prognosis of acute stroke patients after intravenous thrombolysis [J]. *Front Neurosci*, 2022, 15: 808436.
 - [45] 周晓玲, 蒋锡丽, 吴立业. 磁共振成像液体衰减反转恢复高信号血管征对大脑中动脉急性脑梗死静脉溶栓治疗预后的影响 [J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2023, 50 (1): 46-49.
 - [46] Grosch AS, Kufner A, Boutitie F, et al. Extent of FLAIR hyperintense vessels may modify treatment effect of thrombolysis: A post hoc analysis of the WAKE-UP trial [J]. *Front Neurol*, 2021, 11: 623881.
 - [47] Sakuta K, Saji N, Aoki J, et al. Decrease of hyperintense vessels on fluid-attenuated inversion recovery predicts good outcome in t-PA patients [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2016, 41(3-4): 211-218.
 - [48] 苏醒麒, 赵灵敏, 马 迪, 等. 急性缺血性脑卒中患者脑梗死面积与细胞因子和免疫状态的关联性分析 [J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2025, 51(1): 124-132.
 - [49] Nam KW, Kwon HM, Park SW, et al. Distal hyperintense vessel sign is associated with neurological deterioration in acute ischemic stroke [J]. *Eur J Neurol*, 2017, 24(4): 617-623.
 - [50] Jiang X, Liang W, Zhao Z, et al. Angiographic pattern of M1 stenosis predicts territorial stroke in patients receiving aggressive medication without stenting [J]. *World Neurosurg*, 2024, 182: e536-e545.
 - [51] 罗雅尹, 赵满红, 李 迪, 等. 多模式 CT 指导下机械取栓治疗心源性栓塞所致急性前循环脑梗死疗效分析 [J]. *中风与神经疾病杂志*, 2023, 40(2): 147-150.
 - [52] Liu J, Wu Y, Jia W, et al. Prediction of recurrence of ischemic stroke within 1 year of discharge based on machine learning MRI radiomics [J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1110579.
 - [53] Meng Y, Wang H, Wu C, et al. Prediction model of hemorrhage transformation in patient with acute ischemic stroke based on multi-parametric MRI radiomics and machine learning [J]. *Brain Sci*, 2022, 12(7): 858.

引证本文: 齐厚瑜, 张孟玉, 莽 靖, 等. FVH 在急性脑梗死诊治中的研究进展 [J]. *中风与神经疾病杂志*, 2025, 42(10): 955-960.