

磁共振成像评估脑侧支循环开放状态对脑功能影响的研究

曹琳, 李梅芳*

长沙医学院, 湖南 长沙 410219

DOI:10.61369/MRP.2025120004

摘要 : 脑侧支循环的开放状态决定着急性缺血性卒中脑功能转归的好坏, MRI技术是对侧支循环进行无创性、精确性判断的技术。本研究旨在系统阐述MRI评估侧支循环的技术方法, 并深入分析其开放状态通过调节脑血流动力学、保护缺血半暗带、促进神经功能恢复及影响并发症来作用于脑功能的机制。本文探讨了侧支循环评估在急性期治疗决策、预后判断及康复策略制定中的临床应用价值。结果表明, 基于MRI的侧支循环评估不仅深化了对卒中病理生理过程的理解, 更是实现个体化精准诊疗、改善患者预后的重要依据。

关键词 : 磁共振成像; 脑侧支循环; 脑功能; 影响评估

Research on the Impact of Open Status of Cerebral Collateral Circulation Assessed by Magnetic Resonance Imaging on Brain Function

Cao Lin, Li Meifang*

Changsha Medical University, Changsha, Hunan 410219

Abstract : The open status of cerebral collateral circulation determines the outcome of brain function in acute ischemic stroke, and MRI technology enables non-invasive and precise assessment of collateral circulation. This study aims to systematically elaborate on the technical methods for assessing collateral circulation using MRI and to thoroughly analyze the mechanisms by which its open status affects brain function through regulating cerebral hemodynamics, protecting the ischemic penumbra, promoting neurological recovery, and influencing complications. This paper explores the clinical application value of collateral circulation assessment in treatment decision-making during the acute phase, prognosis prediction, and rehabilitation strategy formulation. The results indicate that MRI-based collateral circulation assessment not only deepens the understanding of the pathophysiological processes of stroke but also serves as an important basis for achieving individualized precision diagnosis and treatment and improving patient prognosis.

Keywords : magnetic resonance imaging; cerebral collateral circulation; brain function; impact assessment

引言

我国目前卒中发病率极高, 是造成残疾、死亡的重要病因之一, 其预后在很大程度上取决于缺血发生后脑组织的代偿能力。而脑侧支循环是当主干血管阻塞后保证缺血区域灌注的代偿性血管网络, 侧支循环的开放与否决定了缺血灶的发展和神经功能预后。所以准确评估侧支循环的开放情况有利于辅助判断侧支循环在治疗及预测方面的作用。近年来影像学技术取得了很大的进步, 其中磁共振成像是高分辨、多参数的技术, 而最新研究表明它可应用于评估侧支循环的状态。本文全面介绍评估侧支循环的方法以及脑的功能影响机制, 并在此基础上对目前临床上有价值的应用方法进行回顾, 为其在卒中的个体化诊疗提供依据。

一、脑侧支循环的磁共振成像评估技术与方法

脑侧支循环磁共振成像是研究其开放状态影响脑功能的基础。当病人主要供血通路发生严重的狭窄或者闭塞时, 此时脑侧

支循环是一个可以维持脑组织灌注的关键代偿血管网, 正是由于该侧支循环的存在保证了急性缺血性卒中的部分存活病人能够在发病后一段时间获得较好的转归。磁共振成像无需使用射线, 具有高软组织分辨率及多种成像参数, 不仅可以用来检查整个侧支

作者简介: 曹琳(2006-), 女, 汉族, 广东惠州人, 本科, 主要研究方向: 磁共振多模态脑功能评估, 多模态影像融合在介入治疗中的导航价值及其临床应用等。

通讯作者: 李梅芳, 女, 汉族, 湖南浏阳人, 硕士, 主要研究方向: 教育管理、医学教育与卫生事业管理。

循环系统，还可以对侧支循环进行功能性的评估。其中，运用DSC-MRI技术可以定量测定脑血流量，即通过检测对比剂的首过效应来观察侧支循环中代偿能力；而ASL-MRI技术可通过检测动脉内的血氧含量变化来间接反映侧支循环的功能。高分辨力MR血管壁成像可完整勾勒Willis环等侧支通路的结构，DWI/PCWI的不匹配区可以用来发现有侧支血液流入的缺血半暗带区域。目前普遍应用的是基于DSA判定的ASITN/SIR半定量评分系统，依据此方法，MRI能够观察侧支循环的功能状况，并划分出侧支循环状态分级^[2]。但需要注意的是，不同的年龄、基础血管病变的程度、急性期机械取栓等因素都会影响这个评分的结果。总之，结合多序列MRI和个体差异是精确推断侧支循环的开放情况及与脑功能变化之间关系的技术基础。

二、脑侧支循环开放状态对脑功能的影响机制

（一）脑血流动力学调节及缺血半暗带保护的影响

脑侧支循环开放状态对ACI后脑血流动力学有重要的调节作用，并且可能是其发挥保护缺血半暗带进而改善脑功能结局的先决条件；MCAO后即刻开放脑侧支循环有助于改善缺血半暗带的脑血流灌注，使得缺血核心区不能有效扩大并延缓坏死进展，在此基础上为血运重建赢得了重要的治疗时间窗。当患者的几条主要供血动脉突然发生闭塞时，侧支循环一旦打开就会努力保证血流的供给，这是为了防止缺血核心的面积不断扩大，而最根本的原因还是为了能够为血管再通争取更多的时间。侧支循环的建立后脑侧支循环血流的存在就能够有效防止再灌注脑损伤的发生，这是因为一方面侧支循环血流可以通过增加血流灌注压力，从而达到了延缓神经细胞缺血缺氧时死亡的效果；另一方面侧支循环血流也会改善脑血流自动调节的功能，可以降低氧摄取分数、减缓组织酸中毒及能量代谢衰竭、稳定缺血半暗带中细胞膜电位及降低兴奋性氨基酸毒性作用等。磁共振成像技术(DS-MBSE和ASL)能够无创性地量化侧支循环建立的灌注水平，反映缺血半暗带内血流供应情况，能够发现侧支循环是否达到血流灌注水平，侧支循环良好者的MRI中梗死核心增长速度慢于侧支循环不良者，最终梗死体积也小于侧支循环不良者。该保护不仅从宏观控制梗死体积，也从微观上保持并维持线粒体功能，抑制凋亡信号通路激活，从而为神经功能的可逆性恢复留出空间，所以在脑侧支循环开放的前提下，经过其对脑血流动力学的作用使缺血半暗带处于良好状况，则为后期的神经功能改善打下良好基础。

（二）神经功能缺损恢复及预后的影响

脑侧支循环的开放状态影响急性期脑组织保护效果，影响神经功能缺损恢复的轨迹，并且会决定了患者长期的预后情况，它主要是维持神经元存活、促进神经重塑发挥作用。当充分的侧支循环为缺血半暗带持续供血后，生存尚存但已经死亡的神经元能够得以保留，这是神经功能自然恢复、或接受治疗干预获得康复的重要物质基础；临床研究结果显示：侧支循环状态越佳，神经功能恢复越迅速且越完全，尤为运动功能、感觉功能、语言功能等重要方面^[3]；进一步从机制层面阐述，充足侧支血流为氧和葡

萄糖等必需物质提供来源，并将代谢产物带出脑组织，维持局部微环境稳定，有利于轴突生长、突触重塑等神经可塑性的发生发展；在血管内治疗中，良好的侧支循环状态与更高的血管再通成功率及更低的术后出血转化风险显著相关，进一步优化了患者临床预后^[4]。相关循证医学证据也由磁共振检查发现并呈现出来：弥散张量成像观察侧支循环较好的患者皮质脊髓束等重要白质纤维束保留完好；功能磁共振发现侧支循环良好的大脑功能网络重组更加有效地完成。随后，基于大量的长期随访发现也表明：脑侧支循环较好，卒中复发率低，长期认知功能水平较高，改良Rankin量表评分更优，即良好的脑侧支循环能够从多个方面保护卒中患者免于再次发生脑卒中以及缓解/预防病程进展。故而，脑侧支循环开放状态有利于神经元生存、改善神经可塑性、提高治疗反应效果，能极大程度地改善神经功能缺损，提高长期预后，是一项预示脑功能转归的重要生物学标志。

（三）不同卒中亚型调节及并发症防治的影响

脑侧支循环开放状态影响脑功能的作用方式在不同类型的脑卒中存在明显的异质性，主要是由于病变血管的分布，闭塞速度以及基础脑血管条件的不同，体现在Willis环及软脑膜动脉等侧支通路能否开放有效地支撑缺血核心区周围的代偿。对于大动脉闭塞所致脑卒中而言，动脉血管急性闭塞如颈内动脉、大脑中动脉等，Willis环以及软脑膜动脉是否能够形成侧支开放是决定梗死核心范围的重要因素，能否挽救梗死周围侧支血管未封闭区域的神经功能缺损是决定预后的关键；而心源性栓塞引发的脑卒中往往因起病急骤，侧支循环尚未完全建立起来，故常表现为较重的首发神经功能缺损症状，如果侧支循环能够及时开放，则仍可以在一定程度上限制梗死范围扩大。对于血栓性脑卒中来说，良好的侧支循环状态可以在一定程度上防止迟发性坏死的发生，对于中小型动脉闭塞所造成的侧枝循环不良，可以通过药物改善循环获得良好效果，甚至可以采用血管内取栓或者开通的方法进行及时救治；而对于大的动脉闭塞所形成的完全侧枝循环不良则很难恢复良好状态，即使是一些好的溶栓药物也无法改善闭塞侧的大范围侧枝循环不良的状况。从影像学角度来观察，其具体表现也有所不同，在弥散加权像与液体衰减反转恢复序列可见相应的不匹配区域时，对应的脑供血区域是侧支循环尚可保持较好的脑血流灌注的情况，在该区域相应的脑表皮层是相对较为保存的区域。值得注意的是，侧支循环的开通程度还受到侧支血管本身的解剖学、力学特征以及侧支血管本身内存在的微循环结构以及血管活性物质等多种因素影响，也就是影响着侧支循环的不同侧面表现：不同的卒中亚型可由不同侧支血管优势通道发挥的作用不同；不同的侧支循环优势血管也为并发症的发生提供了有利条件。深入了解侧支循环开放状态对不同卒中亚型作用和特点以及不同侧支循环开放状态下对并发症防治作用不同等有利于临床观察结果多样性的认识，为针对不同病因的卒中采用差异化的个体化治疗提供必要的病理生理学基础。

三、脑侧支循环评估的临床应用

(一) 在急性缺血性卒中治疗决策中的应用

磁共振成像在脑侧支循环评价方面的优势，无疑对于急性缺血性卒中治疗方法的选择和预后判断有着重要的意义，其侧支循环评价的结果将直接决定着血管再通是否能够得以实施，并预测术后情况的好坏；基于MRI的侧支循环评价方法给超时间窗的卒中患者增加了新的治疗选择，侧支循环状况良好则说明缺血半暗带尚有可救脑组织存活，是血管内治疗、静脉溶栓等的适应证范围得以拓展的基础。侧支循环评分系统成为筛选选择病例的重要手段，侧支循环良好的患者行血管内治疗后血管开通的成功率较其他患者显著提高，且症状性颅内出血等并发症的风险更低，证明了侧支循环评价可以促进个体化治疗的实现。静脉溶栓时给予供血充足的脑侧支循环血流有利于溶栓药物的作用发挥、提高血管再通率，并且可以通过保持缺血区的微循环灌注而减少再灌注损伤，进而改善治疗的安全性。所以将脑侧支循环评价引入到急性缺血性卒中的治疗决策过程当中，一方面可以发现有可能受益于介入治疗的患者群体，另一方面也有利于避免对侧支循环不良的患者施行不必要的侵入性操作，充分达到精准治疗的目的。

(二) 在预后评估与康复策略制定中的应用

根据其预测卒中患者长期神经功能结局的价值，将MRI基侧支循环评估应用于卒中患者的预后判定以及制定康复策略均具有重要的临床价值。良好的侧支循环状态是可靠的预后生物标志物，其不仅与良好的功能预后（改良Rankin量表评分≤2分）显著相关，提示神经功能恢复更佳，还意味着脑组织具有较大的可塑性储备，因此侧支循环良好的患者可能从早期、积极的康复干预中获得更大收益^[4]。相应地，对于侧支循环不良的患者，由于缺少足够的侧支循环保护机制，其在认知功能方面的损伤若较为严重，将显著增加卒中后认知状态恶化的风险，这也使得在确定认知功能存在时准确评估其是否已恶化变得困难。由于严重的认知功能障碍可能会影响其他方面的康复，而且会使得卒中患者恢复正常生活几率大大降低，因此结合病人侧支循环状态了解其卒中后认知状态有助于康复医师的治疗及综合判断。将MRI评估脑侧支循环纳入到卒中患者全程管理，可以给预后判断提供客观依

据，有利于康复医师做出更适合患者的个性化的、精确化的康复计划，提升患者的远期生存质量以及社会回归情况。

(三) 在治疗效果监测与随访评估中的应用

磁共振成像对于脑侧支循环具有较好的评估价值，在治疗效果监测以及长期随访中均有着独特的优势，有助于实现卒中患者的个体化全程管理。以一系列MRI检查为蓝本动态观察侧支循环变化情况，为临床医师客观判断血管再通后脑灌注的改善与否及是否达到最佳治疗反应、及时调整治疗方案提供直观依据；治疗后的侧支循环改善程度可作为观察梗死体积减小及神经功能评分改善情况的良好指标，当出现不良的侧支循环状态时易导致再次卒中或神经功能恶化^[5]。在长期随访中定期使用磁共振灌注成像予以评估，及时发现存在脑血流动力学储备不足的患者，可能为从血运重建手术或者加强药物治疗中获得益处的人群，该人群避免了低灌注引起认知功能减退甚至发生新的梗死的风险；同时，观察侧支循环的演变情况可以作为评价侧支血管生成治疗、康复锻炼治疗等疗效的重要生物标志物，以便于更客观地评判不同干预措施的可行性和有效性。因此，在卒中后的治疗效果监测和长期随访中，将脑侧支循环的评估纳入进来，有利于提高单个患者最优治疗模式的选择和预测以及有利于进一步挖掘创新性促进侧支循环改善的新方法。

四、结语

本文主要介绍了基于磁共振成像检查评价脑侧支循环开放状态对脑功能的影响研究体系，对多种MRI技术评价原理和价值进行了阐述，说明了侧支循环调控脑血流动力学、保护神经功能、防治并发症的作用机制，并证实其可应用于治疗决策、预后判断、康复指导等方面的重要性。侧支循环状态是连接脑血管病理与脑功能结局的重要桥梁，以MRI为主的精准量化评价为卒中患者提供个体化的管理以及促进卒中患者远期预后的最佳方式，未来继续探索并推进评估技术标准的统一化及量化的实现，明确定义侧支循环重塑的分子机制，并尝试在更多的神经保护策略方面加以利用，将侧支循环塑形用于指导神经保护。

参考文献

- [1] 张嘉楠, 张金. 急性缺血性卒中血管内治疗脑侧支循环影像评估的研究进展 [J]. 中国实用神经疾病杂志, 2023, 26(06):769-773.
- [2] 董倩波, 颜瑾, 颜立群. 当前脑侧支循环的影像学评价手段和临床应用 [J]. 河北医科大学学报, 2022, 43(08):981-986.
- [3] 黄光坚, 高文, 覃惠淳, 等. 脑侧支循环对急性脑梗死患者静脉溶栓疗效及预后的影响 [J]. 中国临床新医学, 2021, 14(09):888-892.
- [4] 任瑜, 杨琴. 脑侧支循环影响因素及评估方法的研究进展 [J]. 现代医药卫生, 2020, 36(09):1358-1361.
- [5] 张渺娜, 同呈新. 急性缺血性脑卒中侧支循环的影像学研究进展 [J]. 中国继续医学教育, 2020, 12(13):82-85.