

颅内动脉粥样硬化性狭窄的临床治疗进展与策略

刘治华¹, 吴伟^{2*}

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²张家界市人民医院神经外科, 湖南 张家界

收稿日期: 2025年12月5日; 录用日期: 2025年12月28日; 发布日期: 2026年1月6日

摘要

颅内动脉粥样硬化性狭窄(Intracranial Atherosclerotic Stenosis, ICAS)被认为是引发缺血性脑卒中的一个关键病因。由于其较高的发病率和致残率, 该疾病受到了广泛的关注, 并显著影响了患者的生命质量和健康状况。尽管影像学技术与治疗手段的不断进步使得该病的诊断与治疗策略得以不断优化, 仍然面临着显著的个体差异以及治疗风险与疗效之间的平衡等多重挑战。本文对ICAS的病理机制及其临床表现进行了系统地回顾, 重点总结了近年来在药物治疗、介入治疗以及外科手术治疗方面的研究进展。此外, 文章还深入探讨了各类治疗方案的适应症、疗效及潜在并发症。同时, 结合最新的临床研究数据, 分析了个体化治疗方案的制定原则, 旨在为临床实践提供科学和合理的治疗指导, 进一步推动该疾病的规范化管理, 从而提高患者的预后。

关键词

颅内动脉粥样硬化性狭窄, 缺血性脑卒中, 药物治疗, 介入治疗, 外科手术, 临床治疗

Clinical Treatment Progress and Strategy of Intracranial Atherosclerotic Stenosis

Zhihua Liu¹, Wei Wu^{2*}

¹School of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

²Department of Neurosurgery, Zhangjiajie People's Hospital, Zhangjiajie Hunan

Received: December 5, 2025; accepted: December 28, 2025; published: January 6, 2026

*通讯作者。

文章引用: 刘治华, 吴伟. 颅内动脉粥样硬化性狭窄的临床治疗进展与策略[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 344-354.
DOI: 10.12677/acm.2026.161050

Abstract

Intracranial Atherosclerotic Stenosis (ICAS) is considered to be a key cause of ischemic stroke. Due to its high morbidity and disability rate, the disease has received extensive attention and has significantly affected the quality of life and health of patients. Although advances in imaging techniques and treatment methods have enabled the diagnosis and treatment strategies of the disease to be continuously optimized, it still faces multiple challenges such as significant individual differences and a balance between treatment risk and efficacy. In this paper, the pathological mechanism and clinical manifestations of ICAS are systematically reviewed, and the research progress in drug therapy, interventional therapy and surgical treatment in recent years is summarized. In addition, the article also discusses the indications, efficacy and potential complications of various treatment options. At the same time, combined with the latest clinical research data, the principles of individualized treatment plan were analyzed, aiming to provide scientific and reasonable treatment guidance for clinical practice, and further promote the standardized management of the disease, so as to improve the prognosis of patients.

Keywords

Intracranial Atherosclerotic Stenosis, Ischemic Stroke, Drug Treatment, Interventional Therapy, Surgery, Clinical Treatment

Copyright © 2026 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. 引言

颅内动脉粥样硬化性狭窄(ICAS)是缺血性中风的主要致病因素,尤其在亚洲人群中发病率较高,复发风险增加[1]。ICAS的机制与颅外动脉粥样硬化狭窄(ECAS)不同,主要特征是动脉内膜脂质沉积与纤维组织增生,导致血管腔狭窄,进而引起脑缺血。研究显示,传统血管危险因素及狭窄程度对中风预测至关重要[1]。

流行病学数据表明,ICAS在不同种族和地区的分布差异显著,亚洲人群中发病率高于白人,且多见于中老年人。例如,中国及东亚地区ICAS发病率与高血压、糖尿病及高脂血症等危险因素密切相关[2][3]。研究还指出牙周炎等口腔感染可能与ICAS发生有关,表明炎症反应在其发病机制中起重要作用[4]。此外,外周中性粒细胞计数及淋巴细胞与单核细胞比值(LMR)也与ICAS及斑块不稳定性相关[5]。

ICAS显著增加卒中及认知功能障碍风险,症状性和无症状性ICAS均与脑梗死风险及认知能力下降相关[6]。尤其在严重(70%~99%)狭窄患者中,卒中复发率超过20% [6]。ICAS还可导致脑血流异常,影响脑组织灌注,引发缺血性症状[7]。

随着高分辨率MRI等影像学技术进步,脑血管壁病变及斑块特征评估变得更加可行,有助于识别高风险患者并指导个体化治疗[8][9]。

临床治疗中,ICAS的目标是预防中风复发、改善脑血流及延缓病情进展。研究建议严格控制可调节的危险因素,尤其是血压、血糖和血脂管理,其中高强度他汀类药物被推荐用于降低低密度脂蛋白胆固醇至70 mg/dL以下[10]。抗血小板治疗是二级预防的核心策略,建议对症状明显的重度ICAS患者进行短期(约90天)的双抗血小板治疗,随后转为单药治疗。克洛匹多格雷是常用选择,西洛他唑作为二线选

择也显示良好疗效[1]。目前尚无统一标准确定抗血小板疗法的最佳组合和疗程, 需进一步临床研究验证效果[4]。

随着影像学技术和介入手段的进步, 介入治疗, 尤其是血管成形术和支架植入, 对部分重度狭窄且药物治疗无效的患者发挥重要作用, 能够迅速改善血流动力学状态[11][12]。然而, 介入治疗也伴随较高的围手术期并发症风险, 因此严格的患者选择和术前评估显得尤为重要[13]。

新型支架及技术的应用有望降低介入治疗风险, 术中血流动力学的精确监测也有助于优化治疗效果[14]。

近期基因研究揭示特定遗传变异, 如 RNF213 基因突变, 与 ICAS 及相关脑血管疾病显著相关, 尤其在东亚人群中。这些研究表明遗传因素在 ICAS 发病机制中起重要作用[15]。此外, 针对 ICAS 相关的炎症机制、血液流变学异常及脑血流调节功能障碍的研究在不断深入, 为未来精准医学治疗奠定理论基础[16]。

2. 颅内动脉粥样硬化性狭窄的病理机制与临床表现

2.1. 病理机制

颅内动脉粥样硬化性狭窄(ICAS)是导致缺血性卒中的主要原因之一, 尤其在亚洲人口中发病率较高。其病理机制主要包括内皮损伤、脂质沉积、炎症反应和平滑肌细胞的增生。首先, 动脉内皮细胞的损伤是动脉粥样硬化的起始环节, 内皮功能障碍导致血管通透性增加, 从而促使低密度脂蛋白(LDL)等脂质进入血管壁内层沉积。脂质的积累进一步激活局部的炎症反应, 单核细胞和巨噬细胞浸润斑块, 产生多种炎症介质, 导致局部炎症加重, 促进平滑肌细胞向内膜迁移并增生, 形成纤维帽和粥样斑块, 最终导致血管腔狭窄[1]。随着斑块的发展, 局部血流动力学发生变化, 脑血流灌注减少, 诱发缺血性损伤。值得注意的是, 斑块的不稳定性是卒中发生的关键因素之一。斑块内出血、纤维帽破裂或斑块表面溃疡均可诱发血栓形成, 进而阻塞血管, 急性卒中风险显著提升[1]。此外, 血液中炎症细胞如中性粒细胞数量的增加与 ICAS 的存在密切相关, 提示炎症细胞在病理进程中发挥重要作用[5]。血脂异常, 尤其是脂蛋白比值如 apo B/apo A-I 比值升高, 也被证实与 ICAS 风险显著相关, 反映了脂质代谢紊乱对病理机制的推动作用[3]。血压升高作为重要的危险因素, 与 ICAS 的形成和病变负荷呈剂量反应关系, 提示血流动力学异常在这一病理过程中不可忽视[2]。

2.2. 临床表现

颅内动脉粥样硬化性狭窄的临床表现依赖于狭窄的程度和部位。轻度狭窄通常无显著症状, 但重度狭窄或完全闭塞则可能导致短暂性脑缺血发作(TIA)或脑梗死, 表现为局灶性神经功能缺失。症状表现因狭窄血管所供应的脑区不同而有所差异。此外, 狭窄区域的脑血流动力学参数的改变可能导致血流不足, 进而加重缺血性损伤。研究显示, 症状性 ICAS 患者的卒中风险显著高于无症状患者。部分患者可能经历多次 TIA 或多发性血管事件[2]。ICAS 的表现与斑块的性质和稳定性有关, 因为不稳定斑块易引发卒中。此外, 口腔感染如牙周炎被认为是 ICAS 的危险因素之一[4]。因此, 结合影像学和血流动力学评估对病情判断和卒中风险评估至关重要。

3. 诊断方法

颅内动脉粥样硬化性狭窄的确诊依赖现代影像技术, 其中数字减影血管造影(DSA)是金标准, 能清晰显示血管狭窄的位置和程度[17]。近年来, 因其非侵入性, 磁共振血管成像(MRA)和 CT 血管造影(CTA)广泛应用于临床[8]。高分辨率 MRI (HR-MRI)在区分动脉狭窄成因和斑块特性方面也发挥了重要作用,

能有效区分粥样硬化性狭窄与非粥样硬化性病变。血流动力学评估中, 压力比值(PR)与脑组织灌注状态相关, 为治疗决策提供依据[5]。炎症指标如中性粒细胞计数和同型半胱氨酸水平与颅内动脉狭窄(ICAS)显著相关, 提示炎症状态可作为辅助诊断和风险评估的参考[5] [18]。虽然相关生物标志物研究已取得进展, 但尚未达到临床应用标准。综合临床表现、影像学检查及血流动力学评估是 ICAS 诊断和风险分层的关键, 牙周疾病等全身炎症状态也应纳入考虑范围。因此, 多模态整合为 ICAS 患者提供了精准诊断和个体化治疗的重要支持。

4. 药物治疗策略

4.1. 抗血小板治疗

抗血小板治疗在颅内动脉粥样硬化性狭窄(ICAS)引起的缺血性卒中的二级预防中扮演着至关重要的角色。目前, 阿司匹林和氯吡格雷是临床上应用最广泛的两种抗血小板药物。阿司匹林通过抑制环氧合酶-1 的活性, 减少血小板产生的血栓素 A₂, 从而有效抑制血小板聚集; 而氯吡格雷作为 P2Y₁₂ 受体拮抗剂, 则通过阻断 ADP 介导的血小板激活来发挥作用。联合使用这两种药物(即双抗治疗, DAPT)在某些高风险患者中, 显示出对缺血性卒中复发的更佳预防效果。根据多项随机对照试验(如 CHANCE、POINT、THALES)和荟萃分析的结果, 短期 DAPT (通常为 21~30 天)在轻度缺血性卒中或高风险短暂性脑缺血发作(TIA)患者中, 相较于单一抗血小板治疗, 显著降低了缺血性卒中的复发率[19]。然而, 需要注意的是, DAPT 的使用伴随着出血风险的增加, 尤其是在较长时间使用的情况下。因此, DAPT 的治疗时长以及患者的个体化选择仍存在争议[20]。在比较联合用药的疗效时, 单独使用氯吡格雷在长期二级预防中显示出优于阿司匹林的效果, 并且伴随的出血风险相对较低[21]。此外, 基于 CYP2C19 基因多态性的药理学研究发现, 携带 CYP2C19 功能缺失等位基因的患者对氯吡格雷的反应不足, 因此在此类患者中需要考虑使用替代药物, 如替格瑞洛[22]。在神经介入术中, 抗血小板药物的药效监测技术(例如, 血小板功能监测)逐渐显得日益重要。尤其是在高风险患者中, 药效监测能够辅助医生调整治疗方案[23]。抗血小板治疗中的耐药问题是临床面临的一大挑战, 氯吡格雷耐药的发生率较阿司匹林耐药的发生率更高。抗血小板耐药与缺血性卒中复发风险的增加密切相关。因此, 个体化的抗血小板治疗策略, 如基因检测指导的用药, 已成为优化治疗的重要方向[22]。此外, 抗血小板治疗不仅能有效预防缺血性卒中的复发, 还有可能降低卒中后感染的风险, DAPT 在预防肺炎等感染方面具有保护作用[24]。关于在胃肠道出血后调整抗血小板治疗的研究表明, 及时恢复抗血小板治疗(如在 8.5 天内恢复)能够在出血与缺血风险之间取得平衡, 从而优化临床获益[25]。

4.2. 降脂治疗

他汀类药物被广泛认为是颅内动脉粥样硬化性狭窄患者降脂治疗的首选药物, 因其能够同时稳定动脉粥样硬化斑块和改善血管内皮功能。通过抑制 3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A 还原酶这一关键胆固醇合成酶, 这类药物能够有效降低低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平, 从而减缓斑块的进展, 并降低卒中及其他心血管事件的风险[26]。近来的研究表明, 在接受他汀治疗的患者中, 达到目标 LDL-C 水平对降低卒中风险和改善预后具有显著的效果。目前的指南建议, 对于高危患者, LDL-C 的目标值应降低至<70 mg/dL (<1.8 mmol/L) [27]。此外, 个体化调整策略正在逐步受到重视, 主要是根据患者的遗传背景、合并症以及耐药性, 优化他汀类药物的治疗方案[28]。他汀类药物在抑制炎症反应方面也扮演着重要角色, 其抗炎特性有助于斑块的稳定, 减少血管内皮损伤及氧化应激[29]。研究表明, 使用他汀类药物与冠状动脉斑块形态的改善及血管功能的提升密切相关, 影像学证据显示, 他汀治疗能够促进斑块的回归与稳定[30]。对于无法耐受他汀的患者, 贝伐他汀酸(bempedoic acid)、依折麦布(ezetimibe)及 PCSK9 抑制剂等新型降脂药

物成为有效的替代方案。贝伐他汀酸作为一种 ATP 柠檬酸裂解酶抑制剂,其作用机制不同于他汀类药物,主要通过抑制肝脏胆固醇的合成。由于其肌肉相关副作用较少,因此特别适合于无法耐受他汀的患者使用[31]。PCSK9 抑制剂能够显著降低低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C),并减少心血管事件的风险;然而,其较高的费用及给药方式限制了其广泛应用[32]。

4.3. 风险因素的管理

高血压、糖尿病及吸烟等因素是颅内动脉粥样硬化性狭窄及脑卒中发生、进展和复发的重要驱动因素[33]。多项研究表明,控制血压在降低脑卒中风险方面尤为关键,尤其是在老年患者中,更需要进行严格的血压监测与管理[34]。对于糖尿病患者而言,未能有效控制血糖将显著增加脑卒中及颅内动脉狭窄(ICAD)的风险[35]。吸烟作为一个独立的风险因素,能够加速血管内皮的损伤、引发炎症反应,并促进血栓形成,从而显著增加脑卒中的发生概率[36]。结合生活方式干预与药物治疗被视为控制这些风险因素的有效策略。具体而言,研究显示,诸如戒烟、保持健康饮食及定期运动等生活方式的干预措施能够显著改善血压、血糖及血脂水平。这些改善有助于降低脑卒中的发生率。此外,社区健康工作者所实施的管理模式,通过提供持续的健康教育、行为指导和定期随访,已被证实高血压和糖尿病的管理上具有显著的效果[37]。尽管如此,现实中对风险因素的控制仍显不足。许多患者未能达到理想的血压、血糖和血脂水平。同时,生活方式改善的依从性较低,进而影响了整体控制效果[38]。尤其在低收入和偏远地区,社会经济因素进一步限制了风险因素的有效控制,加剧了健康不平等现象[39]。因此,针对上述问题,加强患者教育、开展社区干预及提供个性化管理将是改善风险因素控制的关键[40]。

4.4. 新兴药物与治疗靶点

目前,针对颅内动脉粥样硬化性狭窄的治疗面临诸多挑战,传统药物的疗效相对有限,并且常伴有耐药现象及出血等并发症。因此,新兴药物及治疗靶点的探索逐渐成为研究的重点,抗炎药物、抗氧化剂以及血管保护剂等新兴治疗手段在机制上提供了新的研究方向[41]。抗炎药物通过调节炎症反应来改善血管微环境,从而降低斑块的不稳定性并减少卒中的风险。以靶向白细胞介素- 1β 的药物《canakinumab》为例,其在临床试验中已证明能够有效减轻血管炎症。抗氧化剂例如类黄酮化合物和硫辛酸,具有清除活性氧的能力,从而改善血管内皮功能,并减缓动脉粥样硬化的进展[42]。血管保护剂如贝美多酸(bempedoic acid)通过抑制胆固醇合成的关键酶,改善脂质代谢及血管功能,已在临床研究中展示出良好的潜力。此外,基因治疗和 RNA 干扰技术靶向关键致病基因(如 PCSK9 和 TBK1)的策略已经成为有效的治疗途径[43]。纳米技术在药物递送系统中的应用为克服药物生物利用度和靶向性不足提供了新的切入点。基于纳米载体的药物递送系统能够实现药物的精确定位与控释,从而减少副作用[44]。同时,借助远程缺血预适应(RIC)等非药物疗法,通过激活内源性保护机制,也展现出良好的前景。在改善脑血流及神经功能方面,该方法的治疗效果显著。近年来,免疫调节治疗、抗血管生成药物及神经保护剂等新型治疗方法在基础和临床研究中不断涌现,为颅内动脉粥样硬化性狭窄的综合治疗提供了更多的可能性[45]。

4.5. 关于药物治疗批判性评价

尽管以抗血小板和强化降脂为核心的药物治疗是 ICAS 治疗的基石,但其仍面临若干局限与争议。首先,药物治疗的疗效存在“天花板效应”,对于重度狭窄(>70%)或血流动力学衰竭的患者,单纯药物难以逆转低灌注状态,卒中复发风险依然较高。其次,抗血小板治疗中的“治疗悖论”显著:双联抗血小板虽能降低缺血事件,却显著增加出血风险,尤其是颅内出血和胃肠道出血,最佳疗程(21 天、30 天或 90 天)尚未有金标准,且 CYP2C19 基因多态性导致的氯吡格雷抵抗问题在东亚人群中尤为突出,个体化

用药方案亟待优化。再者, 强化降脂治疗的依从性与长期安全性需关注, 高强度他汀或 PCSK9 抑制剂虽能强效降脂, 但患者的长期耐受性、经济负担及极低 LDL-C 水平可能带来的非心血管风险(如出血性卒中、新发糖尿病风险)仍需大规模长期随访验证。最后, 当前大多数药物治疗证据源于颅外动脉粥样硬化或整体缺血性卒中人群, 专门针对 ICAS 的高质量随机对照试验(RCT)相对较少, 导致部分治疗推荐实为“外推”证据, 其特异性疗效和安全性需更多针对 ICAS 的 RCT 予以确认。未来方向应包括: 开展基于影像(如 HR-MRI 斑块特征)和基因分层的精准药物治疗 RCT; 探索兼具抗栓、抗炎、稳定斑块作用的新型多靶点药物; 以及利用真实世界大数据优化治疗策略的效价比和个体化方案。

5. 介入治疗与外科手术

颅内血管成形术及支架置入术是针对颅内动脉粥样硬化性狭窄的关键介入治疗手段。其适用对象主要是那些表现出高风险缺血症状并对药物治疗反应不理想的患者, 特别是那些存在严重狭窄(通常定义为 70%以上)并且频繁经历缺血事件的个体。在患者的选择过程中, 应综合考虑狭窄的程度、缺血症状的发生频率、脑血流动力学的状态以及合并症的风险等因素。鉴于患者选择的重要性, 近年来该领域的介入技术不断进步, 以提升治疗效果, 具体体现在导管设计、影像导航和支架材料的显著改进, 这些进展大大提高了手术的成功率和安全性。手术技术的创新包括采用球囊扩张术(PTA)与支架置入的联合使用, 或单独使用药物涂层球囊(DCB), 以降低术后血管内再狭窄(ISR)的发生率。不同类型的支架, 例如 Enterprise 支架, 展示了较低的并发症发生率及良好的长期预后[46]。在并发症管理中, 血管破裂、水肿以及血管内再狭窄是主要的关注点。针对血栓形成和血管狭窄的情况, 优化抗血小板治疗策略显得至关重要。在临床实践中, 阿司匹林与他克洛尔或氯吡格雷的双抗治疗方案被广泛采用。有研究表明, 他克洛尔作为氯吡格雷的替代药物, 在降低缺血事件方面显示出潜力, 但需权衡其出血风险[47][48]。近期的大型临床试验, 如 SAINT 研究及多中心回顾性研究, 证实了在机械取栓失败后, 救援性颅内支架置入能够有效改善血流重建, 显著提升患者的功能结局且未增加严重出血风险[49]。此外, 救援球囊扩张联合支架策略表现出良好的安全性和功能获益, 推荐作为机械取栓失败患者的首选治疗方案[50]。总的来说, 在严格筛选适应症与熟练操作的基础上, 颅内血管成形术及支架置入术已成为有效控制颅内动脉狭窄及预防卒中的手段。尽管如此, 仍需持续关注术中并发症及术后再狭窄的预防与管理。

以血管成形和支架置入为代表的介入治疗为药物难治性 ICAS 提供了重要手段, 但其应用充满挑战与争议。最大的争议点在于其与强化药物治疗的疗效比较。SAMMPRIS 和 VISSIT 试验显示, 对于症状性 ICAS 患者, 积极的药物治疗在预防卒中方面优于支架置入术, 主要原因在于较高的围手术期(30 天内)卒中或死亡风险(约 10%~15%)。尽管随着新一代支架(如药物涂层支架)、更小的输送系统及更严格的病例选择(基于灌注成像等)应用, 围手术期风险有所下降, 但这一风险依然不容忽视。此外, 再狭窄(尤其是非药物涂层支架)和支架内血栓形成是影响长期疗效的关键问题。介入治疗的获益高度依赖术者经验和中心手术量, 技术可及性和质量均一性存在局限。未来方向应聚焦于: ① 通过多模态影像(如高分辨率 MRI 评估斑块稳定性、灌注成像评估血流储备)精准筛选可能从介入治疗中获益的高危亚组患者; ② 研发生物相容性更佳、再狭窄率更低的生物可吸收支架或新型药物涂层器械; ③ 优化围手术期抗栓方案以平衡缺血与出血风险; ④ 开展新一代器械与强化药物治疗对比的高质量 RCT, 重新定义介入治疗的地位。

6. 外科旁路手术

外科旁路手术是针对颅内动脉粥样硬化性狭窄及相关脑部血流不足的一种关键治疗手段, 主要适用于那些药物或介入治疗效果不佳或不适合的患者[51]。尤其是在严重脑缺血和脑灌注不足的情况下, 该手

术展现出显著的疗效。手术技术主要包括直接旁路(如颞浅动脉-大脑中动脉[STA-MCA]搭桥)、间接旁路及两者结合的联合手术。直接旁路手术能够迅速改善脑部血流,而间接手术则通过促进侧支循环的形成,来实现持久的脑血流改善。以往针对莫亚莫亚病的研究表明,直接旁路手术在降低卒中复发率及改善脑灌注方面,比间接旁路手术更具优势[52][53]。手术风险主要包括术中脑梗死、脑出血以及术后高灌注综合征,对于老年患者和合并多种疾病的患者,风险更高。关于长期预后,多项研究证实旁路手术能够显著降低缺血事件的发生风险,改善神经功能,并且搭桥血管的持续通畅率高于其他治疗方式[54][55]。尽管与介入治疗相比,旁路手术创伤较大且恢复时间较长,但在某些复杂病变或多发狭窄的患者中,旁路手术能够提供更为稳定和有效的脑血流重建。在联合治疗策略方面,一些医疗中心首先采用介入治疗来改善血流,随后根据患者的具体情况适时实施旁路手术,从而实现风险的最小化与疗效的最大化。旁路手术主要分为直接旁路、间接旁路及联合手术。直接旁路手术:以颞浅动脉-大脑中动脉(STA-MCA)吻合术最为经典常用。其优势在于血流量改善即时且显著,能迅速纠正血流动力学衰竭。手术成功的关键在于精细的显微血管吻合技术、选择合适的受体血管(通常为MCA的M4段,直径>0.8mm)以及确保供体动脉(STA)有足够的长度和流量。近年来,枕动脉-大脑后动脉(OA-PCA)或枕动脉-小脑上动脉(OA-SCA)吻合也用于后循环缺血的治疗[55]。间接旁路手术:包括脑-硬膜-动脉血管融合术(EDAS)、脑-肌肉血管融合术(EMS)等。其原理是将血供丰富的组织贴敷于脑表面,促使新生血管自发长入缺血脑区。该术式创伤相对较小,技术难度较低,但血流量改善缓慢(通常需3~6个月)且程度不定,更适用于儿童或无法进行直接吻合的病例。联合手术:即同时进行直接与间接旁路,旨在结合二者的优势,既提供即时血供保障,又促进更广泛的侧支循环形成,尤其在治疗弥漫性或多血管床病变时可能更具优势。

外科旁路手术是ICAS血流重建的“终极”手段之一,但其临床应用受到严格限制。主要局限性在于手术创伤大、技术要求高、学习曲线长,且并非所有医疗中心都能常规开展。直接旁路(如STA-MCA)虽能即时改善血流,但面临着吻合口通畅率(尽管长期通畅率较高)、术后高灌注综合征(尤其在慢性严重低灌注患者中)以及围手术期卒中等风险。间接旁路则起效缓慢且血流量改善程度不确定。关键争议点在于手术适应症的把握:目前尚缺乏明确标准界定哪些ICAS患者会从旁路手术中明确获益,尤其是与强化药物治疗或介入治疗相比。此外,关于手术时机(在反复缺血事件后作为补救措施,还是作为预防性措施)、最佳术式选择(直接、间接或联合)以及如何通过术前脑血流和代谢评估(如PET、SPECT)预测手术获益,均缺乏高级别证据。未来研究需致力于:①利用先进的脑血流动力学和代谢影像学标志物,建立预测手术获益的模型;②在严格筛选的患者中,开展旁路手术与最佳药物治疗/介入治疗的前瞻性对照研究;③探索微创外科技术或杂交手术(联合介入与外科)以降低手术创伤和风险。

7. 治疗策略的比较与选择

综合药物治疗、介入治疗和外科旁路手术治疗,三种策略各有其明确的定位、优势与局限。为便于临床决策,表1从多个维度对其进行横向比较。

Table 1. Multidimensional comparison results of drug, interventional and bypass surgery

表 1. 药物、介入、手术多维度比较结果

比较维度	药物治疗	介入治疗(血管成形/支架)	外科手术治疗(旁路术)
核心适应症	所有 ICAS 患者的一线及基础治疗;轻中度狭窄;无症状性或症状稳定者。	症状性重度狭窄(通常>70%),强化药物治疗下仍有缺血事件;存在血流动力学障碍的证据。	药物及介入治疗无效或不适用的症状性重度狭窄;多支血管病变或串联病变;合并烟雾综合征等。
主要禁忌症/限制	活动性出血、严重出血倾向、药物过敏或不耐受。	路径血管极度迂曲、病变钙化严重、血管直径过小;无法耐受双抗血小板治疗。	全身情况差无法耐受全麻手术;受体血管条件差(直径<0.8mm);缺乏合适的供体血管。

续表

主要风险	出血(尤其是双抗时)、胃肠道反应、肝肾功能损害、肌痛等。	围手术期卒中或死亡、血管破裂、夹层、再狭窄、支架内血栓形成。	围手术期卒中、颅内出血、高灌注综合征、吻合口闭塞、感染等。
长期疗效	长期坚持可稳定/延缓斑块进展,降低卒中复发率,但难以逆转严重狭窄。	可立即解除狭窄,改善血流;长期通畅率受再狭窄影响,药物涂层器械可改善。	血流通畅率高,长期血流重建效果稳定;对改善认知及神经功能有潜在长期获益。
证据等级与共识	证据充分,多项 RCT 及指南强力推荐(Class I, Level A)。	证据存在争议,对于严格筛选的患者可作为选择(Class IIb, Level B-R);需在有经验的中心开展。	证据多来源于观察性研究及烟雾病领域,针对 ICAS 的高等级 RCT 稀缺(Class IIb, Level C-LD)。
关键决策因素	狭窄程度、症状、患者耐受性、合并症、基因型(如 CYP2C19)。	病变特征(长度、位置、形态)、血流储备、中心技术水平、患者双抗耐受性。	脑灌注储备、侧支循环、病变血管分布、患者年龄与全身状况、外科团队经验。

注: RCT: 随机对照试验; 双抗: 双联抗血小板治疗; 证据等级参考 AHA/ASA 相关指南分类。

临床实践中,治疗策略的选择绝非“非此即彼”,而应遵循“阶梯化与个体化”原则。所有患者均应启动并优化药物治疗。对于药物治疗失败或存在高危特征的患者,应通过多学科团队(MDT)讨论,综合评估介入与外科手术的风险与获益,选择最适宜的血流重建策略。未来需要更多头对头的比较性研究,以强化各级治疗策略的循证医学基础。

8. 结论

颅内动脉粥样硬化性狭窄是引起缺血性卒中的关键因素之一。在制定治疗方案时,必须充分考虑病变的特征、患者的个体差异以及全面的风险评估。由于颅内动脉粥样硬化性狭窄的复杂发病机制和临床表现,单一的治疗方法难以满足所有患者的需求,因此,个体化与多模式的治疗理念已成为当前临床实践的核心。

从药物治疗的角度来看,抗血小板药物和降脂治疗仍然是预防卒中复发的基础。大量临床研究已证实,合理应用抗血小板药物可以有效降低血栓形成的发生率,而降脂治疗不仅能够稳定动脉粥样硬化斑块,还能延缓病变的进展。这些药物治疗具有安全性高、适应范围广的优点,特别适合于中轻度狭窄的患者。然而,药物治疗的局限性同样不容忽视。对于重度狭窄或对药物反应不佳的患者,单纯的药物治疗往往难以达到理想的临床效果。

近年来,介入治疗和外科手术作为针对重度颅内动脉狭窄患者的重要治疗手段,取得了显著进展。这些治疗方法不仅能够快速恢复血流、降低卒中风险,同时也伴随较高的风险。因此,准确把握适应症以及术后细致管理显得尤为重要。不同研究在介入及手术的适应症、时机和术后并发症管理方面存在一定差异。临床医生需根据患者的具体情况,权衡利弊,以制定最适合的治疗方案。从专家的角度来看,如何最大限度地发挥介入与外科手术的治疗效益,同时降低相关风险,将是未来临床实践与研究的重要方向。

展望未来,颅内动脉粥样硬化性狭窄的治疗研究应更加注重新型治疗靶点的开发和精准医疗策略的应用。随着分子生物学和基因组学的进步,针对炎症反应、血管内皮功能障碍等新机制的靶向药物有望成为治疗的新突破。同时,结合患者的遗传背景、病理特征和临床表现,精准医疗能实现治疗方案的高度个体化,提高疗效并减少不良反应。此外,多学科协作模式的优化也是提升治疗效果的重要保障。神经内科、神经外科、影像学、康复医学等多个学科的紧密合作,能够实现从诊断、治疗到康复的全程管

理, 为患者提供更加全面和连贯的医疗服务。

在综合不同研究观点和临床经验的基础上, 颅内动脉粥样硬化性狭窄的治疗需要在安全性与有效性之间找到平衡。未来的研究应加强大样本、多中心的随机对照试验, 以明确不同治疗方案的适应症和最佳时机, 推动临床指南的更新与优化。唯有通过持续的科研创新及临床实践的积累, 才能不断提升患者的预后与生活质量, 最终实现对这一复杂疾病的精准与有效管理。

参考文献

- [1] Song, J.Y. and Kwon, S.U. (2025) Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Cerebrovascular Diseases Extra*, **15**, 62-67. <https://doi.org/10.1159/000543356>
- [2] Li, H.Q., Wang, X., Wang, H.F., et al. (2021) Dose-Response Relationship between Blood Pressure and Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Atherosclerosis*, **317**, 36-40. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2020.12.004>
- [3] Yang, W.S., Li, R., Shen, Y.Q., et al. (2020) Importance of Lipid Ratios for Predicting Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Lipids in Health and Disease*, **19**, Article No. 160. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01336-1>
- [4] Sen, S., Meyer, J., Mascari, R., Trivedi, T., Suri, F., Wasserman, B., et al. (2023) Association of Dental Infections with Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Cerebrovascular Diseases*, **53**, 28-37. <https://doi.org/10.1159/000530829>
- [5] Zhang, X., Hou, X.H., Ma, Y.H., et al. (2020) Association of Peripheral Neutrophil Count with Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *BMC Neurology*, **20**, Article No. 65. <https://doi.org/10.1186/s12883-020-01641-3>
- [6] Gutierrez, J., Turan, T.N., Hoh, B.L. and Chimowitz, M.I. (2022) Intracranial Atherosclerotic Stenosis: Risk Factors, Diagnosis, and Treatment. *The Lancet Neurology*, **21**, 355-368. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(21\)00376-8](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(21)00376-8)
- [7] Wang, M., Leng, X., Mao, B., Zou, R., Lin, D., Gao, Y., et al. (2023) Functional Evaluation of Intracranial Atherosclerotic Stenosis by Pressure Ratio Measurements. *Heliyon*, **9**, e13527. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13527>
- [8] Gutierrez, J., Khasiyev, F., Liu, M., DeRosa, J.T., Tom, S.E., Rundek, T., et al. (2021) Determinants and Outcomes of Asymptomatic Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Journal of the American College of Cardiology*, **78**, 562-571. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.05.041>
- [9] Tang, M., Gao, J., Ma, N., Yan, X., Zhang, X., Hu, J., et al. (2022) Radiomics Nomogram for Predicting Stroke Recurrence in Symptomatic Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *Frontiers in Neuroscience*, **16**, Article 851353. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.851353>
- [10] Wabnitz, A.M. and Turan, T.N. (2024) Optimal Medical Management of Atherosclerotic Intracranial Stenosis. *Stroke*, **55**, 335-343. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.043633>
- [11] Zhou, Z.L., Zhu, L.F., Li, T.X. and Gao, B.L. (2025) Recanalization of Atherosclerotic Stenosis and Occlusion of Intracranial Vertebrobasilar Artery. *IBRO Neuroscience Reports*, **18**, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.ibneur.2024.12.016>
- [12] Sarshayev, M., Turdaliyeva, B., Tanbayeva, G., Makhambetkhan, S., Mussabekov, M., Davletov, D., et al. (2024) Demographic Characteristics and Treatment Outcomes of Intracranial Atherosclerosis Stenting: A Retrospective Case-Series of 216 Consecutive Patients. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 125. <https://doi.org/10.3390/jcm14010125>
- [13] Vernes, R., Bardoczi, A., Lumsden, A.B. and Garami, Z.F. (2024) Optimal Cerebral Protection Confirmed by Transcranial Doppler during Transcarotid Artery Revascularization. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*, **20**, 106-112. <https://doi.org/10.14797/mdcvj.1465>
- [14] Lu, M., Liu, S., Peng, P., Liu, D., Liu, Y., Sheng, F., et al. (2024) The Characteristics of Extracranial Internal Carotid Artery and Their Relationship with Surgical Outcomes in Patients with Moyamoya Disease: A Combined Head-and-Neck Vessel Wall MR Imaging Study. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **60**, 94-102. <https://doi.org/10.1002/jmri.29047>
- [15] Yoshimoto, T., Okune, S., Tanaka, S., Yamagami, H. and Matsumaru, Y. (2025) RNF213-Related Vasculopathy: An Entity with Diverse Phenotypic Expressions. *Genes*, **16**, Article 939. <https://doi.org/10.3390/genes16080939>
- [16] Horie, N., Inoue, M., Morimoto, T., Sadakata, E., Okamura, K., Morofuji, Y., et al. (2025) Recanalization Does Not Always Equate to Reperfusion: No-Reflow Phenomenon after Successful Thrombectomy. *Stroke*, **56**, 183-189. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.124.048994>
- [17] Nordmeyer, H., Chapot, R. and Haage, P. (2019) Endovascular Treatment of Intracranial Atherosclerotic Stenosis. *RöFo—Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, **191**, 643-652. <https://doi.org/10.1055/a-0855-4298>
- [18] Liu, Y., Song, J.H., Hou, X.H., et al. (2019) Elevated Homocysteine as an Independent Risk for Intracranial

- Atherosclerotic Stenosis. *Aging*, **11**, 3824-3831. <https://doi.org/10.18632/aging.102019>
- [19] Odat, R.M., Alshwayyat, S., Bahdar, Z.I., Abdelraheem, M., Khalefa, B.B., Jarah, O., *et al.* (2025) Dual Antiplatelet Therapy versus Aspirin Alone in Acute Ischemic Stroke or Transient Ischemic Attack: A Meta-Analysis and Trial Sequential Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of International Medical Research*, **53**, 1-16. <https://doi.org/10.1177/03000605251337035>
- [20] Lee, T.L., Chang, Y.M. and Sung, P.S. (2023) Clinical Updates on Antiplatelet Therapy for Secondary Prevention in Acute Ischemic Stroke. *Acta Neurologica Taiwanica*, **32**, 138-144.
- [21] Paciaroni, M., Ince, B., Hu, B., Jeng, J., Kutluk, K., Liu, L., *et al.* (2019) Benefits and Risks of Clopidogrel vs. Aspirin Monotherapy after Recent Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cardiovascular Therapeutics*, **2019**, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/1607181>
- [22] Castrichini, M., Luzum, J.A. and Pereira, N. (2023) Pharmacogenetics of Antiplatelet Therapy. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, **63**, 211-229. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-051921-092701>
- [23] Davidson, S. (2023) Monitoring of Antiplatelet Therapy. In: *Methods in Molecular Biology*, Springer, 381-402. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3175-1_25
- [24] Yu, Z., Huang, Z., Wu, J., Shan, B., Xie, L., Wang, T., *et al.* (2025) Aspirin Plus Clopidogrel Reduces Infection Risk Compared with Aspirin or Clopidogrel Alone in Acute Ischemic Stroke. *Clinical Therapeutics*, **47**, 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2025.03.003>
- [25] Ma, H., Fan, X., Jiao, L., Meng, X., Zhao, L. and Wang, J. (2022) Time of Resumption of Antiplatelet Drugs after Upper Gastrointestinal Hemorrhage. *Medical Science Monitor*, **28**, e936953. <https://doi.org/10.12659/msm.936953>
- [26] Karásek, D. (2019) Combined Lipid-Lowering Therapy. *Vnitřní lékařství*, **64**, 1177-1184. <https://doi.org/10.36290/vnl.2018.169>
- [27] Pograd, E., Burger, A.L., Zweiker, D., Kaufmann, C.C., Muthspiel, M., Rega-Kaun, G., *et al.* (2024) Lipid-Lowering Therapy after Acute Coronary Syndrome. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 2043. <https://doi.org/10.3390/jcm13072043>
- [28] Mizus, M.C. and Tiniakou, E. (2020) Lipid-lowering Therapies in Myositis. *Current Rheumatology Reports*, **22**, Article No. 70. <https://doi.org/10.1007/s11926-020-00942-3>
- [29] Ullrich, H. and Gori, T. (2019) The Pleiotropic Effects of Antiplatelet Therapies. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, **73**, 29-34. <https://doi.org/10.3233/ch-199214>
- [30] Ueki, Y., Itagaki, T. and Kuwahara, K. (2024) Lipid-Lowering Therapy and Coronary Plaque Regression. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **31**, 1479-1495. <https://doi.org/10.5551/jat.rv22024>
- [31] Capuozzo, M., Ottaiano, A., Cinque, C., Farace, S. and Ferrara, F. (2025) Cutting-Edge Lipid-Lowering Pharmacological Therapies: Improving Lipid Control Beyond Statins. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, **42**, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.hipert.2024.12.002>
- [32] Del Pinto, R., Grassi, D., Properzi, G., Desideri, G. and Ferri, C. (2019) Low Density Lipoprotein (LDL) Cholesterol as a Causal Role for Atherosclerotic Disease: Potential Role of PCSK9 Inhibitors. *High Blood Pressure & Cardiovascular Prevention*, **26**, 199-207. <https://doi.org/10.1007/s40292-019-00323-7>
- [33] Gresele, P. and Momi, S. (2022) Novel Approaches to Antiplatelet Therapy. *Biochemical Pharmacology*, **206**, Article 115297. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2022.115297>
- [34] Sahoo, M.K., Agrawal, N., Lanjhiyana, S.K., Bharti, S.K. and Jaiswal, M. Therapeutic Perspective of Prodrugs of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs and Antioxidants: An Approach to Reduce Toxicity and Enhance Efficacy. *Current Topics in Medicinal Chemistry*.
- [35] Mirzaei, S., Mahabady, M.K., Zabolian, A., Abbaspour, A., Fallahzadeh, P., Noori, M., *et al.* (2021) Small Interfering RNA (siRNA) to Target Genes and Molecular Pathways in Glioblastoma Therapy: Current Status with an Emphasis on Delivery Systems. *Life Sciences*, **275**, Article 119368. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119368>
- [36] Choi, J.W., Kim, T.H. and Han, E. (2021) Smoking Cessation, Weight Change, Diabetes, and Hypertension in Korean Adults. *American Journal of Preventive Medicine*, **60**, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.08.024>
- [37] Khetan, A., Zullo, M., Rani, A., Gupta, R., Purushothaman, R., Bajaj, N.S., *et al.* (2019) Effect of a Community Health Worker-Based Approach to Integrated Cardiovascular Risk Factor Control in India: A Cluster Randomized Controlled Trial. *Global Heart*, **14**, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.gheart.2019.08.003>
- [38] Xin, Y., Lyu, S., Wang, J., Wang, Y., Shu, Y., Liang, H., *et al.* (2025) Association between Social Risk Profile, Cardiovascular Risk Factors Control, and Future Cardiovascular Risk. *BMC Public Health*, **25**, Article No. 2340. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-23580-9>
- [39] Dulgheroff, P.T., da Silva, L.S., Rinaldi, A.E.M., Rezende, L.F.M., Marques, E.S. and Azeredo, C.M. (2021) Educational Disparities in Hypertension, Diabetes, Obesity and Smoking in Brazil: A Trend Analysis of 578 977 Adults from a

- National Survey, 2007-2018. *BMJ Open*, **11**, e046154. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046154>
- [40] Sun, X., Feng, X. and Hu, S. (2025) Lifestyle Medicine in China: The Fuwai Hospital Lifestyle Medicine Initiative. *American Journal of Lifestyle Medicine*, Article 15598276251371687.
- [41] Stürzebecher, P.E., Schumann, F., Kassner, U. and Laufs, U. (2022) Statin Intolerance and Statin-Associated Muscular Pain. *Herz*, **47**, 204-211. <https://doi.org/10.1007/s00059-022-05114-w>
- [42] Lu, J.X., Wang, W., Zhang, Q.W., Guo, Z.Y., Jin, Z. and Tang, Y.Z. (2024) Design, Synthesis and Evaluation of Anti-oxidant and Anti-Inflammatory Activities of Novel Resveratrol Derivatives as Potential Multifunctional Drugs. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **266**, Article 116148. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2024.116148>
- [43] Xiang, S., Song, S., Tang, H., Smaill, J.B., Wang, A., Xie, H., *et al.* (2021) TANK-Binding Kinase 1 (TBK1): An Emerging Therapeutic Target for Drug Discovery. *Drug Discovery Today*, **26**, 2445-2455. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.05.016>
- [44] Špiljak, B., Somogyi Škoc, M., Rezić Meštrović, I., Bašić, K., Bando, I. and Šutej, I. (2025) Targeting the Oral Mucosa: Emerging Drug Delivery Platforms and the Therapeutic Potential of Glycosaminoglycans. *Pharmaceutics*, **17**, Article 1212. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17091212>
- [45] Sakane, T., Haneda, H. and Okuda, K. (2024) Insights into Molecular Aspects and Targeted Therapy of Thymic Carcinoma: A Narrative Review. *Mediastinum*, **8**, Article 36. <https://doi.org/10.21037/med-23-48>
- [46] Gheorghie, L.L., Mobasseri, S., Agricola, E., Wang, D.D., Milla, F., Swaans, M., *et al.* (2021) Imaging for Native Mitral Valve Surgical and Transcatheter Interventions. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **14**, 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.021>
- [47] Sun, L., Wang, S., Song, Y., Zhao, W., Zheng, M., Yin, H., *et al.* (2023) Ticagrelor versus Clopidogrel after Intracranial Stent Angioplasty: A Real-World Study. *Frontiers in Neurology*, **14**, Article 1232958. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1232958>
- [48] Manchikanti, L., Kaye, A.D., Nampiaparampil, D.E., Sanapati, M.R., Abd-Elsayed, A., Shekoohi, S., *et al.* (2025) Peri-operative Management of Patients Receiving Interventional Techniques and Antiplatelet and Anticoagulant Therapy: A Balancing Act. *Current Pain and Headache Reports*, **29**, Article No. 107. <https://doi.org/10.1007/s11916-025-01405-z>
- [49] Mohammaden, M.H., Haussen, D.C., Al-Bayati, A.R., Hassan, A., Tekle, W., Fifi, J., *et al.* (2022) Stenting and Angioplasty in Neurothrombectomy: Matched Analysis of Rescue Intracranial Stenting versus Failed Thrombectomy. *Stroke*, **53**, 2779-2788. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.121.038248>
- [50] Dang Luu, V., Hoang Khoe, L., Huu An, N., *et al.* (2022) Balloon Angioplasty with or without Stenting for Acute Intracranial Atherothrombosis. *Clinical Therapeutics*, **173**, 464-470.
- [51] Mowla, A., Khatibi, K., Razavi, S., Kaneko, N., Ponce Mejia, L.L., Saber, H., *et al.* (2023) Rescue Intracranial Balloon Angioplasty with or without Stent Placement in Acute Strokes with Intracranial Atherosclerotic Disease. *World Neurosurgery*, **176**, e8-e13. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.01.057>
- [52] Li, Q., Gao, Y., Xin, W., Zhou, Z., Rong, H., Qin, Y., *et al.* (2019) Meta-Analysis of Prognosis of Different Treatments for Symptomatic Moyamoya Disease. *World Neurosurgery*, **127**, 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.04.062>
- [53] Harmatina, O. and Moroz, V. (2024) Effect of Direct Surgical Revascularization on Cerebral Hemodynamics and Stroke Development in Patients with Moyamoya Disease. *Georgian Medicine News*, **349**, 12-21.
- [54] Farooq, J., Heller, R.S., Noureldine, M.H.A., Wang, Z., Wei, G., Mhaskar, R., *et al.* (2022) Modern Appraisal of Patency and Complications in Cerebral Bypass Surgery: A Single Institution Experience. *Operative Neurosurgery*, **22**, 355-363. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000000177>
- [55] Kanoke, A. and Endo, H. (2025) History and Current Status of Direct or Combined Revascularization Surgery for Moyamoya Disease. *No Shinkei Geka*, **53**, 514-521.