

颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的研究进展

曾瀛庆, 张晓冬*

重庆医科大学附属第一医院神经外科, 重庆

收稿日期: 2026年4月28日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

摘要

颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤并非罕见, 随着CTA、MRA及DSA等影像学检查技术的普及, 其检出率逐渐升高。该类患者同时存在脑缺血及动脉瘤破裂出血风险, 临床处理较单一病变更为复杂。既往研究提示, 颈动脉狭窄与颅内动脉瘤可能共享高血压、吸烟、高龄及女性等危险因素, 并在长期共同作用下形成系统性血管易损背景; 此外, 狭窄相关血流动力学异常可能通过影响壁面剪切应力及血管壁重塑, 参与动脉瘤的形成或演变。在风险评估方面, 目前仍应以动脉瘤大小、部位及形态等经典危险因素为基础, 同时结合狭窄程度、症状状态及二者相对位置关系进行综合判断。治疗方面, 分期治疗与同期治疗均有报道, 优先处理狭窄或优先处理动脉瘤应根据缺血风险、出血风险、解剖特点及围术期操作风险个体化权衡。本文就颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的发生基础、风险评估及治疗策略选择的研究进展作一综述, 以期临床风险分层与个体化诊疗提供参考。

关键词

颈动脉狭窄, 颅内动脉瘤, 血流动力学, 风险评估, 治疗策略

Research Progress on Carotid Artery Stenosis Combined with Intracranial Aneurysm

Yingqing Zeng, Xiaodong Zhang*

Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 28, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 29, 2026

Abstract

Carotid artery stenosis combined with intracranial aneurysm is not uncommon, and its detection

*通讯作者。

rate has gradually increased with the widespread use of imaging techniques such as computed tomography angiography (CTA), magnetic resonance angiography (MRA), and digital subtraction angiography (DSA). These patients are simultaneously at risk of cerebral ischemia and aneurysmal rupture with hemorrhage, making clinical management more complex than that of a single lesion. Previous studies have suggested that carotid artery stenosis and intracranial aneurysm may share common risk factors, including hypertension, smoking, advanced age, and female sex, and may develop on the basis of a systemically vulnerable vasculature formed through their long-term combined effects. In addition, stenosis-related hemodynamic abnormalities may contribute to aneurysm formation or progression by affecting wall shear stress and vascular wall remodeling. In terms of risk assessment, evaluation should still be primarily based on classical aneurysm-related risk factors, such as aneurysm size, location, and morphology, while also taking into account the degree of stenosis, symptomatic status, and the relative anatomical relationship between the two lesions. Regarding treatment, both staged and simultaneous strategies have been reported. Whether priority should be given to the treatment of stenosis or aneurysm should be determined individually by balancing ischemic risk, hemorrhagic risk, anatomical characteristics, and perioperative procedural risk. This article reviews the research progress on the pathophysiological basis, rupture risk assessment, and treatment strategy selection for carotid artery stenosis combined with intracranial aneurysm, with the aim of providing a reference for clinical risk stratification and individualized management.

Keywords

Carotid Artery Stenosis, Intracranial Aneurysm, Hemodynamics, Risk Assessment, Treatment Strategy

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

颅内动脉瘤(intracranial aneurysm, IA)是指颅内动脉管腔局限性异常扩张或膨出形成的脑血管病变。IA 破裂是蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)的主要原因之一。SAH 具有较高的病死率和致残率,其 30 d 病死率约为 45%,幸存者中约 30%~50%遗留中至重度神经功能障碍[1] [2]。因此,IA 始终是神经外科和脑血管病领域关注的重点疾病之一。

近年来研究发现,IA 并非总是孤立存在,还可与多种可改变颅内血流动力学的脑血管疾病共存[3]-[6]。其中,颈动脉狭窄是较常见且具有代表性的一种[7] [8]。随着 CTA、MRA 及 DSA 等影像学检查技术的普及,颈动脉狭窄合并 IA 的检出率逐渐升高。既往研究显示,颈动脉狭窄患者中合并 IA 的比例约为 6.3%,高于一般人群中 IA 的患病率,提示该类共病并非罕见[7] [8]。其发生可能与二者共享高血压、吸烟、高龄及女性等危险因素有关[7] [8]。此外,颈动脉狭窄所致的血流动力学改变也可能在 IA 的发生发展中发挥重要作用[7] [9]。

与单一病变相比,颈动脉狭窄合并 IA 的临床处理更具复杂性。颈动脉狭窄可增加脑缺血风险,而 IA 又具有潜在破裂出血风险;两者并存时,临床需同时权衡缺血与出血双重风险[10]。目前,对于此类患者应优先处理狭窄还是先处理动脉瘤、选择分期治疗还是同期治疗,尚缺乏统一标准[7] [10]。基于此,本文拟对颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的研究进展进行综述,重点围绕二者共存的发生基础、狭窄相关血流动力学改变的可能作用、动脉瘤破裂风险评估思路及治疗策略选择进行总结,以期临床个体化诊疗提供参考。

2. 颈动脉狭窄与颅内动脉瘤共存的发生基础

2.1. 共同危险因素及系统性血管易损背景

颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤并非两种独立疾病的偶然叠加, 其共存可能与长期共同危险因素作用下形成的系统性血管易损背景有关。既往研究表明, 高血压、吸烟、高龄及女性等因素均与颈动脉狭窄和颅内动脉瘤发生相关, 提示二者在危险因素构成上存在一定重叠[7][8]。例如, 有研究在颈动脉狭窄患者中发现, 约 6% 同时存在颅内动脉瘤, 提示这种共病并非罕见[8]。这些危险因素通过一系列病理过程作用于血管壁, 为共病形成提供基础。

其中, 高血压和吸烟被认为是较关键的共同危险因素[7][8]。长期血压升高及吸烟可通过增加血流动力学负荷、诱发内皮功能障碍及炎症反应、促进血管壁损伤与重塑等途径参与颅内动脉瘤的发生与发展[11]-[14]。其中, 慢性高血压可导致动脉壁内膜增厚、中膜坏死或退变、基质成分改变及内弹力层退化, 从而削弱血管壁对血流冲击的承受能力[14]。吸烟则与颅内动脉瘤的形成、增长和破裂风险增加相关, 其潜在生物学效应包括炎症、氧化应激及血管壁结构损伤[13]。上述变化可共同促使内皮功能障碍、慢性炎症持续激活及血管壁适应性重塑异常, 从而为两种疾病共存提供上游病理基础[11][12]。

在此基础上, 不同血管床可表现出不同的病理结局。颈动脉侧常表现为动脉粥样硬化斑块形成、血管壁增厚及管腔狭窄[7][9]; 动脉粥样硬化不仅反映危险因素的长期累积作用, 也提示血管系统整体存在慢性损伤[7][8]。有研究观察到, 颈动脉狭窄患者的前交通动脉及大脑中动脉分叉部位可见局限性动脉瘤, 这种累积损伤可能在颅内动脉壁引发局部扩张, 并增加动脉瘤形成风险[7][9][15]。因此, 颈动脉狭窄与颅内动脉瘤的共存, 并非单纯由危险因素叠加所致, 更可能反映了长期共同危险因素作用下形成的系统性血管易损背景。需要指出的是, 共享危险因素并不意味着两者具有完全相同的病理过程, 更合理的理解是系统性血管易损背景与局部触发因素共同作用, 促成了两种病变在同一患者中的共存。

2.2. 血流动力学异常与血管壁重塑机制

在共同危险因素所形成的系统性血管易损背景之外, 局部血流动力学异常被认为是解释颈动脉狭窄与颅内动脉瘤共存的重要机制之一。颈动脉狭窄可改变局部及远端血流状态, 使相关颅内动脉承受不同于正常状态的机械刺激, 其中壁面剪切应力(wall shear stress, WSS)的改变被认为与动脉瘤形成和血管壁重塑密切相关[16]-[18]。既往研究显示, 在颈动脉狭窄患者中, 合并颅内动脉瘤者的 WSS 显著高于未合并动脉瘤者, 提示狭窄相关血流动力学异常可能参与动脉瘤形成的病理过程[9]。

异常 WSS 及相关机械刺激首先可作用于血管内皮。内皮细胞作为感受血流剪切力变化的关键结构, 可通过细胞排列形态、增殖、迁移及脱落等改变, 对异常血流环境作出反应[19][20]。当这种刺激长期存在或超过血管壁适应能力时, 可诱发内皮功能障碍和局部促炎反应, 并进一步与炎症细胞浸润、壁细胞损伤、细胞外基质降解及血管壁结构重塑等过程相互作用[11][12]。上述过程可能削弱血管壁对持续血流冲击的承受能力, 使局部血管壁逐渐出现扩张、变薄或结构不稳定, 从而为动脉瘤形成及演变提供病理基础。与高血压、吸烟等共同危险因素长期作用形成的系统性易损背景不同, 血流剪切异常更强调局部机械环境改变对血管内皮功能和血管壁重塑的直接影响。

目前, WSS 在颅内动脉瘤发生发展不同阶段中的作用仍存在争议。已有研究提示, 高 WSS 及正向 WSS 梯度可能与动脉瘤起始阶段的局部血管壁重塑有关; 而在动脉瘤形成后, 随着瘤腔内血流结构复杂化, 局部低 WSS、振荡剪切增加及血流滞留等改变则更多与动脉瘤增长、瘤壁退变及不稳定状态相关[12][16][21]-[23]。上述差异提示, 高 WSS 与低 WSS 并非简单对立的血流动力学现象, 其意义可能与动脉瘤所处病程阶段、血流作用区域及研究观察终点密切相关。对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者而言, 狭

窄相关血流改变可能使局部 WSS 发生异常,但目前尚难据此明确区分其对动脉瘤形成、增长或破裂的具体贡献。因此,在评价狭窄相关血流动力学影响时,应重视 WSS 的时空异质性及其与血管壁重塑过程的动态关系,避免将单一时间点或单一部位的 WSS 改变直接等同于动脉瘤不稳定性。

综上,颈动脉狭窄相关血流动力学异常可能通过改变局部机械刺激环境,影响内皮功能、炎症反应及血管壁重塑过程,从而参与颅内动脉瘤的形成或演变。与单纯共同危险因素所形成的系统性易损背景相比,血流动力学异常更强调局部血管壁所承受的机械环境变化,为解释两种病变在同一患者中共存提供了机制层面的补充。然而,需要强调的是,参与动脉瘤形成的血流动力学机制并不必然等同于促进动脉瘤破裂的机制。目前关于狭窄相关血流改变对既有动脉瘤稳定性及破裂风险的影响仍缺乏一致结论,临床上尚难单纯依据某一血流动力学指标作出确定性判断。因此,后续风险评估仍应结合动脉瘤大小、部位、形态、患者危险因素及狭窄相关特征进行综合分析。

3. 动脉瘤破裂风险评估

对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者,破裂风险评估不宜仅依据单一影像学指标或某一危险因素作出判断,而应建立在多层次综合评估基础上。总体而言,动脉瘤自身特征仍是破裂风险判断的核心基础;狭窄相关因素可能通过改变局部血流动力学环境影响动脉瘤稳定性,但其独立预测价值尚未得到充分证实;患者相关因素则更多反映个体整体血管易损背景。因而,此类患者的风险评估应形成以动脉瘤自身因素为核心、以狭窄相关因素和患者相关因素为补充的综合判断模式。

3.1. 动脉瘤自身相关因素

动脉瘤自身相关因素是颅内动脉瘤破裂风险评估的核心基础,其中瘤体大小是最常用且最直观的评价指标。既往大型队列研究显示,动脉瘤破裂风险随瘤体增大而升高[24] [25]。UCAS Japan 研究纳入 6697 个未破裂颅内动脉瘤,随访期间总体年破裂率为 0.95%;以 3~4 mm 动脉瘤为参照,5~6 mm 动脉瘤破裂风险未见明显升高,而 7~9 mm、10~24 mm 及 ≥ 25 mm 动脉瘤的破裂风险明显增加,其风险比分别为 3.35、9.09 和 76.26 [25]。上述结果提示,瘤体大小与破裂风险之间存在较明确的相关性,7 mm 及以上动脉瘤的相对破裂风险明显升高,并随瘤体进一步增大而逐级增加,其中巨大动脉瘤的破裂风险尤为突出。然而,动脉瘤大小并不能完全概括其破裂风险,单纯依据直径进行判断仍存在一定局限,仍需结合部位及形态学特征进一步分析。

除瘤体大小外,动脉瘤部位同样是破裂风险评估的重要依据。既往自然史研究及风险预测体系均提示,不同部位动脉瘤的破裂倾向存在差异,前交通动脉、后交通动脉及部分后循环部位动脉瘤通常被认为具有相对较高的破裂风险[24]-[26]。UCAS Japan 研究显示,与大脑中动脉动脉瘤相比,后交通动脉和前交通动脉动脉瘤的破裂风险更高,其风险比分别为 1.90 和 2.02 [25]。前交通动脉区域位于双侧前循环交通结构交汇处,局部血流方向及冲击方式相对复杂,因此即使部分动脉瘤体积较小,也可能具有一定破裂倾向。后交通动脉动脉瘤则位于颈内动脉与后循环交通通路相关区域,其破裂风险在多项研究和风险评估体系中亦受到重视[25] [26]。因此,动脉瘤部位并非单纯的解剖定位指标,而是反映局部血流环境、血管分叉结构及瘤壁受力特点的重要因素。在风险评估中,部位因素应与瘤体大小及形态学特征共同分析,以更全面判断动脉瘤潜在不稳定性。

瘤体形态学特征是动脉瘤破裂风险评估的另一重要内容。与瘤体大小相比,形态学异常更强调动脉瘤局部结构的不均一性和瘤壁稳定性改变。既往研究提示,形态不规则、存在分叶、子囊或局部突出等表现时,动脉瘤破裂风险可能升高[10] [27]。这类形态改变可能反映瘤壁局部受力不均、结构薄弱或修复失衡,其临床意义在于提示动脉瘤并非处于相对稳定的规则扩张状态。尤其对于直径较小但形态不规则的动脉瘤,若仅依据大小判断风险,可能低估其潜在不稳定性。因此,在动脉瘤自身因素评估中,形态

学特征应与瘤体大小和部位共同分析, 以提高对动脉瘤破裂风险的综合判断能力。

因此, 在颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者中, 动脉瘤大小、部位及形态仍应作为破裂风险评估的基础依据; 狭窄相关因素和患者相关因素则应在此基础上进一步修正风险判断。

3.2. 狭窄相关因素

与动脉瘤自身因素相比, 颈动脉狭窄相关因素对动脉瘤破裂风险的影响更为间接, 其评估意义主要在于提示血流动力学背景、脑灌注状态及治疗前后风险环境的变化。狭窄程度、症状状态以及动脉瘤与狭窄的相对位置关系, 均可能影响动脉瘤所处的局部血流环境。因此, 在颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者中, 狭窄相关因素应作为动脉瘤自身风险判断基础上的补充内容加以考虑。

首先, 狭窄程度是评估颈动脉病变临床意义的重要基础。随着狭窄程度加重, 颈动脉供血通路受限, 局部及远端血流分布、灌注压力和侧支循环状态均可能发生改变, 从而影响相关颅内动脉及动脉瘤所处的血流动力学环境[7] [10]。在重度狭窄患者中, 远端低灌注、代偿性侧支血流增加以及血流重新分配等改变可能同时存在, 使动脉瘤局部受力环境较单纯动脉瘤患者更为复杂。因而, 狭窄程度不仅反映缺血事件风险, 也为理解动脉瘤所处血流动力学背景提供重要依据。

其次, 狭窄是否具有症状性也是风险评估中的重要参考。若患者已出现短暂性脑缺血发作、脑梗死或明确灌注不足相关表现, 通常提示狭窄病变具有较高临床意义, 并反映脑血流储备能力可能受限[10] [28]。在此类患者中, 临床风险评估不能仅聚焦动脉瘤破裂风险, 还需同时考虑近期缺血事件风险及其对后续治疗时机的影响。症状性狭窄的存在, 往往意味着缺血风险在整体风险权衡中的权重增加, 因此对治疗顺序选择及围术期管理具有重要参考价值。

此外, 动脉瘤与狭窄病变的相对位置关系, 是连接狭窄相关血流改变与动脉瘤局部环境的重要因素。一般而言, 位于狭窄同侧、狭窄供血通路远端, 或处于侧支循环代偿通路及血流重新分配较明显区域的动脉瘤, 理论上更可能受到狭窄相关血流动力学改变的影响[7] [10]。尤其在计划行颈动脉内膜剥脱术或颈动脉支架成形术时, 血运重建前后血流环境的变化可能使既有动脉瘤暴露于不同的压力、流速及壁面受力状态。因此, 对于同侧、近端或形态不规则的动脉瘤, 应结合狭窄程度、侧支循环及血运重建方式进行更加审慎的综合评估[10] [28] [29]。

综上, 狭窄相关因素可从血流动力学改变、脑灌注状态及病变空间关系等方面补充动脉瘤破裂风险评估, 但其作用仍应建立在动脉瘤自身因素判断的基础之上。现有证据尚不足以表明狭窄程度、症状状态或相对位置关系能够独立、稳定地预测动脉瘤破裂风险。因此, 在临床评估中, 不宜将颈动脉狭窄的严重程度或临床表现直接等同于动脉瘤不稳定性, 而应将其作为风险修正因素, 与动脉瘤大小、部位及形态等核心指标综合分析。

3.3. 患者相关因素

除病变特征外, 患者相关因素在动脉瘤破裂风险评估中亦具有一定参考价值。既往研究认为, 高血压、吸烟、女性以及既往蛛网膜下腔出血史或家族史, 与动脉瘤破裂风险增加相关[24]-[26]。但对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者而言, 这些因素更多反映个体的整体易损背景, 其评估意义主要在于辅助判断动脉瘤的潜在不稳定性, 而难以脱离动脉瘤大小、部位、形态及狭窄相关特征单独预测破裂风险[10] [30]。因此, 在此类共病患者中, 患者相关因素的评估意义主要在于提示个体整体易损背景, 并为整体风险分层提供补充信息[10] [30]。

综上, 对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者, 破裂风险评估应以动脉瘤大小、部位及形态等自身特征为基础, 并结合狭窄相关血流动力学背景及患者整体血管易损状态进行综合判断。虽然当前尚不宜仅

依据单一因素来预测动脉瘤破裂风险, 但这一评估过程为治疗决策提供了重要依据。

4. 治疗策略选择

治疗策略的选择对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的患者来说, 核心并非盲目套用固定处理模式, 而是在缺血风险、出血风险及围术期操作风险之间进行综合权衡。基于前述的风险评估结果, 临床决策通常包括两个相互关联但并不等同的问题: 一是采用分期治疗还是同期治疗, 二是在具体情形下, 优先处理颈动脉狭窄还是优先处理动脉瘤。

4.1. 分期治疗与同期治疗

目前, 对于颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者的治疗, 尚缺乏统一标准; 在时间安排上, 分期治疗与同期治疗均有报道[7] [10] [28] [29] [31]。总体而言, 分期治疗在临床实践中仍较为常见, 其优势在于可将复杂决策分步实施, 并根据首阶段治疗后的病情变化调整后续方案; 而同期治疗则可在一次住院或一次介入过程中同时处理两种病变, 具有减少重复操作和缩短整体治疗周期的潜在优势[7] [10] [28] [29] [31]。但同期治疗对病例筛选、术者经验及围术期管理要求更高, 尤其在抗栓方案、缺血与出血风险平衡以及操作复杂性方面更具挑战[10] [29] [31]。因此, 现阶段分期与同期治疗并非彼此替代的固定模式, 而是需结合患者具体病情、病变特点及中心经验进行选择[7] [10] [29]。

4.2. 不同情形下的处理顺序选择

在颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤患者中, 治疗顺序的选择通常取决于缺血风险与出血风险的相对高低, 而不宜简单套用固定模式[10] [29]。一般而言, 若患者以脑缺血症状为主要表现, 存在颈动脉重度狭窄, 或经药物治疗后症状控制欠佳, 则临床上更倾向于优先处理狭窄病变, 以尽快改善脑灌注并降低缺血事件风险[7] [28] [29]。此外, 当后续动脉瘤处理需要跨越明显狭窄段时, 若直接在狭窄基础上进行操作, 可能增加导丝、导管通过困难以及血栓栓塞相关风险, 此时先处理狭窄亦具有一定合理性[10] [28] [29]。

相反, 若患者已发生动脉瘤破裂出血, 则临床决策通常更强调尽快控制出血相关风险, 必要时可在保证通路和灌注安全的前提下优先完成动脉瘤处理[10] [29] [31]。对于尚未破裂但已具备较高破裂风险特征的动脉瘤, 临床上亦更倾向于优先考虑动脉瘤处理[10] [24] [27]。此外, 若动脉瘤位于狭窄近端, 或预计在血运重建后将承受更明显的血流动力学变化, 则亦应更加警惕其破裂可能[7]。

但需要强调的是, 现有证据尚不足以支持仅依据单一影像学指标、位置关系或某一局部特征机械决定处理顺序。更合理的做法仍是结合症状表现、狭窄程度、动脉瘤破裂风险及具体解剖关系进行综合权衡, 在缺血风险与出血风险之间寻求相对平衡[7] [10] [28] [29] [31]。

4.3. 个体化决策与适用条件

在明确总体处理方向后, 具体治疗方案的实施仍需建立在个体化评估基础之上[29]。除缺血风险与出血风险的权衡外, 临床决策时还需综合考虑患者全身状况、颈动脉狭窄程度及其致缺血风险、动脉瘤自身破裂风险、二者的解剖位置关系, 以及围术期操作与管理风险等因素[8] [29]。此外, 不同中心在血运重建方式、动脉瘤处理技术及围术期抗栓管理方面的经验差异, 也会影响具体策略选择[7]。由于目前相关证据仍主要来自病例报道和小样本回顾性研究, 关于同期或分期、先处理狭窄或先处理动脉瘤的选择, 尚缺乏统一、成熟的决策标准[10] [29]。因此, 现阶段更合理的做法是在多因素综合评估基础上, 结合患者具体病情、病变特点及中心经验, 制定个体化治疗方案[7] [29]。鉴于目前该类复杂病变尚无统一成熟的决策标准, 我们基于现有循证证据与临床实践经验, 总结绘制了颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的治疗决策流程图(图 1)。

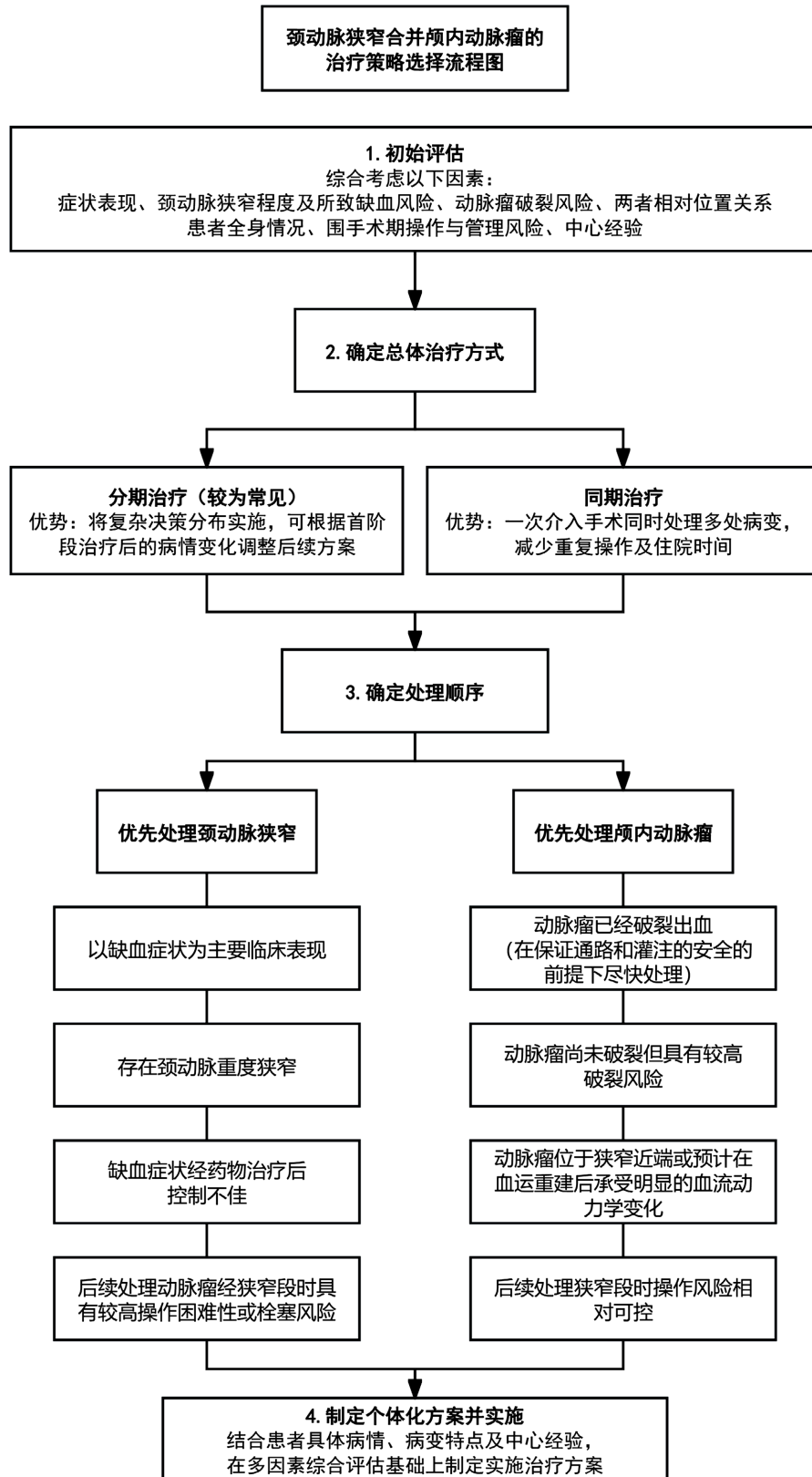


Figure 1. Treatment decision flowchart for carotid artery stenosis with intracranial aneurysm
图 1. 颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤治疗决策流程图

5. 展望

尽管目前已有研究为颈动脉狭窄合并颅内动脉瘤的治疗决策提供了框架,但在临床应用中仍面临多个挑战。特别是,在个体化治疗、治疗顺序选择和风险评估的精准性方面,仍有待进一步研究。

首先,动脉瘤破裂风险的评估仍然是一个关键问题,现有的评估方法可能无法完全满足所有情境的需求。未来的研究可以进一步探讨如何通过影像学技术和分子标志物等新方法,提高风险评估的精确度,从而为治疗决策提供更加可靠的依据。

其次,治疗顺序选择在不同患者群体中的差异性仍需进一步验证。特别是在高龄、合并症等复杂患者中,分期治疗与同期治疗的效果差异尚未得到充分研究。未来的多中心临床研究可以帮助明确哪种治疗模式对于不同类型的患者更为有效。

最后,虽然个体化治疗已被广泛提倡,但如何在实际临床中根据患者的具体病情、风险特征以及围术期管理进行更精细的治疗方案制定,仍然是一个挑战。未来研究应关注如何进一步完善个体化决策过程,使治疗更具针对性和有效性。

参考文献

- [1] Bederson, J.B., Awad, I.A., Wiebers, D.O., Piepgras, D., Haley, E.C., Brott, T., *et al.* (2000) Recommendations for the Management of Patients with Unruptured Intracranial Aneurysms: A Statement for Healthcare Professionals from the Stroke Council of the American Heart Association. *Stroke*, **31**, 2742-2750. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.11.2742>
- [2] Johnston, S.C., Selvin, S. and Gress, D.R. (1998) The Burden, Trends, and Demographics of Mortality from Subarachnoid Hemorrhage. *Neurology*, **50**, 1413-1418. <https://doi.org/10.1212/wnl.50.5.1413>
- [3] Thompson, R.C., Steinberg, G.K., Levy, R.P. and Marks, M.P. (1998) The Management of Patients with Arteriovenous Malformations and Associated Intracranial Aneurysms. *Neurosurgery*, **43**, 202-211. <https://doi.org/10.1097/00006123-199808000-00006>
- [4] Touzé, E., Oppenheim, C., Trystram, D., Nokam, G., Pasquini, M., Alamowitch, S., *et al.* (2010) Fibromuscular Dysplasia of Cervical and Intracranial Arteries. *International Journal of Stroke*, **5**, 296-305. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2010.00445.x>
- [5] Varvari, I., Bos, E.M., Dinkelaar, W., van Es, A.C., Can, A., Hunfeld, M., *et al.* (2018) Fatal Subarachnoid Hemorrhage from an Aneurysm of a Persistent Primitive Hypoglossal Artery: Case Series and Literature Overview. *World Neurosurgery*, **117**, 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.06.119>
- [6] Zhang, L., Xu, K., Zhang, Y., Wang, X. and Yu, J. (2015) Treatment Strategies for Aneurysms Associated with Moyamoya Disease. *International Journal of Medical Sciences*, **12**, 234-242. <https://doi.org/10.7150/ijms.10837>
- [7] 王伟凯, 马伟刚, 吕伟波, 等. 未破裂颅内动脉瘤合并颅内动脉狭窄的研究进展[J]. 中国脑血管病杂志, 2025, 22(2): 120-126, 134.
- [8] Yang, X., Lu, J., Wang, J., Wang, L., Qi, P., Hu, S., *et al.* (2018) A Clinical Study and Meta-Analysis of Carotid Stenosis with Coexistent Intracranial Aneurysms. *Journal of Clinical Neuroscience*, **52**, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.02.021>
- [9] 年夫顺, 钟平, 朱刚, 等. 脑动脉粥样硬化性狭窄患者合并颅内动脉瘤的血流动力学特征及其危险因素研究[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2024, 51(1): 35-39.
- [10] Gautam, D., Findlay, M.C., Cole, K.L., Couldwell, W.T. and Rennert, R.C. (2024) Surgical Management of Ipsilateral Internal Carotid Artery Stenosis and Unruptured Intracranial Aneurysm: Case Review and Treatment Considerations. *Journal of Neurological Surgery Reports*, **85**, e128-e131. <https://doi.org/10.1055/a-2377-8490>
- [11] Frösen, J., Tulamo, R., Paetau, A., Laaksamo, E., Korja, M., Laakso, A., *et al.* (2012) Saccular Intracranial Aneurysm: Pathology and Mechanisms. *Acta Neuropathologica*, **123**, 773-786. <https://doi.org/10.1007/s00401-011-0939-3>
- [12] Turjman, A.S., Turjman, F. and Edelman, E.R. (2014) Role of Fluid Dynamics and Inflammation in Intracranial Aneurysm Formation. *Circulation*, **129**, 373-382. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.113.001444>
- [13] Wang, H., Wang, L., Wang, J., Zhang, L. and Li, C. (2022) The Biological Effects of Smoking on the Formation and Rupture of Intracranial Aneurysms: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, **13**, Article ID: 862916. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.862916>
- [14] Inci, S. and Spetzler, R.F. (2000) Intracranial Aneurysms and Arterial Hypertension: A Review and Hypothesis. *Surgical*

- Neurology*, **53**, 530-542. [https://doi.org/10.1016/s0090-3019\(00\)00244-5](https://doi.org/10.1016/s0090-3019(00)00244-5)
- [15] 张斌. 颈内动脉狭窄伴未破裂颅内动脉瘤患者的临床特点及危险因素[J]. 内科急危重症杂志, 2023, 29(1): 23-25.
- [16] Kono, K., Masuo, O., Nakao, N. and Meng, H. (2013) De Novo Cerebral Aneurysm Formation Associated with Proximal Stenosis. *Neurosurgery*, **73**, E1080-E1090. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000000065>
- [17] 吴俊, 刘清源, 王诺川, 等. 颅内动脉瘤形态学和血流动力学特点对夹闭术中动脉瘤破裂的预测作用[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(3): 288-292.
- [18] Hou, Z., Zhang, Z., Yan, L., You, J., Wan, M., Song, J., *et al.* (2022) Association of Residual Stenosis after Balloon Angioplasty with Vessel Wall Geometries in Intracranial Atherosclerosis. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **14**, 762-766. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2021-017997>
- [19] Chien, S. (2008) Effects of Disturbed Flow on Endothelial Cells. *Annals of Biomedical Engineering*, **36**, 554-562. <https://doi.org/10.1007/s10439-007-9426-3>
- [20] Tardy, Y., Resnick, N., Nagel, T., Gimbrone, M.A. and Dewey, C.F. (1997) Shear Stress Gradients Remodel Endothelial Monolayers *in Vitro* via a Cell Proliferation-Migration-Loss Cycle. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **17**, 3102-3106. <https://doi.org/10.1161/01.atv.17.11.3102>
- [21] Kimura, H., Osaki, S., Hayashi, K., Taniguchi, M., Fujita, Y., Seta, T., *et al.* (2021) Newly Identified Hemodynamic Parameter to Predict Thin-Walled Regions of Unruptured Cerebral Aneurysms Using Computational Fluid Dynamics Analysis. *World Neurosurgery*, **152**, e377-e386. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.05.107>
- [22] Zhang, X., Yao, Z.Q., Karuna, T., He, X., Wang, X., Li, X., *et al.* (2019) The Role of Wall Shear Stress in the Parent Artery as an Independent Variable in the Formation Status of Anterior Communicating Artery Aneurysms. *European Radiology*, **29**, 689-698. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5624-7>
- [23] Meng, H., Tutino, V.M., Xiang, J. and Siddiqui, A. (2014) High WSS or Low WSS? Complex Interactions of Hemodynamics with Intracranial Aneurysm Initiation, Growth, and Rupture: Toward a Unifying Hypothesis. *American Journal of Neuroradiology*, **35**, 1254-1262. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a3558>
- [24] The International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators (1998) Unruptured Intracranial Aneurysms-risk of Rupture and Risks of Surgical Intervention. *The New England Journal of Medicine*, **339**, 1725-1733.
- [25] UCAS Japan Investigators, Morita, A., Kirino, T., *et al.* (2012) The Natural Course of Unruptured Cerebral Aneurysms in a Japanese Cohort. *New England Journal of Medicine*, **366**, 2474-2482. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1113260>
- [26] Greving, J.P., Wermer, M.J.H., Brown, R.D., Morita, A., Juvela, S., Yonekura, M., *et al.* (2014) Development of the PHASES Score for Prediction of Risk of Rupture of Intracranial Aneurysms: A Pooled Analysis of Six Prospective Cohort Studies. *The Lancet Neurology*, **13**, 59-66. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70263-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70263-1)
- [27] Björkman, J., Frösen, J., Tähtinen, O., Backes, D., Huttunen, T., Harju, J., *et al.* (2017) Irregular Shape Identifies Ruptured Intracranial Aneurysm in Subarachnoid Hemorrhage Patients with Multiple Aneurysms. *Stroke*, **48**, 1986-1989. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.117.017147>
- [28] Iwata, T., Mori, T. and Tajiri, H. (2008) Successful Staged Endovascular Treatment of a Symptomatic Cervical Carotid Bifurcation Stenosis Coupled with a Coincidental Unruptured Cerebral Aneurysm in the Carotid Distal Segment. *American Journal of Neuroradiology*, **29**, 1948-1950. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a1172>
- [29] Sarshayev, M., Makhanbetkhan, S., Maidan, A., Pons, R.B., Davletov, D., Zhumabekov, A., *et al.* (2025) Single-Stage Endovascular Management of Concurrent Intracranial Aneurysms and Arterial Stenoses: Clinical Outcomes, Procedural Strategies, and Predictive Factors. *Brain Sciences*, **15**, Article No. 744. <https://doi.org/10.3390/brainsci15070744>
- [30] 路智文, 李司司, 张小曦, 等. 合并载瘤动脉狭窄的颅内动脉瘤破裂因素的初步分析[J]. 中国脑血管病杂志, 2019, 16(11): 561-565+580.
- [31] Park, J.C., Kwon, B.J., Kang, H., Kim, J.E., Kim, K.M., Cho, Y.D., *et al.* (2013) Single-Stage Extracranial Carotid Artery Stenting and Intracranial Aneurysm Coiling: Technical Feasibility and Clinical Outcome. *Interventional Neuroradiology*, **19**, 228-234. <https://doi.org/10.1177/159101991301900213>