

# 复杂颅内动脉瘤的颅内-颅内血管搭桥术

金凌骥 胡俊文 李寅 王林

**【摘要】** 颅内-颅内血管搭桥术是治疗复杂颅内动脉瘤的重要方法,根治动脉瘤的同时确保桥血管供血区灌注。为保证桥血管通畅和术后神经功能恢复,需综合动脉瘤、供体和受体动脉特征,采取合适的手术策略和搭桥方式。近年随着颅内-颅内血管搭桥术的发展,增加了新的供体和受体动脉、吻合方式、移植血管和辅助技术供神经外科医师选择。本文旨在回顾颅内-颅内血管搭桥术治疗复杂颅内动脉瘤的技术特点和手术策略,并对新发展的技术进行总结,以期促进颅内-颅内血管搭桥术的临床应用。

**【关键词】** 颅内动脉瘤; 脑血管重建术; 综述

## Intracranial-intracranial bypass for the treatment of complex intracranial aneurysms: technical advances and surgical experience

JIN Ling-ji, HU Jun-wen, LI Yin, WANG Lin

Department of Neurosurgery, The Second Affiliated Hospital Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, Zhejiang, China

Corresponding author: WANG Lin (Email: dr\_wang@zju.edu.cn)

**【Abstract】** Intracranial-intracranial bypass is a crucial treatment for complex intracranial aneurysms, as it not only achieves aneurysm eradication but also ensures perfusion to the bypassed vascular territory. To ensure bypass vessels patency and postoperative neurological recovery in patients with aneurysm, it is necessary to consider multiple characteristics of the aneurysm, donor artery and recipient artery. This comprehensive evaluation enables the selection of appropriate surgical decisions and bypass techniques. In recent years, with the advancement of intracranial-intracranial bypass, several new options including donor artery and recipient artery, anastomosis techniques, graft vessels, and auxiliary techniques have been added for neurosurgeons to choose from. This review aims to introduce the technical advances, surgical experience of intracranial-intracranial bypass for complex intracranial aneurysms, with the intention of facilitating clinical application of intracranial-intracranial bypass.

**【Key words】** Intracranial aneurysm; Cerebral revascularization; Review

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 81870910, 82171271), and Natural Science Foundation of Zhejiang (No. LZ24H090001).

**Conflicts of interest:** none declared

近年来,随着神经外科技术的进步和材料的革新,颅内动脉瘤的治疗趋向于微创化。大多数动脉瘤目前可以通过血管内介入栓塞或开颅手术夹闭进行治疗,但对于少数复杂颅内动脉瘤,如梭形、巨大型、瘤颈复杂、累及重要分支或易复发动脉瘤,

则需采用脑血管搭桥术,在根治动脉瘤的同时保证供血区的灌注。根据 Lawton 教授提出的搭桥方式:低流量颅外-颅内血管搭桥术为第一代脑血管搭桥术;高流量颅外-颅内血管旁路移植术为第二代脑血管搭桥术;颅内-颅内血管搭桥术则是第三代脑血管搭桥术;第四代脑血管搭桥术包括采用常规搭桥方式但非常规搭桥技术的 4A 型搭桥,以及采用非常规搭桥方式但常规或非常规搭桥技术的 4B 型搭桥<sup>[1]</sup>。研究表明,颅内-颅内血管搭桥术和颅外-颅内血管搭桥术的桥血管通畅率相当<sup>[2]</sup>。颅内-颅内血管搭桥术既可桥接颅内血管以保证血供,又可高效处理动脉瘤,成为治疗复杂颅内动脉瘤的可靠选择。目

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2024.08.003

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:81870910);  
国家自然科学基金资助项目(项目编号:82171271);浙江省自然科学基金重点资助项目(项目编号:LZ24H090001)

作者单位:310009 杭州,浙江大学医学院附属第二医院神经外科

通讯作者:王林,Email:dr\_wang@zju.edu.cn

前, 颅外-颅内血管搭桥术已在临床实践中广泛应用, 颅内-颅内血管搭桥术也具有独特优势, 包括桥血管长度更短(甚至无需桥血管)、管径匹配性更好, 并保护桥血管免受外部创伤的影响。此外, 颅内-颅内血管搭桥术侵入性较小, 无需建立颅外-颅内通道, 手术步骤更精简。因此, 近年颅内-颅内血管搭桥术得以不断发展和创新, 也受到广泛关注<sup>[3]</sup>。然而, 颅内-颅内血管搭桥术的操作难度和技术要求较高, 搭桥策略和方式也受神经外科医师个人偏好的影响, 所以并不容易掌握。基于此, 本文拟综述颅内-颅内血管搭桥术治疗复杂颅内动脉瘤的技术特点和手术策略, 帮助读者了解颅内-颅内血管搭桥术及其最新进展, 以期促进其临床应用。

### 一、各类型颅内-颅内血管搭桥术

颅内-颅内血管搭桥术可以分为以下4种类型: 端端再吻合术、原位侧侧吻合术、端侧再植术和颅内-颅内血管旁路移植术(IBGV)。

1. 端端再吻合术 端端再吻合术是指直接切除动脉瘤后, 对载瘤动脉近端和远端进行血管再吻合的手术策略。端端再吻合术的成功需要满足以下先决条件: 载瘤动脉长度足够, 吻合部位无重要穿支, 完整切除病变血管和足够的操作空间。因此, 动脉瘤较小、呈梭形、不累及穿支且位于非血管分叉部位, 采取端端再吻合术最为适宜。就解剖关系而言, 由于大脑中动脉(MCA)与小脑后下动脉(PICA)存在多个弯曲血管襻, 切除动脉瘤后仍有足够长度用于吻合, 因此较容易实施端端再吻合术<sup>[4]</sup>。大脑中动脉起始部动脉瘤有可能累及豆纹动脉, 需术者综合考虑后再决定吻合方案。而大脑前动脉(ACA)和大脑后动脉(PCA)弯曲较少, 且手术区域操作空间有限, 不适合实施端端再吻合术。

2. 原位侧侧吻合术 原位侧侧吻合术是一种在两条平行相邻的动脉之间建立交通的搭桥方式。原位侧侧吻合术常在较深的术野中进行, 供体动脉的移动空间有限, 所以要求术者具备丰富的经验和娴熟的技术。而搭桥位置较深也可保护吻合部位免受头部扭转、创伤和外部压迫的影响, 并且供体动脉与受体动脉更匹配, 所以桥血管闭塞的风险更低<sup>[5]</sup>。原位侧侧吻合术的典型术式是大脑前动脉A3-A3侧侧吻合, 用于治疗前交通动脉(ACoA)动脉瘤。对于大脑前动脉远端的胼周动脉(PcaA)动脉瘤, 为保证远端血供, 可选择远端胼缘动脉(CmaA)或胼周动脉进行A3-A3或A4-A4原位侧侧吻合。在

岛裂处, 大脑中动脉分支颞前动脉(ATA)、M2段和M3段相互平行毗邻, 是原位侧侧吻合术的理想区域。因此, M2-M2、M3-M3和ATA-M2原位侧侧吻合术已被用于治疗大脑中动脉复杂动脉瘤。同样的, 由于动脉位置邻近, 后循环PICA-PICA原位侧侧吻合术成为该供血区最常用的血管重建方式之一。一方面, 小脑后下动脉的血供可以通过小脑前下动脉(AICA)和小脑上动脉(SCA)自发的血管吻合来弥补, 对缺血的耐受性较好; 另一方面, 小脑后下动脉P3段远端和P4段, 尤其是尾襻, 均为良好的吻合部位。此外, 后循环中大脑后动脉在经过环池绕大脑脚走行时与小脑上动脉自然平行, 因此, 原位侧侧吻合术也可用于小脑上动脉动脉瘤的血管重建。

3. 端侧再植术 端侧再植术常用于不能直接切除的复杂颅内动脉瘤, 闭塞动脉瘤后切断载瘤动脉远端与正常相邻分支或载瘤动脉近端行端侧吻合。与端端再吻合术类似, 端侧再植术也需要足够的血管长度。相比于端端再吻合术和原位侧侧吻合术, 单纯端侧再植术并不常用, 主要用于减少大脑中动脉分叉部动脉瘤的传出动脉数量, 以及小脑后下动脉起始部和胼缘动脉起始部动脉瘤的血管重建。虽然端侧再植术应用较少, 但端侧吻合的方式在颅内-颅内血管旁路移植术中更常用。

4. 颅内-颅内血管旁路移植术 颅内-颅内血管旁路移植术是移植血管的颅内-颅内血管搭桥术, 分为4种亚型: I A型, 原位血管旁路移植; I B型, “Y”形血管旁路移植; II A型, 跳跃搭桥(long jump graft bypass); II B型, “Y”形血管跳跃搭桥。I A型是一种无张力的挽救性端端吻合搭桥方式, 切除动脉瘤后借助桥血管在间距较大的动脉残端之间进行两次端端吻合<sup>[6]</sup>。I B型应用“Y”形桥血管, 进行3次端端吻合重建分叉动脉。当复杂动脉瘤不可直接切除时, 需先借助桥血管行端侧吻合于载瘤动脉近端和远端, 即II A型, 桥血管通畅后再处理动脉瘤; II B型则是在复杂动脉瘤累及动脉分叉部时, 先采用“Y”形桥血管重建分叉部血运, 再行动脉瘤孤立术<sup>[7]</sup>。颅内-颅内血管旁路移植术的关键是全面了解多方面信息来选择合适的桥血管, 包括桥血管的管径和流量、血管质量和位置、可达长度、痉挛风险、通畅率、供体和受体动脉管径和流量<sup>[8]</sup>。桡动脉(RA)常是首选的桥血管, 因其管径与目标动脉更为匹配, 很少发生闭塞。颞浅动脉(STA)可作为术中紧急情况(如动脉瘤破裂出血, 分离桡动脉较费时

且需要额外手术切口)的选择,其获取更便捷,无需进行额外手术切口。大隐静脉(GSV)虽然也可作为选择,但是由于静脉与动脉不匹配,其持久性和使用时限并不理想。此外,文献报道的桥血管还包括枕动脉、旋股外侧动脉降支<sup>[9]</sup>、舌动脉、甲状腺上动脉<sup>[8]</sup>和指掌侧总动脉<sup>[10]</sup>等。

## 二、不同责任动脉的颅内-颅内血管搭桥策略

1. 大脑前动脉血管重建 (1) 大脑前动脉 A3 段的血管重建: 大脑前动脉动脉瘤, 尤其是位于前交通动脉复合体区域的动脉瘤, 是临床最常见的动脉瘤之一。大脑前动脉动脉瘤常位于半球间裂内, 术野深在且狭窄, 最合适的术式为原位侧侧吻合术。该术式的通畅率较高, 且桥血管不易受外部创伤影响<sup>[11]</sup>。对于前交通动脉、A1-A2 动脉瘤, 在不累及其传入动脉和传出动脉的情况下, 应首选 A3-A3 原位侧侧吻合术, 血管重建后再处理动脉瘤<sup>[9,12-13]</sup>。Wang 等<sup>[14]</sup>在 A3-A3 原位侧侧吻合术的基础上采用血流对冲策略, 通过阻断责任侧 A1 段对冲血流, 部分孤立动脉瘤, 可用于无法塑形夹闭、动脉瘤孤立术易损伤重要穿支的情况。当两侧 A3 段间距较远时, 可以采用 A3-RA-A3 血管旁路移植术<sup>[13]</sup>。若对侧 A3 段不适合作为供体动脉, A2 段、A1 段、M2 段或颞前动脉也是可选择的供体动脉, 通过移植血管与动脉瘤远端 A3 段行血管旁路移植术<sup>[13-14]</sup>。(2) 大脑前动脉远端的血管重建: 对于大脑前动脉复杂动脉瘤累及 A3 段或更远端的情况, 则需重建胼周动脉和胼缘动脉血流, 可以选择的原位侧侧吻合术包括 PcaA-PcaA、CmaA-CmaA、PcaA-CmaA 或 A3-CmaA 等<sup>[11,15]</sup>, 其中, 胼缘动脉管径相对较大且位置较浅, CmaA-CmaA 原位侧侧吻合术相较 PcaA-PcaA 更容易。在进行 A3-CmaA 原位侧侧吻合时, 需仔细缝合并保留胼缘动脉管径, 减少管径差异。左 CmaA-右 PcaA 原位侧侧吻合术也成功应用于 1 例巨大型前交通动脉动脉瘤患者<sup>[16]</sup>。当单一颅内-颅内血管搭桥术无法满足远端供血时, 可以联合颅外-颅内血管搭桥术。Acerbi 等<sup>[11]</sup>采用 PcaA-PcaA 原位侧侧吻合术联合右 STA-CmaA 搭桥术治疗 1 例血管内治疗失败的大脑前动脉复杂动脉瘤患者, 保证了大脑前动脉远端血供。当巨大型前交通动脉动脉瘤同时累及胼周动脉和胼缘动脉时, 可以选择对侧 A2 段经“Y”形桡动脉桥血管再植到胼周动脉和胼缘动脉的 II B 型颅内-颅内血管旁路移植术, 即建立具有 3 个吻合口的 Azygos 系统<sup>[13]</sup>, 或者采用 PcaA-PcaA 原位

侧侧吻合术联合 CmaA-CmaA 搭桥的方法维持其远端区域的灌注<sup>[17]</sup>。对于胼周动脉在术中反复出现血栓的特殊情况, 可采用“Y”形颞浅动脉桥血管在胼周动脉血栓近端与远端的两条分支之间建立桥接<sup>[11]</sup>。(3) 大脑前动脉端侧再植术: 除常用的原位侧侧吻合术外, 还可选择大脑前动脉端侧再植术, 但是由于离断动脉末端的张力大、冗余少, 该术式并不常用。在胼周动脉与胼缘动脉相近的特殊情况下, 将胼周动脉离断端再植于胼缘动脉, 可成功治疗大脑前动脉远端动脉瘤<sup>[13]</sup>。Lawton 教授对动脉瘤同侧 PcaA-CmaA 再植术进行改良, 将胼周动脉近端穿过中线再植到对侧供体动脉胼周动脉<sup>[15]</sup>, 该方案动脉移位距离较短、张力小且吻合面积大。此外, 鉴于额前内侧动脉作为供体动脉的解剖位置更佳, 右 A3-左额前内侧动脉再植术也可用于治疗大脑前动脉远端动脉瘤<sup>[15]</sup>。总之, 大脑纵裂和胼胝体周围存在丰富的供体和受体动脉, 为大脑前动脉的颅内-颅内血管搭桥术提供了多种血管重建方案。

2. 大脑中动脉的血管重建 大脑中动脉复杂动脉瘤占有大脑中动脉动脉瘤的 4%~17.4%, 包括巨大型、梭形、宽颈或累及多分支的动脉瘤<sup>[18]</sup>。相较于大脑前动脉动脉瘤, 大脑中动脉动脉瘤在打开外侧裂后更容易触及, 最合适的术式为端端再吻合术。Wang 等<sup>[19]</sup>总结不同类型大脑中动脉复杂动脉瘤的血管重建策略, 主要考虑因素包括动脉瘤位置、形状以及远端分叉数量。根据大脑中动脉动脉瘤与 M1-M2 的分叉位置关系, 可分为大脑中动脉分叉前、分叉部、分叉后动脉瘤。(1) 大脑中动脉分叉前动脉瘤: 对于大脑中动脉分叉前动脉瘤, 若累及豆纹动脉, 首选高流量颈外动脉(ECA)-RA-M2 搭桥术, 再行近端闭塞而非选择动脉瘤孤立术, 以防穿支梗死; 若不累及豆纹动脉, 切除动脉瘤后根据断端间距选择端端再吻合术或颅内-颅内血管旁路移植术。近年提出的以大脑前动脉 A1 段为高流量供体动脉的颅内-颅内血管旁路移植术, 为大脑中动脉分叉前动脉瘤的血管重建提供了新的思路<sup>[20]</sup>。与颈外动脉作为供体动脉相比, A1 段所需桥血管更短, 可为大脑中动脉提供更充足的血流量, 其血管管径也更匹配, 避免颈部入路的风险。(2) 大脑中动脉分叉部动脉瘤: 大脑中动脉分叉部动脉瘤有 2 个远端分叉的情况最为常见, 此时单侧主干塑形夹闭联合颅内-颅内血管搭桥术是首选方案。对于不能采用单侧主干塑形夹闭的复杂动脉瘤, 需综合考虑

多方面因素,首选动脉瘤切除联合“Y”形桡动脉旁路移植术,其次选择端端再吻合术联合 STA-MCA 搭桥术。此外, Lawton 教授也曾报告以 A1 段作为供体动脉的搭桥术,可用于处理大脑中动脉分叉部的复杂动脉瘤<sup>[15]</sup>。大脑中动脉分叉部动脉瘤还可累及皮质支,例如 Endo 教授曾报告供应颞叶的皮质支沿动脉瘤穹隆走行并难以剥离的情况<sup>[21]</sup>,此时,需先选择合适的颅内-颅内血管搭桥术重建颞叶皮质支,再夹闭动脉瘤。对于有 2 个以上远端分叉的大脑中动脉分叉部动脉瘤,首先借助颅内-颅内血管搭桥术如相邻分支的再植术,将分叉减至 2 个,再进行分叉部的血管重建。此外, Lawton 教授团队还采用第四代脑血管搭桥技术处理动脉瘤分支,将首次搭桥失败的大脑中动脉中干从额干离断,再采用 4B 型侧侧再植于颞干<sup>[22]</sup>。对于大脑中动脉分叉部动脉瘤过大或无法夹闭的情况,单一颅内-颅内血管搭桥术无法满足血供,需要联合颅外-颅内血管搭桥术。Hendricks 和 Spetzler<sup>[23]</sup>在切除巨大型大脑中动脉分叉部动脉瘤后,先将 M1 段与两个 M2 段分支远端再吻合,再行 STA-M2 第三分支搭桥术。Lawton 教授还开拓性提出“中交通动脉”作为重建大脑中动脉双分叉结构的理想工具,通过同侧大脑中动脉主干之间建立交通重新分配血流量<sup>[24]</sup>,其提出并应用的策略包括:STA-M2 中干和下干搭桥后, M2 中干-下干端端再植术建立“中交通动脉”;ECA-RA-M2 下干血管旁路移植后, M2 下干-上干端侧或端端再植术;将 M2 段两条分支分别与供体动脉行侧侧吻合术和端侧再植术。类似地, White 等<sup>[25]</sup>经颅内动脉(IMA)-MCA 下干搭桥术后发现大脑中动脉上干血流量不足,采用下干-上干原位吻合重建远端分叉。(3)大脑中动脉分叉后动脉瘤:对于大脑中动脉分叉后动脉瘤,首选动脉瘤切除联合端端再吻合术或颅内-颅内血管旁路移植术,也可采用载瘤动脉远端与相邻供体动脉再植术,如动脉瘤孤立术后 M3-M2 再植术<sup>[18]</sup>。

3. 小脑后下动脉的血管重建 小脑后下动脉动脉瘤约占所有颅内动脉瘤的 3%,常位于脑干周围狭窄空间,且具有高度解剖变异性,故治疗仍有挑战性<sup>[26]</sup>。Lawton 教授提出了以下小脑后下动脉复杂动脉瘤的颅内-颅内血管搭桥策略<sup>[27]</sup>:对于小脑后下动脉起始部或 P1 段动脉瘤,首选 PICA-PICA 原位侧侧吻合术,次选端侧再植术;P2 段动脉瘤先行动脉瘤孤立术,再行端端再吻合术<sup>[28]</sup>、原位侧侧吻

合术或端侧再植术;P3 段动脉瘤可采用端端再吻合术或原位侧侧吻合术;P4 段动脉瘤首选端端再吻合术。此外,动脉瘤累及椎动脉(VA)与小脑后下动脉移行处时,可选择 VA-P1 再吻合术,同时侧方修剪小脑后下动脉断端以匹配椎动脉管径。关于 P2-P4 动脉瘤的术式选择, Zhao 和 Tong<sup>[26]</sup>倾向对不影响穿支者采用端端再吻合术,其优势在于供体与受体动脉更匹配、操作简单且桥血管短,但闭塞风险可能较高;而原位侧侧吻合术则需考虑小脑后下动脉的解剖变异,如发育不良引起的血管张力增大、吻合口输入段扭曲、尾襻缺失或高位等情况。除上述术式外,颅内-颅内血管旁路移植术也是治疗小脑后下动脉动脉瘤的可选方案。其中,桥血管常为枕动脉或旋股外侧动脉降支,供体动脉可选择椎动脉 V3 段或对侧小脑后下动脉<sup>[9]</sup>。近年来,小脑后下动脉再植术也有新的进展和补充。当两侧小脑后下动脉间距较远时,可将同侧 P3 段载瘤动脉远端再植于对侧 P3 段;当小脑后下动脉起始部较高时, PICA-V4 再植术也是 P2 段动脉瘤安全可行的选择<sup>[29-30]</sup>。Lazaro 等<sup>[31]</sup>还用 4B 型端侧吻合术,在 P2 段动脉瘤远端切断 P3 段,并与近端的 P2 段吻合。

4. 小脑前下动脉的血管重建 小脑前下动脉动脉瘤非常罕见,仅占 0.2%~1.3%<sup>[32]</sup>。由于手术显露有限且动脉瘤形态常为非囊性,塑形夹闭具有挑战性。Lawton 教授团队采用的小脑前下动脉搭桥策略包括:P3-A3 原位侧侧吻合术、小脑前下动脉再吻合术、V4-A3 搭桥术<sup>[33]</sup>。这些方案可以安全治疗小脑前下动脉动脉瘤,不影响其血供。然而只在少数情况下,小脑后下动脉才可能存在迂曲或足够长的弯曲血管襻,满足 PICA-AICA 原位侧侧吻合术的条件<sup>[34]</sup>。因此,端端再吻合术可能更为适用,并且已经成功用于小脑前下动脉 A2 段和 A3 段动脉瘤的临床治疗<sup>[35]</sup>。

### 三、罕见类型动脉瘤的血管重建策略

罕见类型动脉瘤(如感染性动脉瘤、外伤性动脉瘤等)缺乏标准化治疗方案,需要综合动脉瘤特征和解剖学特征等因素,制定个体化血管重建方案。Qian 等<sup>[6]</sup>采用 MCA-STA-MCA 血管旁路移植术成功治疗 1 例真菌性大脑中动脉动脉瘤破裂患者。在 1 例位于中央后沟动脉分叉部的感染性动脉瘤患者中, Shiba 等<sup>[7]</sup>先将“Y”形桥血管再植于动脉瘤远端的中央后沟动脉和顶间沟支,以及动脉瘤近端的中央后沟动脉,分叉血管重建成功后再孤立动脉

瘤。Tao等<sup>[36]</sup>采用A3-A3原位侧侧吻合术治疗1例罕见的大脑前动脉A2段巨型蛇形动脉瘤。Velz等<sup>[37]</sup>报告1例位于胼周动脉的外伤性分叶状动脉瘤,经PcaA-PcaA端侧再植术成功治愈。Lang等<sup>[38]</sup>首次报告1例双重起源的小脑后下动脉(DOPICA)动脉瘤,将一侧小脑后下动脉分支再植于破裂的动脉瘤远端,成功完成血管重建。对于椎基底动脉梭形、延长扩张型动脉瘤,还可采用颈内动脉(ICA)颅内段-RA-PCA血管旁路移植术<sup>[39]</sup>。

#### 四、颅内-颅内血管搭桥术的探索性研究

眼动脉动脉瘤容易累及关键的神经血管,直接夹闭可能导致视力障碍。眼动脉复杂动脉瘤的血管重建需要预防视网膜缺血性损伤并保护关键神经。因此,Lawton教授团队在尸体标本中验证了颞前动脉与眼动脉管内段再吻合术的可行性<sup>[40]</sup>。为增加深部脑区供体动脉的选择,Lawton教授团队还在尸体标本中研究了颞极动脉(TPA)作为供体动脉可行性<sup>[41]</sup>。由于颞极动脉仅供应颞叶尖端,该脑区失去血供后不会引起神经功能缺损。在大脑中动脉M3-M4交界处切断颞极动脉脑池段,可以成功与大脑前动脉A1段和A2段、大脑后动脉和小脑上动脉吻合<sup>[41]</sup>。Lawton教授团队还进一步探究建立“中交通动脉”的所需条件:在尸体标本中,当大脑中动脉M2段上干与下干间距 $\leq 9.1$  mm时,可以通过上干-下干端端再植术建立“中交通动脉”;此外,还需注意检查M2段及其穿支,以进一步评估可行性<sup>[42]</sup>。PICA-AICA原位侧侧吻合术作为小脑前下动脉动脉瘤的治疗手段之一,其先决条件也有待探究。De Vilalta等<sup>[32]</sup>通过尸体解剖发现,PICA-AICA原位侧侧吻合术成功的小脑前下动脉A3段更长,且小脑前下动脉A3段与小脑后下动脉P3段的间距更短。

#### 五、颅内-颅内血管搭桥术辅助技术的进展

吲哚菁绿荧光血管造影术(ICGA)是一种近红外荧光标记,具有高空间和时间分辨率,能在术中准确评估桥血管的通畅性,并提供局部血流的定性和定量信息<sup>[43]</sup>。Shah和Cohen-Gadol<sup>[44]</sup>开发的双影像血管造影系统,涵盖可见光和近红外荧光图像,可同时显示吲哚菁绿荧光和周围解剖结构。ICGA结合流量分析仪可提供有效、无创的半定量血流数据。对于复杂颅内动脉瘤,彩色延迟图也可显示载瘤动脉和分支的血流是否充足。尽管ICGA在神经外科手术中得到广泛应用,但最近荧光素钠血管造影也因其独特优势受到广泛关注<sup>[43]</sup>。区别于ICGA

在可视化颅内外大血管方面的优势,荧光素钠血管造影对穿支动脉、远端分支和小血管的显影更佳,并可通过手术显微镜直接可视化感兴趣的血管,但其局限性在于容易渗漏到血管外间隙,导致术野内荧光信号更持久,重复注射效果较差。尽管这两种造影存在差异,但二者本质上是互补的,选择时应综合考虑手术方式、术野深度和血管管径。

高分辨率磁共振血管壁成像(VW-HRMRI)也有助于手术方案的规划<sup>[29]</sup>。Yang等<sup>[29]</sup>指出,对于VW-HRMRI显示动脉瘤壁强化阴性的动脉瘤,单纯夹闭可作为主要治疗策略;而对于局灶性瘤壁强化、瘤体更大、梭形或夹层动脉瘤,鉴于动脉粥样硬化斑块或钙化可能阻碍夹闭,因此需要颅内-颅内血管搭桥术。此外,VW-HRMRI较脑血管造影测得的动脉瘤直径更准确,还可显示瘤壁炎症反应和动脉粥样硬化,这也说明在复杂颅内动脉瘤的手术计划中纳入VW-HRMRI的重要性。

综上所述,颅内-颅内血管搭桥术是处理复杂颅内动脉瘤的可靠选择,其技术和策略也在不断发展和完善。综合考虑动脉瘤、供体和受体动脉特征后,采用合适的手术策略和搭桥方式,可以实现良好的血管通畅率和临床预后,相较颅外-颅内血管搭桥术具备独特优势。近年来,颅内-颅内血管搭桥术的发展涌现出一些新的供体或受体动脉、吻合方式、移植血管和辅助技术,这为神经外科医师在处理复杂颅内动脉瘤时提供了更多选择,以更好地服务患者。

利益冲突 无

#### 参 考 文 献

- [1] Tayebi Meybodi A, Gadhya A, Borba Moreira L, Lawton MT. Coding cerebral bypasses: a proposed nomenclature to better describe bypass constructs and revascularization techniques[J]. J Neurosurg, 2021, 136:163-174.
- [2] Yoon S, Burkhardt JK, Lawton MT. Long - term patency in cerebral revascularization surgery: an analysis of a consecutive series of 430 bypasses[J]. J Neurosurg, 2019, 131:80-87.
- [3] Reddy VP, Seas A, Sood N, Srinivasan VM, Catapano JS, Lawton MT. Evolution of intracranial - intracranial bypass surgery: a bibliometric analysis [J]. World Neurosurg, 2022, 162:177-182.e9.
- [4] Wang L, Cai L, Qian H, Tanikawa R, Lawton M, Shi X. The re-anastomosis end - to - end bypass technique: a comprehensive review of the technical characteristics and surgical experience [J]. Neurosurg Rev, 2019, 42:619-629.
- [5] Wang L, Cai L, Qian H, Lawton MT, Shi X. The in situ side-to-side bypass technique: a comprehensive review of the technical characteristics, current anastomosis approaches, and surgical experience[J]. World Neurosurg, 2018, 115:357-372.

- [6] Qian H, Wang L, Brooks KS, Zhao X, Shi X, Lei T. MCA-to-MCA bypass with interposition graft for ruptured mycotic middle cerebral artery aneurysm [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122:195.
- [7] Shiba M, Toma N, Ikezawa M, Kuroda Y, Suzuki Y, Asada R, Miura Y, Yasuda R, Suzuki H. Intracranial-intracranial bypass using a Y-shaped artery graft for growing unruptured gemella morbillorum infectious aneurysm on artery supplying sensory cortex [J]. *World Neurosurg*, 2020, 142:328-333.
- [8] Wang L, Cai L, Qian H, Song J, Tanikawa R, Lawton M, Shi X. Intracranial - intracranial bypass with a graft vessel: a comprehensive review of technical characteristics and surgical experience [J]. *World Neurosurg*, 2019, 125:285-298.
- [9] Rennert RC, Nguyen VN, Abedi A, Atai NA, Carey JN, Tenser M, Amar A, Mack WJ, Russin JJ. Combined open revascularization and endovascular treatment of complex intracranial aneurysms: case series [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1102496.
- [10] Ma Y, Liao J, Zhao Z, Huang W, Yang C, Yang Y, Zheng M, Huang L. 'Y'-shaped palmar common digital artery interposition bypass in the treatment of an infantile M2 large aneurysm and literature review [J]. *World Neurosurg*, 2023, 176:e14-e19.
- [11] Acerbi F, Mazzapicchi E, Falco J, Vetrano IG, Restelli F, Faragò G, La Corte E, Bonomo G, Bersano A, Canavero I, Gemma M, Broggi M, Schiariti M, Ziliani V, Raccuia G, Mangiafico S, Ganci G, Ciceri E, Ferroli P. The role of bypass surgery for the management of complex intracranial aneurysms in the anterior circulation in the flow-diverter era: a single-center series [J]. *Brain Sci*, 2022, 12:1339.
- [12] Ravina K, Strickland BA, Rennert RC, Chien M, Mack WJ, Amar AP, Russin JJ. A3-A3 anastomosis in the management of complex anterior cerebral artery aneurysms: experience with in situ bypass and lessons learned from pseudoaneurysm cases [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2019, 17:247-260.
- [13] Wang Y, Zhou Y, Wei Y, Gu C, Qian C, Fang B, Chen X, Jiang D, Chen G, Wang L. Single-institute experience of bypass surgery for complex anterior cerebral artery aneurysms: paying special attention to the spatial and diameter relationship between the efferent arteries [J]. *World Neurosurg*, 2022, 157:e1-e10.
- [14] Wang X, Tong X, Liu J, Shi M, Shang Y, Wang H. Tailored communicating bypass for the management of complex anterior communicating artery aneurysms: "flow - counteraction" in situ bypass and interposition bypass using contralateral A2 orifice as donor site [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:117-125.
- [15] Labib MA, Gandhi S, Cavallo C, Nisson PL, Mooney MA, Catapano JS, Lang MJ, Chen T, Lawton MT. Anterior cerebral artery bypass for complex aneurysms: advances in intracranial-intracranial bypass techniques [J]. *World Neurosurg*, 2020, 141: e42-e54.
- [16] Scherschinski L, Srinivasan VM, Labib MA, Karahalios K, Baranoski JF, Lawton MT. Left callosomarginal to right pericallosal in situ bypass, partial trapping, and thrombectomy of a giant anterior communicating artery aneurysm: 2 - dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2022, 23:e162.
- [17] Acerbi F, Vetrano IG, Falco J, Gioppo A, Ciuffi A, Ziliani V, Schiariti M, Broggi M, Faragò G, Ferroli P. In situ side-to-side pericallosal - pericallosal artery and callosomarginal - callosomarginal artery bypasses for complex distal anterior cerebral artery aneurysms: a technical note [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:e487-e495.
- [18] Lu X, Huang Y, Zhou P, Zhu W, Wang Z, Chen G. Cerebral revascularization for the management of complex middle cerebral artery aneurysm: a case series [J]. *Exp Ther Med*, 2021, 22:883.
- [19] Wang X, Han G, Wang H, Shang Y, Shi M, Wang X, Bao J, Wang Z, Tong X. Cerebral revascularization for complex middle cerebral artery aneurysms: surgical strategies and outcomes in a single center [J]. *Neurosurg Rev*, 2023, 46:68.
- [20] Liu P, Shi Y, Li Z, Liu Y, Quan K, Liu Y, An Q, Zhu W. Interposition intracranial - intracranial bypass based on anterior cerebral artery A1 donor anastomosis: technical advances, outcomes, and literature review [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2023, 24:322-329.
- [21] Sato K, Endo H, Fujimura M, Endo T, Shimizu H, Tominaga T. Tailor-made branch reconstruction by intracranial to intracranial bypass during clipping surgery for middle cerebral artery aneurysms [J]. *World Neurosurg*, 2019, 127:e1152-e1158.
- [22] Srinivasan VM, Singh R, Labib MA, Dabrowski S, Rahmani R, Catapano JS, Graffeo CS, Lawton MT. Clip reconstruction of recurrent, previously coiled MCA aneurysm with M2-M2 side-side reimplantation [J]. *World Neurosurg*, 2022, 167:8.
- [23] Hendricks BK, Spetzler RF. Excision of a large complex left middle cerebral artery aneurysm with a middle cerebral artery - middle cerebral artery and superficial temporal artery - middle cerebral artery bypass: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:e147-e148.
- [24] Frisoli FA, Catapano JS, Baranoski JF, Lawton MT. The middle communicating artery: a novel fourth - generation bypass for revascularizing trapped middle cerebral artery bifurcation aneurysms in 2 cases [J]. *J Neurosurg*, 2020, 134:1879-1886.
- [25] White TG, Klironomos G, Langer DJ, Katz J, Dehdashti AR. Combined internal maxillary artery to middle cerebral artery and in situ middle cerebral to middle cerebral artery bypass for complex middle cerebral artery aneurysm: 3-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 18:e121-e122.
- [26] Zhao H, Tong X. Bypass surgery management of complex proximal and distal posterior inferior cerebellar artery aneurysms [J]. *J Craniofac Surg*, 2022, 33:2049-2054.
- [27] Abula AA, McDougall CM, Breshears JD, Lawton MT. Intracranial - to - intracranial bypass for posterior inferior cerebellar artery aneurysms: options, technical challenges, and results in 35 patients [J]. *J Neurosurg*, 2016, 124:1275-1286.
- [28] Cavallo C, Labib M, Gandhi S, Moreira LB, Mascitelli J, Lawton MT. Posterior inferior cerebellar artery (PICA) reanastomosis after excision of a ruptured P2-PICA aneurysm: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 18: e114.
- [29] Yang Z, Song J, Quan K, Li P, An Q, Shi Y, Liu P, Yu G, Tian Y, Zhou L, Zhu W. Microsurgical treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms based on angioarchitecture supplemented by high-resolution vessel wall MRI: a case series report [J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2022, 7:337-344.
- [30] Yang Z, Song J, Li P, Zhu W. How I do it: posterior inferior cerebellar artery - intracranial vertebral artery reimplantation bypass and trapping of dissecting aneurysm involving the proximal posterior inferior cerebellar artery [J]? *Acta Neurochir (Wien)*, 2021, 163:2973-2976.
- [31] Lazaro TT, Srinivasan VM, Cotton PC, Cherian J, Johnson JN. Trapping and P2 - P3 posterior inferior cerebellar artery reanastomosis for treatment of a ruptured fusiform aneurysm: application of fourth-generation technique. 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 21:e539-e540.
- [32] De Vilalta A, Kournoutas I, Ojeda PL, Canals AG, Vigo V, Rutledge CW, Chae R, Abula AA, Rubio RR. Revascularization of the anterior inferior cerebellar artery using extracranial and

- intracranial donors: a morphometric cadaveric study[J]. *World Neurosurg*, 2019, 127:e768-e778.
- [33] Baranoski JF, Przybylowski CJ, Mascitelli JR, Lang MJ, Lawton MT. Anterior inferior cerebellar artery bypasses: the 7-bypass framework applied to ischemia and aneurysms in the cerebellopontine angle [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:165-174.
- [34] Mascitelli JR, Gandhi S, Baranoski JF, Lang MJ, Lawton MT. An A3-anterior inferior cerebellar artery to P3-posterior inferior cerebellar artery bypass with thrombectomy and trapping of an anterior inferior cerebellar artery aneurysm: 3 - dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:e311-e312.
- [35] Mascitelli J, Gandhi S, Cavallo C, Baranoski J, Meybodi AT, Lawton MT. Excision and primary reanastomosis of the anterior inferior cerebellar artery for treatment of a ruptured mycotic aneurysm: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:e58-e59.
- [36] Tao T, Dai W, Li W, Hang CH. Giant serpentine distal anterior cerebral artery aneurysm treated with in situ side-to-side A3 - A3 anastomosis and aneurysm resection [J]. *World Neurosurg*, 2020, 133:21-24.
- [37] Velz J, Esposito G, Regli L. Traumatic distal anterior cerebral artery aneurysms: pathomechanism and revascularisation strategies[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30:105578.
- [38] Lang MJ, Catapano JS, Paisan GM, Koester SW, Cole TS, Labib MA, Zhou JJ, Fredrickson VL, Frisoli FA, Lawton MT. Reimplantation bypass using one limb of a double - origin posterior inferior cerebellar artery for treatment of a ruptured fusiform aneurysm: case report [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 19:e314-e319.
- [39] Hendricks BK, Spetzler RF. Internal carotid artery to posterior cerebral artery bypass for fusiform basilar artery aneurysm: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 18:e1.
- [40] Rubio RR, Vigo V, Gandhi S, Tabani H, Meybodi AT, Winkler EA, Abla AA, Lawton MT, Benet A. An anatomical feasibility study for revascularization of the ophthalmic artery, part ii : intraorbital segment[J]. *World Neurosurg*, 2020, 133:401-408.
- [41] Tayebi Meybodi A, Benet A, Griswold D, Dones F, Preul MC, Lawton MT. Anatomical assessment of the temporopolar artery for revascularization of deep recipients [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2019, 16:335-344.
- [42] Abramov I, Belykh E, Loymak T, Srinivasan VM, Labib MA, Preul MC, Lawton MT. Surgical anatomy of the middle communicating artery and guidelines for predicting the feasibility of M2 - M2 end - to - end reimplantation [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2022, 22:328-336.
- [43] Cavallo C, Gandhi S, Zhao X, Belykh E, Valli D, Nakaji P, Preul MC, Lawton MT. Applications of microscope - integrated indocyanine green videangiography in cerebral revascularization procedures[J]. *Front Surg*, 2019, 6:59.
- [44] Shah KJ, Cohen - Gadol AA. The application of flow 800 icg videangiography color maps for neurovascular surgery and intraoperative decision making[J]. *World Neurosurg*, 2019, 122:e186-e197.

(收稿日期:2024-05-09)

(本文编辑:袁云)

## 《中国现代神经疾病杂志》2024 年广告征订启事

《中国现代神经疾病杂志》(ISSN 1672-6731, CN 12-1363/R)是国家卫生健康委员会主管,中国医师协会、天津市科学技术协会、天津市神经科学学会、天津市环湖医院主办的神经病学专业学术期刊。月刊,国内外公开发行。目前本刊已入编北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2017年版(即第8版)、2020年版(即第9版)和2023年版(即第10版)的核心期刊,中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)和 RCCSE 中国核心学术期刊,并已被 WJCI(2020、2021 和 2022 科技版)、EMBASE/SCOPUS、DOAJ、EBSCOhost、JSTChina 等国际知名检索机构收录。

本刊订阅用户遍及全国各级医疗单位、高等医学院校、各级医学院校图书馆、科研单位和个人。为加强本刊与神经内外科医学科研、医药、医疗器械行业的合作,共同宣传推广新药、新器械和新技术,促进互惠双赢,现诚邀广告合作方。现将刊登广告注意事项告知:

1. 严格遵守《中华人民共和国广告法》,刊登广告单位必须经国家级或所在省级食品药品监督管理局审核批准,并在广告发布地的省级医疗药品和医疗器械行政监督管理部门备案。

2. 刊登广告单位必须附有国家食品药品监督管理局核发的《药品广告审查表》和《医疗器械广告审查表》。广告内容应与医疗药品和医疗器械广告批准文号同时发布。广告审查批准文号有效期1年。

3. 广告文字简洁,图片清晰、规范、必须以大 16 开本为基准进行设计,广告图稿原图或资料请于广告发布前 1 个月发送至编辑部邮箱(xdsjbbzz@263.net.cn)。

4. 凡刊登广告者,须与编辑部提前签订广告发布合同,根据合同具体内容执行。

联系地址:天津市津南区吉兆路 6 号天津市环湖医院 C 座二楼。邮政编码:300350。联系人:陈雪。联系电话:(022) 59065612。Email:xdsjbbzz@263.net.cn。