

颅内动脉瘤与脑血管重建术

佟志勇

【摘要】 脑血管重建技术的迭代伴随“复杂颅内动脉瘤”概念的变迁,脑血管重建技术逐步改变动脉瘤的治疗策略。本文重点阐述颅内动脉瘤的治疗原则和常用显微外科技术、复杂颅内动脉瘤的概念变迁和治疗难点、脑血管重建术的发展趋势及其在复杂颅内动脉瘤治疗中的应用及展望等,旨在促进脑血管重建术在颅内动脉瘤治疗中的高质量应用。

【关键词】 颅内动脉瘤; 脑血管重建术; 综述

Intracranial aneurysms and cerebral revascularization

TONG Zhi-yong

Department of Neurosurgery, The Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510260, Guangdong, China (Email: tong_zhiyong@hotmail.com)

【Abstract】 The iteration of cerebral revascularization has been accompanied by the evolution of the concept of complex intracranial aneurysms. Cerebral revascularization has gradually changed the treatment strategy of intracranial aneurysms. This article focuses on the treatment principles and common microsurgical techniques of intracranial aneurysms, the conceptual changes and treatment difficulties of complex intracranial aneurysms, the development trend of cerebral revascularization and its application in the treatment of complex intracranial aneurysms, and the prospect of cerebral revascularization in the treatment of complex intracranial aneurysms. It aims to promote the high-quality application of cerebral revascularization in the treatment of intracranial aneurysms.

【Key words】 Intracranial aneurysm; Cerebral revascularization; Review

Conflicts of interest: none declared

随着医学影像学的进步、显微外科技术的普及、神经介入理念和耗材的创新、显微脑血管重建技术的迭代,颅内动脉瘤已成为神经外科的日常诊治疾病,其疗效已获得明显改善,但对脑组织和神经功能的保护、长期治愈率的提高和复发率的降低仍是临床医师和患者家属时刻关心的内容。笔者将结合多年临床经验,从显微外科手术角度阐述颅内动脉瘤治疗的常见技术、难点和未来发展趋势,旨在推动颅内动脉瘤疗效的进一步改善。

一、颅内动脉瘤的治疗原则和常用的显微外科技术

颅内动脉瘤的主要风险包括动脉瘤破裂出血、瘤体压迫周围脑组织和脑神经、脑缺血等。相对应的治疗原则包括将动脉瘤隔离到血液循环之外,以

防止动脉瘤破裂和复发;解除动脉瘤对周围脑组织和脑神经的压迫;保持或恢复动脉瘤远端脑组织的血供等。

对于常见的囊性动脉瘤,夹闭瘤颈是经过长期随访证实的防止动脉瘤破裂或再次破裂,保持载瘤动脉通畅,治愈动脉瘤的显微外科手术技术。对于存在占位效应、压迫周围脑组织或脑神经的囊性动脉瘤,在夹闭瘤颈后切开瘤体,解除动脉瘤对周围组织压迫的同时可以确认瘤颈是否夹闭完全。对于导致载瘤动脉狭窄或血管痉挛的动脉瘤,除予以抗血管痉挛、扩容、升压等药物治疗外,脑血管重建术是恢复脑组织血供的有效显微外科技术。对于非囊性动脉瘤,如解离性动脉瘤(夹层动脉瘤)、血栓性蛇形动脉瘤、梭形动脉瘤、载瘤动脉壁破损性动脉瘤[血泡样动脉瘤(BBA)、外伤性假性动脉瘤]、炎症性动脉瘤等,由于载瘤动脉成为动脉瘤壁的一部分,或者载瘤动脉壁已经破损,因此为了确切止血,防止动脉瘤复发,保持动脉瘤远端脑组织血供,

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2024.08.001

作者单位:510260 广州医科大学附属第二医院神经外科,
Email:tong_zhiyong@hotmail.com

需采用脑血管搭桥、载瘤动脉缝合、载瘤动脉补片成形缝合等脑血管重建技术。上述手术技术均使用的是外科止血时常用的血管缝合技术。最理想的是通过显微缝合技术重建载瘤动脉壁的完整性,保持载瘤动脉的直径。如果无法保留载瘤动脉,可以采用脑血管搭桥术引入颅外动脉或其他颅内动脉的血流,供血动脉瘤远端脑组织,预防或治疗脑缺血。对于微小动脉瘤(直径 $<3\text{ mm}$)可以采用迷你动脉瘤夹进行夹闭。值得注意的是,如果术中确认微小动脉瘤与载瘤动脉交界处薄弱,如微小的血泡样动脉瘤,可以采用动脉瘤显微缝合技术。该技术使载瘤动脉的正常管壁内膜对合,重建载瘤动脉,在处理微小动脉瘤的同时,可能导致载瘤动脉轻度狭窄。若术中监测到载瘤动脉重度狭窄,载瘤动脉远端脑组织缺血,可以采用载瘤动脉补片成形缝合技术或补充脑血管搭桥术治疗脑缺血。

将血管吻合技术应用用于脑血管重建时,需使用手术显微镜、专用的显微血管吻合器械、7-0至11-0血管缝线。随着上述设备、器械和耗材的不断迭代,显微血管吻合技术在动脉瘤治疗中的适应证不断扩宽,从而提高长期疗效。动脉瘤包裹术是非颅内动脉瘤的早期外科技术之一,既往应用于难以夹闭的非囊性动脉瘤和微小动脉瘤,但其防止动脉瘤破裂的疗效具有不确定性,且存在载瘤动脉狭窄致脑缺血的风险,随着显微血管吻合技术和动脉瘤缝合技术的普及,动脉瘤包裹术的适应证逐渐缩小。

为保证术中和术后充足的脑组织血供,在动脉瘤夹闭或脑血管重建过程中,可以采用神经电生理监测、吲哚菁绿荧光血管造影术(ICGA)、微型探头血管多普勒超声、脑血管造影、脑灌注成像等检查方法。术中监测到吻合口狭窄或闭塞、载瘤动脉及其分支狭窄或闭塞、脑低灌注时,可以采用如下补救操作:调整瘤颈夹闭位置;修正动脉吻合口,保证吻合口通畅;补充脑血管搭桥术。因此术中监测和脑血流评估对于提高动脉瘤显微外科手术质量至关重要。

二、复杂颅内动脉瘤的概念变迁和治疗难点

随着颅底入路的普及、动脉瘤夹的升级、显微血管吻合技术的迭代、神经介入耗材和技术的更新,复杂动脉瘤的概念不断变迁。手术显微镜应用于脑血管病治疗之前,动脉瘤被认为是复杂脑血管病,当时通常采用外科止血基本技术——载瘤动脉结扎术阻断载瘤动脉血流,降低动脉瘤破裂或再次

破裂风险,但增加脑缺血风险,以及逆流血供导致部分动脉瘤仍存在破裂风险。动脉瘤夹闭术在保持载瘤动脉通畅的同时,将动脉瘤隔绝在血液循环之外,是较为理想的囊性动脉瘤的治疗方案。随着手术显微镜和动脉瘤夹等设备、器械和耗材的更新迭代,动脉瘤夹闭术可以治愈大部分囊性动脉瘤。此时复杂动脉瘤的概念被限定为难以夹闭瘤颈的动脉瘤,如微小动脉瘤、巨大型动脉瘤、动脉瘤颈钙化、血栓性蛇形动脉瘤、解离性动脉瘤、外伤性假性动脉瘤、炎症性动脉瘤、椎基底动脉动脉瘤等。随着DSA的出现和神经血管影像质量的提高、神经介入材料和技术的更新,神经介入技术逐步应用于动脉瘤的治疗。弹簧圈、颅内支架、血流导向装置(密网支架)、颅内覆膜支架、动脉瘤内扰流装置的出现和更新,使宽颈动脉瘤、部分解离性动脉瘤、部分椎基底动脉动脉瘤获得较好的载瘤动脉重建。此时复杂动脉瘤的概念被限定为难以开颅夹闭或介入栓塞的动脉瘤如累及重要穿支的解离性动脉瘤、具有明显占位效应的巨大型血栓性动脉瘤、血泡样动脉瘤、介入栓塞后支架内血栓形成或载瘤动脉狭窄的动脉瘤等。

目前复杂动脉瘤外科治疗的难点主要集中于,瘤体发出的直径 $<1\text{ mm}$ 的重要穿支[豆纹动脉、基底动脉中段穿支动脉、脉络丛前动脉、丘脑动脉、小脑前下动脉(AICA)等]的重建;无法重建上述细小重要穿支的前提下,如何在降低非囊性动脉瘤生长和破裂风险的同时保持上述重要穿支的血供^[1];介入栓塞后或开颅夹闭后复发的巨大型血栓性动脉瘤的脑血管重建及周围脑组织的保护等。

三、脑血管重建术的发展趋势及其在复杂颅内动脉瘤治疗中的应用

自1967年脑血管重建术被首次报道以来^[2],该项技术经历颈外动脉(ECA)分支与颅内动脉直接吻合的第一代脑血管重建术;颅外动脉-间置血管-颅内动脉搭桥的第二代脑血管重建术;颅内动脉-颅内动脉搭桥或颅内动脉-间置血管-颅内动脉搭桥的第三代脑血管重建术。这些脑血管重建技术均已应用于复杂动脉瘤的治疗中^[3]。第一代脑血管重建术的供体动脉主要为颞浅动脉(STA)和枕动脉(OA),受体动脉为大脑中动脉(MCA)、小脑后下动脉(PICA)、大脑前动脉(ACA)、大脑后动脉(PCA)、小脑上动脉(SCA)等。通过将颈外动脉血流引入颅内,主要解决当时常用于治疗复杂动脉瘤的载瘤动

脉结扎术和球囊阻断术可能导致的动脉瘤远端脑缺血难题。第二代脑血管重建术的出现,是为了解决第一代脑血管重建术所提供血流量不足的难题,这是由于颞浅动脉和枕动脉的直径 $<2\text{ mm}$,不能替代颈内动脉(ICA)和椎动脉(VA)的血流量。对于侧支循环不发达的患者,第一代脑血管重建术后仍然存在脑缺血的风险。第二代脑血管重建术通过移植桡动脉(RA)和大隐静脉(GSV),将颈内动脉颅外段、颈外动脉、颈总动脉(CCA)、椎动脉、颌内动脉(IMA)^[4]的血流引入颅内,为脑组织提供 $100\sim 250\text{ ml/min}$ 的血供,可以替代颈内动脉或椎动脉的血供。第三代脑血管重建术的供体动脉是颅内动脉,技术迭代源于中深部或深部脑血管显微吻合技术的成熟。外侧裂、前纵裂、枕大池、环池、颈内动脉池等中深部或深部脑血管显微吻合操作需要使用 $18\sim 23\text{ cm}$ 的显微血管吻合器械。这些显微器械需要兼顾深部、狭小空间显微血管吻合操作的灵活性和稳定性(夹持力和剪切力),以多种尖端工作角度的器械组合来节省操作空间。深部脑血管显微吻合器械的迭代和脑血管重建理念的更新推动了第三代脑血管重建术的普及。第三代脑血管重建术的供体动脉包括大脑前动脉A1段、A2段、A3段,大脑中动脉M1段、M2段、M4段,大脑后动脉P2段,颈内动脉C2段、C5段,小脑后下动脉,以及椎动脉V4段。第三代脑血管重建术的术式不断更新,目前常见术式包括原位吻合术(侧侧吻合)、毗邻动脉间的再植术(端侧吻合)、动脉瘤近端与远端血管的再吻合术(端端吻合)、移植血管的再吻合术(端端吻合)、间置血管的序贯吻合术(侧侧吻合和端侧吻合)等。第三代脑血管重建术常需使用血管内吻合技术解决显微血管吻合操作角度有限的难题。常见的桥血管为桡动脉,通过序贯吻合操作,可以单支桡动脉供血多支受体动脉。1989年首次报道的Fukushima搭桥已经是第二代血管重建术和第三代血管重建术的翘楚,一方面颈内动脉岩骨段提供了足够的血流量和压强,另一方面桥血管位于颅底,可以得到很好的保护,而更短的桥血管也有着更好的长期通畅率,这一术式将越来越受到重视^[5]。第三代脑血管重建术的供体动脉位于颅内,无需引用颅外动脉的血流,相较于第一代和第二代的优势在于,显微血管吻合操作更简洁、供体动脉与受体动脉管径和管壁匹配度更理想、桥血管长度更短等^[6]。

由于颅外动脉的压强高于颅内动脉,故第二代

脑血管重建术的供体动脉与受体动脉之间的压强差大于需要移植桡动脉的第三代脑血管重建术的供体动脉与受体动脉之间的压强差。理论上,第二代脑血管重建术中的IMA-RA-MCA/PCA搭桥术的长期通畅率和移植桡动脉的血流量优于需要移植桡动脉的第三代脑血管重建术^[7]。目前,脑血管重建术已经成为治疗复杂动脉瘤的最理想治疗方案之一,其中高流量的第二代脑血管重建术和操作简洁的第三代脑血管重建术逐渐得到推广普及^[8]。

四、脑血管重建术治疗复杂颅内动脉瘤的展望

随着深部脑血管显微吻合技术的进步、第三代脑血管重建术的推广,大部分复杂动脉瘤已获得满意疗效,但仍需进一步开发新的脑血管重建及相关技术,以解决前述复杂动脉瘤的治疗难题。

1. 穿支动脉的重建 大脑中动脉M1段、基底动脉中段、累及脉络丛前动脉的颈内动脉段等部位的解离性动脉瘤仍属于复杂动脉瘤,其主要原因是即使使用11-0血管缝线(线径 $0.010\sim 0.019\text{ mm}$)也不能重建这些部位的重要穿支动脉。虽然目前可以使用10-0(线径 $0.020\sim 0.029\text{ mm}$)或11-0血管缝线完成STA-A5(直径 $0.5\sim 1.0\text{ mm}$)的浅部小血管端侧吻合,但这些重要穿支动脉位置深在,直径 $<1\text{ mm}$,已经超出深部脑血管显微吻合的极限,亟待开发深部脑小血管的免缝合血管重建技术。

2. 解离性动脉瘤瘤壁压强的监测和调控 由于目前的显微血管吻合技术不能高质量地完成深部脑小血管的重建,因此大脑中动脉M1段、基底动脉中段、累及脉络丛前动脉的颈内动脉段等部位的解离性动脉瘤的治疗策略是控制瘤壁压强,减少动脉瘤破裂或体积增大风险,同时保持穿支动脉血供。故需研发脑血管壁压强监测和控制技术,稳定这种复杂动脉瘤。

3. 桥血管的血流量监测和调控 桡动脉已经成为理想的第二代和第三代脑血管重建术的桥血管,可以提供 $50\sim 150\text{ ml/min}$ 的血供。由于桡动脉直径小于颈内动脉,当需要结扎颈内动脉时,需移植大隐静脉以保证血供。但大隐静脉直径大于大脑中动脉M2段,且移植大隐静脉的长期通畅率低于桡动脉。因此需要研发监测移植桡动脉血流量、体外调控移植桡动脉血流量的技术和设备,以应对移植桡动脉的血流量与脑组织所需的血流量之间的不匹配难题。

相信随着人工智能的迭代发展,人类计算能力

和计算效率飞速提升,未来所有脑血管均可实现重建,并为脑组织提供充足且可调控的血供,显著提高动脉瘤、动脉狭窄或闭塞等脑血管病的治愈率。

利益冲突 无

参 考 文 献

[1] Lawton MT, Abla AA, Rutledge WC, Benet A, Zador Z, Rayz VL, Saloner D, Halbach VV. Bypass surgery for the treatment of dolichoectatic basilar trunk aneurysms: a work in progress [J]. Neurosurgery, 2016, 79:83-99.

[2] Vilela MD, Newell DW. Superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass: past, present, and future [J]. Neurosurg Focus, 2008, 24:E2.

[3] Wang XD, Tong XG. Treatment of anterior circulation aneurysm presenting with cerebral ischemia[J]. Zhongguo Shen Jing Jing Shen Ji Bing Za Zhi, 2023, 49:345-350.[王杏东, 佟小光. 以脑缺血为首发症状的前循环动脉瘤临床特点与治疗[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2023, 49:345-350.]

[4] Tong ZY, Liu Y, Wang G, Sun HY, Yu GD, Zhang JS, Chu JG. The clinical effect analysis of internal maxillary artery - radial artery - cerebral artery bypass for the treatment of cerebral vascular disease [J]. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za

Zhi, 2022, 22:359-367.[佟志勇, 刘源, 王刚, 孙怀宇, 余冠东, 张劲松, 初金刚. 颌内动脉-桡动脉-脑动脉搭桥术治疗脑血管病临床疗效分析[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2022, 22:359-367.]

[5] Honda E, Hayashi T, Ri S, Kanetani K, Oshima Y, Utsunomiya H, Honda Y, Sato Y, Fukushima T. Attempt of intracranial IC bypass for giant aneurysm in the cavernous portion of the carotid artery[J]. No Shinkei Geka, 1989, 17:375-380.

[6] Ravina K, Rennert RC, Brandel MG, Strickland BA, Chun A, Lee Y, Carey JN, Russin JJ. Comparative assessment of extracranial-to-intracranial and intracranial-to-intracranial in situ bypass for complex intracranial aneurysm treatment based on rupture status: a case series[J]. World Neurosurg, 2021, 146: e122-e138.

[7] Ramanathan D, Temkin N, Kim LJ, Ghodke B, Sekhar LN. Cerebral bypasses for complex aneurysms and tumors: long-term results and graft management strategies[J]. Neurosurgery, 2012, 70:1442-1457.

[8] Srinivasan VM, Rahmani R, Labib MA, Lang MJ, Catapano JS, Graffeo CS, Lawton MT. Evolution in cerebrovascular bypass: conceptual framework, technical nuances, and initial clinical experience with fourth-generation bypass [J]. Neurosurg Clin N Am, 2022, 33:383-402.

(收稿日期:2024-06-14)

(本文编辑:袁云)

· 小 词 典 ·

中英文对照名词词汇(一)

阿尔茨海默病 Alzheimer's disease(AD)

阿尔茨海默病评价量表-认知分量表
Alzheimer's Disease Assessment Scale-Cognitive Subscale (ADAS-Cog)

重复时间 repetition time(TR)

促甲状腺激素释放激素
thyrotropin-releasing hormone(TRH)

促肾上腺皮质激素 adrenocorticotrophic hormone(ACTH)

达峰时间 time to peak(TTP)

大脑后动脉 posterior cerebral artery(PCA)

大脑前动脉 anterior cerebral artery(ACA)

大脑中动脉 middle cerebral artery(MCA)

大隐静脉 great saphenous vein(GSV)

β-淀粉样蛋白 amyloid β-protein(Aβ)

β-淀粉样前体蛋白 amyloid β-protein precursor(APP)

端侧 end-to-side(ETS)

端端 end-to-end(ETE)

翻转角 flip angle(FA)

改良 Rankin 量表 modified Rankin Scale(mRS)

感兴趣区 region of interest(ROI)

灌注成像 perfusion-weighted imaging(PWI)

CT灌注成像 CT perfusion imaging(CTP)

国际抗癫痫联盟
International League Against Epilepsy(ILAE)

国际头痛疾病分类第3版
International Classification of Headache Disorders Third Edition(ICHD-III)

颌内动脉 internal maxillary artery(IMA)

后交通动脉 posterior communicating artery(PCoA)

花生四烯酸 arachidonic acid(AA)

回波时间 echo time(TE)

Glasgow 昏迷量表 Glasgow Coma Scale(GCS)

机器学习 machine learning(ML)

基底动脉 basilar artery(BA)

激励次数 number of excitation(NEX)

脊髓后动脉 posterior spinal artery(PSA)

脊髓前动脉 anterior spinal artery(ASA)

甲基化 CpG 结合蛋白 2
methyl-CpG-binding protein 2(MeCP2)

胶质纤维酸性蛋白 glial fibrillary acidic protein(GFAP)

经颅多普勒超声 transcranial Doppler ultrasonography(TCD)

颈内动脉 internal carotid artery(ICA)

颈外动脉 external carotid artery(ECA)

颈总动脉 common carotid artery(CCA)

颅内静脉窦血栓形成
cerebral venous sinus thrombosis(CVST)

颅内-颅内 intracranial-intracranial(IC-IC)