

脑血管重建术历史沿革

佟志勇

【摘要】 脑血管重建术正在不断更新迭代,但仍面临诸多挑战,如定量调节桥血管血流量的方法,如何重建直径 <0.5 mm的动脉穿支等问题。本文回顾血管重建术的诞生和脑血管重建术的发展历程,重点关注脑血管重建术的基本原理和创新技术、脑血管重建术在复杂颅内动脉瘤治疗中的应用及疗效、脑血管重建术迭代的现状及发展趋势,旨在促进脑血管重建术的迭代及其在复杂颅内动脉瘤治疗中的应用。

【关键词】 颅内动脉瘤; 脑血管重建术; 医学史; 综述

History of 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】 Cerebral revascularization is constantly being updated and iterated, but there are still many challenges: how to regulate the bypass flow quantitatively, how to reconstruct cerebral artery perforator vessels with diameter less than 0.5 mm, etc.. This paper reviews the birth of revascularization and the development of cerebral revascularization, focusing on the basic principle and innovative technology of cerebral revascularization, application and effect of cerebral revascularization in the treatment of complex intracranial aneurysms, current situation and development trend of cerebral revascularization iteration. The aim is to promote the iteration of cerebral revascularization and its application in the treatment of complex intracranial aneurysms.

【Key words】 Intracranial aneurysm; Cerebral revascularization; History of medicine; Review

Conflicts of interest: none declared

由于颅内动脉直径 <5 mm且周围有厚重的颅骨保护,重建脑血管曾是无法解决的医学难题。随着显微外科技术的普及,显微脑血管重建术已经成为治疗复杂颅内动脉瘤的主要外科手段之一。本文主要回顾利用显微外科技术重建脑血管的历史沿革及其在颅内动脉瘤治疗中的应用现状,旨在推动脑血管重建术的发展,改善颅内动脉瘤的疗效。

一、血管重建技术的诞生

重建脑血管曾经只是遥不可及的梦想,由文献记载的首例动脉缝合术到首例成功的脑血管搭桥术,外科医师经历了208年的持续努力。据文献记载,1759年,英国医师Hallowell实施了首例动脉缝合术,其使用针(pin)穿过肱动脉壁,用丝线完成“8”

字缝合,这是血管创伤治疗的重大突破^[1]。自此,血管缝合技术成为血管重建的一项基本技术并传承至今。颈内动脉(ICA)颅内段血泡样动脉瘤缝合术就是这项基本血管重建理念与显微外科技术结合的产物。由血管缝合到血管吻合则经过了118年的不断探索。1877年,俄罗斯帝国军医Nicholas Eck发表一项将8只犬的门静脉与下腔静脉侧侧吻合的研究,其中7只于术后1周内死亡,余1只术后2个月走失;该项研究应用19世纪动物血管实验设备和技术,完成直径10 mm血管的切开和侧侧吻合操作,开创了血管吻合技术的历史,该静脉吻合口被命名为Eck瘘^[2]。1896年,美国医师John Murphy采用股动脉端端吻合治疗1例29岁腹股沟枪伤患者,术后3个月随访股动脉吻合口通畅^[3]。1912年,法国医师Alexic Carrel因其在血管缝合技术和器官移植方面的成就被授予诺贝尔生理学或医学奖,其开创的三角法缝合技术可减少血管吻合过程血管直径的

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2024.08.002

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

缩减,有助于血管内皮细胞的修复^[4]。1925年,乌克兰苏维埃社会主义共和国 Weglowski 医生采用静脉移植手术治疗第一次世界大战及随后的苏波战争中 40 名动脉外伤士兵^[4]。早期血管重建技术蕴含的创新理念一直沿用至今,成为目前显微脑血管重建技术发展的基石。

二、脑血管重建技术的诞生

随着 5~10 mm 的大血管重建和搭桥技术的普及,医学研究的焦点转移到 <5 mm 小血管吻合的难题。1922 年,瑞典耳科医师 Carl Olof Nysten 将显微镜引入外科手术,开创了显微外科手术时代^[5]。1926 年,Harvey Cushing 和 William Bovie 教授创新性地在外科手术中应用电灼术止血^[6]。1955 年,Loenard Malis 设计了目前神经外科常用的双极电凝^[6]。上述手术显微镜、双极电凝、9-0 血管缝线、显微手术器械等设备、器械、材料的更新,共同奠定了脑血管重建术的基础。1960 年, Jacobson 和 Suarez^[7] 使用显微镜成功进行 2 mm 血管显微吻合的动物实验。1961-1966 年, Yasargil 教授尝试通过移植动脉和静脉进行颈总动脉(CCA)和基底动脉(BA)或大脑中动脉(MCA)之间搭桥的动物实验,但移植的动脉和静脉血栓形成,最终该高流量血管搭桥术的动物实验宣告失败;他决定放弃移植血管的高流量血管搭桥术研究,直接将颞浅动脉(STA)与大脑中动脉端侧吻合,至 1966 年底, Yasargil 教授完成 30 例犬的颞浅动脉-大脑中动脉端侧吻合术,所有吻合口均通畅^[8]。1967 年 10 月 30 日, Yasargil 教授首次为合并 Marfan 综合征的大脑中动脉闭塞(MCAO)患者进行 STA-MCA 端侧吻合^[9],这是世界首例脑血管重建术,距 1759 年 Hallowell 医生完成肱动脉缝合术已经过去 208 年。1972 年, Yasargil 教授采用 STA-MCA 搭桥术治疗 1 例烟雾病患者,2 年后随访脑血管造影显示吻合口通畅^[10]。1976 年 3 月,臧人和教授采用颞浅动脉前支、后支分别与颞叶表面两支大脑中动脉 M4 段端侧吻合术治疗 1 例 28 岁右颈内动脉闭塞患者,完成我国首例脑血管吻合术^[11]。

完成前循环低流量血管搭桥术的突破后,显微脑血管重建术开始向高流量血管重建和后循环血管重建方向发展。1971 年, William Lougheed 采用 CCA-大隐静脉(GSV)-ICA 颅内段搭桥术治疗 1 例 54 岁女性右颈内动脉闭塞患者,这是首例成功的高流量血管搭桥术^[12]。James I. Ausman 和 Thoralf M. Sundt 对后循环血管重建术的创新贡献卓著。

James I. Ausman 于 1976 年采用枕动脉(OA)-小脑后下动脉(PICA)搭桥术治疗后循环缺血^[13];1978 年,他开展移植桡动脉(RA)行椎动脉(VA)-RA-PICA 搭桥术^[13];1979 年,他采用 STA-小脑上动脉(SCA)搭桥术治疗脑干缺血^[14];1981 年,他采用 OA-小脑前下动脉(AICA)搭桥术治疗小脑后下动脉远端椎动脉和基底动脉近端狭窄^[15]。同年, Thoralf M. Sundt 通过右大脑后动脉(PCA)-右 SCA 侧侧吻合将右颈内动脉血流经后交通动脉(PCoA)引入至基底动脉中,成功地治疗 1 例 57 岁白种人男性症状性重度基底动脉狭窄患者^[16];1982 年,他采用颈外动脉(ECA)-GSV-PCA 搭桥术治疗 13 例基底动脉闭塞和 1 例椎动脉动脉瘤患者^[17]。1988 年, James I. Ausman 开展全球首例后循环序贯双吻合术:将枕动脉中段与小脑后下动脉侧侧吻合,然后将枕动脉末端与小脑前下动脉端侧吻合,成功地治疗椎动脉闭塞^[18]。经过 20 年的发展,脑血管重建术已出现迭代倾向,高流量血管重建术、序贯吻合技术、后循环血管重建术等新技术的出现,使脑血管重建术的适应证不断拓宽,已经被应用于复杂颅内动脉瘤、烟雾病、缺血性脑血管病、颅底肿瘤等疾病的治疗。

三、脑血管重建术治疗颅内动脉瘤的适应证

颅内动脉瘤是颅内动脉的异常凸起,瘤样扩张。扩张的动脉瘤体存在破裂出血的风险;其占位效应压迫周围组织;载瘤动脉壁粥样硬化、解离和痉挛可以导致脑血管狭窄,诱发脑缺血。最简单的外科治疗方案是旷置动脉瘤,但对于侧支循环不充分的患者,阻断载瘤动脉可能导致脑梗死。因此,夹闭动脉瘤颈以保持载瘤动脉通畅成为目前最常用的外科治疗策略之一。对于不能夹闭瘤颈的动脉瘤,如解离性动脉瘤(夹层动脉瘤)、血栓性蛇形动脉瘤、累及重要穿支的动脉瘤、载瘤动脉壁破损的动脉瘤(外伤性假性动脉瘤、血泡样动脉瘤)、炎症性动脉瘤等特殊动脉瘤,可以采用旷置动脉瘤结合脑血管重建术的外科治疗策略。

目前临床争论的焦点为:哪些复杂颅内动脉瘤可直接旷置?哪些动脉瘤先行脑血管重建术再旷置动脉瘤?对于未破裂动脉瘤,术前行载瘤动脉球囊闭塞试验(BOT),如球囊阻断载瘤动脉 30 分钟,同时进行其他脑血管造影,评估侧支循环;观察患者临床表现;检查脑灌注[CT灌注成像(CTP)、氩气 CT、SPECT、PET];继续降压加强试验,根据上述检查结果筛选出侧支循环不充分的患者进行脑血

管重建术,并根据侧支循环不充分程度,选择低流量、中流量或高流量血管重建术^[19-20]。Lawton等^[21]主张,所有需要旷置动脉瘤、仅阻断动脉瘤近端载瘤动脉、仅阻断动脉瘤远端载瘤动脉的病例均应行脑血管重建术,其原因包括:BOT试验存在脑缺血风险,BOT试验和加强试验阴性患者阻断载瘤动脉后每年脑缺血风险约为1.9%;脑血管重建术存在低风险和理想的长期通畅率等。

随着脑血管重建技术的迭代,搭桥手术器械、血管缝线、手术显微镜的更新,术中监测方法[吲哚菁绿荧光血管造影术(ICGA)、脑血管造影、多普勒超声、CTP、灌注成像(PWI)、电生理监测等]的普及,脑血管重建术的质量和吻合口的长期通畅率均效果满意。目前,更多的脑血管显微外科医师主张选择合适的脑血管重建技术和流量,先重建所有载瘤动脉和动脉瘤体发出的分支,再旷置动脉瘤。

四、脑血管重建技术的迭代

1. 第一代脑血管重建术 第一代脑血管重建术是将颈外动脉分支与颅内动脉直接吻合的脑血管重建术。供体动脉包括颞浅动脉、枕动脉、耳后动脉等供应头皮的颈外动脉分支。不间置血管,直接将颈外动脉分支与颅内动脉端侧吻合。受体动脉包括大脑中动脉M4段和M2段、大脑前动脉(ACA)A5段、小脑后下动脉P3段、大脑后动脉P2段、小脑上动脉S2段、小脑前下动脉等。第一代脑血管重建术的供体动脉直径 < 2 mm,单一端侧吻合口可为脑组织提供的血流有限。主要用于补充性脑血管重建(如烟烟雾病、药物治疗期间复发性缺血性脑血管病)、预防性脑血管重建(如估计阻断脑血管时间较长的手术)、仅需低流量的替代性脑血管重建(如载瘤动脉流量较低的复杂动脉瘤、载瘤动脉直径 < 2 mm如M3段或M4段炎症性动脉瘤)。为充分释放供体动脉的血流潜力,可以采用颞浅动脉额支和顶支分别与颅内动脉吻合的双吻合方式,如分别与两支大脑中动脉M4段端侧吻合;分别与大脑中动脉M4段和大脑前动脉A5段端侧吻合;分别与大脑后动脉和小脑上动脉端侧吻合。两个端侧吻合口可以降低桥血管阻力,增加吻合口流量。序贯吻合技术是心脏外科常用的冠状动脉旁路移植术,通过一支供体动脉为多支受体冠状动脉供血,中间吻合口为侧侧吻合、末端吻合口为端侧吻合。冠状动脉旁路移植术的序贯桥血管流量高于单支桥血管流量。2010年Gregory D. Arnone开创性地将序贯吻合技术

应用到脑血管吻合术中;2010-2016年,他相继完成7例STA-MCA-STA-MCA序贯双吻合术,成功地治疗4例烟雾病和3例颈内动脉硬化闭塞患者^[22]。笔者于2019年7月完成国内首例STA-MCA序贯双吻合术治疗烟雾病,并于2019年12月再次开创性采用STA-MCA-STA-ACA序贯双吻合术治疗烟雾病^[23]。序贯双吻合术提高了供体动脉对脑组织血供的同时,在脑血管之间建立的人工侧支循环降低了术后局部脑高灌注的风险。颞浅动脉直径 < 2 mm,序贯双吻合后可以可以为脑组织提供100 ml/min以下的血供,仍属于低流量血管重建术。

2. 第二代脑血管重建术 第二代脑血管重建术是通过移植自体血管,将颅外动脉血流引入颅内动脉的显微血管吻合技术。1971年,Lougheed等^[12]采用CCA-GSV-ICA颅内段搭桥术治疗1例54岁女性右颈内动脉闭塞患者,这是首例成功的第二代脑血管重建术^[12]。通过移植大隐静脉或桡动脉获得可以替代颈内动脉或椎动脉的血流量,解决第一代脑血管重建术血流量较低的难题。第二代脑血管重建术的供体动脉包括颈总动脉、颈内动脉颅外段、颈外动脉及其分支[颌内动脉(IMA)、颞浅动脉]、椎动脉V3段、锁骨下动脉等。可选择的桥血管包括桡动脉、大隐静脉、颞浅动脉、枕动脉、胃网膜动脉、头静脉等。受体动脉是颅内的所有主要动脉。由于桥血管和受体动脉直径变化范围较大,因此第二代脑血管重建术可以为脑组织提供各种流量的血供。第二代脑血管重建术的适应证广泛,如复杂颅内动脉瘤、侵犯颈内动脉或椎动脉的颈部或头颈交界区肿瘤、颈内动脉颅外段或椎动脉动脉瘤、症状性缺血性脑血管病等。由于移植静脉的长期通畅率低于动脉,且在长期动脉压强的作用下静脉呈扩张趋势,因此桡动脉成为第二代脑血管重建术的主要桥血管。为提高桥血管的长期通畅率,外科医师倾向选择邻近脑血管的供体动脉如颌内动脉、颈内动脉岩骨段、椎动脉V3段等。2010年,石祥恩和Saleem I. Abdulrauf分别开始以颌内动脉为供体动脉的第二代脑血管重建术的临床实践^[24-25]。2018年,笔者开始采用IMA-RA-MCA/PCA搭桥术治疗复杂颅内动脉瘤和后循环缺血,术后超声确认移植的桡动脉可为脑组织提供50~123 ml/min的血供,且术后长期通畅,随访期间可见桡动脉血流量有逐渐增加的趋势^[26]。颌内动脉为颈外动脉的最主要分支,其压强接近颈外动脉主干压强(术中测值为90 mm Hg);

颌内动脉位于颞下窝,翼内肌与翼外肌之间,其中段(翼肌段)直径为 2.40~3.46 mm,桡动脉近端直径为(2.50±0.25) mm,颌内动脉翼肌段和桡动脉近端的直径和管壁厚度匹配理想;在颞下窝,颌内动脉与桡动脉端侧吻合或端端吻合可以使用 8-0 或 7-0 血管缝线,属于中深度显微血管吻合。上述解剖学特点、血流动力学特点、中等难度的显微血管吻合技术为移植桡动脉的长期通畅奠定了良好的基础。

3. 第三代脑血管重建术 为简化脑血管重建术的操作,提高吻合口或桥血管的长期通畅性,外科医师开始探索以颅内动脉为供体动脉的脑血管重建术——第三代脑血管重建术。第三代脑血管重建术主要在外侧裂、纵裂、枕大池、环池内操作,将受体动脉毗邻的动脉作为供体动脉,这样供体动脉与受体动脉的匹配性(直径、管壁厚度)理想,供体动脉与受体动脉之间直接吻合,或仅移植短段颅外动脉,期望可以提高脑血管重建术的长期疗效。第三代脑血管重建术的具体术式包括原位吻合术(侧侧吻合)、再植术(端侧吻合)、再吻合术(切除动脉瘤后,近端与远端载瘤动脉端端吻合)、颅内-颅内短段间置吻合术、序贯吻合技术(将心脏外科的序贯吻合技术应用到脑血管重建术中)以及多种技术组合等。1974 年,Zentaro Ito 经前纵裂入路治疗 1 例 39 岁男性前交通动脉动脉瘤(直径 11 mm)患者,由于左大脑前动脉 A2 段起始部成为动脉瘤壁的一部分,因此切断动脉瘤远端 A2 段,行左侧 A2-右侧 A2 端侧吻合,再夹闭动脉瘤^[27];1978 年,Zentaro Ito 治疗 1 例 47 岁男性左颈内动脉和右大脑前动脉 A2 段闭塞患者,术式为左 STA-MCA 双吻合术,A3-A3 侧侧吻合术^[27]。1980 年,Thoralf M. Sundt 经右侧颞下入路治疗 1 例 48 岁女性破裂右大脑后动脉 P2 段解离性大动脉瘤患者,予以切断动脉瘤远端 P2 段,行 P2-SCA 端侧吻合,然后夹闭旷置 P2 段动脉瘤^[16]。1985 年,James I. Ausman 治疗 1 例以缺血发病的右椎动脉 V4 段累及小脑后下动脉的解离性血栓性动脉瘤患者,先行右 PICA-左 PICA 端侧吻合,然后夹闭旷置右椎动脉动脉瘤^[28]。2014 年,Lawton 教授团队报告 1997-2013 年完成脑血管重建手术 323 例,其中脑血管重建术治疗动脉瘤 145 例,10 例为大脑前动脉动脉瘤,占脑血管重建术的 3.10%(10/323),占脑血管重建术治疗动脉瘤的 6.90%(10/145);他们同时回顾脑血管重建术治疗大脑前动脉动脉瘤的 29 篇文献计 37 例患者共 47 例大脑前动脉动脉瘤

患者,采用第一代和第二代脑血管重建术 13 例(27.66%),原位吻合术 17 例(36.17%),再植术 5 例(10.64%),再吻合术 3 例(6.38%),颅内-颅内短段间置吻合术 9 例(19.15%);其中 Lawton 教授团队治疗的 10 例大脑前动脉动脉瘤均采用第三代脑血管重建术,8 例预后良好^[29]。Lawton 教授根据脑血管重建后的血流方向将大脑前动脉重建分为三类:左右血流重建、前后血流重建、外内血流重建,采用的手术入路为前纵裂入路、眶额颞入路、联合入路,左右血流重建和前后血流重建在前纵裂内完成,属于第三代脑血管重建术;外内血流重建的供体动脉包括颞浅动脉、大脑中动脉,受体动脉为 A3 段或 A5 段,桥血管为颞浅动脉或桡动脉等^[29]。2016 年,Lawton 教授团队回顾 1997-2014 年接受显微手术治疗的 125 例小脑后下动脉动脉瘤患者(129 个动脉瘤),其中 35 例采用第三代脑血管重建术,分别为原位吻合术 11 例(31.43%),再植术 9 例(25.71%),再吻合术 14 例(40%),V3-RA-PICA 短段间置吻合术 1 例(2.86%);94.29%(33/35)患者获得随访(平均随访时间为 16.3 个月),94.12%(32/34)患者(1 例未进行术后脑血管造影)桥血管通畅,77.14%(27/35)患者预后良好^[30];他们还认为,近 1/4 的小脑后下动脉动脉瘤需行脑血管重建术,首选第三代脑血管重建术,而不推荐第一代脑血管重建术(OA-PICA 端侧吻合)^[30]。随着第三代脑血管重建术的普及,供体动脉的选择逐渐增多,如 A1 段、M1 段、M2 段、P1 段、颈内动脉岩骨段、V4 段等,这些供体动脉位于颅内,需移植的桥血管长度相对第二代脑血管重建术短,有利于桥血管的长期通畅。颅外动脉(颈内动脉颅外段、颈外动脉、颈总动脉、颌内动脉、V3 段等)压强大于颅内动脉,桥血管更长、阻力更大,但供体动脉压强大、桥血管两端压强差更大,故需长期随访研究第二代脑血管重建术和短段间置吻合的第三代脑血管重建术的桥血管长期通畅性和疗效。

五、不阻断受体动脉的脑血管吻合技术

脑血管重建术的目的是改善或替代脑血流,但在完成脑血管吻合时需要临时阻断受体动脉,尤其是第三代脑血管重建术需要临时阻断两支动脉的血流。虽然临床实践证明短时间临时阻断受体动脉的风险较低,但能够在不临时阻断脑血流的前提下完成脑血管重建术是创新性技术变革。

1993 年,荷兰乌得勒支大学医学中心 Tulleken 及其同事开发了准分子激光辅助非阻断血管吻合

技术(ELANA)^[31]。ELANA技术允许外科医师在第二代或第三代脑血管重建术中使用准分子激光导管系统,间置移植的大隐静脉或桡动脉,在吻合过程中不阻断脑血流,避免术中临时阻断受体动脉相关脑缺血的风险。ELANA技术操作流程:将白金环和桥血管远端缝合;将白金环-移植血管复合体缝合到直径>3 mm的受体动脉上(不临时阻断受体动脉);将准分子激光负压吸引导管通过桥血管到达受体动脉;开始负压吸引,保证受体动脉壁和负压吸引导管接触;2分钟后激活准分子激光,切开受体动脉壁;将负压吸引导管和切割下的受体动脉壁取出;最后将桥血管近端与已经和供体动脉完成吻合的桥血管远端端端吻合。常用的白金环直径为2.6和2.8 mm。2003年,他们回顾125例采用ELANA技术治疗的复杂脑血管病病例,巨大型动脉瘤95例、颅底肿瘤15例、脑缺血15例,122例ELANA脑血管重建术成功,桥血管长期通畅率为90%^[32]。ELANA技术将成为第二代和第三代脑血管重建术的创新性辅助技术,降低脑血管重建术的脑缺血风险和显微吻合技术难度,为脑组织提供充足的血供,为脑血管重建技术的迭代奠定了基础。

六、血管吻合器在脑血管重建术中的应用

瑞典整形外科医师Ostrup和Berggren^[33]率先于1986年报告一种显微血管吻合器,用于小血管的端端吻合和端侧吻合。经过培训的外科医师可在2~3分钟内完成显微血管吻合,动物实验和临床研究显示,动脉与静脉吻合通畅率为98%^[33]。1979年开始研制的显微血管吻合器被命名为UNILINK仪器系统,适用于直径0.8~2.0 mm的小血管吻合,由血管直径精确测量尺(测量范围0.6~2.8 mm)、吻合器(环针持器)、环针(聚乙烯环)、特制显微钩和显微镊子(将血管壁固定在环针上)组成^[33]。该系统应用于整形外科的小动脉与小静脉吻合,无需经典的显微血管缝合,缩短了显微血管吻合技术的学习曲线,可以高质量、快速完成小血管吻合。

1998年,Newell等^[34]采用显微血管吻合器完成STA-MCA端端吻合治疗2例烟雾病和1例颈内动脉闭塞患者,选择脑表面直径1.5 mm的M4段作为受体动脉,切断M4段,采用直径1.5 mm的环针将颞浅动脉额支和顶支分别与切断的M4段近端和远端端端吻合,每次吻合在15分钟内完成,术后脑血管造影证实两个端端吻合口通畅。2002年,他们采用显微血管吻合器治疗2例大脑中动脉解离性动脉瘤患

者,其中1例为未破裂右侧M2段下干解离性大动脉瘤,另1例为破裂右侧M3段解离性血栓性大动脉瘤,旷置并切除动脉瘤后,采用直径2 mm的环针完成再吻合术(动脉瘤近端和远端与大脑中动脉端端吻合),2例患者吻合时间为10和15分钟,分别于术后8和7个月随访脑血管造影证实吻合口通畅^[35]。因此强调,采用显微血管吻合器行再吻合术时,应选择大脑中动脉有冗余的病例,切割到正常大脑中动脉,选择与大脑中动脉直径匹配的环针,目前的显微血管吻合器仅适用于脑表面或侧裂内操作^[35]。

七、脑血管重建术治疗复杂颅内动脉瘤的疗效

脑血管重建术是治疗复杂颅内动脉瘤的重要外科技术之一。外科医师倾向把脑血管重建术作为复杂颅内动脉瘤(含术后复发动脉瘤)的最终根治方案。脑血管重建术的长期疗效和不同重建方式的疗效差异是外科医师的关注重点。

1990年,Ausman等^[36]回顾1979~1987年治疗的62例前循环巨大型动脉瘤,包括16例颈内动脉巨大型动脉瘤累及海绵窦,其中10例行颅外-颅内血管搭桥术(9例STA-MCA搭桥术、1例ECA-GSV-MCA搭桥术),术后7~10天采用Selverstone阻断夹逐渐阻断颈部颈内动脉,均预后良好;6例行STA-MCA搭桥术,术后即刻结扎颈部颈内动脉,3例预后良好,2例重残、1例死亡,表明第一代脑血管重建术给脑组织提供的血流量较低,不能马上替代颈内动脉血供,如果术中直接结扎颈内动脉,可能导致患者预后不良。该项研究还包括46例硬膜内动脉瘤,有15例行脑血管重建术,其中11例采用第一代和第二代脑血管重建术[STA-MCA搭桥术治疗颈内动脉眼动脉段动脉瘤3例(2例预后良好、1例死亡),颈内动脉分叉部动脉瘤1例(重残),以及大脑中动脉动脉瘤5例(预后良好)];移植大隐静脉治疗大脑中动脉动脉瘤2例(预后良好)];5例采用第三代脑血管重建术[大脑中动脉再吻合术2例(预后良好),大脑中动脉再植术1例(预后良好),大脑前动脉再吻合术1例(预后良好),大脑前动脉再植术1例(预后良好)];其中1例采用两种重建方式,即STA-MCA搭桥术(第一代)和MCA-MCA端端吻合(第三代),表明采用第一代脑血管重建术治疗颈内动脉颅内段和海绵窦段巨大型动脉瘤的疗效相同,如果术中直接结扎或夹闭颈内动脉,5/10例患者预后不良;采用第三代脑血管重建术(再植术和再吻合术)治疗的大脑中动脉或大脑前动脉巨大型动脉瘤的疗效理

想^[36]。他们总结发现,显微外科手术治疗需行脑血管重建术和无需行脑血管重建术的前循环巨大动脉瘤的疗效相似,83.87%(52/62)患者预后良好,死亡率为4.84%(3/62)^[36]。

2012年, Sekhar 教授团队回顾 2005–2009 年采用脑血管重建术治疗 80 例患者[69 例动脉瘤(76 例次脑血管搭桥术)和 11 例肿瘤(12 例次脑血管搭桥术)], 脑血管重建术 88 例次, 其中第一代 10 例次(STA-MCA 搭桥术 7 例次、OA-PICA 搭桥术 3 例次), 第二代 49 例次(移植桡动脉 38 例次、大隐静脉 10 例次、胫前动脉 1 例次), 第三代 29 例次(长段间置吻合 3 例次、短段间置吻合 6 例次、局部重建 20 例次), 术后平均随访 32 个月(1~53 个月), 8/9 例第一代脑血管重建术血管通畅; 91.67%(44/48) 第二代脑血管重建术通畅[包括通畅和部分通畅(狭窄)], 38 例完全通畅, 6 例狭窄, 4 例桥血管闭塞患者无脑缺血表现, 表明脑血管搭桥术的适应证扩大, 6 例狭窄患者中 3 例出现脑缺血表现, 说明这部分搭桥的适应证是正确的, 但因技术原因或桥血管在术后 8 个月随访期间出现狭窄, 导致脑缺血, 提示术者需努力保证桥血管的长期通畅性; 100%(20/20) 未间置桥血管的局部第三代脑血管重建术通畅, 5/6 例次短段间置第三代脑血管重建术通畅(间置桥血管长度 ≤ 2.5 cm 定义为短段间置), 3 例次长段间置(> 2.5 cm 定义为长段间置)第三代脑血管重建术后 3 个月(1.6~6 个月)均闭塞^[37]。因此他们认为, 长段间置第三代脑血管重建术和第二代脑血管重建术的长期通畅率差异的主要原因包括颅内动脉的平均血流量低, 桥血管两端的压强差低于第二代脑血管重建术, 当桥血管直径较大(桡动脉、大隐静脉)且较长(> 2.5 cm)时, 不利于长段间置第三代脑血管重建术的长期通畅; 局部第三代脑血管重建术(原位吻合术、再植术、再吻合术)的长期通畅率明显高于其他类型脑血管重建术, 是理想的脑血管重建术^[37]。

八、脑血管重建技术的趋势与展望

2022 年, Lawton 教授团队回顾 1997–2021 年颅内-颅内脑血管重建术, 并将其中较为复杂的 44 例脑血管重建术命名为第四代脑血管重建术(4A 型和 4B 型)^[38], 但是由于分类方法繁复, 而且未出现颠覆性技术革新, 因此第四代脑血管重建术的定义仍未得到广泛认可。

脑血管重建技术的可能迭代方向包括: 由目前的半定量重建术发展为可监测和调节桥管血流

量的脑血管重建技术; 直径 < 0.5 mm 的动脉穿支重建技术; 免缝合的脑血管重建技术等。颠覆性技术突破将有可能高质量地重建所有可以观察到的脑血管。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Rich NM. Vascular trauma historical notes [J]. *Perspect Vasc Surg Endovasc Ther*, 2011, 23:7-12.
- [2] Starzl TE, Porter KA, Francavilla A. The Eck fistula in animals and humans [J]. *Curr Probl Surg*, 1983, 20:687-752.
- [3] Soldozy S, Costello JS, Norat P, Sokolowski JD, Soldozy K, Park MS, Tvrdik P, Kalani MYS. Extracranial-intracranial bypass approach to cerebral revascularization: a historical perspective [J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 46:E2.
- [4] Rickard RF, Hudson DA. A history of vascular and microvascular surgery [J]. *Ann Plast Surg*, 2014, 73:465-472.
- [5] Nylen CO. The microscope in aural surgery, its first use and later development [J]. *Acta Otolaryngol Suppl*, 1954, 116:226-240.
- [6] Bulsara KR, Sukhla S, Nimjee SM. History of bipolar coagulation [J]. *Neurosurg Rev*, 2006, 29:93-96.
- [7] Jacobsen JH, Suarez EL. Microsurgery in anastomosis of small vessels [J]. *Surg Form*, 1960, 11:243-245.
- [8] Yaşargil MG. Editorial: personal considerations on the history of microneurosurgery [J]. *J Neurosurg*, 2010, 112:1347.
- [9] Vilela MD, Newell DW. Superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass: past, present, and future [J]. *Neurosurg Focus*, 2008, 24:E2.
- [10] Hayden MG, Lee M, Guzman R, Steinberg GK. The evolution of cerebral revascularization surgery [J]. *Neurosurg Focus*, 2009, 26:E17.
- [11] Zang RH, Liu WY, Wu J, Guo HR, Wang WJ. Extracranial-intracranial anastomosis for treatment of occlusive cerebrovascular diseases [J]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 1978, 16:19-21. [臧人和, 刘文耀, 武健, 郭怀荣, 汪无级. 颅外-颅内动脉吻合术治疗闭塞性脑血管病 [J]. *中华外科杂志*, 1978, 16:19-21.]
- [12] Loughheed WM, Marshall BM, Hunter M, Michel ER, Sandwith-Smyth H. Common carotid to intracranial internal carotid bypass venous graft: technical note [J]. *J Neurosurg*, 1971, 34:114-118.
- [13] Ausman JI, Nicoloff DM, Chou SN. Posterior fossa revascularization: anastomosis of vertebral artery to PICA with interposed radial artery graft [J]. *Surg Neurol*, 1978, 9:281-286.
- [14] Ausman JI, Lee MC, Chater N, Latchaw RE. Superficial temporal artery to superior cerebellar artery anastomosis for distal basilar artery stenosis [J]. *Surg Neurol*, 1979, 12:277-282.
- [15] Ausman JI, Diaz FG, de los Reyes RA, Pak H, Patel S, Boulos R. Anastomosis of occipital artery to anterior inferior cerebellar artery for vertebrobasilar junction stenosis [J]. *Surg Neurol*, 1981, 16:99-102.
- [16] Sundt TM Jr, Campbell JK, Houser OW. Transpositions and anastomoses between the posterior cerebral and superior cerebellar arteries: report of two cases [J]. *J Neurosurg*, 1981, 55:967-970.
- [17] Sundt TM Jr, Piegras DG, Houser OW, Campbell JK. Interposition saphenous vein grafts for advanced occlusive disease and large aneurysms in the posterior circulation [J]. *J*

- Neurosurg, 1982, 56:205-215.
- [18] Ausman JI, Pearce JE, Vacca DF, Diaz FG, Shrontz CE, Patel S. Tandem bypass. Occipital artery to posterior inferior cerebellar artery side-to-side anastomosis and occipital artery to anterior inferior cerebellar artery end-to-side anastomosis: a case report[J]. Neurosurgery, 1988, 22:919-922.
- [19] Mao Y. The value of extracranial-intracranial bypass in the treatment of complex intracranial aneurysms[J]. Zhongguo Nao Xue Guan Bing Za Zhi, 2006, 3:97-99.[毛颖. 颅内外血管搭桥术在复杂颅内动脉瘤治疗中的价值[J]. 中国脑血管病杂志, 2006, 3:97-99.]
- [20] Li M, Zhang HQ, Jian FZ, Zhang P, Zhi XL, Ling F. Different methods of intracranial-extracranial bypass surgery for the treatment of intracranial aneurysms[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2006, 44:129-132.[李萌, 张鸿祺, 菅凤增, 张鹏, 支兴龙, 凌锋. 不同术式颅内外血管搭桥在颅内动脉瘤治疗中的应用[J]. 中华外科杂志, 2006, 44:129-132.]
- [21] Lawton MT, Hamilton MG, Morcos JJ, Spetzler RF. Revascularization and aneurysm surgery: current techniques, indications, and outcome[J]. Neurosurgery, 1996, 38:83-92.
- [22] Arnone GD, Hage ZA, Charbel FT. Single vessel double anastomosis for flow augmentation: a novel technique for direct extracranial to intracranial bypass surgery[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2019, 17:365-375.
- [23] Tong ZY, Sun HY, Liu Y, Wang G, Zhang JS, Chu JG, Wen ZF, Pan QC, Liang CS. Short-term outcomes of sequential double anastomosis in the treatment of moyamoya disease[J]. Zhonghua Nao Xue Guan Bing Za Zhi (Dian Zi Ban), 2021, 15: 88-94.[佟志勇, 孙怀宇, 刘源, 王刚, 张劲松, 初金刚, 温志锋, 潘起晨, 梁传声. 序贯双吻合技术治疗烟雾病的短期疗效分析[J]. 中华脑血管病杂志(电子版), 2021, 15:88-94.]
- [24] Shi X, Qian H, K C KI, Zhang Y, Zhou Z, Sun Y. Bypass of the maxillary to proximal middle cerebral artery or proximal posterior cerebral artery with radial artery graft[J]. Acta Neurochir (Wien), 2011, 153:1649-1655.
- [25] Abdulrauf SI, Sweeney JM, Mohan YS, Palejwala SK. Short segment internal maxillary artery to middle cerebral artery bypass: a novel technique for extracranial-to-intracranial bypass[J]. Neurosurgery, 2011, 68:804-808.
- [26] 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.]
- [27] Ito Z. A new technique of intracranial interarterial anastomosis between distal anterior cerebral arteries (ACA) for ACA occlusion and its indication[J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 1981, 21:931-939.
- [28] Ausman JI, Diaz FG, Mullan S, Gehring R, Sadasivan B, Dujovny M. Posterior inferior to posterior inferior cerebellar artery anastomosis combined with trapping for vertebral artery aneurysm: case report[J]. J Neurosurg, 1990, 73:462-465.
- [29] Abila AA, Lawton MT. Anterior cerebral artery bypass for complex aneurysms: an experience with intracranial-intracranial reconstruction and review of bypass options[J]. J Neurosurg, 2014, 120:1364-1377.
- [30] Abila 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.
- [31] Langer DJ, Vajkoczy P. ELANA: Excimer Laser-Assisted Nonocclusive Anastomosis for extracranial-to-intracranial and intracranial-to-intracranial bypass. A review[J]. Skull Base, 2005, 15:191-205.
- [32] Streefkerk HJ, Van der Zwan A, Verdaasdonk RM, Beck HJ, Tulleken CA. Cerebral revascularization[J]. Adv Tech Stand Neurosurg, 2003, 28:145-225.
- [33] Ostrup LT, Berggren A. The UNILINK instrument system for fast and safe microvascular anastomosis[J]. Ann Plast Surg, 1986, 17:521-525.
- [34] Newell DW, Dailey AT, Skirboll SL. Intracranial vascular anastomosis using the microanastomotic system: technical note[J]. J Neurosurg, 1998, 89:676-681.
- [35] Newell DW, Schuster JM, Avellino AM. Intracranial-to-intracranial vascular anastomosis created using a microanastomotic device for the treatment of distal middle cerebral artery aneurysms: technical note[J]. J Neurosurg, 2002, 97:486-491.
- [36] Ausman JI, Diaz FG, Sadasivan B, Gonzeles-Portillo M Jr, Malik GM, Deopujari CE. Giant intracranial aneurysm surgery: the role of microvascular reconstruction[J]. Surg Neurol, 1990, 34:8-15.
- [37] 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.
- [38] 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: 2024-08-01)

(本文编辑: 袁云)

下期内容预告 本刊2024年第9期报道专题为儿童肿瘤,重点内容包括:儿童胶质瘤的新认识;儿童垂体腺瘤研究进展;儿童颅咽管瘤研究进展;儿童颅内生殖细胞肿瘤研究进展;儿童低级别胶质瘤化疗进展;儿童后颅窝肿瘤术后小脑性缄默研究进展;儿童脊柱脊髓肿瘤研究进展;儿童后颅窝常见肿瘤的鉴别诊断;基于危险分层的髓母细胞瘤诊断与治疗;三岁以下儿童髓母细胞瘤临床预后随访;弥漫内生型脑桥胶质瘤放疗及靶向治疗单中心研究;尼拉帕利在儿童复发性PFA型室管膜瘤中疗效研究