



电子、语音版

· 论 著 ·

阶梯式显微血管吻合训练方案的可行性研究与文献回顾

张议丹¹, 吴甜甜¹, 王添玉¹, 陈鹏¹, 蔡陆威¹, 黄亚波²

1. 苏州大学苏州医学院, 江苏 苏州 215000

2. 苏州大学附属第一医院神经外科 11 病区, 江苏 苏州 215006

摘要:目的 探讨采用阶梯式显微血管吻合训练方案的训练效果和意义。方法 选取 72 名来自各级医院且尚未进行过血管吻合操作训练的神经外科医生作为研究对象, 分为对照组和实验组, 各 36 人。选取 288 只健康雄性 SD 大鼠。实验组分 3 个阶段在手术显微镜下对大鼠行颈总动脉端端吻合术、颈总动脉端侧吻合术、股动脉-股静脉端侧吻合术训练。对照组分 3 个阶段均行大鼠股动脉-股静脉端侧吻合术的常规训练。两组每阶段每人完成 1 只大鼠。培训结束后两组均进行显微镜下颈总动脉端端吻合术考核, 完成后检查并统计吻合时间(自放置阻断夹至松开阻断夹)、术后即时血管通畅率、术后 24 h 血管通畅率、术后大鼠存活率, 并且进行分析比较。结果 考核中实验组有效完成实验大鼠 29 只, 平均吻合时间为(45.20±4.79)min, 术后即时血管通畅率为 86.2%(25/29), 术后 24 h 血管通畅率为 82.8%(24/29), 术后存活率为 86.2%(25/29)。对照组有效完成实验大鼠 30 只, 平均吻合时间为(42.60±4.26)min, 术后即时血管通畅率为 63.3%(19/30), 术后 24 h 血管通畅率为 56.7%(17/30), 术后存活率为 60.0%(18/30)。两组间平均血管吻合时间、术后即时和 24 h 通畅率、术后存活率的差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。结论 “阶梯式显微血管吻合技术训练方法”从简单过渡到复杂、贴合临床工作实际要求, 可以使受训者逐步掌握各种血管吻合技术、有效提升学员的技术水平, 使其更接近临床水准。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2024, 51(2): 48–53]

关键词:显微神经外科; 显微血管吻合; 训练

中图分类号: R651

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2024.02.008

The stepped training program of microvascular anastomosis: Feasibility research and literature review

ZHANG Yidan¹, WU Tiantian¹, WANG Tianyu¹, CHEN Peng¹, CAI Luwei¹, HUANG Yabo²

1. Suzhou Medical College of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215000, China

2. Inpatient Area 11, Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China

Corresponding author: HUANG Yabo Email: sdfyhyb@126.com

Abstract: **Objective** To investigate the effectiveness and significance of the stepped training program of microvascular anastomosis. **Methods** A total of 72 neurosurgeons who came from the hospitals at different levels and did not undergo the training of vascular anastomosis were selected and divided into control group and experimental group, with 36 neurosurgeons in each group, and a total of 288 healthy male Sprague-Dawley rats were selected. The neurosurgeons in the experimental group received the training in three stages, i.e., end-to-end common carotid artery anastomosis, end-to-side common carotid artery anastomosis, and end-to-side femoral vein-femoral artery anastomosis under the operating microscope, while those in the control group received the conventional training of end-to-side femoral artery-vein anastomosis in all three stages. Each individual completed the surgery for one rat in each stage. After the training, the

基金项目: 苏州大学第二十五批大学生课外学术科研基金(KY2023107A)。

收稿日期: 2023-11-12; 修回日期: 2024-04-15

作者简介: 张议丹(2002—), 女, 医学本科在读, 主要从事临床医学学习, Email: 13851291675@139.com。

通信作者: 黄亚波(1975—), 男, 医学博士, 主任医师, 主要从事脑血管基础和临床研究, Email: sdfyhyb@126.com。

neurosurgeons in both groups underwent microscopic assessment of end-to-end common carotid artery anastomosis, and the two groups were examined and compared in terms of the time of vascular anastomosis (from the placement of the clip to the release of the clip), vascular patency rate immediately after surgery, vascular patency rate at 24 hours after surgery, and the postoperative survival rate of rats. **Results** In the experimental group, the surgery was effectively completed for 29 rats, with a mean anastomosis time of 45.2 ± 4.79 minutes, a vascular patency rate of 86.2% (25/29) immediately after surgery and 82.8% (24/29) at 24 hours after surgery, and a postoperative survival rate of 86.2% (25/29). In the control group, the surgery was effectively completed for 30 rats, with a mean anastomosis time of 42.6 ± 4.26 minutes, a vascular patency rate of 63.3% (19/30) immediately after surgery and 56.7% (17/30) at 24 hours after surgery, and a postoperative survival rate of 60.0% (18/30). There were significant differences between the two groups in the mean time of vascular anastomosis, vascular patency rate immediately after surgery and at 24 hours after surgery, and postoperative survival rate (all $P < 0.05$). **Conclusion** Literature review shows that existing anastomosis training programs fail to achieve satisfactory training results. The stepped training program of microvascular anastomosis, from simple to complex, can better meet the actual requirements of clinical work, helping trainees to gradually master various vascular anastomosis techniques and effectively improving their technical abilities. Long-term training is still needed to help trainees become truly qualified for clinical work. [Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2024, 51(2): 48–53]

Keywords: microscopic neurosurgery; microvascular anastomosis; training

脑血管搭桥术普遍应用于烟雾病等缺血性脑血管病、复杂动脉瘤及侵犯颅内血管的复杂颅底肿瘤等疾病的手术治疗中^[1-2],显微血管吻合技术是脑血管搭桥术的关键技术。国内外文献报道大鼠颈动脉端端吻合训练对初学者而言最简单、有效,因此也是最常用的训练方法^[3]。然而临床疾病存在其复杂性,烟雾病患者大脑中动脉M4段具有“血管纤细、血管壁菲薄”的病理性特点,使得血管吻合操作非常困难。很多经过常规训练方法训练的医生仍然难以达到临床所需的操作水准,目前仍亟需能够模拟临床实际的实验室训练方案。我们团队长期从事烟雾病的手术治疗,具有丰富的实践和教学经验。我们总结大量的临床实践经验,推出了阶梯式显微血管吻合训练方案,并对临床神经外科医生进行培训,取得了满意效果,报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取来自全国不同地区各级医院中尚未进行过血管吻合操作训练的神经外科医生72名作为研究对象。其中,男67名,女5名;平均年龄(33.1 ± 3.8)岁;平均从医年限(10.5 ± 3.7)年;技术职称为主治医师(53人,占73.6%)、副主任医师(12人,占16.7%)、住院医师(5人,占6.9%)、主任医师(2人,占2.8%)。根据从医年限和技术职称,随机分配至对照组和实验组(每组36人),均进行3个阶段训练,间隔1周,每个阶段每位医生完成1只大鼠。对照组只进行常规血管吻合训练大鼠(即大鼠颈动脉端端吻合训练),实验组则进行阶梯式显微血管吻合技术训练(即大鼠颈总动脉端端吻合阶段训练、颈总动脉端侧吻合阶段训练、大鼠股静脉-股动脉端侧吻合阶段训练)。在

进行动物显微血管吻合训练前,每位学员均接受1周的纱布、胶皮、树叶缝合基础性的系统训练。均在苏州大学附属第一医院神经外科苏州蛇牌学院显微技术培训基地进行培训。阶段训练结束后2 d,每位医生均行大鼠颈动脉端端吻合,作为培训考核。

准备纱布、胶皮、树叶若干。同时选取成年健康雄性SD大鼠288只(苏州大学动物试验中心),体重220~250 g,均有健康证明及检疫合格证明,实验方案经苏州大学实验动物伦理委员会批准。

1.2 方法

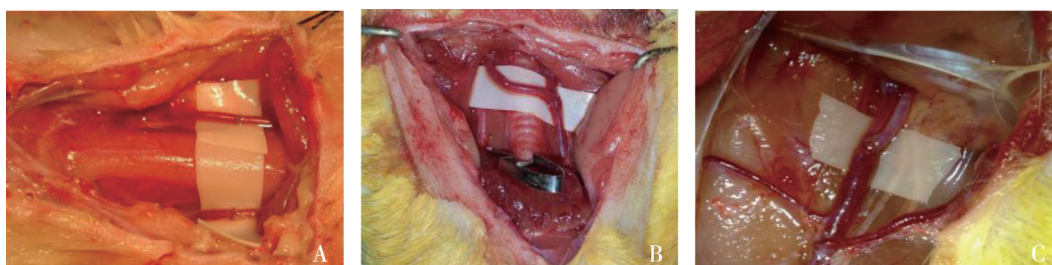
1.2.1 大鼠麻醉 2%戊巴比妥溶液(20~40 mg/kg),腹腔内注射麻醉。注意一定要将麻药注入腹腔,注入皮下会影响麻醉效果,加大剂量会导致动物死亡。一般1.5 h后可酌情再次给予2~3 mL腹腔注射。

1.2.2 抗凝液的配制和术中止血 使用2%标准肝素钠盐水冲洗供体和受体血管管腔。手术操作轻柔,防止损伤血管内皮。一般不使用抗血管痉挛的药物,可以用1%利多卡因术中冲洗。术中止血时,小的血管分支可采用线扎后切断,尽量避免使用电凝。吻合口渗血时,可用棉花球或吸收性明胶海绵轻轻压迫止血;出血量较大时需要重新加针缝合。

1.2.3 阶梯式血管吻合训练 实验组每阶段每人完成1只大鼠。第一阶段颈总动脉端端吻合(end-to-end anastomosis of the carotid artery, ECEA)。大鼠颈总动脉直径1.5~2.0 mm,接近人的颞浅动脉。技术要点:血管外膜必须剥除干净,同时避免损伤血管内壁,减少血栓形成;吻合口在镜下显示平整,针距齐,每一针都清晰可见(见图1A);开始时手腕可以放在手术台面上支撑,后期

应该做到手腕关节以下悬空进行缝合,提高学员手的稳定性。第二阶段颈总动脉端侧吻合(end-to-side anastomosis of the carotid artery, ESCA)。将一侧的颈动脉切断后,结扎远心端,将近心端与对侧颈动脉行端侧吻合。技术要点:颈动脉切断侧的近心端血管必须游离得足够长;断端可以剪成鱼口状扩大吻合口(见图1B);对大鼠采用连续缝合、间断剪线、最后分别间断打结的“LOOP”技术进行训练,以缩短吻合时间。第三阶段为大鼠股静脉-股动脉端侧吻合(end-to-side anastomosis

of the femoral vein to the femoral artery, E/S FVFA)。将股动脉近心端与股静脉的长轴一侧切口缝合。由于股静脉的血管壁非常薄,最接近烟雾病患者大脑中动脉M4段的病理特点,分离吻合也更为困难,因此本研究选择了这一血管作为第三阶段训练的对象,以便更好地模拟临床实际。技术要点:由于股动脉小于1 mm,其作为供血血管时,需将动脉断端剪开扩大至其管径的2倍,吻合动作轻柔,避免撕脱血管壁,吻合成功后可以见到动脉血将整个下肢静脉全部充盈,静脉会有血管搏动感(见图1C)。



A:大鼠颈总动脉端端吻合; B:大鼠颈总动脉端侧吻合; C:大鼠股动脉-股静脉端侧吻合。

图1 阶梯式显微血管吻合训练方案

1.2.4 常规训练 大鼠颈动脉端端吻合训练是现有吻合训练方法中常用的一种,故作为常规训练。对照组每阶段每人完成1只大鼠,进行3阶段训练,每阶段均行大鼠颈动脉端端吻合训练,技术要点同上。

1.2.5 考核 结束3阶段训练后2 d,两组均进行显微镜下大鼠颈动脉端端吻合术考核,每人完成1只大鼠。完成后检查并统计吻合时间(自放置阻断夹至松开阻断夹)、术后即时血管通畅率、术后24 h血管通畅率、术后大鼠存活率,并且进行分析比较。

1.2.6 评价方法 使用吻合时间、术后即时血管通畅率、术后24 h血管通畅率和术后24 h大鼠存活率作为评价指标。吻合时间是从放置阻断夹至松开阻断夹的时间。血管通畅定义为吻合后动脉内可见血液流动,吻合口远端有动脉搏动,采用“血管双阻断实验法”检验其通畅性:如管腔充盈迅速,则吻合口通畅;如管腔充盈缓慢,则吻合口狭窄;如管腔不能充盈,则吻合口闭塞^[4]。本实验将吻合口狭窄及闭塞均定为不通畅。

1.3 统计学方法

应用SAS 9.4软件进行统计分析。计量资料用均数±

标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数(四分位数间距)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示,两组均数间比较采用 t 或 U 检验;计数资料以率(%)描述,比较采用 χ^2 检验。所有数据均进行了正态性和方差齐性检验,对于非正态分布的数据采用Mann-Whitney非参数检验;以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

实验组在训练第一阶段、第二阶段、第三阶段分别有效完成实验大鼠19、16和14只,对照组在3个阶段分别有效完成实验大鼠20、24和27只。两组第一阶段均行大鼠颈动脉端端吻合训练,两组间平均血管吻合时间、术后即时通畅率、24 h通畅率、术后存活率比较,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。两组第二阶段和第三阶段的平均吻合时间比较,差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),实验组长于对照组。见表1。

3个阶段培训后对两组学员分别进行考核。考核结果为实验组有效完成实验大鼠29只,对照组有效完成实验大鼠30只,其余培训指标情况见表2。实验组与对照组相比,平均血管吻合时间、术后即时和24 h通畅率、术后存活率的差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。见表2。

表1 两组培训情况

阶段序列	实验组别	评估指标			
		平均血管吻合时间/(min, $\bar{x}\pm s/M(P_{25},P_{75})$)	即时血管通畅率/%	24 h 血管通畅率/%	术后存活率/%
第一阶段(ECEA)	对照组	51.40 \pm 3.42	45.0	35.0	40.0
	实验组	51.30 \pm 4.63	47.4	36.8	42.1
t/χ^2 值		0.037	0.022	0.905	0.894
P值		0.970	0.882	0.014	0.018
第二阶段(ESCA)	对照组	45.70 \pm 4.32	54.2	45.8	45.8
	实验组	63.50 \pm 3.49	43.8	31.3	37.5
t/χ^2 值		13.400	0.417	0.851	0.273
P值		0.000	0.519	0.356	0.606
第三阶段(E/S FVFA)	对照组	45.60 (39.60,48.20)	63.0	55.6	59.3
	实验组	61.55 (45.40,70.10)	42.9	28.6	28.6
U/χ^2 值		90.500	1.513	2.700	3.475
P值		0.000	0.219	0.101	0.062

表2 两组考核成绩情况

实验组别	评估指标			
	平均血管吻合时间/(min, $\bar{x}\pm s$)	即时血管通畅率/%	24 h 血管通畅率/%	术后存活率/%
对照组	42.60 \pm 4.26	63.3	56.7	60.0
实验组	45.20 \pm 4.79	86.2	82.8	86.2
t/χ^2 值		2.171	4.069	4.735
P值		0.034	0.044	0.030

3 讨论

由于血管内介入治疗动脉瘤技术和放射外科治疗颅内肿瘤技术的发展,颅内血管搭桥术的整体应用量在下降,但是对于某些特定的疾病,它仍然是一项精妙且不可或缺的手术,在国内外亚专业化神经外科中心仍然在

广泛开展^[5-7]。因此,显微血管吻合技术仍是每个神经外科医师都必须掌握的核心技能。

目前文献中报道的国内外血管吻合训练多数采用5种材料:合成材料、活体动物、计算机模拟器、动物尸体、人体标本。纱布、胶皮、硅胶管等人工合成材料多作为基础性的练习材料,可以使学员初步掌握显微操作的基本原理(如适应镜下操作的立体视觉、练习夹持持针器的力度和角度等)。鸡翅、胎盘等准血管静态物体可以部分模拟真实人类血管,可用于进行深入的显微血管吻合技术训练。大鼠活体训练对学员的操作基础有一定要求,一般是选择大鼠颈动脉端端吻合作为培训术式。这些训练方式虽然各有优势,但都存在明显的不足。而且绝大多数训练都只停留在单一阶段,缺乏循序渐进的培训方案。见表3。

表3 国内外血管吻合训练对比

文献来源	实验材料	训练方法	优点	缺点
Lizana, Jafeth, et al. ^[8]	硅管、水凝胶管	第一阶段:2 mm 硅管行端侧吻合第二阶段:1 mm 聚乙烯醇水凝胶管,行端侧吻合	实用经济 模型易于建立 便于反复实践	不能很好地模拟血管的真实情况
胡业帅,钱海,等. ^[16]	SD大鼠	麻醉大鼠,行颈总动脉端端吻合	解剖简单 直径与人脑血管类似	操作基础,难以满足临床需求
Tayebi Meybodi, Ali, et al. ^[9]	SD大鼠	麻醉大鼠,行颈总动脉侧侧吻合	相较于端端吻合,可以有更足够的空间来完成吻合	对初学者难度过高 伦理问题 步骤繁复
Malas, Tarek, et al. ^[10]	程序训练器	第一阶段:学习血管吻合的理论第二阶段:在程序训练器上独立进行吻合	安全方便 为学员创造低压力环境	价格昂贵 无法完全模拟真实解剖
Kondo, A, et al. ^[11]	鸡翅	解剖暴露鸡翅的尺动脉,切开行端到端吻合	非生物模型容易获得 价格低廉 结构与人类血管较为相似	缺乏连续灌注,无法真实模拟手术环境
Ceccato, Guilherme H W, et al. ^[12]	人类胎盘	第一阶段:在两个相邻的胎盘中练习吻合术 第二阶段:将胎盘置入3D打印的颅骨模型中,模拟翼点开颅术,进行吻合训练。	人胎盘与脑血管的具有相似性,可以很好地模拟手术环境	模型缺乏神经解剖学的保真度 实施难度较高,不易于普及

同时,结合本研究团队长期的临床经验,笔者也发现经过普通培训的医生很难完成烟雾病患者的血管吻合。这主要是因为烟雾病患者(行STA-MCA搭桥术治疗)大脑中动脉M4段特殊的病理性特点(血管壁平滑肌细胞增生导致内膜纤维细胞增厚,中膜明显变薄且无动脉粥样斑块,弹性板碎裂,血管壁纤维蛋白沉积)^[13]。这些病理性特点导致在手术显微镜下发现与正常的M4动脉血管壁相比,烟雾病的受体血管管壁菲薄且脆弱,吻合难度非常高。因此,要想将神经外科医师的血管吻合技术提高至符合临床需求的水准,仍亟需能够模拟临床实际的实验室训练方案。

鉴于SD大鼠颈总动脉的直径约为1~2 mm,接近于人类颞浅动脉-大脑中动脉(STA-MCA)搭桥术中吻合血管的直径,不仅能很好地模拟人类正常血管血流动力学变化及血凝生理学功能,还能实时模拟吻合术后的血管狭窄、血栓形成、血管闭塞等病理情况,是目前较为理想的训练材料^[14-16],笔者也预备选用SD大鼠作为实验动物。

在合适的动物训练模型下,结合本团队以往在烟雾病手术治疗方面的丰富经验,笔者推出了阶梯式显微血管吻合训练方案,分3个阶段进行训练,循序渐进、由易到难、贴合临床。第一阶段培训血管端端吻合,使学员可以体会活体血管的质地,熟悉并逐步掌握缝合的方式和技巧,学会如何防止损伤血管内膜、减少吻合后血管狭窄和闭塞的发生率。然后再进入到第二阶段血管端侧吻合的训练,学员掌握如何在受体血管上开口以确保供体和受体血管吻合口的直径匹配,以及训练间断缝合和连续缝合。第三阶段,笔者以STA-MCA搭桥术的核心技术——血管的端侧吻合为灵感,首创采用大鼠股静脉来模拟烟雾病的受体血管,股动脉作为供体血管,行端侧吻合。STA-MCA搭桥术作为一种直接血运重建手术,在治疗烟雾病中作用已经被国内外大量文献证实^[17-19]。吻合成功后,可见股静脉怒张搏动明显。由于静脉壁缺乏肌层,壁薄且脆弱,缝合难度大,需要学员反复训练。

阶梯式训练方法循序渐进、从易到难、由浅入深,便于学员理解和接受。在3个阶段分别依次进行颈总动脉端端吻合、颈总动脉端侧吻合、颈动静脉端侧吻合训练,更能模拟临床手术实际情况。通过阶梯式训练方法的长期训练,可以使学员逐步掌握微小血管的各种吻合方法,对缩短吻合时间、提高吻合口长期的通畅率都有一定的益处。即使将来不开展搭桥术,对于青年医生的显微外科技术的培养也大有裨益。

本实验结果显示,培训第一阶段两组平均血管吻合时间、术后即时和24 h通畅率、术后存活率均无明显差异,因此认为两组学员的培训前的操作水平是一致。分别比较第二阶段和第三阶段两组的平均吻合时间,实验

组平均吻合时间更长,认为是由于颈总动脉端侧吻合操作和股静脉-股动脉端侧吻合操作较对照组常规训练难度更高,完成所需时间更长;对照组由于熟练度上升,完成所需时间变短。其余指标由于两组训练内容不同、影响因素过多,因此不进行比较。

而在最后的考核中,使用“阶梯式显微血管吻合技术训练方法”进行培训的实验组学员术后即时和24 h通畅率、术后存活率指标均远远高出使用常规训练方法进行培训的对照组学员。虽然实验组学员平均吻合时间略高于长,但这可能是因为该组学员在培训阶段仅有一次进行端端吻合术的训练,因此对端端吻合术的熟练度低于对照组。以上结果提示,相较于传统单一的大鼠颈动脉端端吻合训练,笔者的“阶梯式显微血管吻合技术训练方法”更能有效地提高训练效果,满足临床技术要求。

综上所述,“阶梯式显微血管吻合技术训练方法”可以有效提升学员的技术水平,使之更贴近临床技术要求,但需要经过长期的刻苦训练^[20],最大程度地模拟真实手术操作,才能胜任临床工作的需要。

参 考 文 献

- [1] RAPER DMS, RUTLEDGE WC, WINKLER EA, et al. Controversies and advances in adult intracranial bypass surgery in 2020[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2020, 20(1): 1-7.
- [2] SEKHAR LN, NATARAJAN SK, ELLENBOGEN RG, et al. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms, and cranial base tumors[J]. Neurosurgery, 2008, 62(6): SHC1373-SHC1410.
- [3] TAYEBI MEYBODI A, AKLINSKI J, GANDHI S, et al. Technical nuances of exposing rat common carotid arteries for practicing microsurgical anastomosis[J]. World Neurosurg, 2018, 115: e305-e311.
- [4] 胡业帅, 钱海, 刘方军, 等. 采用大鼠颈动脉进行显微血管吻合技术训练的可行性研究[J]. 临床神经外科杂志, 2020, 17(2): 188-191.
- [5] NGUYEN VN, PARIKH KA, MOTIWALA M, et al. Surgical techniques and indications for treatment of adult moyamoya disease[J]. Front Surg, 2022, 9: 966430.
- [6] STRAUS DC, BRITO DA SILVA H, MCGRATH L, et al. Cerebral revascularization for aneurysms in the flow-diverter era [J]. Neurosurgery, 2017, 80(5): 759-768.
- [7] AMIN-HANJANI S, BARKER FG 2nd, CHARBEL FT, et al. Extracranial-intracranial bypass for stroke-is this the end of the line or a bump in the road[J]. Neurosurgery, 2012, 71(3): 557-561.
- [8] LIZANA J, MONTEMURRO N, ALIAGA N, et al. From textbook to patient: a practical guide to train the end-to-side microvascular anastomosis[J]. Br J Neurosurg, 2023, 37(1): 116-120.
- [9] TAYEBI MEYBODI A, AKLINSKI J, GANDHI S, et al. Side-to-side anastomosis training model using rat common carotid

- arteries[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2019, 16(3): 345-350.
- [10] MALAS T, AL-ATASSI T, BRANDYS T, et al. Impact of visualization on simulation training for vascular anastomosis[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2018, 155(4): 1686-1693.e5.
- [11] KONDO A, UMEZAWA H, FUKUNAGA Y, et al. Supermicrovascular anastomosis training using chicken wings and colored water[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2023, 84: 531-536.
- [12] CECCATO GHW, FOLTRAN RS, FRANKE K, et al. Two-stage pulsatile human placenta model for microvascular anastomosis training in neurosurgery[J]. World Neurosurg, 2023, 179: 185-196.e1.
- [13] IHARA M, YAMAMOTO Y, HATTORI Y, et al. Moyamoya disease: diagnosis and interventions[J]. Lancet Neurol, 2022, 21(8): 747-758.
- [14] SHUREY S, AKELINA Y, LEGAGNEUX J, et al. The rat model in microsurgery education: classical exercises and new horizons [J]. Arch Plast Surg, 2014, 41(3): 201-208.
- [15] TAYEBI MEYBODI A, LAWTON MT, YOUSEF S, et al. Microsurgical bypass training rat model: part 2-anastomosis configurations[J]. World Neurosurg, 2017, 107: 935-943.
- [16] 胡业帅, 钱海, 刘方军, 等. 大鼠CCA端端吻合在神经外科显微技术初学者训练中的价值[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2018, 45(6): 606-608.
- [17] TEO M, ABHINAV K, BELL-STEPHENS TE, et al. Short- and long-term outcomes of moyamoya patients post-revascularization [J]. J Neurosurg, 2023, 138(5): 1374-1384.
- [18] HU JW, WANG YJ, ZHU YH, et al. Preoperative brain functional connectivity improve predictive accuracy of outcomes after revascularization in moyamoya disease[J]. Neurosurgery, 2023, 92(2): 344-352.
- [19] MIYAMOTO S, YOSHIMOTO T, HASHIMOTO N, et al. Effects of extracranial-intracranial bypass for patients with hemorrhagic moyamoya disease: results of the Japan adult moyamoya trial[J]. Stroke, 2014, 45(5): 1415-1421.
- [20] 孔锋, 张智萍, 凌锋, 等. 不同疗程显微血管吻合训练方案的效果[J]. 中国脑血管病杂志, 2015, 12(10): 530-533.

责任编辑:王荣兵