

血管吻合术的临床应用与研究进展

王世忠 张乐汶 李志轩 丁张帆 闫冰 李春洁

口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 口腔疾病国家临床医学研究中心
四川大学华西口腔医院头颈肿瘤外科 成都 610041

[摘要] 血管吻合术在口腔颌面外科、整复外科以及心血管外科等领域应用广泛。传统血管吻合术操作难度大、时间长，对术者有较高要求。近年来，新型血管吻合技术、内镜下吻合术、显微血管吻合术等技术的快速发展为临床实践提供了更多选择，同时也提高了手术效率，降低了手术风险。这些技术在微小血管吻合、组织器官修复重建以及超显微外科等领域展现出了独特优势。血管吻合新技术不仅为外科医生提供了便利，也满足了各类患者的不同需求，帮助外科医生为患者提供更优质的诊疗。本文从手工缝合技术、血管吻合辅助装置及数字化技术、新型材料吻合技术3个方面总结了血管吻合术的最新进展，旨在帮助外科医生了解血管吻合技术发展动态，为各类术式选择提供参考。

[关键词] 血管吻合；机器人手术；显微外科；血管假体

[中图分类号] R616.2 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026205



本文链接

OSID码

Clinical application and development of vascular anastomosis

Wang Shizhong, Zhang Lewen, Li Zhixuan, Ding Zhangfan, Yan Bing, Li Chunjie

State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Head and Neck Oncology, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Supported by: Sichuan Provincial Natural Science Foundation Youth Fund (2024NSFSC1590); Chengdu Science and Technology Project Technology Innovation Research and Development Project (2024-YF05-00437-SN)

Correspondence: Yan Bing, Email: yanbing_west@163.com

[Abstract] Vascular anastomosis is widely used in oral and maxillofacial surgery, plastic and reconstructive surgery, and cardiovascular surgery. Conventional vascular anastomosis is challenging and time-consuming, hence demanding for surgeons. In recent years, new vascular suture anastomosis techniques, endoscopic anastomosis, and microvascular anastomosis have provided additional choices for clinical practice, improved the efficiency of the operation, and reduced the risk of the operation. These methods have demonstrated unique advantages in microvascular anastomosis, organ reconstruction, and ultra-microsurgery. These advances not only provide increased convenience for surgeons but also meet the needs of different types of patients for enhanced therapeutic outcomes. In this review, the recent advances in the techniques of vascular anastomosis are summarized from three aspects: manual suture techniques, vascular anastomosis assistive devices and digital technology, and anastomosis based on biomaterials. This review aims to help surgeons understand the development trends of vascular anastomosis technology and provide references for the selection of surgical procedures.

[Key words] vascular anastomosis; robotic surgical; microsurgery; vascular prosthesis

[收稿日期] 2024-12-04; [修回日期] 2025-06-04

[基金项目] 四川省自然科学基金青年基金 (2024NSFSC1590); 成都市科技项目技术创新研发项目 (2024-YF05-00437-SN)

[作者简介] 王世忠, 学士, Email: 2021151640178@stu.scu.edu.cn

[通信作者] 闫冰, 副主任医师, 博士, Email: yanbing_west@163.com

血管吻合术自19世纪末发展以来, 取得了长足的进步。早期由于技术和材料的限制, 修复血管损伤的手术风险高且成功率低。随着无菌技术和手术显微镜的引入, 特别是在20世纪初至中叶, 血管吻合术水平得到了显著提升。20世纪后半叶

至21世纪初,微创技术和显微外科技术的发展极大提高了血管吻合术的精度和安全性,扩大了其应用范围。近年来,数字化和机器人技术的应用更是为血管吻合术开辟了新领域,不仅提高了操作精度,同时降低了并发症的风险^[1]。血管吻合术在心血管外科、器官移植、创伤修复、肿瘤切除与重建等多个领域中发挥着关键作用。目前,血管吻合术仍面临血管损伤、血栓形成与术后通畅率不高等挑战。为此,一些新兴的血管吻合术正逐步涌现,包括内镜下吻合术、显微血管吻合术、磁性血管吻合术、激光血管吻合术、血管耦合器/吻合器/夹子吻合术以及自动吻合机器人辅助技术等,这些技术的诞生,提高了手术的精度、效率和安全性,同时也减少了对患者的创伤,为复杂的血管状况提供了更多解决方案。近年来,血管吻合术正朝着微创智能的机器人辅助技术迅速发展,同时,生物工程和组织工程等研究成果也为血管吻合与重建提供了更多安全有效的材料选择。这些新进展有望进一步提高血管吻合术成功率,减少并发症,将血管吻合术推向更高的先进水平。

1 手工缝合技术

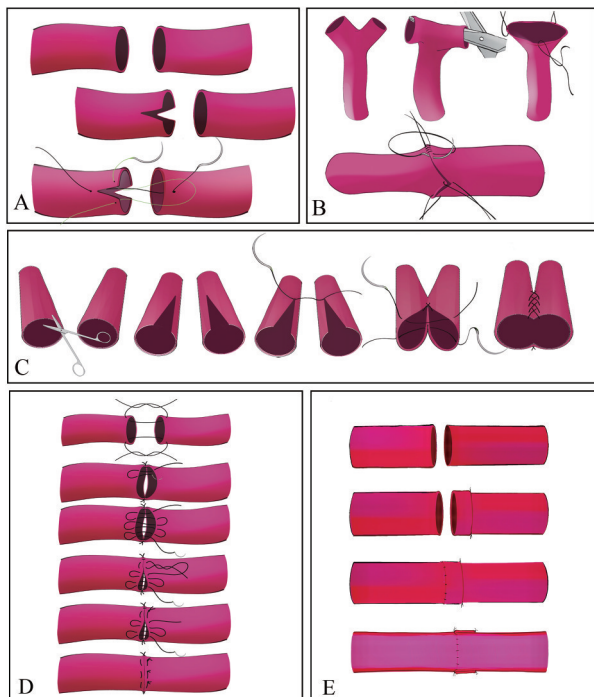
1.1 人工缝合术

人工缝合术作为血管吻合的传统技术,在各类临床实践中广泛应用。该方法通过专用的缝合线和手术工具将两段血管连接起来,以恢复或建立血液循环。术中医生将需要连接的血管端部或侧面精确对齐,逐一缝合以确保血流通畅且无外溢。人工缝合术在心血管外科和器官移植等显微外科领域沿用至今,虽然该技术需要较长的手术时间和较高的技术要求,但仍是目前外科医生首选的吻合方法。因此,在新型血管吻合技术的开发与研究中,人工缝合术常被作为对照组的方法学基准。然而,人工缝合术具有明显的缺点,例如缝针引起的血管壁损伤影响愈合,不可吸收的缝合材料于管腔内可能导致炎症、血小板聚集、内皮损伤和内膜增生等病理状况,最终导致管腔狭窄^[2-3]。除上述传统的血管缝合技术以外,任振虎等^[4]曾提出一种新型吻合方法,并探讨了该方法在口腔癌肿瘤切除与修复临床应用中的有效性和实用性,将其称为“任氏血管吻合术”(图1A)。该方法经过常规的血管外膜剥离和断端修整后,将套端血管两侧对称剪开2~3 mm,第1、2针为套

端剪口顶端与相应套入端全层缝合,第3、4针为套端剪口的缝合。相比传统的三点法或两点法,“任氏血管吻合术”显著缩短了手术时间并具有较高的通畅率^[5-6],该方法尤其适用于管径不匹配的情况。Y-I型血管吻合术也是一种针对管径不匹配时选用的吻合技术(图1B)^[7]。该方法是追踪至Y型血管分岔口处修剪,扩大相应血管管径,使其与较粗血管管径匹配,完成端端吻合^[8]。与该方法有异曲同工之妙的还有II-Y型血管吻合术(图1C),即将2条较细的血管沿着血管长轴的伴行侧剪出一个三角形,然后将这两条伴行血管沿三角形的顶端缝合到开口处,以获得直径更大的融合血管^[9]。除此之外,Kuo等^[10]提出“多U”技术,这是一种新型的微血管吻合技术,其首先在12点钟和6点钟位置缝合2针,然后从12点钟向6点钟方向连续水平褥式缝合,每次预留足够的缝线长度,用于打结,最后用12点钟的线头与血管壁上相邻的U型缝线打结,保留一根线头,继续重复上述操作,直至与6点钟方向打结,对合血管壁,从而保证吻合管壁的外翻,然后以同样的方式缝合对侧(图1D)。该缝合技术适用于不同管径的动静脉吻合,且能够实现良好的内膜接触与外翻。在头颈外科应用方面,Scaglioni等^[11]设计了一种“卷袖”技术,针对于吻合口管壁较薄的血管,其具体方法是将血管全层管壁外翻,并将血管断端边缘缝合固定在管壁,以增加管壁的厚度,形成新的吻合口断端(图1E)。该方法解决了口腔颌面头颈部某些管壁较薄的血管吻合难度大的问题。

缝合线在人工缝合技术中占有重要地位,部分研究也对缝合线进行了探索和改良。张铁慧等^[12]提出,将血管内皮生长因子的缓释微粒负载于缝线中,相较于没有负载血管内皮生长因子缓释微粒的缝线,其降低了缝合后坏死发生率,促进了血管吻合内皮的再生,缩短了吻合口恢复时间。为减少血管吻合缝线对管壁的影响,有研究^[13]利用细胞组装细胞外基质(一种由人类和绵羊正常真皮成纤维细胞培养合成的生物材料)研制出一种带状缝合线,并成功运用于颈动脉的吻合。另一项研究^[14]针对血管缝合术后可能出现的血栓栓塞进行了研究,并提出了一种双向通信缝线,可对血管吻合术后的血栓形成进行远程监控。该缝线中含有聚吡咯(一种导电聚合物),使其具有导电性,而通过导电的性质能捕捉到血管波动的电信号,若出现血栓栓塞,这种电信号就会消

失，从而判断血栓形成。



A: 任氏血管吻合术; B: Y-I型血管吻合术; C: II-Y型血管吻合术; D: “多U”技术; E: “卷袖”技术。

图 1 人工缝合术操作示意图

Fig 1 Operation diagram of manual suturing

1.2 内镜下吻合术

内镜下吻合术是近10年来出现的一种微创显微外科技术，其通过内镜的精确操作来实现血管的修复或连接。该技术主要应用于动脉瘤的修复和血管支架的植入，其最大优势在于无需进行开放性手术，并显著减少了手术创伤和术后不适，同时也大幅缩短了患者的术后恢复期。以主动脉吻合为例，在全身麻醉下，患者取特定的侧卧位，通过脐部引入的维雷斯针来创建腹腔积气，随后插入光学系统以检查套管位置。术中使用二氧化碳进行腹腔充气，并采用腹腔镜工具进行操作。在这一项包含12例患者的病例系列研究^[15]中，采用内镜辅助的手术案例均未出现动脉破裂事件，且术后30 d内无死亡病例。通过血管造影技术评估，该类手术的一期血管通畅率达到了100%，没有转为开放手术的情况发生，平均手术时间为265 min。该技术极大地简化了处理闭塞性疾病时腹腔镜主动脉手术的复杂度，避免了对主动脉的缝合或夹持操作。其另一重要优势在于避免了主动脉假体吻合，降低了手术风险。因此，内镜下吻合术显示出其一定的可行性和较高的安全性^[15]。

1.3 显微血管吻合术

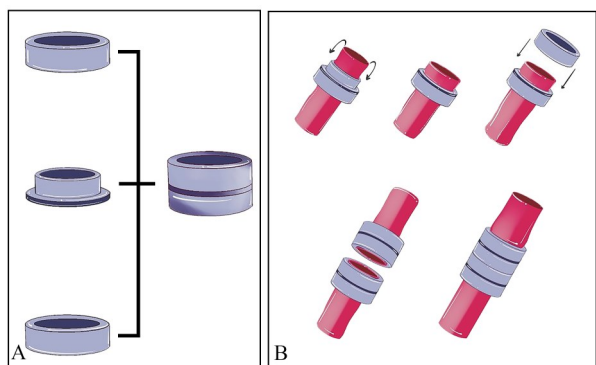
显微血管吻合术是一种用于连接极小血管的精细技术，尤其适用于显微外科及超显微外科操作。此技术的实施需借手术显微镜及微缝合工艺，对外科医生而言，既考验其精湛的手术技艺，也依赖于其丰富的临床经验。显微血管外科的诞生是小血管外科自然演变的结果，其得益于手术显微镜的引入，精细手术器械的应用，以及针线材料的创新研发^[16]。随着各类专业显微外科器械不断更新迭代，显微外科手术已趋于成熟。在专用器械方面，为血管内膜损伤最小化而设计的细尖钳、精准锐利的手术剪、微细的血管扩张器以及多种配置的微型固定器具等，都是显微血管吻合术进步的体现，促进了修复重建外科领域的又一次革新^[17]。此外，由于临床目标的逐步提高，超显微外科应运而生，其是一种针对0.3~0.8 mm口径的血管以及单神经束的精细吻合技术^[18-19]。不同于常规显微外科或普通血管外科，超显微外科专注于更细小血管神经吻合。该技术以及相关专用器械的引入使得更复杂的重建手术成为可能^[20]。为了显微血管吻合术的普及，现已出现多种针对显微血管吻合术的模型供专业人员练习，例如立方体卵系统中雏鸡胚胎训练模型、绒毛膜模型训练模型等^[21-23]。目前，超显微外科技术已成功应用于指尖再植^[24]和淋巴管吻合术^[25-26]等领域，并朝着技术优化、诊断应用以及治疗程序相结合的创新方向快速发展^[27]。

2 血管吻合辅助装置及数字化技术

2.1 磁性血管吻合术

磁性血管吻合术(图2)是通过磁力的作用实现血管的精准连接技术。此方法将微型磁环植入待连接的血管端部，并在手术过程中应用外部磁力设备，使血管的末端或侧面紧密结合，从而构建新的血流路径。有研究^[28]通过动物实验对磁压迫吻合(magnetic compression anastomosis, MCA)与传统的连续间断缝合(continuous interrupted suturing, CIS)进行了比较，结果显示，MCA的吻合时间更短；组织学评价显示，CIS技术处理的吻合口表面凹凸不平，且新生内膜不整齐，血管胶原纤维层出现变形，而MCA处理的血管内部未见异物残留，管腔平滑且无明显纤维蛋白凝块。在一项冠状动脉吻合的临床试验^[29]中，医生对41名

患者采用磁性血管吻合技术, 其成功率为78%, 在这些患者中, 血管整体通畅率达到93.5%; 与传统手工缝合相比, 磁性吻合技术以其快速、简便、可靠和有效的特点, 大幅缩短了手术时间。在一项静脉吻合的动物实验^[28]中, 研究者采用磁吻合环进行门静脉至下腔静脉分流术, 同样显著缩短了手术时间, 并使血管内膜呈现更均匀连续的状态。因此, 磁性血管吻合术为实现快速且高效的血管修复提供了一种具有广阔前景的新选择。



A: 装置结构, 由2个外周的磁环与1个中间的铆钉环构成; B: 磁性血管装置的使用方法与吻合过程。

图 2 磁性血管吻合术

Fig 2 Magnetic vascular anastomosis

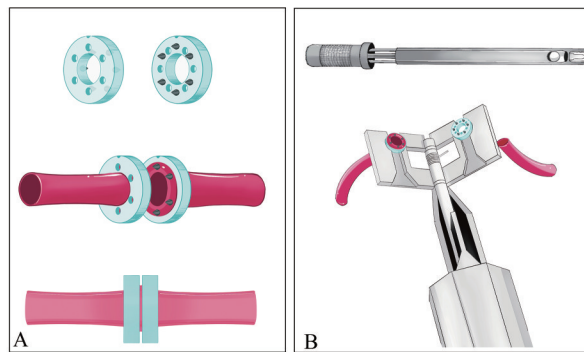
2.2 激光血管吻合术

激光血管吻合术是一种利用激光光束实现血管的连接或修复的先进技术, 其以高精度、快速性和低感染风险的优点, 在心血管外科手术中崭露头角。其特别适用于需要迅速精确完成血管连接的临床情形。截至2021年, 绝大多数关于激光吻合的研究均在动物模型上进行, 仅有少数试验应用于人体。研究^[30]显示, 该技术能够提高的短期(6个月)通畅率, 使得直径小于0.5 mm的微小血管吻合成为可能, 且可获得比传统手工吻合更高的吻合强度。然而, 激光血管吻合术仍存在一些缺点, 包括可能需要额外缝合处理渗漏, 血栓形成风险增加以及较高的动脉瘤发生率等。目前, 已有大量研究针对激光血管吻合术进行了改良和优化, 包括采用支架辅助技术^[31], 通过预加载纵向压缩组织边缘来增强修复强度^[32], 调整激光血管吻合的理想波长, 如1950纳米二极管激光^[33], 以及改进激光辅助仪器来提高吻合质量^[34-35]。这些创新和改进为激光血管吻合术的发展和應用提供了广阔的前景。

2.3 血管耦合器/吻合器/夹子吻合术

血管耦合器/吻合器/夹子吻合术采用外部设备

(图3), 旨在替代传统的手工缝合线, 通过机械或压力方式实现血管两端的连接。这类设备的使用大大简化了血管吻合流程, 摆脱了对人工缝合的依赖。机械型吻合器通过小型针脚或夹子实现血管的连接, 而压力型器械则利用气囊或其他机械装置完成血管的连接, 从而恢复或改善血液流动。相较于传统的人工缝合术, 耦合器等的应用避免了血管内膜的内卷或异物残留, 从而降低了形成血栓的风险^[36]。尽管该技术存在一定的失败率(2%~5%), 原因包括内膜撕裂、边缘外翻不足、内膜瓣狭窄以及管壁固定不均匀导致的血管变形等问题^[37]; 但其优异的吻合性能使得血管吻合术能够应对高达3:1的血管尺寸差异^[38]。在主动脉弓重建过程中, 要实施低体温循环保护脑功能, 而耦合器等的应用能有效缩短低体温循环抑制时间^[39]。因此, 血管耦合器等有效的吻合技术的应用可显著减少脑缺血时间。此外术后6个月的连续随访^[40]结果显示, 吻合处通畅率可达100%。目前, 血管耦合器/吻合器/夹子吻合术广泛应用于心脏大血管手术以及器官移植等领域, 以其快速、精确的特点, 减少了手术时间并降低了发生并发症的风险。值得提出的是, 该技术对血管的多点穿透, 可能会导致内皮下胶原基质暴露, 增加血栓形成的风险。



A: 耦合器装置示意图与操作示意图; B: 使用耦合器的外部装置与操作示意图。

图 3 血管耦合器吻合术

Fig 3 Vascular coupler anastomosis

另外, 该装置在运动或浅表部位的使用可能引起患者术后明显的异物感; 对于动脉粥样硬化的血管壁, 术中其管壁翻转操作的实施可能较为困难^[3,17]。成本效益分析表明, 尽管血管耦合器/吻合器吻合术的初始成本高于传统缝合, 但手术时间的缩短在一定程度上可弥补总费用差异。有研究^[41]显示, 与传统人工缝合相比, 耦合器吻合术

平均可节省234.89美元。

2.4 自动吻合机器人辅助技术

近年来, 机器人辅助技术的快速进步推动了血管吻合领域的创新与发展。这项技术利用机器人系统进行辅助吻合, 可显著提升手术的精确度和操作的灵活性。在实际操作中, 医生通过操控机器人机械臂执行管腔缝合任务, 该技术已经在肠道及泌尿系统手术中取得了广泛的应用, 并且在部分医疗机构的心脏外科手术中进行了尝试。传统的腹腔镜手术面临自由度限制、二维视觉局限以及支点效应等挑战, 而机器人系统则提供了有效的解决方案, 比如引入三维视觉、直观的运动控制和更广阔的操作自由度。多数手术操作者对使用机器人系统完成手术任务表示满意, 特别是在安全性和手术效果上, 并强调机器人系统使得打结和缝合操作更加简便; 研究^[42]显示, 采用七自由度的机器人系统在手术时间、安全性和手术效果等方面通常优于传统腹腔镜手术。此外, 稳定的摄像平台和无颤动的操作器械使得对主要血管周围淋巴结的解剖操作更加容易, 这为机器人辅助技术的安全性提供了有力保障, 绝大多数的机器人辅助手术都无需转换为开放性手术^[43]。尽管机器人辅助血管吻合的时间和经济成本可能高于传统手术^[42-43], 但机器人辅助技术的发展无疑是血管吻合术未来的发展趋势。基于目前临床普遍运用的“Da Vinci”手术系统, 意大利设计的“Symani”手术系统与荷兰设计的“MUSA”手术系统, 在稳定性、操作性、精密度都有所提升, 且与传统的手术显微镜有更好的兼容性, 使得它们在显微外科与修复重建方面表现出更好的适应性^[44-45]。这些研究进展标志着血管吻合术正逐渐迈向机器人辅助的全新时代。

3 新型材料吻合技术

3.1 黏合剂吻合技术

黏合剂吻合技术是通过生物医用黏合剂实现两段血管的精密连接, 恢复血液流动, 同时避免了传统人工缝合可能引起的血管壁扭曲等问题。该技术依赖于黏合剂的黏附性及耐久性, 通过在血管端部应用黏合剂, 黏结血管并形成稳固的血管连接。该技术优势在于缩短手术时间, 降低术中出血的风险, 确保吻合处的均匀性, 并减轻外科医生的操作负担。目前, 临床上常用的黏合剂

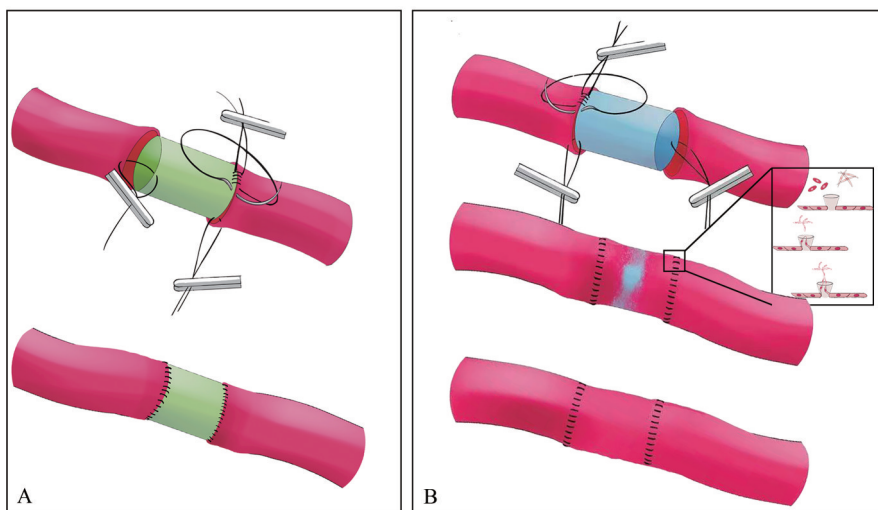
主要分为纤维蛋白胶和氰基丙烯酸酯两大类。纤维蛋白胶模拟血液凝固的末端步骤, 由含有纤维蛋白原、因子XIII及血浆蛋白的成分和含凝血酶、抑肽酶及氯化钙的成分组成。氰基丙烯酸酯类为合成的氰基丙烯酸甲酯、乙酯和丁酯^[3]。一项2009年的研究^[17]结果显示, 使用纤维蛋白胶可以缩短手术时间并减少所需缝合线数量, 尽管其研究规模较小, 但结果与其他报道具有一致性, 总体失败率为11%。然而, 纤维蛋白胶可能引起变态反应, 且由于灭活乙型肝炎病毒所需的热处理可能损害纤维蛋白原, 故美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)于1978年撤销了纤维蛋白原的生产许可, 仅沿用了个别包含纤维蛋白原的纤维蛋白密封剂的使用^[3,46]。另一方面, 氰基丙烯酸酯在应用后可能导致血管壁外层损伤, 并在早期出现明显的异物反应^[3,17]; 但2-辛基氰基丙烯酸酯黏合剂在血管吻合中能够抑制狭窄的形成^[47]。除了目前临床上常用的纤维蛋白胶和氰基丙烯酸酯以外, 生物蛋白胶及其他新型黏合剂的出现, 也为血管吻合术提供了更多选择。生物蛋白胶是通过白蛋白和戊二醛化学交联形成强力黏合的黏合剂, 通常在血管外科和软组织修复等领域中运用, 市面上主流销售的生物蛋白胶为“BioGlue”。由于其不是通过凝血级联实现黏合, 因此在使用后20~30 s内即可生效, 使用后2 min时达到最高黏合强度, 相较于目前外科常用的心血管修复黏合剂, “BioGlue”在失效时具有最高的峰值压力, 并且已在部分研究^[48-49]中证实了其具有治疗优势, 但戊二醛有一定的毒性, 可能出现局部神经麻痹、远处并发症等不良反应^[48]。相比之下, 市面上的另一种名为“CoSeal”的黏合剂在生物安全性方面优于“BioGlue”, 该黏合剂以聚乙二醇基为主要成分, 通过与组织中的氨基形成共价键来实现黏连。“CoSeal”相较于“BioGlue”更具有弹性, 引起的炎症反应也相对较轻, 且在术后2周的残留物也相对较少^[50]。一项回顾性研究^[51]表明, 在主动脉手术中, 使用“CoSeal”辅助黏合的实验组相比传统的手工缝合组, 具有更低的输血需求、术后引流量, 以及更低的再次开胸手术风险。但需要注意, 在使用任何类型的黏合剂时, 都需确保黏合剂不能流入血管腔内^[3]。最近的研究^[52]显示, 采用黏合剂填充黏附的方法进行血管吻合, 如使用热敏聚沙胺和氰基丙烯酸酯填充, 相比传统缝合线吻合方法, 不

仅手术时间更短,而且术后即刻及15 d检查的通畅率均未见差异。此外,使用喷涂水凝胶的方式进行血管吻合不仅可以实现止血,还能承受一定的血液压力^[53]。聚氨酯基组织黏合剂作为可生物降解黏合剂的一种,相比非生物降解的合成黏合剂,展现了更好的可靠性和组织相容性^[54],进一步凸显了生物可降解黏合剂在减少异物残留方面的优势^[55]。

3.2 合成血管材料应用

合成血管材料的应用代表了血管吻合术中的一项创新发展。在不适合传统吻合技术或自体血管移植的情况下,这类人工材料提供了一种有效的备选方案,其能够在血管外科手术中充当搭桥材料,助力于血管通路的重建。在胸腹主动脉瘤手术中,对脊髓功能的影响是一项重要评价指标,有研究^[56]表明,人工血管置换术(图4A)未对脊髓功能造成影响,该研究中使用的人工血管为25 mm主动脉瓣移植物与26 mm 4支J型移植物,其分别由Polyester(由有机酸和醇类形成的聚合物)与Dacron(由对苯二甲酸或其酯类和乙二醇形成的聚酯聚合物)制成,且术后长期随访未出现下肢瘫痪。在肝胆外科手术中,也有运用人工血管进行下腔静脉重建,该人工血管使用GORE-

TEX(四氟乙烯的均聚物)合成,研究^[57]显示,在人工血管重建术后18个月的随访中,患者肝功能状况良好。除了人工血管的直接置换,近来也有可生物降解合成血管(图4B)的应用报道,例如一种名为“AngioTube”的可生物降解管材,其利用血管合成材料作为血管的替代品,采用聚乳酸作为原料,通过独有的设计而制成。在计算流体动力学模型测试中,无论是动脉样还是静脉样的模拟,其流速和壁剪应力值都与生理情况保持一致;同时,其精细的制造技术能够促使细胞在这些可生物降解管道内按照特定的方式排列和生长^[58]。此外,已有研究^[59]探讨了合成血管材料的制造方法,当前的技术主要分为自下而上和自上而下2种路径,自下而上的路径是用物理或化学刺激物诱导血管新生萌芽或内皮细胞在血管新生过程中的自发性组装,从而形成微血管网络;自上而下的路径是将细胞引入预先设计和制作好的血管框架和几何结构之中(这些血管框架和几何结构可以通过3D打印等方法制作)。这2种路径使得从直线型血管到高度分支的管状网络等多种血管结构的构建成为可能^[59]。这些研究成果不仅扩展了血管重建的临床应用,也为那些需要进行精细血管修复与重建的患者带来了新希望。



A: 人工血管置换术操作示意图; B: 可生物降解合成血管置换术操作示意图,其中小图为该材料引导的新芽与自组装毛细血管吻合。

图 4 合成血管材料应用

Fig 4 Synthetic vascular material applications

4 小结

随着各种血管吻合术的发展和应用,外科手术的适应证得到了显著扩大。传统的人工缝合术

因其技术成熟而被广泛应用,但新兴技术如磁性血管吻合术、激光血管吻合术等,以其独特的优势在特定场合下提供了更好的选择。这些技术减少了手术时间、降低了术中出血风险,并能够满足更加复杂的血管重建需求。同时,黏合剂吻合

技术和合成血管材料的进步，将生物工程相关技术转换运用于血管吻合术，为那些无法采用自体

血管进行重建的病例提供了新的选择。各种血管吻合术的优缺点见表1。

表 1 各种血管吻合术的优点与缺点

Tab 1 Advantages and disadvantages of various vascular anastomoses

方法	优点	缺点
人工缝合术	应用范围广泛，对设备仪器要求低	1) 手术时间长，技术要求高；2) 不可吸收的缝合材料可能导致炎症、血小板聚集等问题。
内镜下吻合术	侵入性小，安全性高	技术难度大
显微血管吻合术	适用于微小血管操作，精度较高	需要高倍显微镜及特殊器械，技术难度大
磁性血管吻合术	1) 吻合快速，步骤简便；2) 无异物残留，血管内膜更加平滑，血管损伤小	技术应用在初期阶段，需进一步临床验证
激光血管吻合术	1) 高精度、快速，感染风险低；2) 适用于需迅速精确完成血管连接的情景	1) 有渗漏问题，血栓形成风险增加；2) 临床数据少，需进一步临床验证
血管耦合器/吻合器/夹子吻合术	1) 血管吻合流程简易，手术时间短；2) 形成血栓风险降低	1) 可能导致血管变形等问题；2) 运动或表浅等部位的使用有明显异物感
自动吻合机器人辅助技术	手术精确度、操作灵活性及手术效率提高	成本高，技术及设备普及度有限
黏合剂吻合技术	1) 手术时间缩短，操作负担减轻；2) 术中出血风险降低，确保吻合处均匀性	1) 对大型或高压血管的连接效果有限；2) 可能存在生物安全性问题
合成血管材料应用	可生物降解材料有助于血管自然修复和生长	材料生物相容性和长期稳定性仍需评估

5 展望

未来血管吻合术的发展方向可能会集中在提高手术的自动化程度、精确性以及安全性上。人工智能和机器学习的应用可能会进一步提升手术的成功率和效率，特别是在术前规划和手术预后方面可能会有较为显著的进步。此外，生物工程和再生医学的进展有望带来新的血管重建材料和方法，比如生物相容性材料制成的血管支架和通过细胞培养技术生成的人工血管，这将为传统血管吻合术存在的问题提供新的解决方案。随着这些技术的不断发展和完善，未来血管吻合术将变得更加精细、高效、安全，进而提升手术治疗效果，改善患者生活质量。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

[1] Moritz WR, Raman S, Pessin S, et al. The history and innovations of blood vessel anastomosis[J]. *Bio-engineering(Basel)*, 2022, 9(2): 75.

[2] Wolf-de Jonge IC, Beek JF, Balm R. 25 years of laser assisted vascular anastomosis (LAVA): what have we learned[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2004, 27(5): 466-476.

[3] Zeebregts CJ, Heijmen RH, van den Dungen JJ, et

al. Non-suture methods of vascular anastomosis[J]. *Br J Surg*, 2003, 90(3): 261-271.

[4] 任振虎, 吴汉江, 朱兆夫, 等. 应用血管吻合新方法 109 例回顾性研究[J]. *中华口腔医学杂志*, 2013, 48(12): 708-710.

Ren ZH, Wu HJ, Zhu ZF, et al. The application of a new method of microvascular anastomosis: a review of 109 microvascular anastomosis surgery[J]. *Chin J Stomatol*, 2013, 48(12): 708-710.

[5] 李小林, 黄忠亮, 苏瑜, 等. 任氏血管吻合法在口腔癌术后缺损修复中的应用[J]. *临床口腔医学杂志*, 2022, 38(3): 167-169.

Li XL, Huang ZL, Su Y, et al. Application of Ren anastomosis in postoperative reconstruction of oral cancer[J]. *J Clin Stomatol*, 2022, 38(3): 167-169.

[6] 郭丰源, 李文强, 许智, 等. 任氏血管吻合法在口腔颌面部缺损修复中的应用及评价[J]. *口腔医学研究*, 2019, 35(11): 1048-1051.

Guo FY, Li WQ, Xu Z, et al. Application of Ren anastomosis in the reconstruction of oral and maxillofacial defects[J]. *J Oral Sci Res*, 2019, 35(11): 1048-1051.

[7] 李春洁, 韩波, 朱桂全. 口腔颌面部缺损游离皮瓣修复中血管吻合的技巧及关键点[J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(3): 271-278.

Li CJ, Han B, Zhu GQ. Vessel anastomosis in free flap reconstruction for oral and maxillofacial de-

- fects: techniques and key points[J]. West China J Stomatol, 2022, 40(3): 271-278.
- [8] Guo Z, Cui W, Hu M, et al. Comparison of hand-sewn versus modified coupled arterial anastomoses in head and neck reconstruction: a single operator's experience[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2020, 49(9): 1162-1168.
- [9] Miao C, Ma ZK, Li CJ. II-Y-shaped vascular anastomosis for free flap transfer in head and neck reconstruction in vessel-depleted neck[J]. J Craniofac Surg, 2023, 34(2): 735-737.
- [10] Kuo SC, Tsai YJ, Kuo PJ, et al. The multiple-U technique: a novel microvascular anastomosis technique that guarantees everted anastomosis sites with solid intima-to-intima contact[J]. Plast Reconstr Surg, 2022, 149(5): 981e-984e.
- [11] Scaglioni MF, Kuo YR, Chen YC. The "rolled-up sleeve" technique for microvascular venous anastomosis in head and neck reconstruction[J]. Ann Plast Surg, 2016, 76(Supplement 1): S121-S124.
- [12] 张铁慧, 梁武, 任远飞, 等. 含血管内皮生长因子缓释微粒显微缝线促进大鼠小血管吻合后的内皮再生[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(6): 877-882.
- Zhang TH, Liang W, Ren YF, et al. Application of microsutures with vascular endothelial growth factor to improve vascular endothelial regeneration after small vessel anastomosis in the rats[J]. Chin J Tis Eng Res, 2018, 22(6): 877-882.
- [13] Borchiellini P, Rames A, Roubertie F, et al. Development and characterization of biological sutures made of cell-assembled extracellular matrix[J]. Biofabrication, 2023, 15(4). doi: 10.1088/1758-5090/acflcf.
- [14] Xue F, Zhao S, Tian H, et al. Two way workable microchanneled hydrogel suture to diagnose, treat and monitor the infarcted heart[J]. Nat Commun, 2024, 15(1): 864.
- [15] Segers B, Horn D, Lemaitre J, et al. Preliminary results from a prospective study of laparoscopic aortobifemoral bypass using a clampless and sutureless aortic anastomotic technique[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2014, 48(4): 400-406.
- [16] Rickard RF, Hudson DA. A history of vascular and microvascular surgery[J]. Ann Plast Surg, 2014, 73(4): 465-472.
- [17] Pratt GF, Rozen WM, Westwood A, et al. Technology-assisted and sutureless microvascular anastomoses: evidence for current techniques[J]. Microsurgery, 2012, 32(1): 68-76.
- [18] Koshima I, Yamamoto T, Narushima M, et al. Perforator flaps and supermicrosurgery[J]. Clin Plast Surg, 2010, 37(4): 683-689.
- [19] Masia J, Olivares L, Koshima I, et al. Barcelona consensus on supermicrosurgery[J]. J Reconstr Microsurg, 2014, 30(1): 53-58.
- [20] Yamamoto T. Onco-reconstructive supermicrosurgery[J]. Eur J Surg Oncol, 2019, 45(7): 1146-1151.
- [21] Karakawa R, Yoshimatsu H, Nakatsuka K, et al. Supermicrosurgical anastomosis training using chick embryos within the egg-in-cube system[J]. Plast Reconstr Surg, 2024, 153(4): 741e-745e.
- [22] Pion E, Zucal I, Troebs J, et al. New, innovative, three-dimensional *in vivo* model for high-level microsurgical and supermicrosurgical training: a replacement for animal models[J]. Plast Reconstr Surg, 2022, 150(2): 432-436.
- [23] Escandón JM, Ciudad P, Poore SO, et al. Experimental models and practical simulators for supermicrosurgery: an updated systematic review and meta-analysis[J]. Plast Reconstr Surg, 2023, 151(5): 775e-803e.
- [24] Hayashi K, Hattori Y, Chia DSY, et al. Fingertip replantation: surgical technique, tips, and tricks[J]. Plast Reconstr Surg, 2024, 153(1): 168-171.
- [25] Zheng Y, Zhang S, Li J, et al. Overlapping lockup lymphaticovenous anastomosis: a useful addition to supermicrosurgery[J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2024, 12(1): 101684.
- [26] Yang JC, Hayashi A, Visconti G, et al. Impact of retrograde anastomosis during supermicrosurgical lymphaticovenous anastomosis for cancer-related lower limb lymphedema: a retrospective cohort propensity-score-matched outcome analysis[J]. Int J Surg, 2022, 104: 106720.
- [27] Pons G, Tang JB. Major changes in lymphatic microsurgery and microvascular surgery in past 20 years [J]. Clin Plast Surg, 2020, 47(4): 679-683.
- [28] Lu Q, Liu K, Zhang W, et al. End-to-end vascular

- anastomosis using a novel magnetic compression device in rabbits: a preliminary study[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 5981.
- [29] Klima U, Falk V, Maringka M, et al. Magnetic vascular coupling for distal anastomosis in coronary artery bypass grafting: a multicenter trial[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2003, 126(5): 1568-1574.
- [30] Mallela DP, Bose S, Shallal CC, et al. A systematic review of sutureless vascular anastomosis technologies[J]. *Semin Vasc Surg*, 2021, 34(4): 247-259.
- [31] Senthil-Kumar P, Ng-Glazier JH, Randolph MA, et al. An intraluminal stent facilitates light-activated vascular anastomosis[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2017, 83(1 Suppl 1): S43-S49.
- [32] Nakadate R, Omori S, Ikeda T, et al. Improving the strength of sutureless laser-assisted vessel repair using preloaded longitudinal compression on tissue edge[J]. *Lasers Surg Med*, 2017, 49(5): 533-538.
- [33] Leclère FM, Schoofs M, Vogt P, et al. 1950-nm diode laser-assisted microanastomoses (LAMA): an innovative surgical tool for hand surgery emergencies [J]. *Lasers Med Sci*, 2015, 30(4): 1269-1273.
- [34] Stecher D, van Slochteren FJ, Hofer IE, et al. The nonocclusive laser-assisted coronary anastomotic connector in an off-pump porcine bypass model[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(4): 1390-1397.e2.
- [35] Stecher D, Bronkers G, Noest JO, et al. Evaluation of a novel laser-assisted coronary anastomotic connector-the trinity clip-in a porcine off-pump bypass model[J]. *J Vis Exp*, 2014(93): e52127.
- [36] Wang WM, Huang L, Gao X, et al. Use of a microvascular coupler device for end-to-side venous anastomosis in oral and maxillofacial reconstruction[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 47(10): 1263-1267.
- [37] Maruccia M, Fatigato G, Elia R, et al. Microvascular coupler device versus hand-sewn venous anastomosis: a systematic review of the literature and data meta-analysis[J]. *Microsurgery*, 2020, 40(5): 608-617.
- [38] Senthil Murugan M, Ravi P, Mohammed Afradh K, et al. Comparison of the efficacy of venous coupler and hand-sewn anastomosis in maxillofacial reconstruction using microvascular fibula free flaps: a prospective randomized controlled trial[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 47(7): 854-857.
- [39] Kopjar T. Vascular anastomosis device to facilitate aortic arch vessel reconstruction[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(2): ezac225.
- [40] Shafi BM, Wheatley GH, Kerendi F, et al. Six-month preclinical results of novel vascular anastomosis device intended to facilitate open aortic and arch vessel reconstruction[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(2): ezac146.
- [41] Head LK, McKay DR. Economic comparison of hand-sutured and coupler-assisted microvascular anastomoses[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2018, 34(1): 71-76.
- [42] Kenngott HG, Müller-Stich BP, Reiter MA, et al. Robotic suturing: technique and benefit in advanced laparoscopic surgery[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2008, 17(3): 160-167.
- [43] Park JS, Choi GS, Park SY, et al. Randomized clinical trial of robot-assisted versus standard laparoscopic right colectomy[J]. *Br J Surg*, 2012, 99(9): 1219-1226.
- [44] Innocenti M, Malzone G, Menichini G. First-in-human free flap tissue reconstruction using a dedicated microsurgical robotic platform[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2023, 151(5): 1078-1082.
- [45] van Mulken TJM, Schols RM, Scharmga AMJ, et al. First-in-human robotic supermicrosurgery using a dedicated microsurgical robot for treating breast cancer-related lymphedema: a randomized pilot trial [J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 757.
- [46] 王延琳, 饶亚兰, 熊文翔, 等. 对国外已上市人纤维蛋白原临床试验的分析[J]. *中国新药杂志*, 2022, 31(1): 27-32.
- Wang YL, Rao YL, Xiong WX, et al. Analysis on the clinical trials of human fibrinogen on the market abroad[J]. *Chin J New Drugs*, 2022, 31(1): 27-32.
- [47] Liang X, Liu S, Fang Z, et al. Prevention of vascular anastomotic stenosis with 2-octylcyanoacrylate [J]. *J Craniofac Surg*, 2019, 30(1): 74-80.
- [48] Weiner J, Widman S, Golek Z, et al. Role of bovine serum albumin-glutaraldehyde glue in the formation of anastomotic pseudoaneurysms[J]. *J Card Surg*, 2011, 26(1): 76-81.

- [49] Murdock MH, Chang JT, Luketich SK, et al. Cytocompatibility and mechanical properties of surgical sealants for cardiovascular applications[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(1): 176-183.
- [50] Slezak P, Klang A, Ferguson J, et al. Tissue reactions to polyethylene glycol and glutaraldehyde-based surgical sealants in a rabbit aorta model[J]. *J Biomater Appl*, 2020, 34(9): 1330-1340.
- [51] Natour E, Suedkamp M, Dapunt OE. Assessment of the effect on blood loss and transfusion requirements when adding a polyethylene glycol sealant to the anastomotic closure of aortic procedures: a case-control analysis of 102 patients undergoing Bentall procedures[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2012, 7: 105.
- [52] Qassemyar Q, Michel G, Gianfermi M, et al. Sutureless venous microanastomosis using thermosensitive poloxamer and cyanoacrylate: experimental study on a rat model[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2022, 75(1): 433-438.
- [53] Muñoz Taboada G, Dosta P, Edelman ER, et al. Sprayable hydrogel for instant sealing of vascular anastomosis[J]. *Adv Mater*, 2022, 34(43): e2203087.
- [54] Modabber A, Winnand P, Goloborodko E, et al. Biodegradation and immunological parameters of polyurethane-based tissue adhesive in arterial microvascular anastomoses—a long-term *in vivo* study[J]. *Macromol Biosci*, 2022, 22(4): e2100451.
- [55] Heitzer M, Ooms M, Katz MS, et al. Evaluation of the long-term results of vascular anastomosis using polyurethane adhesive and shape-memory stent in the rat carotid artery model[J]. *Microsurgery*, 2022, 42(5): 480-489.
- [56] Yuno T, Nakade Y, Iino K, et al. Motor-evoked potential monitoring with multi-train electrical stimulation during thoracoabdominal aortic aneurysm surgery: a case report[J]. *Cureus*, 2024, 16(2): e53872.
- [57] Chen D, Zhang W, Wei L. *Ex vivo* resection, vessel reconstruction and liver autotransplantation for cholangiocarcinoma: a report of two cases[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47(6): 2625-2631.
- [58] Zohar B, Debbi L, Machour M, et al. A micro-channel array in a tissue engineered vessel graft guides vascular morphogenesis for anastomosis with self-assembled vascular networks[J]. *Acta Biomater*, 2023, 163: 182-193.
- [59] Chandra P, Atala A. Engineering blood vessels and vascularized tissues: technology trends and potential clinical applications[J]. *Clin Sci*, 2019, 133(9): 1115-1135.

(本文编辑 张玉楠)

《高阶颧种植：ZAGA 理念》出版发行

书籍名称：《高阶颧种植：ZAGA 理念》

主编：Carlos Aparicio（西班牙）

主译：刘体亮，王宁涛，袁赞

出版社：辽宁科学技术出版社

内容简介：本书专为攻克“上颌骨严重萎缩”设计，共13章，分别是：ZAGA理念的起源、倾斜种植的生物力学、手术计划、ZAGA分类和ZAGA微创颧种植、使用ZAGA理念确定种植路径、软组织处理、富白细胞血小板纤维蛋白、针对特定位点的新型颧种植体系列产品、义齿修复、数字化工作流程、双侧双颧的替代方案、评估颧种植体成功的标准、全球ZAGA导师经验。本书体系完整，从生物力学原理入手到稳定支撑机制，覆盖数字化规划、ZAGA分类到微创路径、软组织处理、并发症防控等多个方面，并有全球ZAGA导师分享的“踩坑”笔记，适合种植科医生和医学生阅读。

