·综　述·

血管吻合及修复技术的研究进展

周振中[1] 谢松林[2] （1 南华大学研究生学院附属南华医院手外科 湖南衡阳 421000 2 南华大学附属南华医院 湖南衡阳 421000）

摘要：显微外科技术的出现，被认为是在外科发展史上的一次有深远意义的变革。血管吻合技术是显微外科、血管外科、心血管外科以及器官移植手术成功的基石，血管吻合及修复的质量关系到整个手术的成败。血管吻合及修复的主要目标是使吻合或修复血管获得最大的近期和远期通畅率，最大化的减少对血管壁的损伤则是提高血管通畅率的重要手段。近年来，新的血管吻合方法和吻合材料不断得到报道，血管吻合有传统血管缝合法、血管吻合器法、医用粘接法、激光法等多种技术，而传统的端－端间断缝合技术仍然是目前临床上应用最多的血管吻合方式。

关键词：显微外科　血管吻合　血管吻合器

中图分类号：R654.3　**文献标识码**：A　**文章编号**：1009-5187（2018）14-304-03

随着各种游离皮瓣在显微外科领域的广泛应用，吻合血管成为影响游离皮瓣手术成功的最关键因素，熟练掌握血管的吻合技术是显微外科医生所面临的新的挑战。本文就血管吻合及修复技术的研究进展进行综述。

1 血管缝线吻合技术

传统缝合技术目前仍是临床上应用最广泛的血管吻合方法，适用于大、中、小血管的吻合。自从 1902 年 Alexis Carrel 对血管修复提出了 4 条主要的指导原则：①正确使用缝合线。②保持吻合口内部光滑平整。③避免吻合口管腔狭窄④吻合口内膜边缘对合紧密。血管吻合获得了成功，从此血管缝合技术成为了血管吻合的标准技术。经过临床医师的多年实践，已经对血管缝合有了更清楚的认识，并提出了更详细的原则：①缝合时应避免外膜进入血管腔内引起血栓形成。必要时可修剪掉吻合口多余的外膜。②要全层缝合，尤其不要漏掉血管内膜。③避免直接钳夹造成内膜损伤。④清除血管腔内血凝块、组织碎屑等异物。⑤在缝合血管切口“角”时，注意不要缝到血管的对侧壁。⑥在确保缝合足够强度的前提下，尽可能选用细线，常用的血管缝合方法有间断缝合、连续缝合、补片缝合。缝合小血管应采取间断缝合，此外，儿童病人也应该行间断缝合以便于血管的生长。[1] 大多数动脉可采取连续缝合来关闭，除了大血管或血管壁特别厚的血管，一般间距和边距可为 1mm。间断或连续水平褥式缝合可以使血管外翻，从而保持内膜的光滑，减少血栓形成的概率，但因为可能引起明显的血管缩窄，目前临床上已较少应用[2]。

血管吻合方法主要有端－端吻合、端－侧、侧－侧吻合。

端－端吻合　端－端吻合有 3 种常用方法：

(1) 二定点缝合法：是经典的端－端吻合法，即 180° 等距二定点牵线吻合法，优点是针距易掌握，缺点是容易缝到对侧血管壁，而不等距二定点吻合法（偏心性二定点吻合法），采用前壁相距 120° 缝合二针牵引线，此法不易缝到后壁，缺点是针距不易掌握。后来改良式偏心性二定点吻合法，指出根据吻合血管需要缝合的针数来决定二定点夹角的大小，从而解决了偏心性二定点法不易使针距均匀的缺点。目前，临床上最常用的血管吻合方法仍是二定点缝合法，陈传俊等采用延迟打结全程单线双针吻合血管的方法以保证血管吻合的全程进针方向均由管腔内向管腔外，避免误缝到对侧，弥补了二定点法的不足，是值得临床上推广和实际应用的。

(2) 不同口径血管的吻合：在端端吻合时，血管的的口径要求尽量一致。血管两侧断端口径相等或相差不超过其口径的 1/3 时吻合尚方便。如相差超过 1/3，需要采取一些措施（如机械扩张器或水压扩张、咬口吻合法、鱼口状切开吻合法、Y 型吻合法等）使两侧断端口径相接近后再行吻合，否则吻合口易出现褶皱或裂隙，引起吻合点狭窄或渗漏，导致血流不畅或吻合失败。

(3) 三定点缝合法：为等距三定点牵引线吻合法，三定点相距 120° 。优点是可避免缝到对侧血管壁，缺点是针数不易掌握，针边距难以达到一致，目前临床上已少用。

端－侧吻合：适用于两吻合血管口径不同，接近或超过其口径 1/2 者。或两根血管血管口径虽然相似，但其中一根必须保持连续，不能切断行断端吻合者，游离组织瓣移植时需供体的血管断端吻合到受体的血管侧壁上。吻合时一般在侧壁做纵切口或剪除部分血管使之成椭圆形切口，端侧血管修剪成斜面或略呈 S 形，使缝合完成后吻合口为一锐角以减少湍流，动脉吻合一般以 30 ～ 45° 为宜。张功林等采用菱形端侧小血管吻合技术，取得满意效果；此方法的优点在于减少了吻合术后血管痉挛的发生率，消除了血管口径（不对等）吻合通畅率的影响，改善了血流量。

侧－侧吻合：侧－侧吻合在临床上应用相对较少，比较常见的有门－腔分流，主－肺动脉分流以及构建血透通路的动静脉内瘘等。具体方法：①将待吻合的两血管靠近并用特制的血管钳夹住吻合部位的侧壁；②做相对应的纵向切口；③做连续缝合，后壁在血管腔内进行缝合。当构建侧－侧吻合时，要解剖和松解血管，使毗邻的血管间的张力最小。

缝线法吻合血管操作烦琐，手术时间长，对医生的技能要求较高，不经过培训很难在短期内熟练地掌握；缝针可导致血管壁及内膜损伤，缝线刺激使吻合口长期存在异物反应，易导致血管内膜增生、血管腔内血小板沉积、血栓形成以及假性动脉瘤等[3]。

2 血管机械性吻合技术

血管机械性吻合技术是以特制的血管吻合装置替代或部分替代缝线的一种血管吻合方法，它可以克服传统血管吻合方法操作复杂、吻合时间长和内膜损伤严重的缺陷。[4] 目前实验研究和临床应用中常用的机械性血管吻合技术主要有订书钉法、套管法、磁管法、针环法和吻合夹法等。

磁管法：1978 年，Obora 等[5] 报道了应用磁管进行血管吻合的方法，磁管为圆筒形，一端有 6 根金属针刺，吻合时一侧血管断端穿过磁管，将血管边缘外翻并固定于针刺上；另一侧血管同样如此操作，再利用磁力，将二侧血管断端吻合在一起。磁管法的突出优点是操作简单，完全脱离了针线操作，但是可能因磁管错位引起血管阻塞，稳定性有待加强[7]。

套管法：1900 年，Payer 首次报道了利用套法吻合血管，其吻合原理为：一侧血管断端穿过套管，边缘外翻 180° 包住套管，插入另一侧血管腔内，并环形结扎固定二完成吻合。采用钻有数个小孔的套管，血管行套管吻合后，用小针穿过血管壁插入小孔中，以防血管滑动，即为内锁套管法。套管法血管吻合技术相对简化操作，缩短吻合时间，一根血管平均用时 5-8min，对装置要求也不高，并在一定程度上防止吻合口扭转和狭窄，血管通畅率为 92%-100%。但是也存在一些缺点：大多数套管材料不可降解，易导致吻合口僵硬；吻合过程中的翻转操作易导致管壁损伤，因此不适于微小血管的

吻合；术中要废弃一段血管，这是套管法最大的劣势[6]。目前，套管法主要应用于动物实验，如建立器官移植动物模型等[8]，临床应用尚少见。

针环法：1960年，Holt等人[9]发明了针环法，采用2只聚四氟乙烯小环，每只环上6根小针及6个小孔均匀相间，吻合时一侧血管断端穿过小环,外翻90°并固定在6根小针上；另一侧血管断端同样这般操作，再将两侧针环的针、孔相互嵌入对合。在1986年，Ostrup等人[7]详细报道了Unilink血管吻合系统（简称U系统），U系统由血管管径测量器、持环器、2只针环、显微拉钩和显微血管钳等组成，其操作更简便，吻合过程趋于半自动化，针环也更精巧，可吻合0.8-2.0cm的血管，吻合时间一般为2-5min，血管通畅率为98%。[10]针环法主要优势[7]是：①对手法操作要求较低，吻合快速，吻合时间一般为2-5min；②血管管腔内无异物，内膜光滑，术后恢复较快。③针环的支撑固定作用使吻合口不易缩窄，术后通畅率高。④有些吻合器不仅可以行血管的端－端吻合，还可以行端－侧吻合[11]。其缺点为：①针环使吻合口血管僵硬，影响了血管正常收缩与舒张的生理功能[12]，并限制血管的生长，因此不适宜未成年患者[13]。②吻合时需要血管断端外翻90°，故不宜用于厚壁、硬化或直径小于1.0mm血管的吻合[13]。③不能吻合管径有差异的血管。[14]目前针仍使用不锈钢材料，易在血管外模形成异物肉芽肿，可降解针仍在研制过程中[15]。

吻合夹法：现应用最多的血管吻合夹吻合法（VCS）是Kirsch等[17]于1992年发明的。主要装置有：弓形臂肽吻合夹、外翻钳、吻合器及去夹钳等，吻合夹是用肽或钛合金合金材料制成，利用肽及钛合金独特的形态记忆功能吻合血管。原理为：先用外翻钳将两血管断端外翻对齐，用拇指及示指按压吻合器手柄部按钮，吻合夹的柄轴部回缩吻合夹由‘C’型变为近似‘O’型，以挤压血管壁使之对合，如此反复夹6-8个吻合夹即可将血管间断吻合。吻合夹夹合管壁未穿透血管内膜，因此该法又被称为“非穿透性血管吻合法”。目前，吻合夹只可用于管径1.5mm以上的血管，更小号的血管吻合夹的出现将更有利于在临床上的应用。吻合夹法的优点有：①操作简单，吻合时间短。②为“非穿透性血管吻合法”，内膜损伤轻微，无胶原暴露，并且管腔内无异物，能最大程度减少血栓形成。③间断吻合血管，吻合夹之间保留了正常血管壁组织，使吻合口具有一定的弹性，不易产生僵硬及狭窄。④可用于吻合管径有差异的血管。不足之处为：①吻合夹及吻合器械结构复杂，不易加工。②不适宜硬化血管的吻合。③吻合夹的存留。

目前国内外各式血管吻合装置都已在一定程度上应用于临床，静脉的端－端吻合现已常采用血管吻合器来完成[16]。同时面临吻合器异物存留的难题，我们希望研制出一种吻合后能比较符合血管生理的血管吻合装置，装置材料的生物相容性要好，最好是可降解材料。

3 血管粘接吻合技术

血管粘接吻合技术是利用医用粘合剂将紧密对合的血管两端粘合起来从而达到血管吻合的一种方法[18]。运用于血管粘合的医用粘合剂种类很多，按其材料性质可分为化学合成组织粘合剂和生物组织粘合剂，化学合成血管粘合剂主 要包括氰基丙烯酸酯医用胶、光敏化学组织粘合剂等，生物组织粘合剂主要有纤 维蛋白胶、血浆戊二醛胶等[19]。无论使用何种粘合剂，都必须在血管紧密对合之后再涂抹，避免粘合剂进入血管腔[20]。作为血管粘接吻合材料的理想条件为：①能被机体降解代谢，无异物残留。②无细胞毒性和免疫排异反应，不影响或阻碍组织细胞正常生长代谢。③有一定的黏性和流动性，能暂时粘接或阻止吻合口两端缘的分离。④常温、常压下能迅速成膜、固化，形成不溶于水的膜状物。⑤成膜后表面光滑柔软，无促进血栓形成性[21]。⑥具有良好的粘合强度持久性。⑦具有良好的使用状态并易于保存。目前临床上用的最多的是氰基丙烯酸酯医用胶和纤维蛋白胶。

氰基丙烯酸酯医用胶：目前，乙烷氰基丙烯酸酯和辛烷氰基丙烯酰酯胶已被美国FDA批准用于体外如组织的粘合、创伤覆盖、防止切口感染等[22]。由于具有一定的组织毒性，其体内运用主要还停留于动物实验阶段[23]。氰基丙烯酸酯胶在血管吻合技术中运用时具有操作方便，在常温下使用即可迅速发生粘合，使用剂量小，粘合强度大，被粘合血管无需特别处理，对多种细菌具有抑菌作用等优点，但该粘合剂在血液、组织液等湿性环境中粘合力度较小[24]，在具有反应过程中有潜在的热效应，对组织和细胞有一定损伤，另外，该粘合剂在粘接局部具有异物反应，粘接弹性差，其组织毒性也有待进一步探究，对于敏感部位的血管吻合需慎重考虑以及进一优化改性。

纤维蛋白胶：主要由纤维蛋白原和凝血酶两种组分组成，具有良好的组织相容性、止血和粘合性能。在少量Ca2＋和凝血因子Ⅷ存在的情况下，纤维蛋白原在凝血酶的作用下转化为不可溶的纤维蛋白，从而达到粘合组织、覆盖创面、填充缺损和空隙等作用。目前，纤维蛋白胶是市场上唯一一种被FDA批准可同时作为止血剂、密封剂、粘合剂在临床上使用的胶黏剂[25]，1977年，Maltras等首先应用纤维蛋白胶进行小鼠颈动脉的端端吻合，证实纤维蛋白胶具有良好的粘附性和密封性[24]，省时，便于操作。纤维蛋白胶最大的优点在于良好的生物相容性及生物可降解性，操作简便单纯使用适用于管腔小，压力低微的细小血管。异体纤维蛋白胶存在病毒感染的风险，制备时间长，价格昂贵，粘合强度有限。对于血管张力比较大的血管吻合，单纯依靠其粘合强度是不够的，常配合缝线法操作[27][28]，目前也有研究在纤维蛋白胶中加入可溶性丝蛋白，可大幅度提高其粘合力。

医用粘合剂目前在血管吻合及修复方面的临床应用上仍较少，主要还停留在实验研究阶段，各种医用粘合剂均存在一定的局限性。完全理想的粘合剂尚未研制出来。因此，提高血管吻合技术的质量和安全性，开展对生物相容性、生物可降解的医用粘合剂在血管吻合技术上的应用的研究，具有深远的临床意义及广阔的市场前景。

4 血管激光吻合技术

激光吻合血管的机制是利用热效应，将光能转变为热能，用激光照射血管的吻合部分，组织蛋白可能会产生凝胶－溶胶－凝胶的变化，从而使血管断端粘合。

激光吻合血管可采用激光点状焊接技术和激光环形吻合技术。激光点状焊接吻合对血管的营养影响较少，正常血管的营养主要借助血管外膜的小血管和管腔内的血液渗透来滋养，这是血管能生存增长的物质基础。低功率激光焊接法由于穿透力低，故对血管壁的结构和外膜的营养血管以及内膜破坏少，CO_2激光对生物组织穿透深度很浅，只作用于血管和神经组织的外膜而不损伤血管内膜。

激光环形吻合技术是通过光路转换装置，使激光束呈线状照射在经计算机辅助设计的特殊反射弧面上，实现对血管的环形、均匀、快速、同步吻合。激光环形吻合技术克服了点状焊接组织的不均匀、渗血等缺点使血管吻合通畅率提高，血管狭窄现象减少[29]。

激光吻合血管的优点：①焊接均匀，组织炎症反应小，形成粘连及狭窄现象少，组织愈合快。②操作简便容易，缩短血流阻断及组织的暴露时间，提高通畅率。③吻合后的血管能随个体生长而生长，适用于儿童生长期血管的吻合。激光吻合技术的缺点：①激光吻合的血管吻合口初期耐压强度较低，这也是激光吻合技术需要克服的重点。②需要有血管支撑物，血管内支撑物可以保持血管形状以及保证吻合口准确对合，同时避免了激光对血管和侧壁的损伤，作为血管内

支撑物的材料必须保证血液可溶性，不损伤血管内膜，对人体无毒，且能快速溶解。③假性动脉瘤形成概率较高。

提高血管吻合组织的初始耐压强度是提高手术质量及面向临床推广的关键问题。采用生物胶加固是目前提高其初始耐压强度的重要方法。生物胶加固是在激光直接吻合血管后，再在吻合口加用纤维蛋白胶，在吻合口外形成一层纤维蛋白加固层来增加激光吻合口的耐压强度[30]。

综上所述，血管吻合技术是显微血管外科乃至整个外科的基础，公认的理想的血管吻合方法应该具备以下 4 点：①容易掌握，操作简单。②尽量少的吻合时间，以减少组织缺血的时间。③尽量避免血管壁的损伤。④血管近期及远期通畅率高[31]。随着显微外科的不断发展，血管吻合的基本操作技术已经相对成熟，三维立体显微镜和医疗机器人的出现为血管吻合技术带来了新的选择[31][32]。同时，新的吻合材料以及吻合方法也不断有所报道，血管吻合技术将更简单、更普及和通畅率更高。

参考文献

[1]中华医学会外科学分会外科手术学学组.血管缝合及吻合基本技术与缝线材料选择专家共识(2008)[J].中国实用外科杂志，2008，28(10)：814-817.

[2]Bammr H,Erol B,Tetik C.Use of continuous horizontal mattress suture technique in end-to-side microsurgical an-astomosis[J].HandSurg,2012,17(3):419-427.

[3]田佳，范金财，陈光宇，等.三种不同血管吻合方式对游离皮瓣移植成活影响的比较分析[J].中国美容医学，2011，20(12)：1849-1853

[4]ChernichenkoN,RossD A,ShinJ et al. Arterialcou-pling for microvascular free tissue transfe[J].OtolaryngolHeadNeckSurg,2008,138(5):614-618.

[5]Obora Y,Tamaki N,Matsumoto S.Nonsuture microvascular anastomosis using magnet rings:Preliminary report[J]..Surg Neurol,1978,9(2):1 17-120.

[6]Daniel RK,Olding M.An absorbable anastomotic device for microvascular surgery:Experimental studles[J].Plast reconstr Surg,1984,74(3):329-336

[7]Ostmp LT,Berggmn A.The Unilink instrument system for fast and safe micmvascular anastomosis[J].Ann Plast Surg,1986,17(6):521-525

[8]Tomita Y,Zhang QW,Yoshikama M,et al.Improved technique of hetemtopie cervical heart transplantation in mice[J]. Transplantation,1997。64(11):1598—1601

[9]Holt GP.Lewis FJ.A new technique for end-to-end anastomosis of small arteries[J].Surg Forum,1960,11:242 243

[10]Zhang L,Kolker AR,Choe EI,et al.Venous micmanastomosis witIl the Unilink system, sleeve,and suture techniques:A comparative study in the rat[J].J Reconstr Micm surg,1997,13(4):257-262

[11]DucicI,BrownBJ,RaoSS.Lower extremity free Flap reconstruction outcomes using venous coupler[J]Micro-Surgery,2011,31(5):360-364

[12]Sasson HN,Stofman GM,Berman P.Clinical use of the 3M 2.5 nlln mechanical microcoupling device in free tissue transfer[J]. Micro surgery,1994,15(6):421 423

[13]Ahn CY,Shaw WW,Bems S,et al.Clinical experience with the 3M micmvascular coupling anastomofic device in 100 free·-tissue trans·- fern[J].Plast Reconst Surg, 1994,93(7):1481-1484

[14]ZhangT,LubekJ,SalamaA,etal.Venous anastomoses using microvascular coupler in free flap head and neckre-construction[J].JOralMaxillofacSurg,2012,70(4):992- 996.

[15]chikawa M,Muneshige H,Ikuta Y.Comparison of tensile strength and thrombus formation between mechanical microva$cular anasto moses using a biodegradable ring device and sutured anastomoses [J].J Reconstr Microsurg,2002,18(2):131-136

[16]Frederick J W,Sweeny L,Carroll W R,et al.Microvas- cular anastomotic coupler assessment in head and neck reconstruction[J]. OtolaryngolHeadNeckSurg,2013,149 (1):67-70

[17]Kirseh WM,Zhu YH Hardesty RA,et a1.A new method for mi CroVascular anastomosis: Report of experimental and clinical re-·225· search[J].Am Surg, 1992,58(12):722-727

[18]Johnson T S,O Neill A C,Motarjem P M,etal.Photo- chemical tissue bonding: a promising technique for pe- ripheral nerve repair[J].J SurgRes,2007,143(2):224- 229.

[19]Giessler G A,Fischborn G T,Schmidt A B.Clampless anastomosis with an intraluminal thermosensitive gel: first application in reconstructive microsurgery and liter- aturereview [J].JPlastReconstrAesthetSurg,2012,65 (1):100-105.

[20]Morita S,Matsuda T,Eto M,e tal.Developmen to fhe-mostatic sealant for arterial anastomosis;clinical applica- tion[J]. KyobuGeka,2013,66(5):395-400

[21]Akhtar M S.Use of cyanoacrylate compounds in vascular anastomosis[J].J Plast Reconstr AesthetSurg, 2010,63(6):1063-1064.

[22]Bot GM, Bot KG, Ogunranti JO, et al. The use of cyanoacrylate in surgical anastomosis: an alternative to microsurgery [J]. J Surg Tech Case Rep, 2010, 2(1): 44-48[23]Zhao YZ, Lv HF, Chen LJ, et al. Evaluation of a novel thermosensitive heparin -poloxamer hydrogel for improving vascular anastomosis quality and safety in a rabbit model [J].PLoS One, 2013, 27, 8(8): e73178

[24]Lang N, Pereira MJ, Lee Y, et al. A blood-resistant surgical glue for minimally invasive repair of vessels and heart defects [J].Sci Transl Med, 2014, 6(218): 218ra6

[25]Spotnitz WD.Fibrin Sealant : The Only Approved Hemostat, Sealant, and Adhesive-a Laboratory and Clinical Perspective [J]. ISRN Surg, 2014, 2014: 203943

[26]Spotnitz WD, Prabhu R. Fibrin sealant tissue adhesive -- review and update [J]. J Long Term Eff Med Implants , 2005, 15(3): 245-270.

[27]Sacak B, Tosun U, Egemen O, et al. Microvascular anastomosis using fibrin glue and venous cuff in rat carotid artery [J]. J Plast Surg Hand Surg, 2015, 49(2): 72-76.

[28]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.

[29]杨继庆，王斯刚，段新民，等.激光环形吻合血管方法的研究[J].心脏杂志，2002，14(2)：95-99.

[30]McCargar R,Jenson K,Dayton A,et al.Preparation of dissolvable albumin stents for vascular anastomosis with a 1.9μm laser and invitro mechanical strength assessments [J].LasersSurgM ed,2012,44(4):330-338

[31]Reddy C,Pennington D,Stern H.Microvascular anastomosis using the vascular closure device in free flap reconstructive surgery:A 13-year experience[J].J Plast Reconstr Aesthet Surg,2012,65(2):195-200.

[32]Cheng H T,Ma H,Tsai C H,et al.A three-dimen-sional stereoscopic monitor system in microscopic vascular anastomosis[J].Microsurgery,2012,32(7):571-574

[33]Lee J Y,Mattar T,Parisi T J,et al.Learning curve of robotic-assisted microvascular anastomosis in the rat[J]. J Reconstr Microsurg,2012,28(7):451-456

www.qikanjiansuo.com 学术期刊网