

# 穿支皮瓣的现状与发展

赵建文, 史卫东, 何红英, 杨学, 黎庆, 张建政

(解放军总医院骨科医学部显微外科 国家骨科与运动康复临床医学研究中心, 北京 100048)

关键词 穿支皮瓣; 足踝; 手; 机器人

中图分类号: R62

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.08.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Current situation and development of perforator flap

ZHAO Jian-wen, SHI Wei-dong, HE Hong-ying, YANG Xue, LI Qing, ZHANG Jian-zheng (Senior Department of Orthopaedics, PLA General Hospital, The National Clinical Research Center for Orthopaedics, Sports Medicine & Rehabilitation, Beijing 100048, China)

KEYWORDS Perforator flap; Ankles; Hands; Robot



(张建政教授)

随着显微外科技术和层次解剖学研究的深入发展, 穿支皮瓣(perforator flap) 已经成为临床修复四肢缺损和组织重建最常用的方法之一。穿支皮瓣突破了深筋膜血管网是皮瓣赖以生存必备条件的传统观念, 实现了以最小的供区损害获得最佳的受区外形和功能, 是皮瓣外科又一次里程碑式的飞跃。

我国在穿支皮瓣的研究方面也做出了卓越的贡献, 尤其穿支皮瓣的解剖、分型, 特殊形式穿支皮瓣及其衍生术式命名等系列技术与理论创新, 促进了穿支皮瓣的发展和应用<sup>[1-2]</sup>。

## 1 穿支皮瓣的定义与发展

1989 年 KOSHIMA 等<sup>[3]</sup>最早提出了穿支皮瓣的概念, 通过游离结扎腹壁下动脉营养腹直肌的肌支, 保留腹直肌组织, 减少供区并发症, 切取的皮瓣更薄、更美观实用, 提出了腹壁下动脉穿支皮瓣(deep inferior epigastric perforator flap, DIEP)。与传统随意皮瓣、轴行皮瓣相比, 穿支皮瓣具有更加精准的切取、供区损伤更少的优势, 避免了源动脉破坏及受区皮瓣臃肿。随着显微外科和整形外科的蓬勃发展, 各

类型的穿支皮瓣不断涌现。ANGRIGIANI 等<sup>[4]</sup>报道的胸背动脉穿支皮瓣(thoracodorsal artery perforator flap, TDAP); ALLEN 等<sup>[5]</sup>介绍的臀部动脉穿支皮瓣用于胸部软组织缺损(superior gluteal artery perforator flap, SGAP); LIN 等<sup>[6]</sup>描述腓肠肌内侧头穿支皮瓣(medial sural artery perforator, MSAP), 重建颌面部缺损的常用穿支皮瓣。穿支皮瓣包括穿支供血的各类型组织瓣、筋膜瓣、筋膜脂肪瓣和骨瓣等, 逐渐演变为超薄皮瓣、血流桥接皮瓣、联体皮瓣、多种组织类型的嵌合皮瓣。因此, 外科医生在修复缺损和组织重建时, 可供选择的组织瓣类型多样、数量众多, 可针对不同患者定制个性化的治疗方案, 实现从“单一”到“多样化”领域迈进。目前直径 0.5 mm 的穿支皮瓣已可作为血管来源, 全身穿支皮瓣的血管来源可达 300 条以上, 穿支皮瓣的发展明显提高了严重肢体损伤及肿瘤切除后等复杂创面的修复<sup>[1]</sup>。

## 2 穿支皮瓣的分类

穿支皮瓣在修复重建外科领域被广泛应用, 它既能保证皮瓣的血供, 又大大降低了皮瓣供区损害, 可以根据不同形式的缺损, 应用多种方式对皮瓣进行精准设计获取较长血管蒂以利皮瓣转移或游离时血管吻合。KOSHIMA 等<sup>[3]</sup>首次报道以腹壁下动脉为蒂, 不带腹直肌的下腹部皮瓣。NAKAJIMA 等<sup>[7]</sup>根据穿支血管的来源、走行和分布, 提出 6 种类型的深筋膜穿支血管: I 型, 直接皮肤血管; II 型, 直接肌间隔皮肤血管; III 型, 来自肌肉血管的皮肤穿支血管; IV 型, 来自肌肉血管的直接皮肤分支血管; V 型, 肌间隔穿支血管; VI 型, 肌皮穿支血管。穿支血管一般为直接皮肤血管、肌间隔血管和肌皮血管等解剖类型<sup>[8]</sup>。2003 年穿支皮瓣“根特”共识<sup>[9]</sup>, 将穿支血管分

基金项目:北京市自然科学基金项目(编号:7232165);军队装备科研专项项目(编号:LB20201A050008)

Fund program: Beijing Natural Science Foundation Project (No. 7232165)

通讯作者: 张建政 E-mail: drzhangjianzheng@126.com

Corresponding author: ZHANG Jian-zheng E-mail: drzhangjianzheng@126.com

成 5 种类型: (1) 穿支血管直接穿过深筋膜。(2) 间接肌肉穿支血管, 皮下组织提供血液供应为主。(3) 间接肌肉穿支血管, 肌肉血液供应为主, 皮下组织血液供应为辅。(4) 间接肌束膜穿支血管, 穿过深筋膜前在肌肉纤维之间的肌束膜内走行。(5) 间接肌间隔穿支血管, 穿过深筋膜前主要在肌间隔内走行。“根特”共识就穿支血管和穿支皮瓣的分类进行了深入地探讨、总结, 极大地促进了穿支皮瓣的推广、研究和运用。

国内诸多学者深入开展对穿支皮瓣的研究、探讨和应用, 顾玉东院士在直接皮肤血管和肌肉皮肤血管的基础上, 采用穿支皮瓣治疗手足部创伤缺损<sup>[10]</sup>。唐举玉<sup>[11]</sup>应用传统穿支皮瓣的“微创与美学”理念, 根据受区修复要求, 对皮瓣供区的一级源血管及其分支和相应供养的组织进行优化设计, 无创解剖、分割和重组, 再根据受区创面重建需要切取不同组织块, 然后再削薄、组装、拼接成特殊形式的新型皮瓣, 按照该理论衍生出特殊形式穿支皮瓣衍生术式唐氏分类, 有力地推进了穿支皮瓣技术的发展。

### 3 穿支皮瓣的术前精准设计

穿支皮瓣的术前精准设计包括皮瓣形状、大小、厚度的设计, 以及穿支血管术前定位、受区吻合血管的位置、直径等。传统“布样技术”是临床上供区与受区之间形状转化的主要手段, 但该技术过于依赖术者的主观思维, 仍停留在手工测量和目测估计上, 缺乏标准化、规范化。其次, 该技术也无法测量供区厚度与受区创面弧度, 往往发生供、受区血管长度、直径不匹配, 增加手术次数, 牺牲第二供区, 延长手术时间等<sup>[11-12]</sup>。因此, 穿支皮瓣术前的精准设计对显微外科的发展具有重要的临床意义。

穿支血管术前定位影像学技术包括多普勒 (color duplex sonography, CDS)、彩色超声、计算机断层扫描血管造影 (computed tomography angiography, CTA) 和核磁共振血管造影 (magnetic resonance angiography, MRA) 等<sup>[13]</sup>。多普勒术前定位在临床最为常用, 但 CTA 技术被认为是穿支血管术前定位的金标准<sup>[14]</sup>。然而, 利用 CT 自带的软件所获得的图像无法提供穿支血管与周围组织的关系, 难以三维动态形式观察穿支血管在肌肉中的走行。除此以外, 精准的皮瓣设计不仅需要考虑外观形状以及穿支血管定位, 还要考虑供区皮瓣厚度与受区创面弧度对皮瓣大小设计的影响等<sup>[15]</sup>。

近年来, 数字化技术在医学领域的应用, 使得穿支皮瓣实现精准化设计成为可能<sup>[5]</sup>。常利用 Mimics 软件三维重建技术, 计算皮瓣厚度、表面积、形状等, 建立穿支血管在肌肉中穿行的三维模型, 明确穿支

血管的解剖路径, 从而实现供、受区精准匹配, 为临床穿支皮瓣术前精准设计与个性化评估提供了有效的理论依据。人工智能三维重建技术, 提升了医疗影像后处理的能力, 获得更及时全面、直观、立体的影像信息。同时, 高灵敏、低延时、极清 4K 智慧终端, 触控模式, 为穿支皮瓣的精准设计进一步提高了准确性和效率。3D 打印技术及镜像技术能够在术前精确个体化设计术中所需皮瓣, 使手术医师术前就能形象直观地观察所切取皮瓣的形态和特点, 并可重复性用软件模拟手术过程。通过数字化技术根据创面计算缺损的大小及形状, 设计分叶皮瓣。通过对皮瓣及血管进行分割、组合, 形成 3D 图像, 可根据血管的走行及其穿支的位置设计皮瓣的切取范围, 清晰显示出重建结构的空间位置关系<sup>[16-17]</sup>。数字化时代的到来促进了医学的发展, 显微外科技术的发展离不开数字化技术, 应用数字化技术是穿支皮瓣精准设计的必经之路。

### 4 穿支皮瓣的临床应用

穿支皮瓣自首次被报道以来, 已接近 30 年<sup>[3]</sup>, 这一全新的皮瓣设计和相关技术理念, 从最初的不被接受发展到现在, 成为临床应用最为广泛的软组织修复方法。此理念突破原有皮瓣理念和原则, 选择隐蔽、穿支血管口径  $\geq 0.5$  mm、且功能次要的供区, 来修复外露、重要的功能区域。根据受区的不同, 穿支皮瓣分为带蒂穿支皮瓣和游离穿支皮瓣。国内外文献报道<sup>[18-19]</sup>最常用的穿支皮瓣包括 DIEP、臀上动脉穿支皮瓣, 旋股外侧动脉降支穿支皮瓣 (anterolateral thigh flap, ALTP)、旋髂浅动脉穿支皮瓣 (superficial circumflex iliac artery perforator flap, SCIP) 和腓肠内侧动脉穿支皮瓣等。随着解剖研究与临床实践的发展, 穿支皮瓣基本已经进入快速发展阶段, 只要有合适的穿支就可以作为皮瓣的理想供区。血管解剖研究后发现, 只要供区允许, 任何一个穿支血管均可以用来形成穿支皮瓣。越来越多的穿支皮瓣用于修复手部、足踝软组织缺损<sup>[20]</sup>。

本期王科杰等<sup>[21]</sup>采用指动脉穿支筋膜瓣修复 21 例 27 指中节手指背侧缺损, 认为指动脉穿支筋膜瓣是治疗伴有肌腱骨外露的手指皮肤缺损的一种有效的手术方式。吴穷等<sup>[22]</sup>报道游离骨间后动脉穿支皮瓣修复手指软组织缺损, 认为游离骨间后动脉穿支皮瓣修复手指缺损具有皮瓣外观及质地良好、供区邻近、切取方便、可以 I 期闭合等优点。杨林等<sup>[23]</sup>报道第 1 跖背动脉为蒂的穿支皮瓣, 利用分叶技术, 辅助修复多指多段的断指再植术, 不但有效地覆盖多处缺损, 而且供区丰富的静脉网促进了静脉回流, 缓解术后肿胀, 增加成活率等。兰荣玉等<sup>[24]</sup>报

道股前外侧穿支皮瓣 I 期显微修薄, 游离移植修复足踝部软组织缺损 20 例, 认为股前外侧穿支皮瓣修复足踝部软组织缺损成活率高, 质地优良, 供区损伤小。

## 5 显微外科机器人辅助下穿支皮瓣的手术

机器人手术系统是集多项现代高科技手段于一体的综合体, 随着 3D 视觉成像系统、滤过生理震颤、极其灵活仿真手臂及通过合理的人体工程学装置, 显微外科机器人应需而生<sup>[25]</sup>。显微外科机器人在穿支皮瓣中应用最多 DIEP 穿支皮瓣, DIEP 是一种具有血管恒定、管径粗、可切取的组织量大、供区隐蔽、损伤小和可直接闭合等优点的皮瓣<sup>[26]</sup>。达芬奇机器人辅助下 DIEP 获取可以有效减少切口长度造成肌肉和肋间神经损伤, 从而避免切口疝和腹壁薄弱。达芬奇 SP 型号只需要 1 个直径 2.5 cm 的端口就可以进入 4 个手臂, 包括 1 个带相机的手臂, 更小的损伤和操作空间使得达芬奇 SP 是 DIEP 获取的良好候选<sup>[27]</sup>。对于其他穿支皮瓣的应用, 未发现有关达芬奇机器人的报道。MUSA 机器人和 SYMANI 机器人是目前针对显微外科研发的机器人, 临床应用于淋巴水肿和穿支皮瓣的精准吻合。

达芬奇机器人系统(intuitive surgical)临床应用最为广泛, 多见于泌尿外科、普通外科、小儿外科、心血管外科、妇科、耳鼻喉科、肝胆外科等, 在显微外科中的应用起步相对较晚, 而且发展较为缓慢。达芬奇机器人是第一个获得美国食品和药物管理局批准的机器人设备, 专门针对于微创手术和腔镜手术, 达芬奇机器人技术辅助显微外科手术最早应用于穿支皮瓣的血管吻合。SELBER<sup>[28]</sup>和 SONG 等<sup>[29]</sup>应用机器人辅助穿支皮瓣进行头颈部缺损修复方面的研究。在显微外科手术中, 必须使用小尺寸的精细器械进行精细操作, 因此, 达芬奇机器人在显微外科手术中存在着诸多的局限性。

荷兰马斯特里赫特大学医学中心的显微外科医生与埃因霍温科技大学的技术工程师合作, 开发了世界上第一个专用的显微手术机器人平台, 即 MUSA 机器人。MUSA 是一种重量轻、体积小的系统, 可以安装在手术台上和显微镜上, 降低了对手术室布局要求, 易于安装。MUSA 旨在通过滤过震颤和缩小运动来帮助提升显微外科医生的操作稳定性。MUSA 机器人易于操作, 手臂上装有真正的超级显微手术器械<sup>[30]</sup>。意大利 Medical Micro Instruments (MMI) 公司设计的 SYMANI 机器人利用远程操作的基本原理, 为外科医生提供了在几十微米范围内的器械运动的精度。通过将外科医生的手部运动缩小 7~20 倍基本上消除了生理性震颤, 并为高达 40 倍

视觉放大的外科医生提供合适的运动缩放, 赋予了超越人手的灵巧性和精确性<sup>[31]</sup>。

总之, 穿支皮瓣作为显微外科一个里程碑式的新理念, 极大丰富了皮瓣外科的技术和应用, 尤其对于四肢开放性损伤导致的软组织缺损, 开启了一个简洁美观、创伤小的自由阶段。机器人辅助下穿支皮瓣技术可能是未来显微外科手术的纵深发展新趋势。

## 参考文献

- [1] 唐举玉. 特殊形式穿支皮瓣及其衍生术式的分型与命名[J]. 中华显微外科杂志, 2021, 44(3): 245-254.  
TANG J Y. A comprehensive classification and nomenclature for special-form perforator flaps: essentials and derivatives[J]. Chin J Microsurg, 2021, 44(3): 245-254. Chinese.
- [2] 欧昌良, 邹永根, 罗成, 等. 负压封闭引流联合股前外侧穿支皮瓣修复足部软组织缺损[J]. 中国骨伤, 2018, 31(7): 666-670.  
OU C L, ZOU Y G, LUO C, et al. Vacuum sealing drainage with anterolateral thigh perforator flap for repair foot soft tissue defect[J]. China J Orthop Traumatol, 2018, 31(7): 666-670. Chinese.
- [3] KOSHIMA I, SOEDA S. Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle[J]. Br J Plast Surg, 1989, 42(6): 645-648.
- [4] ANGRIGIANI C, GRILLI D, SIEBERT J. Latissimus dorsi musculocutaneous flap without muscle[J]. Plast Reconstr Surg, 1995, 96(7): 1608-1614.
- [5] ALLEN R J, TUCKER C Jr. Superior gluteal artery perforator free flap for breast reconstruction[J]. Plast Reconstr Surg, 1995, 95(7): 1207-1212.
- [6] LIN C H, HSIEH Y H, LIN C H. The medial sural artery perforator flap in lower extremity reconstruction[J]. Clin Plast Surg, 2021, 48(2): 249-257.
- [7] NAKAJIMA H, FUJINO T, ADACHI S. A new concept of vascular supply to the skin and classification of skin flaps according to their vascularization[J]. Ann Plast Surg, 1986, 16(1): 1-19.
- [8] WALTON R L. Reconstructive surgery: principles, anatomy, and technique[J]. Plast Reconstr Surg, 1999, 104(5): 1565-1566.
- [9] BLONDEEL P N, VAN LANDUYT K H, MONSTREY S J, et al. The "Gent" consensus on perforator flap terminology: preliminary definitions[J]. Plast Reconstr Surg, 2003, 112(5): 1378-1383.
- [10] 张世民, 徐达传, 顾玉东. 穿支皮瓣[J]. 中国临床解剖学杂志, 2004, 22(1): 32-33, 35.  
ZHANG S M, XU D C, GU Y D. Perforator flap[J]. Chin J Clin Anat, 2004, 22(1): 32-33, 35. Chinese.
- [11] HOMSY C, MCCARTHY M E, LIM S, et al. Portable color-flow ultrasound facilitates precision flap planning and perforator selection in reconstructive plastic surgery[J]. Ann Plast Surg, 2020, 84(6S Suppl 5): S424-S430.
- [12] VISCONTI G, BIANCHI A, LEONE A D, et al. The ultrasound evolution of lateral thoracic perforator flaps design and harvest for partial and total breast reconstruction[J]. Aesthetic Plast Surg, 2022. Online ahead of print.
- [13] CHIM H, NICHOLS D S, CHOPAN M. Ultrasound for perforator mapping and flap design in the hand and upper extremity[J]. J Hand Surg Am, 2023, 48(6): 595-601.

- [14] LI Z C, ZHENG D W, ZHENG J, et al. Free superficial circumflex iliac artery perforator flap with a single-pedicle bilobed design for pediatric multi-digit defect reconstruction [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 216.
- [15] PIGNATTI M, OGAWA R, MATEEV M, et al. Our definition of propeller flaps and their classification [J]. *Semin Plast Surg*, 2020, 34(3): 139-144.
- [16] PARK J W, LEE M K, WOO K J. Influence of vertical location and spacing of perforators on perfusion in deep inferior epigastric artery perforator flap breast reconstruction: quantitative analysis using indocyanine green angiography [J]. *Gland Surg*, 2022, 11(12): 1851-1863.
- [17] 徐伟华, 林平, 许甜甜, 等. 红外线热成像技术在游离股前外侧穿支皮瓣设计中的应用 [J]. *中国骨伤*, 2019, 32(11): 1053-1057.  
XU W H, LIN P, XU T T, et al. Application of infrared thermal imaging technology in the design of free anterolateral thigh perforator flap transplantation [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2019, 32(11): 1053-1057. Chinese.
- [18] KWON J G, BROWN E, SUH H P, et al. Planes for perforator/skin flap elevation-definition, classification, and techniques [J]. *J Reconstr Microsurg*, 2023, 39(3): 179-186.
- [19] RODRIGUEZ -UNDA N A, ABRAHAM J T, SAINT -CYR M. Keystone and perforator flaps in reconstruction; modifications and updated applications [J]. *Clin Plast Surg*, 2020, 47(4): 635-648.
- [20] LIN Y T, LOH C Y Y, LIN C H. Flaps based on perforators of the digital artery [J]. *Hand Clin*, 2020, 36(1): 57-62.
- [21] 王科杰, 滕晓峰, 杨科跃, 等. 指动脉穿支筋膜瓣联合人工真皮 I 期修复手术背侧皮肤缺损 [J]. *中国骨伤*, 2023, 36(8): 719-723.  
WANG K J, TENG X F, YANG K Y, et al. One-stage repair of full-thickness skin defect at dorsal skin of middle phalanx fingers using artificial dermis combing with digital artery perforator fascial flaps [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2023, 36(8): 719-723. Chinese.
- [22] 吴穷, 江吉勇, 范江来, 等. 游离骨间后动脉穿支皮瓣在手指缺损创面的临床使用 [J]. *中国骨伤*, 2023, 36(8): 714-718.  
WU Q, JIANG J Y, FAN J L, et al. Free posterior interosseous artery perforator flap in the treatment of finger with skin and soft tissue defect [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2023, 36(8): 714-718. Chinese.
- [23] 杨林, 史卫东, 张建政, 等. 应用足部分叶皮瓣修复合并节段性损伤的多指离断伤 [J]. *中国骨伤*, 2023, 36(8): 708-713.  
YANG L, SHI W D, ZHANG J Z, et al. Leaflet flap for the treatment of severed multi-finger with segmental injury [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2023, 36(8): 708-713. Chinese.
- [24] 兰荣玉, 江吉勇, 喻田, 等. 显微修薄股前外侧穿支皮瓣游离移植修复足踝部软组织缺损 [J]. *中国骨伤*, 2023, 36(8): 701-707.  
LAN R Y, JIANG J Y, YU T, et al. Microsurgical thinned anterolateral thigh perforator flap to repair soft tissue defects of foot and ankle [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2023, 36(8): 701-707. Chinese.
- [25] 李文涛. 达芬奇机器人辅助乳房重建应用现状 [J]. *中国肿瘤外科杂志*, 2023, 15(3): 237-240.  
LI W T. The application status of Da Vinci robot-assisted breast reconstruction [J]. *Chin J Surg Oncol*, 2023, 15(3): 237-240. Chinese.
- [26] LEE M J, WON J, SONG S Y, et al. Clinical outcomes following robotic versus conventional DIEP flap in breast reconstruction: a retrospective matched study [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 989231.
- [27] JUNG J H, JEON Y R, LEE D W, et al. Initial report of extraperitoneal pedicle dissection in deep inferior epigastric perforator flap breast reconstruction using the da Vinci SP [J]. *Arch Plast Surg*, 2022, 49(1): 34-38.
- [28] SELBER J C. Transoral robotic reconstruction of oropharyngeal defects: a case series [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2010, 126(6): 1978-1987.
- [29] SONG H G, YUN I S, LEE W J, et al. Robot-assisted free flap in head and neck reconstruction [J]. *Arch Plast Surg*, 2013, 40(4): 353-358.
- [30] VAN MULKEN T J M, SCHOLS R M, SCHARMGA A M J, 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.
- [31] 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.

(收稿日期: 2023-07-31 本文编辑: 李宜)