

· 专家论坛 ·

本文亮点:

- (1) 回顾了我国显微外科技术在组织修复领域的发展历程,并介绍了多种组织形式的皮瓣修复策略。
- (2) 详细分析了显微外科技术在烧伤毁损性创面修复及烧伤后瘢痕挛缩畸形整复中的应用。

Highlights:

- (1) The development of microsurgical techniques in the field of tissue repair in China was reviewed, and the strategies of flap repair in various tissue forms were introduced.
- (2) The application of microsurgical techniques in the repair of destructive burn wounds and the reconstruction of post-burn scar contracture deformity was analyzed in detail.



要进一步重视显微外科技术在烧伤中的应用

沈余明 胡云刚

首都医科大学附属北京积水潭医院烧伤科,北京 100035

通信作者:沈余明,Email:shenyuming1963@163.com

【摘要】 经历60余年的发展,显微外科技术已迈入智能化、数字化时代。该文重点探讨我国显微外科技术在组织修复领域的发展历程,详细分析显微外科技术在烧伤毁损性创面修复及烧伤后瘢痕挛缩畸形整复中的应用,系统介绍针对多种组织形式的皮瓣修复策略。随着科技的进步以及组织工程学、再生医学和基因编辑等新兴领域的突破,显微外科技术在组织修复领域展现出巨大的潜力,其未来应用前景广阔。

【关键词】 烧伤; 显微外科手术; 游离皮瓣; 毁损性创面; 烧伤后瘢痕挛缩畸形; 创面修复

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC2403004);北京市自然科学基金-昌平创新联合基金(L234067)

Further emphasis on the application of microsurgical techniques in burns

Shen Yuming, Hu Yungang

Department of Burns, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China

Corresponding author: Shen Yuming, Email: shenyuming1963@163.com

【Abstract】 Over the course of more than 60 years of development, microsurgical techniques have entered the era of intelligence and digitization. This article

focuses on the development of microsurgical techniques in the field of tissue repair in China, provides a detailed analysis of the application of microsurgical techniques in the repair of destructive burn wounds and the reconstruction of post-burn scar contracture deformity, and systematically introduces the flap repair strategies in various tissue forms. With advances of science and technology, and breakthroughs in emerging fields such as tissue engineering, regenerative medicine and gene editing, microsurgical techniques have demonstrated tremendous potential in the area of tissue repair, with broad prospects for future applications.

【Key words】 Burns; Microsurgery; Free flap; Destructive wounds; Post-burn scar contracture deformity; Wound repair

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2403004); Beijing Natural Science Foundation-Changping Innovation Joint Fund (L234067)

随着我国烧伤救治水平的不断提升,大面积烧伤患者的存活率显著提高^[1]。创面的良好覆盖是影响患者烧伤后外观与功能恢复的关键因素。然而,累及肌腱、神经、骨关节的深度烧伤创面修复仍

DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20241012-00380

本文引用格式:沈余明,胡云刚.要进一步重视显微外科技术在烧伤中的应用[J].中华烧伤与创面修复杂志,2025,41(1):11-17. DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20241012-00380.

Shen YM,Hu YG.Further emphasis on the application of microsurgical techniques in burns[J].Chin J Burns Wounds,2025,41(1):11-17.DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20241012-00380.



然是一个棘手的难题。常规的皮瓣和游离移植皮片在此类创面上的存活率较低,即使存活,皮肤质地也往往较差,易出现瘢痕挛缩导致功能障碍^[2]。应用显微外科技术的游离皮瓣在创面覆盖和功能重建中展现出独特的优势。随着显微外科技术不断进步以及游离皮瓣、肌皮瓣的推广应用,深度烧伤创面的修复以及烧伤后瘢痕畸形的矫正效果得到了保障。特别是近些年来,各种形式的穿支皮瓣、预构皮瓣、预构扩张皮瓣、预置皮瓣等术式得到了快速发展和推广,为烧伤毁损性创面修复和烧伤后瘢痕畸形整复提供了新的解决方案,大大降低了烧伤患者致残率和截肢率。

1 我国显微外科技术在组织修复领域的发展历史

显微外科技术是指外科医师借助手术显微镜,使用精细的显微手术器械及缝合材料,对细小的组织进行精细手术,该技术主要应用于血管、神经的修复及组织移植。1963年1月,我国学者陈中伟等^[3]成功完成了世界首例断肢再植手术,树立了外科手术从宏观进入微观的新里程碑,从而开创了显微外科的新纪元。杨东岳团队于1966年2月首创了第2足趾移植再造拇指手术^[4],从而推动了我国再造外科的发展。自此,我国各大医院普遍开展显微外科技术,并逐渐向基层医院推广。

20世纪70年代,随着显微外科技术的兴起,吻合血管的游离组织移植更新了传统的组织移植观念。1973年3月,杨东岳团队成功开展了国内首例游离腹股沟皮瓣修复颊部组织缺损手术^[5]。1979年,沈祖尧等^[6]首次提出血管束预构皮瓣的概念,并将大网膜或轴型血管植入随意皮瓣形成以此为蒂的预构轴型皮瓣。1981年,杨果凡等^[7]首次报道了前臂桡动脉皮瓣,引起国内外学者兴趣,该皮瓣被称为“中国皮瓣”。1984年,徐达传等^[8]最早报道了股前外侧皮瓣,首次提出了肌间隔血管皮瓣的概念,因其具有供区隐蔽、可切取面积大、血管恒定等优点被称为“万能皮瓣”。1989年,Koshima和Soeda^[9]在国际上首次报道了不携带肌肉的腹壁下动脉皮瓣,从临床角度率先提出穿支皮瓣概念,自此穿支皮瓣成为显微外科领域研究的重点和热点。显微解剖学研究的不断深入极大地推动了显微外科的发展,此后显微外科技术被广泛应用于各种烧伤复杂创面修复和瘢痕畸形整复中。

近年来,显微外科技术的发展进入了精准化时

代,不再是最初的简单组织覆盖,而是需要针对患者特点进行个性化皮瓣设计,以达到供区损伤小、受区外观和功能修复好的目的。我国显微外科技术经过60余年的发展,从游离皮瓣、游离复合组织瓣到预构皮瓣、预置皮瓣、穿支皮瓣等,从显微外科到超级显微外科,从游离自体组织移植到游离异体组织移植等在未来组织修复领域中仍占有重要地位。

2 显微外科技术在烧伤毁损性创面修复中的应用

高压电烧伤、热压伤等导致的烧伤毁损性创面,除了存在广泛的皮肤和软组织损伤或缺损外,通常还伴有深部组织如肌肉、肌腱、神经、血管、骨骼、关节甚至内脏器官的损伤,其主要特征为损伤范围广、深度大,且致残率和截肢率极高,并发症多^[10]。20世纪70年代以前,主要通过换药、清创、植皮或随意皮瓣移植修复创面,创面持续时间长、修复效果差,往往导致受伤部位严重畸形、功能障碍,甚至截肢。20世纪70年代后,随着显微外科技术的发展,游离皮瓣、肌皮瓣在烧伤毁损性创面修复中发挥了重大的作用,但早期的重点在于促进创面愈合,对后期的外形、功能恢复情况的重视程度相对不足,往往导致修复部位皮瓣臃肿,功能较差,供瓣区瘢痕严重等。因此,在烧伤毁损性创面的治疗中,如何在挽救生命的同时兼顾功能与外观修复,减轻供瓣区的损伤,降低致残率和截肢率,是烧伤与创面修复外科领域的难题。而显微外科穿支皮瓣技术的发展,为毁损性烧伤创面的完美修复带来了新的曙光。

目前,学者对于烧伤毁损性创面的修复时机尚存在争议,有学者认为在烧伤早期,特别是伤后5~21 d内行游离皮瓣移植手术的失败率较高,主要可能因为清创不彻底、感染、手术后炎症反应、血管损伤等^[11]。Baumeister等^[12]在60例患者中移植了75个皮瓣,其中49个皮瓣用于修复热力烧伤创面,26个皮瓣用于修复电烧伤创面,结果显示后者的移植失败率为19%,高于前者的10%。该团队认为电烧伤创面的皮瓣移植成功率较低的原因为清创不充分。Ofer等^[13]报道了19例电烧伤患者移植26个游离皮瓣的情况,结果显示皮瓣移植失败率为15%,该团队也认为其原因在于对电烧伤创面的清创不彻底。Chick等^[14]对5例电烧伤患者行游离皮瓣手术,结果显示皮瓣均成活,该团队主张彻底

清创是必要的。笔者团队认为在全身血流动力学稳定的情况下,伤后早期行彻底清创、吻合远离损伤区血管及游离皮瓣手术是安全的;烧伤毁损性创面的修复应遵循损害控制理论,做到早期清创、组织移植和修复重建,充分应用显微外科技术,如采用游离皮瓣、预构皮瓣、穿支皮瓣移植等实现保全肢体、功能修复重建、创面良好覆盖,同时最大限度地减少供区的损伤的目标^[15]。在毁损性烧伤,尤其是高压电烧伤中,由于触电时存在电流入口及出口,常导致身体多部位的严重毁损性烧伤^[16]。笔者团队根据电烧伤累及多部位的特点,在积极评估、复苏的基础上,对多部位毁损性电烧伤创面早期进行游离皮瓣覆盖,均取得较满意的疗效^[17]。笔者团队认为在游离皮瓣移植术前应根据创面范围和部位,合理选择供区,并科学设计皮瓣方案,如对于存在多个部位的创面,应根据轻重缓急,优先考虑危及生命、影响功能部位的创面的修复;对于局部多位点创面,可考虑采用分叶皮瓣进行修复,以实现一个皮瓣覆盖多个创面的目标。李海等^[18]利用旋股外侧动脉降支 3 叶皮瓣修复手部爆炸伤毁损性创面,术后皮瓣存活良好,功能修复重建效果佳。

烧伤毁损性创面多伴有不同程度血管损伤,术前应完善血管造影,评估损伤部位血管条件。若明确存在血管损伤、坏死或栓塞,应及时去除并结扎,必要时行浅静脉桥接重建动脉,恢复肢体血运,然后再以游离皮瓣覆盖创面。血流桥接皮瓣因可在修复创面的同时重建血管,逐渐被应用于修复毁损性创面^[19]。笔者团队使用股前外侧血流桥接皮瓣修复严重腕部电烧伤创面,实现了受区创面覆盖和血管重建,避免了截肢,同时对供区损伤小,总体疗效佳^[20-21]。对于存在复合组织缺损的毁损性创面,应采用复合组织移植或联合移植进行修复。多种形式的穿支皮瓣如带血管蒂的游离骨皮瓣、肌皮瓣、神经皮瓣、嵌合皮瓣等可完成多种组织缺损修复^[22-23],实现修复创面的同时完成功能重建。此外,烧伤毁损性创面患者的病情复杂,涉及多部位、多层次损伤,在治疗过程中应加强多学科合作,各专业密切配合才能更好地进行创面修复和功能重建,降低致残率,最大限度挽救更多患者的生命。

3 显微外科技术在烧伤后瘢痕挛缩畸形整复中的应用

深度烧伤创面愈合后多遗留不同程度的瘢痕

挛缩畸形,尤其以面颈部、四肢大关节、手部及会阴处最为常见,严重影响功能和外观。轻度的瘢痕挛缩畸形可通过皮片移植、局部皮瓣转移(Z成形、五瓣法、“海鸥”皮瓣移植等)和压力治疗、激光治疗、药物注射等非手术治疗方法进行矫正^[24-25]。严重的瘢痕挛缩畸形因局部正常组织有限,局部皮瓣不足以覆盖挛缩畸形松解后遗留创面,而选用皮片移植覆盖易导致再次挛缩畸形。因此,根据瘢痕挛缩部位,利用显微外科技术采用游离皮瓣、多种形式的穿支皮瓣、扩张后游离皮瓣、预构皮瓣和预置皮瓣等可有效弥补局部皮瓣的不足^[26],有效进行组织的修复,满足功能重建、器官重建和美学的要求。

瘢痕切除或松解挛缩关节后创面是游离皮瓣修复手术的最常见适应证。烧伤瘢痕挛缩易发生在面颈部、腋、肘、手及下肢关节处,通常会伴严重的功能障碍。对于广泛和严重的颈部烧伤挛缩, Tseng 等^[27]建议将显微外科游离组织移植作为瘢痕松解或切除后创面修复的主要方法。该团队使用肩胛皮瓣或肩胛旁皮瓣修复继发于化学烧伤后的纵向和横向颈部瘢痕挛缩,获得良好的功能和美学外观,无挛缩复发。Angrigiani^[28]使用延长肩胛皮瓣治疗 86 例前颈部烧伤挛缩患者,也获得了良好的功能和美学外观,无瘢痕挛缩复发。对于各种关节、手瘢痕畸形的整复,也可采用各种特殊形式的穿支皮瓣移植。

3.1 扩张后游离皮瓣

扩张后皮瓣面积增大、皮肤质地与受区接近,已被广泛应用于各类瘢痕挛缩畸形整复中。然而,扩张邻近皮瓣仍存在一定不足,如扩张范围有限、过度扩张后皮瓣远端血运较差,且大面积烧伤患者瘢痕挛缩部位常无可用于扩张的正常皮肤。可根据不同患者瘢痕挛缩部位个性化设计扩张后游离皮瓣,常用的有扩张胸背动脉穿支皮瓣、扩张髂腹股沟皮瓣、扩张胸三角皮瓣及扩张腹壁下动脉穿支皮瓣等^[29-30]。陈澜等^[31]利用扩张髂腹股沟皮瓣游离移植整复了 7 例大面积烧伤后严重瘢痕挛缩畸形患者,术后皮瓣全部存活,无尖端坏死,皮瓣质地柔软且不臃肿,受区功能、外观明显改善,供区外观良好,提示该皮瓣特别适合面颈部、手部严重瘢痕挛缩畸形患者。

3.2 预构皮瓣和预构扩张皮瓣

预构皮瓣指通过将轴型血管载体(知名血管蒂或筋膜组织瓣)移植到随意皮瓣的皮下,经过再血

管化过程,将随意皮瓣转变为轴型皮瓣的一种技术^[32]。这种方法扩大了游离皮瓣供区的选择范围,能够提供薄而大的轴型皮瓣且对供区损伤小,在大面积烧伤瘢痕、瘢痕挛缩畸形供瓣区不足的整复中具有独特的优势。笔者单位于 1979 年提出血管束预构皮瓣概念,并于 1995 年开展预构扩张游离皮瓣修复面颈部瘢痕挛缩畸形的手术^[33]。预构扩张皮瓣血运丰富、皮瓣面积大、皮瓣薄,修复效果好,供瓣区创面一般能直接缝合。常用的预构扩张皮瓣有颞浅筋膜颈部预构扩张皮瓣、预扩张脐旁穿支皮瓣、预扩张胸背动脉穿支皮瓣等^[34-37]。答涛等^[38]将皮瓣预构技术、扩张技术、皮瓣延迟技术、皮瓣增压技术相结合,提出了“中国式换脸”术式。该团队选用前胸区作为供区,Ⅰ期行手术血管预构、皮肤软组织扩张器置入,Ⅱ期采用皮瓣内干细胞移植治疗,实现皮瓣的超量扩张,Ⅲ期结合皮瓣延迟技术、皮瓣增压技术,采用以预构血管为蒂的皮瓣修复面部瘢痕切除后创面,取得了较好的临床效果。这一方法为解决全面部毁损修复提供了新的策略,但手术过程复杂,技术要求高且手术次数多,尚难以在临床上推广应用。

3.3 预置皮瓣

不同于预构皮瓣,预置皮瓣是将皮肤、骨、软骨等不含轴型血供的组织移植于已有知名血管的部位,使单一的轴型皮瓣包含更多的组织用以修复复杂的缺损和器官再造,常用的预置皮瓣有颞浅筋膜预置皮瓣、大网膜预置皮瓣^[39-40]。预置皮瓣的优点在于该皮瓣几乎不携带皮下脂肪,皮瓣厚度薄,适用于整复手部瘢痕挛缩畸形。此外,利用预置皮瓣技术还可在皮瓣中预先埋置软骨支架形成复合组织瓣,应用于烧伤瘢痕挛缩畸形伴有鼻缺损、外耳缺损患者的整复,在松解瘢痕挛缩的同时完成体表器官再造^[41]。

皮瓣预构和预置技术是集显微外科技术、组织扩张技术、穿支皮瓣技术等多种技术为一体的手术方式,其最大的优势在于可以根据临床需求来个性化“定制”皮瓣,用于组织缺损的修复,这恰恰是传统皮瓣无法实现的。但由于该术式操作复杂、对术者要求较高、手术需分次进行等原因没有得到广泛的临床应用。尽管如此,皮瓣预构和预置技术在组织修复领域中具有不可替代性,仍值得烧伤与创面修复外科医师高度重视。

4 多种形式的穿支皮瓣

随着显微外科技术的发展,特别是多种形式穿支皮瓣的发展为烧伤毁损性创面、严重瘢痕畸形的修复与重建插上了理想的翅膀。

4.1 分叶皮瓣

分叶皮瓣是在同一血管蒂供区切取 2 个或 2 个以上的同类穿支皮瓣,移植时只需吻合 1 组血管蒂即可重建 2 个或多个穿支皮瓣血液循环,适用于修复相邻的多个创面和不规则创面,具有单个供区皮瓣修复多个创面的优势^[42-43]。股前外侧分叶皮瓣因皮瓣可切取面积大、血管蒂恒定,在临床中应用最为常见。杨亮等^[44]采用股前外侧分叶皮瓣修复了 13 例患者 26 处足踝部相邻创面,术后皮瓣均存活,供区损伤小。分叶皮瓣实现了供区皮瓣利用最大化,术中只需吻合 1 组血管,缩短了手术时间,减轻了手术并发症^[45]。此外,分叶皮瓣也实现了供区损伤最小化,供区一般可直接缝合,减少了对供区功能和外观的影响。然而,穿支血管仍存在变异的可能性,若皮瓣内只有 1 条穿支则不适用于制作分叶皮瓣。此外,分叶皮瓣不共干时,需要将每个分叶皮瓣进行串联吻合,这增加了发生血管危象的风险。因此,在选择分叶皮瓣移植方案时,术前应采用超声多普勒、三维 CT 血管造影等设备辅助定位穿支点,术中精细解剖,尽可能保留所有穿支,术后密切观察各叶皮瓣血运,避免蒂部受压。

4.2 嵌合穿支皮瓣

嵌合穿支皮瓣是指在同一供区内切取包含 2 种或 2 种以上不同类型的独立组织瓣(如皮肤、筋膜、肌肉、骨骼等),这些独立组织瓣中至少有 1 个是穿支皮瓣,且源于同一级血管,通过吻合一组血管即可同时为多个独立组织瓣重建血液循环^[46]。复杂性创面往往伴有多种组织缺损,嵌合穿支皮瓣可一次性修复此类缺损,符合“缺多少、补多少”原则,减轻了供区损害。笔者团队采用含肌瓣的股前外侧嵌合穿支皮瓣修复腕部高压电烧伤创面,用肌瓣填塞无效腔,用皮瓣覆盖创面,术后取得良好疗效^[47]。可以根据创面情况随意调整嵌合穿支皮瓣中皮瓣与嵌合组织瓣的间距,真正做到立体修复^[48]。此外,嵌合穿支皮瓣还可与分叶皮瓣组合使用。唐举玉等^[49]采用股前外侧分叶-嵌合穿支皮瓣修复四肢复杂创面,用其中的股外侧肌肌瓣填充深部无效腔,用股前外侧分叶穿支皮瓣覆盖浅表宽大创面,减少了对供区的损害,简化了血运重建操作,

提升了受区修复质量。需要注意的是在切取嵌合肌瓣时应尽量延长肌瓣蒂部长度,避免蒂部扭曲;同时,精准切取肌瓣,避免肌瓣过大以致血运重建后组织肿胀而形成压迫。

4.3 血流桥接皮瓣

血流桥接皮瓣是一种特殊形式的穿支皮瓣,不仅可用于修复创面缺损,还能够同时重建受区的主干血管。在用血流桥接皮瓣修复创面时,利用与穿支皮瓣蒂部相连的血管,将其远端和近端与缺损区的远端和近端的血管进行吻合,从而桥接缺损区血管,既修复了缺损区域的组织,又重建了主干血管的血运。血流桥接皮瓣尤其适用于存在主干血管损伤的复杂创面的修复^[50]。常用的血流桥接皮瓣有股前外侧穿支血流桥接皮瓣、腹壁下动脉穿支血流桥接皮瓣、胸背动脉穿支血流桥接皮瓣等^[51]。笔者团队观察到将旋股外侧动脉降支血流桥接皮瓣应用在腕部电烧伤中,既能修复腕部创面又能恢复手部血运,是修复腕部高压电烧伤创面的一种较为理想的方法^[52]。选择血流桥接皮瓣时,应注意选择血管恒定、变异较少的穿支,并且尽量确保血管蒂部长度足够且管径与受区血管相匹配。

4.4 显微削薄皮瓣

显微削薄皮瓣是指在显微镜下使用显微外科器械保留穿支血管及其在浅筋膜内的分支和真皮下的血管网,并剔除大部分浅筋膜层脂肪组织的穿支皮瓣^[53]。此类皮瓣不仅在修复创面时能维持良好的血供,还能重塑受区的外形和功能^[54]。显微削薄皮瓣手术的关键在于对穿支血管的精准解剖,将其从肌肉层和深筋膜层延伸至浅筋膜层,确保皮瓣既不携带肌肉也不携带深筋膜;应用显微技术去除浅筋膜层大部分的脂肪组织,保留浅筋膜内分支及真皮下血管网,使皮瓣外形接近受区,以减少或避免再次修整,适用于手部、足踝部及颈部等对皮瓣厚度、美观及功能要求较高区域的创面修复^[55]。莫小金等^[56]采用显微削薄胸背动脉穿支皮瓣修复糖尿病足溃疡,结果显示疗效和外形均较佳。削薄皮瓣的移植避免了臃肿的外观,但同时也加大了血管痉挛的风险,易导致皮瓣回缩。因此,皮瓣设计范围可适当扩大,术中解剖血管蒂时应保留周围筋膜组织,削薄时注意避免损伤真皮下血管网,须保留少许脂肪组织。

虽然穿支皮瓣形式多样,但无论何种皮瓣,都应符合皮瓣的应用原则,符合修复的需要,符合皮

瓣经济学,尽量从患者的利益出发,做到对供区损伤小,受区修复效果好,从而达到微创、美学、完美的修复。

5 显微外科技术的优势与不足

显微外科技术的出现改变了传统组织修复的模式,通过吻合血管、神经以及携带皮肤、肌肉、骨骼等复合组织修复烧伤毁损性创面,实现了创面覆盖和功能重建的立体修复,减少了手术次数,降低了手术并发症发生风险。供区选择范围更广,不再局限于损伤部位周围,可根据患者病情选择血管分布恒定、部位隐蔽、切取后对功能影响小的部位,如股前外侧区、腹股沟区、胸外侧区等。此外,选取血运丰富的组织瓣移植,可增强损伤部位血液循环,有利于控制感染,加速创面愈合。重建阶梯的理念也应不断地适应时代的变化,全面考虑各种复杂性因素,特别讲究皮瓣的经济学原则,以最小的代价获得最大的修复效果,在综合考虑供区、受区、术者、患者等多方面因素下,针对每例患者进行个性化的皮瓣选择,尽量采用能获得最佳修复效果的方法,达到受区外观和功能修复好、供区损伤小的目的。虽然显微外科技术对术者和设备要求高,需要丰富的显微手术经验,且可能有血管危象的出现导致皮瓣坏死,但在显微外科技术快速发展的今天,显微技术的风险不应该成为阻碍游离皮瓣应用的主要原因。相反,笔者认为在烧伤毁损性创面和严重瘢痕挛缩畸形的整复中更应首选游离皮瓣,甚至考虑预构扩张皮瓣或预置皮瓣,最大限度地挽救损伤组织,避免截肢,同时重建功能和恢复外观。因此,笔者建议烧伤与创面修复外科医师进一步加强显微外科和皮瓣外科技术的学习与掌握,避免因技术水平或设备条件的限制而影响游离皮瓣在烧伤毁损性创面中的应用。充分利用显微外科技术,能够在毁损性创面的修复中发挥关键作用甚至不可替代的作用,为患者提供更优的治疗选择与预后效果。

6 显微外科技术的未来前景

显微外科技术在近年来稳步发展,逐步迈入智能化和数字化的时代。通过术前结合三维打印技术和人工智能算法可实现皮瓣的精确设计、穿支血管与受区血管的精准定位。术后利用激光散斑技术检测皮瓣的血运,摆脱了传统依赖术者经验判断

的局限性。此外,智能化显微外科机器人也被逐渐应用于皮瓣切取和血管吻合手术中,显著提高了手术的精度和效率。随着免疫学的进步,血管化异体复合移植正受到国内外学者的广泛关注,并有望成为治疗复杂畸形及毁损性创面的新手段。与此同时,组织工程学、再生医学和基因编辑等新兴领域的突破,正在为显微外科技术的进一步发展,特别是在解决皮瓣供区来源的问题上提供动力。例如,工程化自体复合组织和基因编辑异种来源组织瓣的应用前景广阔。在烧伤毁损性创面修复及烧伤后瘢痕挛缩畸形的治疗方面,显微外科技术展现出巨大的潜力,其未来应用前景不可限量。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Yang J, Tian G, Liu J, et al. Epidemiology and clinical characteristics of burns in mainland China from 2009 to 2018[J/OL]. *Burns Trauma*, 2022,10:tkac039[2024-10-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36196302/>. DOI: 10.1093/burnst/tkac039.
- [2] Ziegler B, Hundeshagen G, Warszawski J, et al. Implementation and validation of free flaps in acute and reconstructive burn care[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(7):718. DOI: 10.3390/medicina57070718.
- [3] 陈中伟,鲍约瑟,钱允庆.前臂创伤性完全截肢的再植(一例成功报告)[J]. *中华医学杂志*, 1963, 49(10):615-620.
- [4] 杨东岳,顾玉东,吴敏明,等.第二趾游离移植再造拇指40例报告[J]. *中华外科杂志*, 1977, 15(1):13-18.
- [5] 上海第一医学院华山医院口腔外科,上海第一医学院华山医院手外科.带血管的游离皮瓣移植修复颊部缺损一例报告[J]. *中华医学杂志*, 1974, 54(3):163.
- [6] 沈祖尧,王澍寰,程绪西,等.大网膜轴型皮瓣——一种形成游离皮瓣的新技术[J]. *中华外科杂志*, 1979, 17(3):151-153.
- [7] 杨果凡,陈宝驹,高玉智,等.前臂皮瓣游离移植术(附56例报告)[J]. *中华医学杂志*, 1981, 61(3):139-141.
- [8] 徐达传,钟世镇,刘牧之,等.股前外侧部皮瓣的解剖学一个新的游离皮瓣供区[J]. *临床应用解剖学杂志*, 1984, 2(3): 158-160. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.1984.03.012.
- [9] Koshima I, Soeda S. Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle[J]. *Br J Plast Surg*, 1989, 42(6):645-648. DOI: 10.1016/0007-1226(89)90075-1.
- [10] 魏在荣,王达利,黄广涛.毁损性创面的治疗进展[J/CD]. *中华损伤与修复杂志(电子版)*, 2019, 14(2):85-90. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2019.02.002.
- [11] Rout DK, Nayak BB, Choudhury AK, et al. Reconstruction of high voltage electric burn wound with exposed shoulder joint by thoracoacromial artery perforator propeller flap [J]. *Indian J Plast Surg*, 2014, 47(2):256-258. DOI: 10.4103/0970-0358.138971.
- [12] Baumeister S, Köller M, Dragu A, et al. Principles of microvascular reconstruction in burn and electrical burn injuries[J]. *Burns*, 2005, 31(1): 92-98. DOI: 10.1016/j.burns.2004.07.014.
- [13] Ofer N, Baumeister S, Megerle K, et al. Current concepts of microvascular reconstruction for limb salvage in electrical burn injuries[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2007, 60(7): 724-730. DOI: 10.1016/j.bjps.2006.12.010.
- [14] Chick LR, Lister GD, Sowder L. Early free-flap coverage of electrical and thermal burns[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1992, 89(6):1013-1019; discussion 1020-1021.
- [15] 沈余明.毁损性创面的修复策略[J/CD]. *中华损伤与修复杂志(电子版)*, 2019, 14(2): 81-84. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2019.02.001.
- [16] Hu XH, Yu L, Chen Z, et al. A novel causative factor of injury: severe burns related to fires and explosions of lithium-ion batteries of electric motorcycles[J]. *Injury*, 2024, 55(9): 111724. DOI: 10.1016/j.injury.2024.111724.
- [17] 杜伟力,沈余明,陈忠,等.多部位电烧伤毁损性创面修复方法的探讨[J/CD]. *中华损伤与修复杂志(电子版)*, 2024, 19(2): 99-105. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2024.02.002.
- [18] 李海,肖顺娥,邓呈亮,等.不同类型游离穿支皮瓣组合在四肢复杂创面修复中的临床应用[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(8): 758-764. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220720-00300.
- [19] 覃凤均,王成,张颖,等.游离皮瓣联合血管重建在上肢毁损性创面合并血管损伤修复中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(6):840-849. DOI: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.06.005.
- [20] Chen X, Zhang C, Cheng L, et al. Survival and versatility of the flow-through lateral-thigh free flap in severe electrical injuries to the wrist[J]. *Ann Plast Surg*, 2020, 85(6): 612-617. DOI: 10.1097/SAP.0000000000002355.
- [21] Wang C, Shen YM, Qin FJ, et al. Free flow-through anterolateral thigh flaps for wrist high-tension electrical burns: a retrospective case series[J]. *Biomed Environ Sci*, 2020, 33(7):510-517. DOI: 10.3967/bes2020.064.
- [22] He J, Qing L, Wu P, et al. One-stage reconstruction of extensive composite extremity defects with low donor site morbidity: a retrospective case series of combined transfer of a vascularized fibula flap and a perforator flap[J]. *Injury*, 2022, 53(4):1430-1437. DOI: 10.1016/j.injury.2022.02.028.
- [23] He J, Qing L, Wu P, et al. Large wounds reconstruction of the lower extremity with combined latissimus dorsi musculocutaneous flap and flow-through anterolateral thigh perforator flap transfer[J]. *Microsurgery*, 2021, 41(6): 533-542. DOI: 10.1002/micr.30754.
- [24] 田彭,陈欣,尹凯,等.“海鸥”皮瓣在小儿手部烧伤后指蹼瘢痕粘连整形中的应用[J]. *中国医刊*, 2022, 57(8):871-873. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1070.2022.08.016.
- [25] Hou J, Hou C, Zhang J. Combining the tunnel orbicularis oculi muscle flap technique with skin grafting for enhanced adhesion in burn-induced ectropion repair[J]. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*, 2024, 40(3):346-351. DOI: 10.1097/IOP.0000000000002664.
- [26] Lewinson RT, Capozzi LC, Johnson K, et al. A review of perforator flaps for burn scar contractures of joints[J]. *Plast Surg (Oakv)*, 2019, 27(1): 66-77. DOI: 10.1177/2292550318767433.
- [27] Tseng WS, Cheng MH, Tung TC, et al. Microsurgical combined scapular/parascapular flap for reconstruction of severe neck contracture: case report and literature review [J]. *J Trauma*, 1999, 47(6): 1142-1147. DOI: 10.1097/00005373-199912000-00029.
- [28] Angrigiani C. Aesthetic microsurgical reconstruction of anterior neck burn deformities[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1994, 93(3):507-518.

- [29] 计鹏, 曹涛, 张智, 等. 扩张胸背动脉穿支皮瓣游离移植整复烧伤后颈部瘢痕挛缩畸形的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2022, 38(4): 328-334. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20211231-00426.
- [30] Gherle B, Pozner VL, Berkane Y, et al. Pre-expanded thin DIEP free flap in pediatric upper extremity reconstruction for burn sequelae: a case report[J]. *Ann Chir Plast Esthet*, 2024, 69(2):173-177. DOI: 10.1016/j.anplas.2023.11.001.
- [31] 陈澜, 张伟, 谢卫国, 等. 扩张髂腹股沟皮瓣游离移植整复大面积烧伤后严重瘢痕挛缩畸形的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2022, 38(4):321-327. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220210-00021.
- [32] Li H, Gao Y, Gu B, et al. Midface prelamination by using a three-dimensional cervicofacial prefabricated flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2024, 154(1): 182e-185e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010882.
- [33] 沈祖尧, 王乃佐, 沈余明. 预构扩张游离皮瓣移植术[J]. 中国修复重建外科杂志, 1996(2):70-71. DOI: 10.3321/j.issn:1002-1892.1996.02.006.
- [34] 张月, 韩飞, 官浩. 游离皮瓣联合预构扩张皮瓣修复面颈部瘢痕[J]. 中国美容医学, 2021, 30(4):78-80.
- [35] 王峰, 范锟镭, 姜世伦. 颈横动脉颈段皮支扩张预构超薄岛状皮瓣修复面颈部瘢痕[J]. 中国伤残医学, 2020, 28(12): 10-12. DOI: 10.13214/j.cnki.cjotadm.2020.12.004.
- [36] 王付勇, 李华强. 岛状颞浅筋膜瓣移植预构颈部扩张轴型皮瓣修复面部大面积瘢痕畸形[J]. 中华实验外科杂志, 2017, 34(3):529-530. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2017.03.056.
- [37] Chen Y, Zhang W, Han F, et al. Creating a re-expanded prefabricated island flap constructed with an anastomosed vascular pedicle for burned ear reconstruction: a case report[J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(22): 1253. DOI: 10.21037/atm-22-1427.
- [38] 笪涛, 李海洲, 顾斌, 等. 应用预构技术重建毁损脸面的 12 年经验总结[J]. 中华整形外科杂志, 2018, 34(7): 503-509. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2018.07.003.
- [39] Feinberg SE, Marcelo CL. Reconstruction of functional human lips utilizing a prelaminated flap[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024, 12: 1364705. DOI: 10.3389/fbioe.2024.1364705.
- [40] 沈祖尧. 关于皮瓣预构的命名[J]. 中国修复重建外科杂志, 2000, 14(4):253-254.
- [41] Rendón-Medina MA, Hanson-Viana E, Arias-Salazar L, et al. Auricular total reconstruction with radial forearm prelaminated flap assisted by 3D surface imaging and 3D printing[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2022, 10(10): e4580. DOI: 10.1097/GOX.0000000000004580.
- [42] Qing L, Wu P, Luo G, et al. Waveform-arranged multiple skin paddles: a novel design to reconstruct complex soft tissue defects of the extremities with a modified multi-lobed perforator flap[J]. *Injury*, 2022, 53(7): 2550-2556. DOI: 10.1016/j.injury.2022.05.040.
- [43] 罗高杰, 唐举玉, 卿黎明. 分叶穿支皮瓣的临床应用进展[J]. 中华显微外科杂志, 2022, 45(3):346-351. DOI: 10.3760/cma.j.cn441206-20220302-00043.
- [44] 杨亮, 周荣, 巨积辉, 等. 股前外侧分叶皮瓣修复足踝部相邻两处创面的临床疗效[J]. 中华解剖与临床杂志, 2023, 28(9): 619-623. DOI: 10.3760/cma.j.cn101202-20230331-00094.
- [45] 张伟, 张卫东, 徐军辉, 等. 分叶腹股沟皮瓣游离移植的临床应用效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1): 36-44. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20241014-00384.
- [46] Otani N, Tashima H, Tomita K, et al. Latissimus dorsi-lumbar artery perforator chimeric flap with intra-flap crossover anastomosis for breast reconstruction [J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2020, 8(11): e3222. DOI: 10.1097/GOX.00000000000003222.
- [47] 杜伟力, 臧子睿, 沈余明, 等. 含肌瓣的股前外侧嵌合穿支皮瓣修复腕部高压电烧伤创面的效果观察[J]. 中国医刊, 2024, 59(5):513-516. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1070.2024.05.012.
- [48] 肖顺娥, 李海, 张天华, 等. 抗生素骨水泥植入联合游离嵌合组织瓣移植序贯治疗严重痛风性创面的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1): 53-60. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240919-00340.
- [49] 唐举玉, 贺继强, 吴攀峰, 等. 股前外侧分叶-嵌合穿支皮瓣在四肢复杂创伤修复中的应用[J]. 中华显微外科杂志, 2020, 43(4):326-330. DOI: 10.3760/cma.j.cn441206-20190309-00089.
- [50] Hughes KR, Fong A, Rozen WM, et al. The arterialised saphenous venous flow-through flap for managing the radial forearm free flap donor site[J]. *Microsurgery*, 2022, 42(4):333-340. DOI: 10.1002/micr.30883.
- [51] 杜伟力, 熊枫, 车可心, 等. 多种特殊形式旋股外侧动脉降支穿支皮瓣修复腕部高压电烧伤创面的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1):18-27. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240930-00365.
- [52] 沈余明, 陈旭, 张琮, 等. 旋股外侧动脉降支血流桥接皮瓣修复患者腕部高压电烧伤创面的效果[J]. 中华烧伤杂志, 2017, 33(7):422-425. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2017.07.006.
- [53] Zhou JD, Zhang XF, Xu TL, et al. Super-thin anterolateral thigh flap for reconstruction of the medial plantar artery perforator flap donor site[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2023, 31(2):10225536231181706. DOI: 10.1177/10225536231181706.
- [54] 张文桐, 杨勇, 李峰, 等. 基于彩色多普勒超声定位的分层超薄旋髂浅动脉穿支皮瓣的临床疗效[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1): 45-52. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240927-00358.
- [55] 方杰, 齐伟亚, 张松, 等. 显微修薄穿支皮瓣的临床应用进展[J]. 实用手外科杂志, 2023, 37(4):544-548. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2722.2023.04.025.
- [56] 莫小金, 常树森, 魏在荣, 等. 显微修薄胸背动脉穿支皮瓣修复糖尿病足溃疡的临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(10):1266-1272. DOI: 10.7507/1002-1892.202201037.

(收稿日期: 2024-10-12)