

· 专家论坛 ·

本文亮点:

- (1) 重点介绍穿支皮瓣的薄型化切取以及穿支血管的术前探测和穿支皮瓣的血运评估,探讨最新的单纯皮肤穿支皮瓣及其临床应用,提出与受区缺损匹配的“金缮”修复。
- (2) 针对穿支血管的三维可视化数字解剖和术前检测,以及单纯皮肤穿支皮瓣的穿支体区等薄型皮瓣的未来研究方向提出了建议。

Highlights:

- (1) The harvest of thinned perforator flaps, preoperative detection of perforator vessels, and blood supply evaluation of perforator flaps were introduced, the latest pure skin perforator flaps and their clinical applications were discussed, and "Jinshan" repair that matches the defect at the recipient site was proposed.
- (2) Suggestions were put forward for future research directions of thin flaps, such as three-dimensional visualized digital anatomy and preoperative detection of perforator vessels, and the perforasome of pure skin perforator flaps.



浅谈薄型穿支皮瓣切取与穿支血管探测和皮瓣血运评估

张丕红

中南大学湘雅医院烧伤整形外科,长沙 410008

Email: zphong@aliyun.com

【摘要】 修复重建不仅仅是对不同部位组织器官缺损的简单修复和再造,更需要与缺损匹配、以假乱真的完美修复,穿支皮瓣的薄型化策略就是其主要内容之一。近年来,单纯皮肤穿支皮瓣理念及其临床应用颠覆了以往皮瓣必须携带真皮下血管网的传统观念,拓展了人们对皮瓣外科的认知程度,有望提高修复重建水平。该文针对穿支皮瓣的薄型化切取,特别是最新的厚度类似于全厚皮的单纯皮肤穿支皮瓣的切取,以及穿支血管的术前探测、穿支皮瓣的血运评估及其临床研究进行探讨,提出与受区缺损完美匹配的“金缮”修复,还对单纯皮肤穿支皮瓣的穿支体区和三维可视化数字解剖等研究进行了展望。

【关键词】 穿支皮瓣; 修复外科手术; 薄型皮瓣; 单纯皮肤穿支; 术前血管成像; 创面修复

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81772084)

A brief discussion on the harvest of thinned perforator flap, detection of perforator vessels, and evaluation of flap blood supply

Zhang Pihong

Department of Burns and Plastic Surgery, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China

Email: zphong@aliyun.com

【Abstract】 Repair and reconstruction surgery is not just a simple repair and reconstruction of tissue and organ defects in different parts, but also requires perfect repair that matches the defect and confuses the real. The thinning strategy of perforator flap is one of its main contents. In recent years, the concept of pure skin perforator flap and its clinical application have overturned the traditional concept that flaps must carry subdermal vascular plexus and improved our understanding of flap surgery, and it is expected to enhance the level of repair and reconstruction. This article explores the harvest of

DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230812-00047

本文引用格式:张丕红. 浅谈薄型穿支皮瓣切取与穿支血管探测和皮瓣血运评估[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2023, 39(10): 911-918. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230812-00047.

Zhang PH. A brief discussion on the harvest of thinned perforator flap, detection of perforator vessels, and evaluation of flap blood supply[J]. Chin J Burns Wounds, 2023, 39(10): 911-918. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230812-00047.



thinned perforator flaps, especially the harvest of innovative pure skin perforator flap with the thickness similar to full thickness skin, as well as the preoperative detection of perforator vessels, blood supply evaluation of perforator flaps, and their clinical applications. It proposes a "Jinshan" repair that perfectly matches the recipient area defect, and also prospects research on the perforasome and three-dimensional visualized digital anatomy of pure skin perforator flaps.

【Key words】 Perforator flap; Reconstructive surgical procedures; Thinned flap; Pure skin perforator; Preoperative angiography; Wound repair

Fund program: General Program of National Natural Science Foundation of China (81772084)

穿支皮瓣是皮瓣外科重大的进步和发展,其不但能更精准地修复创面,还能减轻供瓣区的损伤。穿支皮瓣是一类只包含皮肤及皮下脂肪的皮瓣,由单独的穿支血管直接供血。这些穿支血管从源血管发出经由深部组织(大部分情况下为肌肉)及其间隙或经主干血管发出后直接进入皮肤,为皮肤及皮下组织提供血运。近些年来,国内外学者秉承穿支皮瓣的核心理念,将灵活设计的螺旋桨皮瓣、传统的远端蒂穿支皮瓣、自由设计的穿支蒂皮瓣进行带蒂转移,并不断发展出各种特殊类型的穿支皮瓣进行游离或带蒂移植,使广大患者获得了满意的修复效果。

为了获得良好的功能恢复和美学效果,手足、耳鼻等特殊部位的缺损修复常需移植薄皮瓣,否则术后皮瓣臃肿畸形明显,会影响受区功能和外观。尽管有直视修薄、显微修薄、超声吸脂^[1]等多种穿支皮瓣修薄方法,但损害穿支皮瓣血管系统的顾虑仍然存在,并且要求外科医师熟知穿支血管的分支分布和走行规律,术前尽量利用先进成像技术详细了解穿支血管影像学信息,分离穿支、去脂操作时要细致轻柔,避免血管痉挛、损伤,甚至栓塞造成皮瓣坏死。本文针对穿支皮瓣的薄型化切取,特别是最新的单纯皮肤穿支(以下简称纯皮穿支)皮瓣理念及其临床应用,以及穿支血管的术前探测和穿支皮瓣的血运评估作一粗略探讨,供同道们参考和商榷。

1 特殊类型穿支皮瓣和带真皮下血管网薄型皮瓣

穿支皮瓣先前仅指以管径为 0.5~0.8 mm 的皮肤穿支血管供血的轴型皮瓣,皮瓣中不包括任何上级源血管;后来绝大部分专家学者认为其也可包含源血管,并就穿支皮瓣的临床命名达成共识^[2]。目

前,一般选择穿支恒定、口径粗大(≥ 0.5 mm),血管蒂足够长,相对隐蔽且切取足够大皮瓣后一般可直接拉拢缝合的部位切取穿支皮瓣。回顾历史,1987 年 Taylor 和 Palmer^[3]报道人体有口径 ≥ 0.5 mm 的穿支血管 374 条,并提出了血管体区(angiosome)的概念,即穿支血管的解剖学供区;1989 年, Koshima 和 Soeda^[4]成功切取了以腹壁下动脉脐旁肌皮穿支为血供来源,只带有皮肤及皮下组织的薄型肌皮穿支皮瓣,开启了传统皮瓣向穿支皮瓣发展的新纪元;1994 年,Allen 和 Treece^[5]首次报道应用腹壁下动脉皮瓣进行乳房再造,并提出“穿支皮瓣(perforator flap)”这一术语;2009 年 Saint-Cyr 等^[6]以单个穿支进行灌注,观察到单一穿支血管通过链式血供为邻近的穿支营养区域供血,提出了穿支体区(perforasome)的概念,即每一条穿支血管及其呈树形分布的分支所能到达的最大解剖学区域,其所对应的外科概念就是该穿支皮瓣所能切取的最大范围。在这种单一穿支供养的简单类型穿支皮瓣基础上,2011 年 Geoffrey G Hallock 等提出了特殊类型穿支皮瓣的命名方法,包括联体穿支皮瓣、嵌合穿支皮瓣、血流桥接穿支皮瓣等,为特殊类型穿支皮瓣的灵活应用奠定了基础^[7],并不断获得业内重视和推广运用^[8]。

为了进一步减轻供区损伤和避免修复后受区臃肿畸形,皮瓣移植的薄型化切取研究也不断深入。1980 年,Thomas^[9]提出薄皮瓣(thin flap)的概念,认为只要不损伤真皮下血管网就可以安全地实施皮瓣修薄手术。1994 年,Hyakusoku 和 Gao^[10]报道了穿支血管供血的真皮下血管网超薄皮瓣,其仅保留很薄的一层脂肪,隐约可见真皮下血管网。2002 年, Kimura^[11]报道了穿支皮瓣显微修薄技术,术者在显微镜下对脂肪层内的穿支血管进行解剖分离,然后在真皮下血管网深层掀起皮瓣。2011 年,又有学者提出更薄的类似于全厚皮片的纯皮穿支皮瓣,获得了更为满意的临床修复效果^[12-13]。这些薄型穿支皮瓣也逐渐成为穿支皮瓣的特殊类型之一,日益受到业内重视。

2 穿支皮瓣切取平面与薄型化技术

尽管可供选择的皮瓣种类繁多,但选择与受区匹配、厚度适宜的皮瓣切取也很具有挑战性。一般认为可从深筋膜下、深筋膜上、浅筋膜平面和保留真皮下血管网平面对穿支皮瓣进行切取;并且随着

切取皮瓣变薄,皮瓣内连接血管损伤的可能性会增加,皮瓣组织的血流灌注可能会减少,而切取皮瓣的柔韧性会明显增加,修复后受区臃肿畸形将有所减轻^[14]。同时,从供区角度来看,随着分离平面变浅,深筋膜甚至主要皮神经支和浅静脉干得以保留,供区术后肌肉疝、感觉障碍或外形变化等并发症发生的风险会明显降低^[15]。因此,了解不同切取平面的优势和弊端对于获得满意的皮瓣修复效果至关重要。

2.1 深筋膜下平面

深筋膜下平面很容易被识别,在深筋膜和肌肉之间的疏松组织间可清楚地看到穿支进入深筋膜。因某些部位的深筋膜血管网非常丰富,携带深筋膜有利于扩大皮瓣切取面积和增加皮瓣抗感染能力。特别是下肢主干血管的皮支链由穿支、筋膜下血管链、脂肪层内的直接连接血管、真皮下的间接连接血管和交通支相互吻合而成,沿这些纵行、连续的皮支链可选择粗大穿支来切取较大面积的筋膜皮瓣^[16-17]。但是,于该平面切取的皮瓣较臃肿,供区存在皮神经受损和植皮后出现肌肉疝的可能。

2.2 深筋膜上平面

尽管在深筋膜下暴露穿支血管时其口径会稍粗大一些,但近些年来越来越多的医师主张切取皮瓣(如腹壁下动脉穿支皮瓣和股前外侧穿支皮瓣)时于深筋膜上平面暴露穿支血管^[18-19]。熟练的外科医师可裸化分离穿支至源血管,经验相对不足的外科医师可适当保留穿支血管周围组织,以防穿支血管损伤。这种不带深筋膜的穿支皮瓣,不仅能减少供区损伤,还能提高受区的修复效果。

2.3 浅筋膜平面

浅筋膜平面位于深层扁平状脂肪和浅层小叶状脂肪之间的白色薄膜状层面,该层面血管相对较少。Saint-Cyr等^[6]通过尸体解剖研究观察到在浅筋膜上部存在穿支之间的直接和间接连接血管,沿该平面仍可切取相对较大的薄型皮瓣,而其血流灌注基本不受影响。若供瓣区不能直接拉拢缝合,在残留脂肪创面直接植皮也可以获得较好的外形。但对高体重指数患者而言,这种薄型皮瓣仍然不够薄,可能需要术后再次修薄^[20]。

2.4 保留真皮下血管网平面

沿真皮下血管网平面下保留浅筋膜上部的真皮下血管网,可形成超薄皮瓣。1980年Thomas^[9]成功实施3个随意型带蒂皮瓣的修薄移植。对于超

薄穿支皮瓣,术前可行CT血管造影(CTA)和超声等检查探测穿支位置及其走行,该类操作可为外科医师确定无穿支血管分布的“冷区”和穿支血管穿行的“热区”提供关键信息^[21];术中须充分牵引暴露,准确识别目标层和穿支血管,可在显微镜下对脂肪层内的穿支血管进行解剖剥离,去除穿支血管周围的脂肪组织,将抵达真皮下血管网的穿支血管妥善分离出来,并注意保护穿支血管及其分支和皮肤下方的真皮下血管网^[22]。但这种操作较费时,且皮瓣的营养血管和循环灌注可能一定程度受损。

此外,2011年Narushima等^[12]在“纯皮肤”平面切取了更薄的纯皮穿支皮瓣,在真皮下平面切取没有任何脂肪组织、由穿入真皮深层的穿支(纯皮穿支,pure skin perforator)提供血流灌注的皮瓣,未保留真皮下血管丛;并尝试应用于3例先天性外耳道闭锁患者,在找到旋髂浅动脉纯皮穿支后,从不包括真皮下脂肪组织的真皮下层掀起皮瓣,通过真皮出血检查和吲哚菁绿血管成像确认皮瓣灌注充足后将其卷成1.5 cm×3 cm的囊袋进行游离移植,最终成功重建外耳道。

3 纯皮穿支皮瓣的血供研究与临床应用

从上述纯皮穿支皮瓣的临床应用来看,皮瓣移植必须保留真皮下血管网的传统观点受到极大挑战。由于皮瓣血管具有自然构造保护机制,穿支皮瓣修薄、许多直接连接血管受到损伤后,会引发主穿支的过度灌注,从而使皮瓣内真皮下血管丛构成的间接连接血管扩张开放^[6]。有学者在猪背部皮瓣实验中也证实了,皮瓣即刻修薄、保留真皮下血管网可以防止脂肪组织的“盗血”作用,使皮瓣的成活面积增大;而完全去脂不保留真皮下血管网则不利于皮瓣成活^[23]。由此可见,对于真皮下血管网上方皮肤的成活来说,位于真皮下血管网下方的脂肪组织并不是必需的,而真皮下血管网对皮瓣成活而言极其重要。更值得重视的是,最近有学者对旋髂浅动脉纯皮穿支的位置和大小进行研究,并应用吲哚菁绿血管成像分析其灌注模式,29例患者中有27例(93.1%)在腹股沟韧带上5 cm至其下方1 cm、髂前上棘内侧4 cm至外侧2 cm范围内存在纯皮穿支,吲哚菁绿血管成像显示纯皮穿支皮瓣有径向扩散、皮内血管直接连接和皮内动静脉分流3种灌注方式,并且临床实践证实即使真皮下血管丛受损,纯皮穿支和真皮丛也能维持纯皮穿支皮瓣的代谢

需求^[24]。但是,这种穿入真皮深层的纯皮穿支及其分支形成的真皮丛能供养多大范围的皮肤组织,这些真皮血管丛是否也存在与真皮下血管类似的间接连接血管扩张,以及静脉网结构和回流特征尚不清楚,亟待深入研究。

目前,位于相对隐蔽的“泳裤”区、血管位置表浅、皮肤较薄且松弛的旋髂浅动脉纯皮穿支皮瓣应用较多^[12,24-25]。其具体设计和切取的方法如下:术前采用超高频彩色多普勒超声等成像技术,追踪识别旋髂浅动脉浅支进入真皮丛的纯皮穿支,选择信号最强的纯皮穿支为蒂并精确定位,设计纯皮穿支皮瓣;于腹股沟区切取纯皮穿支皮瓣时,先找到旋髂浅血管,然后在显微镜下沿血管进行解剖,直到术前超声检测到的纯皮穿支穿入真皮深层;再沿真皮下平面切取厚度类似于全厚皮的纯皮穿支皮瓣。有学者对 29 例患者应用 40 个这种纯皮穿支皮瓣[皮瓣面积为 3~90(39±22)cm²],术后仅观察到 1 例患者皮瓣部分坏死和 1 例患者表皮坏死^[24]。另有学者根据创面情况,对 34 例患者切取 36 个厚度为 1~4(2.24±0.77)mm、大小为 3.5 cm×2 cm~27 cm×8 cm 的不包括脂肪组织的纯皮穿支皮瓣和/或含薄层脂肪组织的超薄皮瓣,吲哚菁绿血管成像显示皮瓣灌注良好,术后仅有 2 例患者出现皮瓣部分坏死^[25]。这些极致的薄型皮瓣满足了手指、足趾、耳、鼻等特殊部位的缺损修复临床需求,避免了术后臃肿畸形,无须再次行修薄手术。

4 穿支血管术前探测与薄型皮瓣术中血运评估

4.1 穿支血管术前探测

笔者在临床工作中观察到细小的穿支血管解剖变异较多,其供养皮肤范围差异较大,以穿支血管为蒂的皮瓣部分或全部坏死的情况也时有发生,因此术前详细准确的可视化血管探测十分重要,探测指标包括穿支血管的部位、起源、口径、流速、分支等,有时需联合应用多种探测显像技术才能提高术前预判的准确性,特别是纯皮穿支皮瓣的切取需要精准的纯皮穿支定位。早些年数字减影血管造影因显影良好而被用于皮肤穿支血管检测,可提供目标血管整体情况和管径大小、有无狭窄及其血流动力学等信息,后来由于不能三维显示血管和精确定位穿支以及有创、耗时、费用高且具有放射性等不足,其被不断发展的无创三维血管造影技术所替代。目前,临床上应用较多的血管探测方法有多普

勒超声检查、CTA 及磁共振血管造影(MRA)等。

4.1.1 多普勒超声检查 多普勒超声检查可用仪器包括手持式多普勒超声探测仪和彩色多普勒超声诊断仪。前者轻巧方便、操作简单、价格低廉,是目前最常用的皮瓣血管定位仪器,可经体表直接探查到血流信号,但其敏感性过高、精准度较低,且探测深度有限,不能提供血管口径、血流峰值、阻力指数等信息资料;如果源动脉位置表浅,来自源动脉的血管信号会严重干扰穿支血管信号,因此难以准确定位穿支血管的位置。而彩色多普勒超声诊断仪可在体表直接准确地定位穿支血管穿入皮肤的位置,获取血管口径、血流峰值、阻力指数等相关数据,判断血管健康状况、肌内行程和皮瓣穿支类型,便于量化比较并选取较为优质的穿支血管和受区血管。但是,应用该诊断仪探测细小穿支及判断其走行和来源对检查者技术和经验的依赖性较大,并且只能节段性定位血管,不能显示从穿支血管到源动脉的整体图像。有学者对 32 例行不同类型穿支皮瓣重建的患者,采用对比剂(基于六氟化硫-微泡的造影剂)增强的超声(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)联合三维重建进行术前穿支评估测量,结果表明 CEUS 具备高特异度(100%)和敏感度^[26]。Gao 等^[27]也证实 CEUS 检测锁骨下动脉胸支皮瓣的准确率达 100%,且可检测到<0.5 mm 的穿支,20 例患者术前采用 CEUS 检测到的穿支均在术中得到确认。研究显示,彩色多普勒超声使用 70 MHz 线性阵列换能器时可对从真皮下到皮内丛的穿支进行精细可视化,有利于指导超薄和纯皮穿支皮瓣切取^[28]。还有学者报告 70 MHz 的超高频超声能以 30 μm 的分辨率显示离体表 10 mm 范围内的超精细结构^[29]。另外,供受区血管管径匹配对穿支皮瓣手术的成功而言极为关键,否则会加大吻合难度且常造成吻合质量不佳。笔者单位的体会是彩色多普勒超声诊断仪测量的皮瓣动脉直径与术中实际测量的结果吻合度较好,但由于静脉管壁薄、内压低,容易受到超声探头挤压变形而影响管径测量,导致术前彩色多普勒超声诊断仪测量的皮瓣静脉直径与术中实际情况吻合度较低。

4.1.2 CTA CTA 图像分辨率高,可以显示直径 0.5 mm 的细小血管分支,三维重建后可直观地提供皮瓣穿支血管分布、分支和血流轴向等信息,不仅能辅助判断是否存在动脉粥样硬化、血栓闭塞性脉管炎、血管狭窄等基础疾病,也可使术者了解

穿支血管口径、走行及与周围组织的解剖关系,有利于术中血管精细解剖,缩短皮瓣切取时间。特别是术前应用 CTA 检测腹壁下动脉及其穿支血管,可检测到腹壁下动脉是否存在畸形、变异、栓塞等情况,以及源动脉是否靠近中线。一般情况下,腹壁下动脉越靠近中线,皮瓣内远离穿支血管的部位(皮瓣的 IV 区)的血运越好。对于复杂类型的股前外侧穿支皮瓣,笔者单位一般采用 CTA 与彩色多普勒超声检查结合进行穿支血管精准定位,先进行下肢动脉造影,评估髂髌线中点附近由旋股外侧动脉降支发出的穿支血管,以及髂髌线近 1/3 段从旋股外侧动脉斜支或横支发出的穿支血管,确定所需穿支并进行位置测量,然后再用彩色多普勒超声在选定穿支位置附近获取穿支血管口径和血流速度等量化数据并进行精确定位标记。CTA 检查相对微创、简便快捷,是一种应用较广泛的血管三维可视化技术^[30-31],但有一定的放射性且可能会引发患者造影剂过敏。有学者采用高选择性动脉插管 CTA 技术进行穿支皮瓣术前血管评估^[32],将造影剂经导管直接注入目标动脉增强末梢显影效果,获取更详细的微血管分布参数,可更精确地指导皮瓣设计和切取,但须经动脉置管,价格昂贵且耗时,因此推广应用受到限制。

4.1.3 MRA MRA 工作原理与磁化相关,通过注射顺磁造影剂(钆)使血管显影增强。MRA 产生的三维图像,可帮助外科医师术前准确评估血管的走向、直径以及与周围结构的关系。MRA 对软组织的分辨率高,但与 CTA 比较,MRA 对穿支血管的分辨率相对较低、定位较困难,且扫描时间长、费用较高。

4.2 薄型皮瓣术中血运评估

一般情况下,外科医师主要依靠他们在灌注评估方面的经验,通过观察皮瓣的色泽、肿胀度、温度、毛细血管充盈时间和针刺皮肤出血情况等,来判断皮瓣血运。对于带真皮下血管网的超薄穿支皮瓣或类似于全厚皮的纯皮穿支皮瓣等薄型穿支皮瓣,切取时可能损伤皮瓣内的血管系统或穿支供血范围有限,往往需要通过术中成像技术实时定量评估皮瓣灌注、准确预测皮瓣活力,为有效干预提供可靠指导,以避免皮瓣坏死,获得满意的手术结果。目前,逐步在临床推广和尝试的术中皮瓣血管成像评估技术有以下几种。

4.2.1 吲哚菁绿血管成像 吲哚菁绿是一种近

红外光荧光显影剂,其显影效果好且毒性较低,已被广泛应用于生物医学成像领域,在显微皮瓣外科中也已得到越来越多的应用。它可提供实时动态、高分辨率的穿支血管图像,可检出直径 $<0.2\text{ mm}$ 的小血管,同时通过携带的 SPY-Q 软件可对所获图像进行定量处理分析,显示相应穿支血管的灌注区域(穿支体区),从而评估皮瓣的血流灌注情况^[1,33],便于术中指导一些重要的改善皮瓣血流灌注、确保皮瓣血运的干预措施的实施。例如,在采用扩张预制皮瓣进行全颜面修复时,术中采用吲哚菁绿血管成像评估皮瓣血流灌注后指导鼻孔、唇部及眼部的开窗及器官成形:如果皮瓣开窗区域血流灌注良好,无主要交通支走行或穿支穿出,则直接开窗;若皮瓣供血不足则考虑行额外血管吻合增强灌注,再行吲哚菁绿血管成像评估;如果血管增压后吲哚菁绿血管成像评估皮瓣仍灌注充足,则延迟到术后 7~14 d 再行开窗;按此法评估 10 例患者皮瓣血流灌注情况后,其中 9 例患者皮瓣转移时进行了鼻孔、口腔和眼裂的开窗塑形,1 例患者延迟到术后 8 d 行左眼裂开窗;术后仅 2 例患者出现皮瓣边缘小范围坏死,随访显示全部患者面部外观明显改善,五官外形恢复良好^[34]。该研究表明吲哚菁绿血管成像可提高全颜面修复术中皮瓣开窗的安全性,并有助于面部器官成形,实现全颜面修复从二维向三维修复的跨越。但是,吲哚菁绿血管成像设备昂贵,还容易低估皮瓣存活率^[35],且目前已知其探测深度不超过 2 cm,因此无法对深部血管进行探测及评估。

4.2.2 动态红外热成像 动态红外热成像采用红外成像系统动态拍摄检测区域的皮温变化,从而获得皮瓣穿支的信息。通常先通过降温手段,使得皮肤表面热像图显示为弥漫均匀的低温信号,然后在自然复温过程中,管径较粗、供血较多的穿支会先使其浅表的皮肤表面温度升高,在热像图上表现为“热点”。“热点”周围皮肤复温快速且显著则表明该穿支与其邻近区域间血管网丰富,可优先考虑将其作为主血管蒂供养皮瓣。有学者认为通过分析不同穿支之间的复温率来识别优势穿支的微创技术,可以为存在多条穿支的大型修薄穿支皮瓣的切取提供指导^[36]。尽管该技术无法显示皮瓣血管的三维形态和毗邻关系,但其在术前、术中、术后皮瓣血供评估中都有着巨大应用潜力。

4.2.3 高光谱成像 高光谱成像将成像技术与

光谱技术相结合,可获取高光谱分辨率的连续、窄波段的图像数据。一项包括 22 例接受游离皮瓣移植患者的前瞻性队列研究显示,高光谱成像可以动态、非侵入性和非接触方式为监测游离皮瓣的灌注和氧合提供有价值的信息,便于在早期及时诊治皮瓣血供障碍等并发症^[37]。

4.2.4 激光散斑血流成像 激光散斑血流成像通过检测浅表皮肤的红细胞流动来反映皮肤的灌注情况,其无创、与皮肤无接触、无须注射造影剂或显像剂,适用于薄穿支皮瓣的血流灌注评估^[38]。但是,激光散斑血流成像的成像深度有限,通常在 0.3 mm 以内,且扫描范围越大所需时间越长,难以做到完全意义上的实时。

4.2.5 光声层析成像 光声层析成像结合了组织的声学吸收特性和超声探测优势,具有对比性强、分辨率高、灵敏度高优点。皮肤组织中血红蛋白的光声效应相对较强,可较好地显示皮肤内的血管情况;但其成像依赖于近红外脉冲激光照射,检测深度非常有限。Tsuge 等^[39]用光声层析成像来评估 8 例接受股前外侧穿支皮瓣游离移植的患者的皮瓣血管情况,观察到其可视化血管的平均探测深度为 9 mm,最大探测深度达 13 mm,可清晰显示皮下层中的微血管,有利于显微修薄穿支皮瓣的设计。

5 穿支皮瓣薄型化研究展望

纯皮穿支皮瓣为薄型皮瓣修复带来了突破,它提供了薄而柔韧的覆盖,并具有极好的美学外观,类似于采用得当手法和优雅设计修补残缺器物、让器物获得重生的“金缮”工艺^[40];修复后的移植皮瓣与原生组织成为一体,基本达到了形象逼真的完美效果。临床上很多电烧伤、热压伤等所致的手足皮肤软组织缺损需要采用薄型皮瓣修复^[41-42]。但是,目前报道的应用这些纯皮穿支皮瓣的临床病例,均需用高分辨率的超高频彩色多普勒超声等设备术前探测纯皮穿支并定位后再切取皮瓣,皮瓣面积也较小且需要在吲哚菁绿血管成像检测确认皮瓣血流灌注良好后再进行皮瓣转移^[28,43]。如果没有这些昂贵的检测设备的辅助支持,这种极致的薄型化皮瓣切取是否可行,如何确保皮瓣血流灌注不受影响、能安全顺利地实现转移修复;同时,一条特定的纯皮穿支血管能够营养多大面积的皮瓣,即穿支区的大小等系列问题,尚需进一步深入研究探讨。

近些年来,张元智等^[44]应用 CTA 数据的后处理系统成功进行了穿支皮瓣的三维可视化研究,显示出皮下血管网、穿支血管干及其源动脉、毗邻结构(浅层肌、肌间隔等)的形态学信息,给穿支皮瓣设计和切取以精确指导;但是,该方法在使用方面对专业技术要求较高,且比较费时,主要适用于基础研究。学者们深入研究人体血管体区,通过显微解剖皮瓣,暴露迂回走行的脂肪层内穿支血管分支及其参与构成的真皮下血管网,这些穿支血管分支所营养的圆锥形皮肤范围即穿支体区被较准确地预测^[45]。相信随着这些三维可视化数字解剖学技术、血管体区和穿支体区理论,以及术前穿支血管探测技术和皮瓣血运判断新技术的不断完善和发展,包括纯皮穿支皮瓣在内的薄型化穿支皮瓣切取将具有更全面的解剖学基础和简便易行的穿支定位、血运评估方法,并获得广泛的推广应用,以完美、可靠的“金缮”修复效果满足广大患者的需求。

利益冲突 作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Fan S, Zhang HQ, Li QX, et al. The use of a honeycomb technique combined with ultrasonic aspirators and indocyanine green fluorescence angiography for a superthin anterolateral thigh flap: a pilot study[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2018, 141(6):902e-910e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000004411.
- [2] 张世民,唐茂林,穆广志,等.穿支皮瓣及相关术语的专家共识[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2010, 28(5): 475-477. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.2010.05.001.
- [3] Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications[J]. *Br J Plast Surg*, 1987, 40(2): 113-141. DOI: 10.1016/0007-1226(87)90185-8.
- [4] 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.
- [5] Allen RJ, Treece P. Deep inferior epigastric perforator flap for breast reconstruction[J]. *Ann Plast Surg*, 1994, 32(1): 32-38. DOI:10.1097/0000637-199401000-00007.
- [6] Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, et al. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009, 124(5): 1529-1544. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3181b98a6c.
- [7] Pignatti M, Ogawa R, Hallock GG, et al. The "Tokyo" consensus on propeller flaps[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2011, 127(2):716-722. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181fed6b2.
- [8] 计鹏,曹涛,张智,等.股前外侧嵌合穿支皮瓣修复足踝部复杂创面的效果[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(10): 926-932. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230627-00232.
- [9] Thomas CV. Thin flaps[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1980, 65(6): 747-752. DOI:10.1097/00006534-198006000-00006.
- [10] Hyakusoku H, Gao JH. The "super-thin" flap[J]. *Br J Plast Surg*, 1994, 47(7):457-464. DOI:10.1016/0007-1226(94)90027-2.
- [11] Kimura N. A microdissected thin tensor fasciae latae

- perforator flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2002, 109(1): 69-77; discussion 78-80. DOI: 10.1097/00006534-200201000-00012.
- [12] Narushima M, Yamasoba T, Iida T, et al. Pure skin perforator flap for microtia and congenital aural atresia using supermicrosurgical techniques[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2011, 64(12): 1580-1584. DOI: 10.1016/j.bjps.2011.07.005.
- [13] Narushima M, Yamasoba T, Iida T, et al. Supermicrosurgical reconstruction for congenital aural atresia using a pure skin perforator flap: concept and long-term results[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2013, 131(6): 1359-1366. DOI: 10.1097/PRS.0b013e31828bd466.
- [14] 武雷, 丁英状, 郝敏如, 等. 两种下腹部组织瓣修复四肢大面积皮肤软组织缺损后患者的腹部功能与外形[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(10): 959-967. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230428-00145.
- [15] Kwon JG, Brown E, Suh HP, et al. Planes for perforator/skin flap elevation-definition, classification, and techniques[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2023, 39(3): 179-186. DOI: 10.1055/s-0042-1750127.
- [16] Drimouras G, Kostopoulos E, Agiannidis C, et al. Redefining vascular anatomy of posterior tibial artery perforators: a cadaveric study and review of the literature[J]. *Ann Plast Surg*, 2016, 76(6): 705-712. DOI: 10.1097/SAP.0000000000000258.
- [17] 王辉, 杨晓溪, 霍永鑫, 等. 尺动脉穿支血管链皮瓣修复吻合血管的前臂远端或腕部创面的临床效果[J]. *中华烧伤杂志*, 2021, 37(7): 635-639. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20200422-00234.
- [18] 刘洋, 宋达疆, 谢松林, 等. 游离修薄腹壁下动脉穿支皮瓣修复四肢大面积软组织缺损的临床效果[J]. *中华烧伤杂志*, 2020, 36(7): 590-593. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190415-00185.
- [19] 韩春梅, 彭剑飞, 贾磊磊, 等. 修薄的股前外侧穿支皮瓣修复多个手指软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2019, 42(4): 391-393. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2019.04.020.
- [20] Goh TLH, Park SW, Cho JY, et al. The search for the ideal thin skin flap: superficial circumflex iliac artery perforator flap--a review of 210 cases[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2015, 135(2): 592-601. DOI: 10.1097/PRS.0000000000000951.
- [21] Kehrer A, Sachanadani NS, da Silva NPB, et al. Step-by-step guide to ultrasound-based design of alt flaps by the microsurgeon - basic and advanced applications and device settings[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2020, 73(6): 1081-1090. DOI: 10.1016/j.bjps.2019.11.035.
- [22] Innocenti M, Calabrese S, Tanini S, et al. A safer way to harvest a superthin perforator flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 147(3): 466-469. DOI: 10.1097/PRS.00000000000007676.
- [23] Chetboun A, Masquelet AC. Experimental animal model proving the benefit of primary defatting of full-thickness random-pattern skin flaps by suppressing "perfusion steal" [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2007, 120(6): 1496-1502. DOI: 10.1097/01.prs.0000282039.99450.9d.
- [24] Narushima M, Yamasoba T, Iida T, et al. Pure skin perforator flaps: the anatomical vascularity of the superthin flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2018, 142(3): 351e-360e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000004698.
- [25] Yamamoto T, Yamamoto N, Fuse Y, et al. Subdermal dissection for elevation of pure skin perforator flaps and superthin flaps: the dermis as a landmark for the most superficial dissection plane[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 147(3): 470-478. DOI: 10.1097/PRS.00000000000007689.
- [26] Su WJ, Lu LG, Lazzeri D, et al. Contrast-enhanced ultrasound combined with three-dimensional reconstruction in preoperative perforator flap planning[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2013, 131(1): 80-93. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3182729e9e.
- [27] Gao YS, Yuan YW, Li HZ, et al. Preoperative imaging for thoracic branch of supraclavicular artery flap: a comparative study of contrast-enhanced ultrasound with three-dimensional reconstruction and color duplex ultrasound[J]. *Ann Plast Surg*, 2016, 77(2): 201-205. DOI: 10.1097/SAP.0000000000000601.
- [28] Yoshimatsu H, Hayashi A, Yamamoto T, et al. Visualization of the "intradermal plexus" using ultrasonography in the dermis flap: a step beyond perforator flaps[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2019, 7(11): e2411. DOI: 10.1097/GOX.0000000000002411.
- [29] Izzetti R, Oranges T, Janowska A, et al. The application of ultra-high-frequency ultrasound in dermatology and wound management[J]. *Int J Low Extrem Wounds*, 2020, 19(4): 334-340. DOI: 10.1177/1534734620972815.
- [30] Ono S, Hayashi H, Ohi H, et al. Imaging studies for preoperative planning of perforator flaps: an overview[J]. *Clin Plast Surg*, 2017, 44(1): 21-30. DOI: 10.1016/j.cps.2016.09.004.
- [31] 张月恒, 崔文举, 宋坤修, 等. 改良 CT 血管造影术辅助基于浅筋膜穿支的股前外侧皮瓣穿支评估与偏心设计的前瞻性研究[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(2): 141-149. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220902-00376.
- [32] 贺继强, 唐举玉, 卿黎明, 等. 动脉插管造影 CTA 与普通 CTA 显影股前外侧穿支的比较研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2017, 35(5): 508-512. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.2017.05.007.
- [33] Khoong YM, Huang X, Gu SC, et al. Imaging for thinned perforator flap harvest: current status and future perspectives [J/OL]. *Burns Trauma*, 2021, 9: tkab042 [2023-08-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34926708/>. DOI: 10.1093/burnst/tkab042.
- [34] Huang X, Li H, Gu S, et al. Intraoperative indocyanine green angiography facilitates flap fenestration and facial organ fabrication in total facial restoration[J/OL]. *Plast Reconstr Surg*, 2023(2023-06-28) [2023-08-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37382913/>. DOI: 10.1097/PRS.0000000000010891. [published online ahead of print].
- [35] Hitier M, Cracowski JL, Hamou C, et al. Indocyanine green fluorescence angiography for free flap monitoring: a pilot study[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2016, 44(11): 1833-1841. DOI: 10.1016/j.jcms.2016.09.001.
- [36] Chubb DP, Taylor GI, Ashton MW. True and 'choke' anastomoses between perforator angiosomes: part II. dynamic thermographic identification[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2013, 132(6): 1457-1464. DOI: 10.1097/01.prs.0000434407.73390.82.
- [37] Kohler LH, Köhler H, Kohler S, et al. Hyperspectral imaging (HSI) as a new diagnostic tool in free flap monitoring for soft tissue reconstruction: a proof of concept study[J]. *BMC Surg*, 2021, 21(1): 222. DOI: 10.1186/s12893-021-01232-0.
- [38] Rauh A, Henn D, Nagel SS, et al. Continuous video-rate laser speckle imaging for intra- and post-operative cutaneous perfusion imaging of free flaps[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2019, 35(7): 489-498. DOI: 10.1055/s-0039-1681076.

[39] Tsuge I, Saito S, Yamamoto G, et al. Preoperative vascular mapping for anterolateral thigh flap surgeries: a clinical trial of photoacoustic tomography imaging[J]. *Microsurgery*, 2020,40(3):324-330. DOI:10.1002/micr.30531.

[40] 尹婕. 浅谈“金缮”修复工艺之当代创作美学[J]. *美与时代(上)*, 2018(1):27-29.

[41] 张丕红, 黄晓元, 黄跃生. 深度电烧伤创面早期修复专家共识(2020 版)[J]. *中华创伤杂志*, 2020, 36(10): 865-871. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20200706-00488.

[42] 中国老年医学学会烧伤分会, 中国生物材料学会烧伤创面修复材料分会, 中国医师协会创面修复专业委员会. 热压伤创面临床诊疗全国专家共识(2023 版)[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(3): 201-208. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220608-00227.

[43] Visconti G, Bianchi A, Hayashi A, et al. Thin and superthin perforator flap elevation based on preoperative planning with ultrahigh-frequency ultrasound[J]. *Arch Plast Surg*, 2020,47(4):365-370. DOI:10.5999/aps.2019.01179.

[44] 张元智, 陆声, 温树正, 等. 数字化技术在隐动脉皮瓣血供的可视化及其临床初步应用[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2013, 15(1): 32-35. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2013.01.010.

[45] Kimura N, Saitoh M, Okamura T, et al. Concept and anatomical basis of microdissected tailoring method for free flap transfer[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009, 123(1): 152-162. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181934756.

(收稿日期: 2023-08-12)

《中华烧伤与创面修复杂志》第六届编辑委员会编辑委员名单

终身顾问 盛志勇 程天民 王正国 樊代明 付小兵 夏照帆 卞修武 顾晓松 李校堃
蒋建新

顾问 肖光夏 杨宗城 汪仕良 孙永华 柴家科 黄跃生 岑 瑛 王 旭

名誉总编辑 彭毅志

总 编 辑 罗高兴

以下按姓氏拼音排序

副 总 编 辑 郭光华 韩春茂 胡大海 邰京宁 梁光萍 刘 毅 吕国忠 吴 军 谢卫国
姚咏明

常务编辑委员 官 浩 贺伟峰 李孝建 李宗瑜 刘 琰 陆树良 马显杰 申传安 沈余明
孙炳伟 谭 谦 王达利 王一兵 夏成德 肖仕初 徐庆连 于家傲 袁志强
张丕红 张庆富 张 逸 章一新

编 辑 委 员 巴 特 陈国贤 陈 炯 陈俊杰 陈 欣 陈 旭 陈旭林 陈昭宏 程 颺
崔正军 邓 君 范锬铨 方 勇 冯世海 冯正直 官 浩 郭光华 韩春茂
韩军涛 郝岱峰 贺伟峰 胡大海 邰京宁 黄 沙 霍 然 姜笃银 金培生
赖 文 雷 晋 李德绘 李小兵 李晓亮 李孝建 李学拥 李 毅 李 智
李宗瑜 梁光萍 刘文军 刘小龙 刘旭盛 刘 琰 刘 毅 陆树良 罗高兴
吕大伦 吕国忠 马朋林 马显杰 潘云川 彭 曦 齐鸿燕 邱 林 荣新洲
申传安 沈余明 沈运彪 史春梦 宋保强 宋国栋 宋华培 孙炳伟 孙天骏
谭 谦 唐洪泰 陶 克 童亚林 王达利 王德运 王光毅 王凌峰 王新刚
王 杨 王一兵 魏在荣 吴 健 吴 军 吴银生 夏成德 肖厚安 肖 健
肖仕初 谢 挺 谢卫国 徐庆连 颜 洪 杨 磊 姚咏明 于家傲 袁志强
曾元临 詹剑华 张恒木 张家平 张建祥 张明华 张丕红 张 勤 张庆富
张 逸 章一新 赵耀华 赵永健 朱世辉

以下按英文首字母排序

Chong Si Jack(新加坡) David N. Herndon(美国) Fiona Wood(澳大利亚)
Malcolm Xing(邢孟秋,加拿大) Naiem S. Moiemem(英国) Ronald G. Tompkins(美国)
Steven E. Wolf(美国) Tina L. Palmieri(美国) Yong-Ming Yu(尤永明,美国)