

跨区穿支皮瓣的特征、影响存活的相关因素及对策研究进展

戴唯嘉, 陈建民, 高 普, 张 晓, 贺学军*

湖南省人民医院(湖南师范大学附属第一医院骨科), 湖南 长沙

收稿日期: 2025年7月21日; 录用日期: 2025年8月14日; 发布日期: 2025年8月25日

摘 要

跨区穿支皮瓣(CRPF)中含有多个“穿支体”, 不仅能做到供区损害的最小化, 而且还能获得理想的受区外形, 故而在体表创面修复尤其是巨大创面中, 发挥着重要作用。在CRPF当中, 各个穿支体直接与Choke吻合, 而重构Choke血管对皮瓣存活尤为关键。但在CRPF的远端, 却容易出现坏死情况, 多与微循环血栓、血运障碍等有关, 会降低存活率, 故需给予高度重视。本文基于CRPF的基本特征, 指出其远端坏死的具体机制, 汇总影响存活的主要因素, 并总结具体的解决对策, 以期CRPF的诊治研究提供依据。

关键词

跨区穿支皮瓣, 特征, 影响因素, 对策

Research Progress on the Characteristics of Cross-Regional Perforator Flaps, Related Factors Affecting Survival and Countermeasures

Weijia Dai, Jianmin Chen, Pu Gao, Xiao Zhang, Xuejun He*

People's Hospital of Hunan Province (Orthopedics Department of The First Affiliated Hospital of Hunan Normal University), Changsha Hunan

Received: Jul. 21st, 2025; accepted: Aug. 14th, 2025; published: Aug. 25th, 2025

Abstract

The cross-regional perforator flap (CRPF) contains multiple “perforators”, which can not only minimize

*通讯作者。

文章引用: 戴唯嘉, 陈建民, 高普, 张晓, 贺学军. 跨区穿支皮瓣的特征、影响存活的相关因素及对策研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(8): 1649-1654. DOI: 10.12677/acm.2025.1582409

the damage to the donor site, but also achieve an ideal shape of the recipient site. Therefore, it plays an important role in the repair of surface wounds, especially in large wounds. In CRPF, there is a direct anastomosis with the Choke among various perforators, and reconstructing the Choke vessels is particularly crucial for the survival of the flap. However, at the distal end of CRPF, necrosis is prone to occur, which is often related to microcirculation thrombosis, blood supply disorders, etc., and can reduce the survival rate. Therefore, it requires high attention. Based on the basic characteristics of CRPF, this article points out the specific mechanism of distal necrosis, summarizes the main factors affecting survival, and concludes the specific solutions, with the aim of providing a basis for the diagnosis and treatment research of CRPF.

Keywords

Cross-Regional Perforator Flap, Characteristics, Influencing Factors, Countermeasure

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

皮肤是人体面对外界的一个重要保护屏障,在遭受锐器伤、车祸伤等伤害时,容易受损,尤其是皮肤缺损,给患者带来巨大的痛苦与心理压力。需指出的是,由创伤或切除体表肿瘤造成的巨大创面,通常超出单个皮瓣能够覆盖的最大范围,故需通过跨区穿支皮瓣(CRPF)实施修复。针对 CRPF 而言,其包括多个穿支体,当前临床主要将三个穿支体的跨区皮瓣设计作为研究的重点。此类皮瓣有着较大面积,且临床应用广泛,但由于 CRPF 固有的解剖特征及在移植皮瓣时,容易受各种因素影响,如缺血-再灌注损伤(I/R)等,故而容易出现血供不稳定情况,而且还容易引发氧化应激损伤等,造成该皮瓣远端出现坏死情况,这不仅会增加患者痛苦,延缓康复进程,而且还会限制 CRPF 在临床中的应用。孙向东等人[1]指出,在 CRPF 中,远端坏死率达 6.0%~21.0%,除了会延长患者的住院时间,增加治疗费用外,还会给其身心带来巨大创伤。陈璐等人[2]强调,血流动力学、形态学改变及血管蒂的选择、血管生成与重塑等是影响 CRPF 存活的主要因素。当前,关于 CRPF 坏死机制、影响存活因素及降低坏死措施已成为临床研究重点。本文围绕 CRPF 的特征,分别从坏死机制、影响存活的因素及对策等方面展开研究,现探讨如下。

2. CRPF 的基本特征

穿支皮瓣实际就是一种岛状皮瓣,属于轴型血管皮瓣范畴,其发出于深部源血管,且从深筋膜的皮肤及浅筋膜组织穿出。在获取穿支皮瓣时,由于不携带深筋膜与肌肉,不会对供区血管、神经造成伤害,可使供区直接闭合,故而有助于供区损伤情况的减轻及受区功能与外观的改善。对于单穿支皮瓣而言,其将穿支血管当作轴心血管,而 CRPF 的轴心血管由两种血管吻合而成,其一为穿支血管,其二是瓣内各个穿支体区间的血管[3]。在 CRPF 当中,血管体区为其基本解剖单位,实际就是一级源动脉的全部解剖学区域(供氧呈树枝形分布),包含各种组织,除了有浅、深筋膜与皮肤之外,还有位于其深层的骨骼、肌肉等。CRPF 的血管体区域可划分为三种:1) 解剖区域。即为支血管及其分支达到的区域,实际就是最基本的血管供区。2) 动态区域。实际就是靠近解剖区域的部分,如果切断一侧的血管,那么此时位于解剖区域血管当中的血流会穿过吻合部位,将血液供向血流低压区。3) 潜在区域。实际就是穿过动态区

域, 延伸至远邻供区的区域。战杰等人[4]指出, 在相邻穿支间, 吻合方式主要有 3 种: 其一, 正常状况下没有开放的潜在吻合; 其二, 口径不断减小的 Choke 吻合; 其三, 口径未减小的真吻合。但需指出的是, 并不是所有血管体区或者穿支体区的血管吻合区域均有真性吻合; 潜在吻合在临床中可划归为组织学范畴, 通常来讲, 其不开放, 所以穿支体区间或者是血管体区的吻合, 多为 Choke 吻合。此外, 还需强调的是, 潜在区域与动态区域间的血管吻合区域被称作 ChokeII 区, 而动态区域与解剖区域之间被称作 ChokeI 区[5]。

3. CRPF 远端坏死的具体机制

3.1. 血运异常

血运异常主要是指动脉缺血与静脉淤血。在处于相邻状态的穿支体之间, 主要由 Choke 血管进行连接, 由于其管腔呈现不断减小的趋势, 故参照哈根 - 泊肃叶定律可得出: 如果血管管径缩小的幅度达 50%, 那么此时的血管阻力会大幅增加, 增幅可达 16 倍之多。从中可知, 在跨区皮瓣当中, Choke 血管起到“分水岭”作用, 阻碍血液的流动。但需指出的是, 哈根 - 泊肃叶定律尽管能够提供基础理论框架, 但因皮瓣血管系统的复杂性及生物流体所具有的特殊性, 使得其应用存在局限性, 如血管不是“刚性圆管”, 半径具有动态可变性; 血液并不是理想的“牛顿流体”, 且黏度存在剪切依赖性, 此外, 从模型也难以对“复杂血管网络”的协同作用进行解释[6]。Boer 等人[7]经研究发现, 血流在向 CRPF 流动时, 不同级别 Choke 血管的阻力呈现出明显增加。如三穿支跨区皮瓣, 与 ChokeI 区相比, ChokeII 区有着更大的血管阻力; 此外, 在血流量上, ChokeII 区存在显著减少。所以此区最易出现坏死情况。朱海锋等人[8]围绕静脉淤血与动脉缺血, 设计了与之相对应的大鼠皮瓣模型, 经研究发现, 要想使 CRPF 存活, 动脉供血为其先决条件, 而对于静脉回流而言, 会对皮瓣的动脉供血造成直接影响。由此提示, CRPFUI 远端如果出现静脉血或动脉血回流异常, 均可增加皮瓣坏死的风险。

3.2. 微血栓

Taylor 等人[9]指出, 在皮瓣微循环当中, 无论是血流量不足, 还是流速发生改变, 再或者是炎症介质大量释放, 均会造成内皮损伤, 使皮瓣术后血小板聚集速度加快, 同时还会加快微血栓的形成速度。此外, 还需指出的是, 在微血管中, 如果免疫细胞出现聚集情况, 会使栓塞症状进一步加重, 特别是在创面放疗后, 血栓形成概率更大。有研究指出[10], 吻合部位形成血栓是造成皮瓣坏死的主要原因, 当形成微血栓后, 组织水肿情况会加重, 从而加重组织缺血, 增加皮瓣坏死发生几率。因此, 微血栓是 CRPF 远端坏死的重要原因。但由于相关研究较少, 故而缺乏确切论断, 有待深究。

3.3. 缺血 - 再灌注损伤

在对皮瓣进行切取或移植时, 多数患者会发生缺血或再灌注情况, 在此过程中, 无论是黄嘌呤氧化酶系统(内皮细胞当中), 还是烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶系统(中性粒细胞当中), 均在 I/R 中被激活, 持续生成活性氧[11]。I/R 引起跨区皮瓣损伤的机制为: 1) I/R 能够造成自噬, 而自噬属于一种典型的真核细胞降解过程, 如果缺乏营养供给, 细胞当中的一些成分会被降解, 造成细胞异常, 从而导致皮瓣损伤。2) 当处于缺血阶段, 皮瓣缺乏供血, 造成三磷酸腺苷(ATP)生成不足; 而 ATP 减少会引起各种功能障碍, 如钾泵障碍、钙泵障碍等, 升高细胞内的渗透压, 降低 pH 值, 造成核染色质结块、细胞水肿等, 最终引发皮瓣血运异常与损伤[12]。从以上分析中得知, 缺血 - 再灌注损伤可引发 CRPF 远端坏死, 但由于不同部位(如躯干、四肢等), 无论是在穿支血管分布上, 还是在吻合支数量上, 均存在明显差异, 比如躯干皮瓣的穿支吻合更丰富, 而四肢跨关节皮瓣的吻合支比较稀疏, 故而造成缺血 - 再灌注损伤的发生

强度与机制存在个体差异,故需配合其他研究对 CRPF 坏死机制进行深究。

4. CRPF 存活的影响因素及对策

4.1. 血流形态学、动力学改变

在临床应用 CRPF 时,会遇到各种问题,而远端区域出现缺血性坏死是其中最严重的一个问题。动脉血供是决定穿支皮瓣能否得以存活的重要条件,而且还受静脉回流的影响。所以,无论是静脉充血,还是动脉缺血,均为造成穿支皮瓣出现缺血性坏死的主要因素。张伟等人指出[13],不管是对 CRPF 进行急性干预,还是预处理干预,优化皮瓣蒂的动脉流量,均有助于穿支皮瓣存活率的提高。

在当前临床中,多将静脉超引流及动脉增压当作提高 CRPF 的重要方法。增压实为一种利用额外的吻合或者动脉蒂,以此对皮瓣动脉流入情况给予改善的治疗手段;而超引流实际就是以改善皮瓣的静脉流程为目的而开展的各种操作,如增加吻合或添加静脉。在对动脉增压进行实际应用时,附加动脉的位置是影响皮瓣存活的一个关键因素。赵海磊等人[14]指出,远端动脉增压与近端动脉增压相比,能够获得更好的 CRPF 存活率。董凯旋等人[15]经研究强调,远端动脉增压的实施,不仅能加速血管的生成,而且还能较好地预防缺血再灌注损伤的发生,且较之远端静脉超引流,CRPF 存活率更高。万绍乐等人[16]通过研究远端动脉化静脉增压皮瓣,从中得知,其可使 Choke 血管得到更早、更好的扩张,同时还能加速 Choke 区血管的生成,另外灌注面积更大,CRPF 存活率高达 100%。需强调的是,皮瓣预制同样有助于 CRPF 血供的改善。增压皮瓣借助其原始血管网络,向远端输送血液,而预制皮瓣能够经新生血管,连通于原有血管系统,构建新的血管网络。

从上得知,无论是预制皮瓣,还是静脉超引流、动脉增压,均能够作用于微循环,对其血流动力学给予改变,以此提高穿支皮瓣的血液供应量,促进 CRPF 存活率的提高。但需指出的是,针对静脉超引流及动脉增压来讲,并非对全部 CRPF 均适用,且附加位置不同,所得到的结果可能存在差异。

4.2. 血管蒂的选择及扭转

既往临床在对大鼠实验模型进行构建时,通常需要在大鼠的背部建胸背血管、旋髂深血管,而且还需建立 2 个基于 Choke 区的矩形皮瓣,然后将 2 条血管切除,形成 CRPF (仅将 1 条血管予以保留)。杜娇等人[17]分别将非主要穿支(肋间后动脉)、主要穿支(旋髂深动脉)作为蒂的 CRPF 作为研究对象,对比其存活率,从中得知,非主要穿支皮瓣与主要穿支皮瓣相比,有着更高的存活率,提示即便为主要穿支皮瓣,通过动态穿支体量的增加,不会明显升高皮瓣的存活率,而血管蒂的位置(将肋间后动脉当作中央穿支)会对皮瓣的存活产生直接影响。赵英波等人[18]强调,即便是较小的中央穿支,其与较大的外周穿支相比,可能有着较大的供血范围。所以,即使软组织缺损较大,中央穿支皮瓣可能是最理想选择,原因与其外周穿支皮瓣相比,供血区域更大有关。需指出的是,无论是中央穿支动脉,还是中央穿支静脉,都能够重塑 Choke 血管,并且还能扩张 Choke 动脉,促进 Choke 血管的生成,最终有助于穿支皮瓣当中静脉回流、动脉血供情况的改善,进而促进 CRPF 存活率的提高。Huang 等人[19]认为,对血管蒂进行不同角度的扭转,如 90°、180°、270°等,结果不会影响 CRPF 的存活率,但对于扭转 360°的血管蒂,出现多种不良情况,如皮瓣充血、水肿等。

从上可知,穿支血管蒂的位置会对 CRPF 存活率造成影响,如果穿支位于中央位置,那么能够为皮瓣提供更大的血液供应区域,故而皮瓣存活率更高;在血管蒂旋转的角度上,现有研究发现其不会影响 CRPF 存活率,但尚缺乏确切定论,有待深究。

4.3. 细胞凋亡

在皮瓣坏死当中,细胞凋亡为其主要途径。当有着较少的细胞凋亡量时,皮瓣不仅存活面积更大,

而且血液供应也更理想。杜胜虎等人[20]指出,股前外侧穿支皮瓣修复技术能够经 NRF2/FUNDC1 轴对细胞凋亡进行抑制,促进 CRPF 存活率的提高。王辉等人[21]围绕 CRPF 缺血性坏死区,采用 Akt/Nrf2 信号通路对其细胞凋亡进行抑制,提高 CRPF 存活率。需说明的是,如果 Bcl-2 相关 X 蛋白(Bax)对线粒体进行诱导,增加其外膜通透性,且造成线粒体出现肿胀情况,那么针对此时的细胞色素 C (Cyt-C)而言,会自线粒体中大量释放,不断形成凋亡体。李浙峰等人[22]经研究指出,B 型肉毒素能够对 Cyt-C 等的表达进行抑制,表明其能够对细胞凋亡进行抑制,以此提高 CRPF 存活水平。

从上述研究中得知,川芎嗪、NBP 及褪黑素等药物能够通过对细胞凋亡进行抑制,以此促进 CRPF 存活率的提高,所以,对细胞凋亡进行抑制是提高 CRPF 存活率的一种可行手段;但在抑制细胞凋亡方面,究竟采用哪种方法效果最理想,尚无确切定论,有必要对此方面进行深究,以最大限度提高 CRPF 存活率。

4.4. 血管生成

在皮瓣存活当中,血管生成发挥着举足轻重的作用,是组织形成的必要条件。适当的血管化能够为血管供应充足的激素、营养物质及氧,而且还能消除代谢废物、细胞碎片,最终促进细胞功能的改善[23]。易秋实等人[24]通过构建大鼠模型,术前 4 周向穿支供血的肌肉内注射适量的肉毒杆菌毒素,最终发现,皮瓣灌注明显增加,皮瓣存活率显著提高。需指出的是,二甲基乙二酰基甘氨酸(DMOG)实为调节新生血管的一种重要因素,其能够作用于内皮细胞,对位于上面的特定受体进行黏附,以此达到增殖内皮细胞的目的;此外还可刺激内皮细胞,增加其对蛋白质等物质的渗透性,加速内皮细胞的扩散与迁移,加速新生血管的生成[25]。曾秀安等人[26]认为,术前注射 DMOG,有助于皮瓣存活率的显著提高,其能够对 CRPF ChokeII 区进行刺激,促进新生血管的形成,并且还能够改善皮瓣的血供,提高存活率。在以上研究中,虽然均证明促进血管生成能够提高皮瓣存活率,但究竟哪种最理想,尚无开展多元、深层化研究。

5. 小结

综上所述,当前,CRPF 在临床中已得到广泛应用,但对于远端坏死来讲,是此类皮瓣比较常见的一种并发症,不仅会增加患者痛苦,而且还会延缓康复进程,使之造成治疗的失败。需指出的是,无论是血流动力学、形态学改变,还是血管蒂的选择及扭转,再或者是细胞凋亡、血管生成等,均为 CRPF 生存率的提高提供了支撑、带来了选择,但细胞凋亡、血管生成等并非单一过程,而是彼此影响、相互作用的过程,其通过对多个过程起作用,以此促进 CRPF 存活率的提高。通过本研究,能够为临床应用提供依据与理论支撑,但在现实临床应用中,仍需深究与完善。

参考文献

- [1] 孙向东,李成志,悟拉木·艾力,等. 股前外侧穿支皮瓣移植修复头面颈部皮肤恶性肿瘤根治性切除后创面的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1): 28-35.
- [2] 陈璐,洪晓悦,刘柏岐,等. 股前外侧嵌合穿支皮瓣联合人工材料修复腹壁肿瘤切除术后巨大缺损的临床效果[J]. 中国普通外科杂志, 2025, 34(2): 338-345.
- [3] 罗桦杰,王锦辉,余卓安,等. 负压创面治疗技术辅助游离股前外侧穿支皮瓣修复四肢软组织缺损[J]. 中华显微外科杂志, 2025, 48(2): 156-160.
- [4] 战杰,孙鹏,吴锦生,等. 分叶股前外侧穿支皮瓣在四肢软组织缺损修复中的应用[J]. 中国临床解剖学杂志, 2024, 42(5): 564-569.
- [5] Vasudevan, S.S., Rogers, B., Adilbay, D., Olinde, L., Pang, J., Nathan, C.O., *et al.* (2024) Outcomes of Internal Mammary Artery Perforator Flap in Head and Neck Reconstruction: A Systematic Review. *Head & Neck*, 46, 2076-2085. <https://doi.org/10.1002/hed.27822>
- [6] 刘洋洋,吴敏,朱军,等. 游离旋髂浅动脉浅支穿支皮瓣联合皮瓣供区以远全厚皮片修复四肢较大创面的临床

- 效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2024, 40(1): 72-77.
- [7] Boer, V.B., van Wingerden, J.J., Wever, C.F., Beets, M.R., Verhaegen, P.D. and Hamdi, M. (2020) Perforator Mapping Practice for Deep Inferior Epigastric Artery Perforator Flap Reconstructions: A Survey of the Benelux Region. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, **37**, 111-118. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1714427>
- [8] 朱海锋, 杨晓东, 王海涛, 等. 结合内增压技术的股前外侧跨区皮瓣修复肢体较大创面临床研究[J]. 浙江大学学报(医学版), 2024, 53(4): 401-410.
- [9] Taylor, G.I. and Hallock, G.G. (2020) In Pursuit of the “Perforator” in the Perforator Skin Flap. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, **37**, 182-192. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1716387>
- [10] 张伟. 远端动脉增压和远端静脉超回流对大鼠跨区穿支皮瓣存活的影响[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽医科大学, 2023.
- [11] 尹其翔, 糜菁熠, 蔡华忠, 等. 基于多层 CT 血管成像的穿支皮瓣设计和切取的三维导航流程的建立及其临床应用效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(2): 171-179.
- [12] 唐举玉, 章一新, 张世民, 等. 游离分叶穿支皮瓣临床应用专家共识[J]. 中华显微外科杂志, 2024, 47(6): 601-610.
- [13] 张伟, 梁高峰, 贾宗海, 等. 应用游离腓动脉穿支皮瓣修复老年患者指背感染性溃疡创面[J]. 中华显微外科杂志, 2025, 48(1): 45-49.
- [14] 赵海磊, 孙志刚, 赵晓慧, 等. 股前外侧穿支皮瓣游离移植联合骨搬运序贯治疗小腿大面积皮肤软组织损伤伴大段胫骨缺损的临床效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(3): 242-250.
- [15] 董凯旋, 周娅, 连星烨, 等. 股前外侧穿支皮瓣和小腿穿支螺旋桨皮瓣修复足踝部软组织缺损的对比研究[J]. 中华显微外科杂志, 2025, 48(2): 135-141.
- [16] 万绍乐, 沈永辉, 蔡森, 等. 股前外侧穿支皮瓣与胸腹带蒂皮瓣修复手外伤软组织缺损的应用效果比较[J]. 中国医刊, 2025, 60(4): 460-463.
- [17] 杜娇, 王毅, 郑德义. 穿支皮瓣在颜面部皮肤肿瘤切除术后创面修复中的应用效果分析[J]. 系统医学, 2025, 10(3): 135-138.
- [18] 赵英波, 郑炜, 杜顺雷, 等. 邻位腓动脉穿支皮瓣接力修复外踝上前穿支皮瓣供区[J]. 实用手外科杂志, 2025, 39(1): 44-47.
- [19] Huang, Q., Wang, Q., Xu, Y., Ren, C., Lin, H., Zhang, C., *et al.* (2023) Dual-Perforator Flap with Wide Pedicle versus Sural Neurocutaneous Flap with Peroneal Artery Perforator in the Treatment of Soft Tissue Defects of Foot and Ankle. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, **62**, 150-155. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2022.06.003>
- [20] 杜胜虎, 董雪烨, 王健, 等. 基于骨科损伤控制理论联合股前外侧穿支皮瓣修复急性下肢毁损性创面的临床效果[J]. 中国医师杂志, 2025, 27(3): 367-372.
- [21] 王辉, 戴江平, 郝睿峥, 等. 带肌腱的掌背动脉穿支皮瓣修复指背复合软组织缺损[J]. 实用骨科杂志, 2025, 31(4): 354-356.
- [22] 李浙峰, 周光伟, 王峰, 等. B 型肉毒素干预 chokeII 区对大鼠跨区皮瓣的影响[J]. 医学研究杂志, 2019, 48(1): 118-122.
- [23] 李海, 邓呈亮, 肖顺娥, 等. 旋股外侧动脉嵌合穿支皮瓣修复足踝部复合组织缺损的效果[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(4): 370-377.
- [24] 易秋实, 蔡志恒, 杨力宏, 等. 远端静脉对大鼠背部四血管体跨区穿支皮瓣成活的影响[J]. 中华整形外科杂志, 2023, 39(9): 966-973.
- [25] 张磊, 邓雪春, 鲜明. 低氧与 DMOG 对 BMSCs 成脂分化影响的对比研究[J]. 医学研究与战创伤救治, 2024, 37(2): 113-119.
- [26] 曾秀安, 厉孟, 杨其兵, 等. 二甲基乙二酰基甘氨酸对跨区穿支皮瓣 ChokeII 区血管生成的影响机制研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(2): 224-230.