

穿支皮瓣的解剖学及血流动力学研究进展

唐茂林 杨大平 梅劲 张世民 徐达传

【摘要】 穿支皮瓣的临床应用日趋广泛,在尽可能充分利用自身资源修复缺损的同时,以将供区损害控制到最低,以及在如何有效地预防或尽早发现并发症等方面仍需深入研究。本文通过文献计量学分析,重点介绍了穿支皮瓣的解剖学及血流动力学基础研究方法,以及临床的穿支定位方法等。目前常用的微泡增强多普勒超声技术、血管造影与 3D 可视化数字处理技术备受国内外同行推崇。

【关键词】 穿支皮瓣; 数字解剖; 显微外科; 血流动力学

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31371214、81271993)

穿支皮瓣是在继承与发展传统皮瓣之基础上出现的小型化、精细化、微创化、个体化皮瓣。其重点不仅在“医疗”,更在“精准”修复,在尽可能完美修复的同时,将供区损害控制到最低。毋庸置疑,尽管穿支皮瓣仍存在某些不足,但其供、受区的术后评价,无论在外观还是功能方面,都明显优于传统皮瓣^[1-3]。然而,这个后起之秀的国际认可度如何?发展潜力如何?目前的主要研究方法有哪些?就临床而言,如何准确地匹配受、供区的面积、组织性质、功能及美学特征?术中如何“精细操作,不伤无辜”?如何有效地预防或尽早发现并发症?本文试图通过文献计量分析和国际同仁的评价等,简要叙述该学科领域的发展现状及研究热点,并介绍部分临床解剖学及血流动力学的最新研究资料。

一、穿支皮瓣发展的黄金 10 年

应用文献库管理软件 Endnote for Windows,以 PubMed 数据库的资料为统计源,收入 2015 年 10 月 31 日以前所有与“perforator flap”研究相关的文献(包括 Medline 收录的中文期刊)。然后,按年份、研究方法及相关词条进行归类分析,并与我们以前(2007 年、2011 年)的分析资料进行对比。

本次共获取相关文献 3013 篇。按年份分析,2000 年以前的总发文量只有 151 篇,年均不足 10 篇。而 2005 年以后,发文量大幅度增加(图 1),近 10 年的发文量占总量的 83.3%,可谓是穿支皮瓣发展的黄金 10 年,而且仍在进一步加速发展。2015 年的前 10 个月已发文 351 篇,预计本年度的发文量将相当于 2005 年以前的总和。若按期刊的刊文量分析,发文较多的依次为:Plast Reconstr Surg, J Plast Reconstr Aesthet Surg, Ann Plast Surg, J Reconstr Microsurg, Microsurgery 等 5 家国际权威期刊。说明穿支皮瓣文献量大增的同时,质量仍属上乘。另外,这几家期刊发文量的占比已由 2011 年的 69.63%降至 2015 年的 61.6%,说明穿支皮瓣的普及范围亦逐步扩大^[4]。

与前两次分析资料进行对比(表 1),变化最明显的是关于并发症的论文成倍增加,应用血管造影及多普勒等研究论文亦增加较多。按增幅分析,从 2007 年到 2015 年,国人论文数增幅

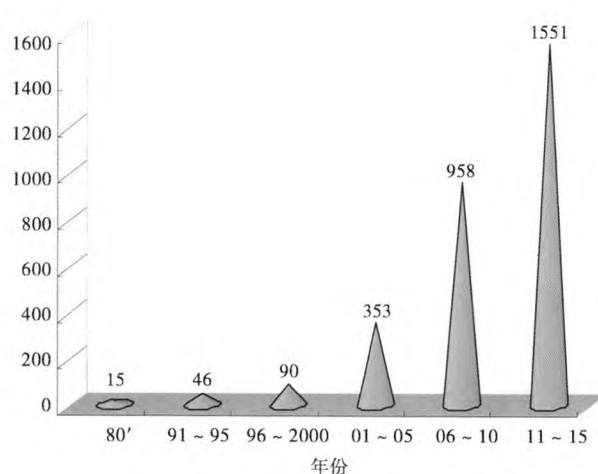


图 1 有关穿支皮瓣发文量年度分布

达 584%,而全球论文总增幅为 312%。国人论文数所占比重逐步上升:2007 年为 10.5%,2011 年 14.9%,2015 年达 17.5%。不过,由于语言方面的原因,使得国人对外交流的论文数量并不多,尚未达到中国人口占世界人口比的 20%。

尽管早在 1980 年,Stepanov^[5]就报道了穿支皮瓣的临床应用,但直到近十年,穿支皮瓣才迎来真正的大发展。究其原因,主要是因为 Gent 共识(2003)发表后^[6],穿支皮瓣被世界学者们所公认并积极推广。我国从事穿支皮瓣研究的基础与临床专家在 2005 年举办了第一次专题研讨会(银川),《中国临床解剖学杂志》2006 年第 3 期组织了第一个穿支皮瓣基础研究专栏。尔后,《中华显微外科杂志》、《中国临床解剖学杂志》、《中华整形外科杂志》编辑部牵头在宁波、遵义等组织多次专题研讨会,逐步形成共识^[7-9],对推动我国穿支皮瓣的发展有重要指导意义和促进作用。尤其是穿支皮瓣的临床解剖学研究功不可没,国际第一本穿支皮瓣专著中的临床解剖学部分为国人所主持编撰^[10-11],应用血管造影技术对皮肤血供进行系统的 3D 可视化研究亦为国人首先报道^[12-14]。

二、穿支皮瓣的解剖学研究

穿支皮瓣轴心血管为穿血管,即穿动脉与穿静脉,无疑是穿支皮瓣研究中最主要元素。虽然有关人体各部位的主要穿支及其来源已研究得比较清楚,但穿支体在皮下、皮内血管网的分布特征,穿支体间的相互关系,尤其是非同源穿支

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2016.03.031

作者单位:325035 浙江省温州市,温州医科大学(唐茂林,梅劲);哈尔滨医科大学附属第二医院(杨大平);上海同济大学附属杨浦医院(张世民);南方医科大学(徐达传)

表 1 本文有关穿支皮瓣文献历次检索数据对比

检索日期	论文数量	国人论文	研究内容、方法				
			解剖学	生理学	血管造影	多普勒检测	并发症
2007 年 7 月 20 日	731	77	137	71	97	66	203
2011 年 10 月 31 日	1719	256	354	180	180	185	503
2015 年 10 月 31 日	3013	527	578	297	312	300	995
2007-2015 年增幅	312%	584%	322%	318%	221%	355%	390%

体间的血管吻合形式,以及动脉、静脉之间的关系等问题仍有待深入研究。

血管解剖学的研究手段多种多样,不少已知的现代血管形态学研究技术均可以清晰显示皮下、皮内,乃至真皮下血管、淋巴管^[15-17]。如血管造影、高频彩超联合 CT 血管造影与三维重建,以及扫描电镜、活体显微镜、荧光染色等等。特别是最近报道的微泡增强多普勒超声技术^[18],非常适用于探测分布位置较浅、管径细的穿支血管,可探查到的最小管径为 0.3 mm。可以在术前对穿支血管的走行、在皮瓣内的分布和与主干的关系等形态特点进行准确而详细地检测,从而为穿支皮瓣的设计提供充分的依据。本文仅简要介绍“一次性整体(微小)血管造影及 3D 可视化技术”:

1. 血管造影:Microfil 和氧化铅是常用于尸体解剖的血管造影剂,前者是一种硅胶微球,内含重金属化合物铬酸铅,故常被用于微血管的放射显影研究。但由于 Microfil 内的硅胶微球成分不溶于水或其它溶剂,造影灌注相对困难,不易于造影剂连续性地充盈在血管内。主要用于小动物、器官、或局部造影研究。1936 年,法国解剖学家 Salmon 系统介绍了一次性整体氧化铅血管造影技术,经不断改良,选用明胶等水溶性物质作为载体,效果更佳^[19-20]。此方法既有利于大范围地宏观分析全身穿支的分布规律及其相互关系,又可以用于微观显示皮内、乃至细小肌肉内(如手内在肌)的血管分布特征^[21-22],故常被用作整体血管造影的首选。

2. X 射线立体摄影:普通放射显影所得二维图像中的结构是重叠的,即便是最新的 DR 系统,所得也是二维平面图像,缺乏立体效果。螺旋 CT 扫描可进行三维重建,但其精度却受到扫描间距的影响。X 射线立体摄影可解决此问题,与三维 X 线 CT 相比较,摄影时间短,图像质量高,属于全仿真立体影像观察。图像清晰、细腻,在印刷版立体视图中,动、静脉的空间位置关系清晰可辨^[23]。不失为研究皮瓣内血流途径,尤其是静脉回流的好方法。

3. 显微-CT:为非破坏性的 3D 成像技术,可以在不破坏标本的情况下清楚了解标本的内部显微结构。其分辨率极高,可以达到微米(μm)级别,因此具有良好的“显微显示”作用。能立体、详尽和精确地显示皮肤表层 5 ~ 10 mm 组织的三维解剖结构,包括表皮、真皮、脂肪、动脉、静脉的空间分布及其相互关系^[24]。可以达到亚微米级,甚至纳米级解剖学的精度,可为准确制定合理的手术设计计划提供重要的依据。

4. 数字化解剖:一次性整体血管造影后的标本,经 X 线摄影、CT 扫描、图像整合与定位和定量分析,以及 Materaise's interactive medical image control system (MIMICS)3D 可视化处理^[14]。可对穿支进行二维、三维显示,定性、定位、定量综合分

析及结合临床需要的皮瓣设计。经血管造影后,可实现微血管的自动定位、配准。在普通电脑上即可方便地对皮下血管网进行连续的层次化数字处理,而且快而准^[12-13]。易于精准分析穿支体的来源、分布范围及其相互之间关系(图 2)。

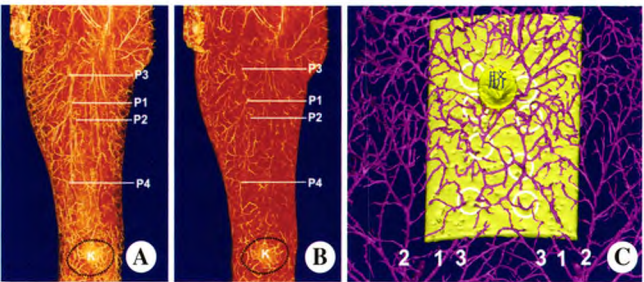


图 2 皮下血管网的层次化三维重建

A、B 图为股部动脉网, P1 ~ 4 示穿支; (A. 浅层; B. 深层,可显示旋股外侧动脉降支,若再深层还可显示股动脉)。C. 脐周皮下血管网, 1. 腹壁下动脉, 2. 腹壁浅动脉, 3. 阴部外浅动脉; 白色圆圈示穿支干穿经皮下脂肪, 若将皮下脂肪层行透明处理, 还可显示穿支的源动脉

应用血管造影后的 CT 扫描资料所得 3D 视图层次分明, 毗邻结构清晰; 还可对不同类型的组织进行透明、色彩调整、组合与裁剪等处理^[13, 25-26]。此方法获得国际同仁的高度赞誉:

(1)专业从事血管网 3D 可视化软件开发的 Blanco 博士认为^[27]:此项 3D 可视化技术能提供非常有价值、详细的血管拓扑结构数字图像信息 (Recent visualization techniques have also been able to furnish valuable and detailed information of vascular topology from digital images)。文章还专门引用了“上肢穿支分布图”为例,说明如何解决穿支及其血管网络的 3D 可视化分区问题。

(2)西班牙整形外科专家 Bernal 专门引用了“盆部三维重建图”,阐述穿支皮瓣研究的三个重要历史阶段^[28]。与其他研究者绘制的示意图相比,此项 3D 可视化技术展示的是真实的、层次分明的实体 3D 视图,可依需要详尽显示血管走行、分布及其与毗邻结构的关系。

(3)希腊整形外科专家 Gravvanis 博士认为^[29]:这种精美详细的虚拟现实程序既有助于资深外科医生设计各种类型的皮瓣(减少失误),亦可用于学员培训(节省费用)。

三、穿支皮瓣的血流动力学

尽管有关穿支皮瓣的血管形态学研究已比较成熟,但是,实践中仍然有不少问题不能得到满意的答案。比如,为何同一穿支皮瓣移植到不同的受区结果不同?为什么真皮下血管网皮瓣近蒂端成活质量好,中远端成活质量不稳定?外增压和超引流为什么能提高皮瓣的成活率?受区动脉的压力和流量究竟哪一个更能影响皮瓣的成活?要解答这些问题单单知道穿支体区

内血管的构筑是远远不够的,还要研究穿支皮瓣内的血流动力学^[30]。

1. 血流动力学数字模型:假设皮瓣内包含两个以上穿支体,那么,其血流阻力主要来自穿支体间的阻塞式连接和间接连接血管^[31]。尤其是阻塞式连接的血管(choke vessel),因其口径逐渐减小,最后以细微的血管联通在一起,血流阻力较大。同理,穿支体区之间的静脉连接区、穿支动脉和穿支静脉之间的毛细血管部分也是阻力高的部位。因此,包含两个以上穿支体的皮瓣内至少存在 3 种血流阻力:穿支动脉之间的阻力 $R_{(a-a)}$;穿支静脉之间的阻力 $R_{(v-v)}$;穿支动、静脉之间的阻力 $R_{(a-v)}$,它们构成了多穿支皮瓣内最主要的阻力网络系统^[30]。

跨区穿支皮瓣成活的面积与其血流需要跨越阻力网络的个数多少密切相关,当皮瓣内包含 n 个穿支体区的时候,第 n 个穿支体区需要跨越阻力网络的数目为 $(2n-1)$ 个,皮瓣内总的阻力网络数为 $1+3+5+7+(2n-1)=n^2$ 。但是,如果血管蒂部或穿支体区之间的连接方式发生变化,则阻力网络计算方式也会发生变化。犹如电器线路中的“并联”与“串联”,若串联时远端阻力大,可改并联。亦可人为的对皮瓣血管蒂以外的血管体进行(动脉)增压或(静脉)超引流处理,前者是供血渠道增加,后者则利于疏通淤积^[32-34]。总之都是增加了压力差,使血流加快,血流量增加,利于皮瓣成活。

2. 血流动力学动物模型:单穿支皮瓣属生理性皮瓣,易于成活。因而,皮瓣并发症多发生于多穿支的跨区皮瓣。1992 年 Callegari、Taylor 等^[35]证实:跨区皮瓣坏死通常发生在相邻血管区域间的未开放血管区。苗雨露等^[36]的实验研究显示:真皮下血管网皮瓣近蒂端成活质量好,中远端成活质量不稳定。因此,跨区大皮瓣移植成功的首要条件是:血管体区间建立起有效的血流通道,形成新的“血液循环体系”。现简要介绍最新的兔背部真皮下血管网皮瓣及大鼠背部三血管体跨区皮瓣模型:

(1)兔背部真皮下血管网皮瓣模型^[37]:行背部真皮下血管网皮瓣成形术,术后 7 d 断蒂。断蒂前使用激光多普勒血流仪测定皮瓣阻断实验前后皮瓣血流灌注量(perfuse unit,PU),并对皮瓣断蒂后 10 d 的 PU 进行连续监测并与周围正常皮区 PU 值进行比较。10 d 后处死动物取皮瓣组织行病理检查,按坏死与否将皮瓣分为两组:成活组与坏死组。结果显示:真皮下血管网皮瓣断蒂后皮瓣血流灌注量随皮瓣断蒂时阻断实验前后 PU 比值增高而增高;皮瓣的最佳断蒂时机为:皮瓣成形术后 7 d 以上,肉眼观察皮瓣成活,LDI 测量阻断比值大于 44.6%。皮瓣成活的标准为:断蒂术后 10 d 肉眼观察成活,皮瓣与周围正常皮区灌注量比值大于 58.9%。

(2)大鼠背部三血管体跨区皮瓣模型的两个实验方案:每个跨区皮瓣内包含三血管体,两个“choke 血管”区。三血管体为:以髂腰血管体为蒂,瓣区跨越肋间后血管体至胸背血管体。

①静脉超引流与动脉增压对皮瓣存活影响的比较研究^[38]:静脉超引流组,分离并结扎肋间后动脉保留伴行静脉;动脉增压组:分离并结扎肋间后静脉保留伴行动脉;对照组:肋间后动、静脉均结扎切断。在术后 6 h 和 1、2、3、7 d 测量两个“choke 区”的经皮血流量和氧分压,苏木素-伊红(HE)染色,计数微血管的密度。WB 检测 SDF-1、PCNA、IL-7 的蛋白表达,7 d 后测量皮瓣存活面积和进行明胶氧化铅血管造影。结果显示:

静脉超引流比动脉增压效果更明显,更能有效地改善微循环血流灌注效果,提高皮瓣的存活率。

②尾静脉注射二甲氧乙二酰甘氨酸(dimethyloxalyglycine, DMOG)对大鼠跨区皮瓣 choke 血管区的影响^[39]:实验组于皮瓣切取前 1 d、术后即刻、术后 1、2、3 d 尾静脉注射 DMOG 40 mg/kg;对照组于相同时间点尾静脉注射等量的生理盐水。Choke 区术后 1、3、7 d 取材,HE 染色,镜下观察同一部位动、静脉管径形态,并计算两组管径大小改变的相对值;术后 7 d, WB 检测皮肤相关蛋白 PCNA 和 HIF-1 α 表达水平;ELISA 检测皮肤 PCNA、HIF-1 α 、SDF-1 α 和 VEGF 含量;术后 7 d 处死大鼠,统计皮瓣存活率以及血管造影观察皮瓣微血管形态。结果显示:尾静脉注射 DMOG 通过改善皮瓣穿支血管体 choke 区微循环,减轻皮瓣缺血、缺氧的损伤,从而提高皮瓣存活率。

四、展望

综上所述,2005 年后穿支皮瓣的文献成倍数增长,普及范围亦逐步扩大。而且主要刊文期刊为全球显微、整形外科界的顶级刊物,这说明穿支皮瓣已是一门得到国际权威认可的新兴技术。虽然我国在这方面起步较晚,但近年来不论是基础研究还是临床应用的发展势头很好,普及范围越来越广。

目前常用的血管造影与 3D 可视化技术,以及多普勒超声技术备受国内外同行推崇,随着“精准医疗”模式的逐步推广,仍有继续发展潜力。尤其是血流动力学、血管新生机制、以及如何有效地预防或尽早发现并发症方面的研究重点和难点。因此,不论是基础还是临床应用研究均有待加强。至于研究手段,则可八仙过海各显神通了。有条件的可采用微泡增强多普勒超声、血管造影、X 射线立体摄影、CT 扫描加电脑图像处理技术,乃至免疫荧光标记血管内皮细胞。条件欠缺者,即便是采用传统的明胶墨汁灌注、皮肤透明等方法亦可完整显示真皮下血管网^[17,40],为进行“精准皮瓣”设计奠定基础。

参 考 文 献

- [1] 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):32-34.
- [2] 王剑利,刘兴龙,赵刚,等. 传统皮瓣与穿支皮瓣的临床回顾对比研究[J]. 中国骨与关节杂志,2015(2):128-132. DOI:103969/j.issn.2095-252X.2015.02.012.
- [3] 章一新. 穿支血管的术前影像学导航技术[J]. 中华显微外科杂志, 2012,35(6):441-443. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2012. 06. 001.
- [4] 梅劲,魏鹏,章伟文,等. PubMed 数据库中有关穿支皮瓣研究的文献计量学分析[J]. 中华显微外科杂志, 2012,35(2):107-110. DOI:10.3760/eraa.j.issn.1001-2036.2012.02.006.
- [5] Stepanov Iu I. Perforator for skin transplants[J]. Khirurgiia(Mosk), 1980,7:87.
- [6] Blondeel PN, Van Landuyt KH, Monstrey SJ, et al. The "Gent" consensus on perforator flap terminology: preliminary definitions[J]. Plast Reconstr Surg, 2003,112(5):1378-1383; quiz 1383,1516; discussion 1384-1387. DOI:10.1097/01.PRS.0000081071.83805.B6.
- [7] 张世民,唐茂林,章伟文,等. 中国穿支皮瓣的名词术语与临床应用原则共识(暂定稿)[J]. 中华显微外科杂志, 2012,35(2):89-92.

- DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2012.02.001.
- [8] 唐举玉,章伟文,张世民,等. 中国特殊形式穿支皮瓣的名词术语与定义专家共识[J]. 中华显微外科杂志, 2013,36(2):113-114. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2013.02.005.
- [9] 张世民,王欣,唐茂林,等. 穿支皮瓣的争论与当前共识[J]. 中华显微外科杂志, 2014,37(1):3-4. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2014.01.002.
- [10] 唐举玉,魏在荣,张世民,等. 穿支皮瓣的临床应用原则专家共识[J]. 中华显微外科杂志, 2016,39(2):105-106. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2016.02.001.
- [11] Tang M, Yang D, Geddes CR, et al. Anatomical techniques.in: blondeel PN, morris SF, hallock GG, neligan PC, eds. perforator flaps: anatomy, technique and clinical applications[M]. St. Louis (MO):QMP,2006:53-67.
- [12] Yang D, Tang M, Geddes CR, et al. Anatomy of the integument of the head and neck. in: blondeel P, morris SF, hallock GG, et al. editors.perforator flaps: anatomy, technique and clinical applications [M]. St. Louis(MO):QMP, 2006:133-160.
- [13] Zhang YZ, Li YB, Tang M, et al. Application of three-dimensional digitalized reconstruction of an anterolateral thigh flap and an arterial dorsalis pedis flap[J]. Microsurgery, 2007,27(6):553-559. DOI: 10.1002/micr.20410.
- [14] Tang M, Yin Z, Morris SF. A pilot study on three-dimensional visualization of perforator flaps by using angiography in cadavers[J]. Plast Reconstr Surg, 2008,122(2):429-437. DOI:10.1097/PRS.0b013e31817d625a.
- [15] 柏树令,李吉. 国人皮肤微血管的三维构筑及其规律性[J]. 微循环学杂志, 1995,5(1):12-13.
- [16] Uchida Y, James JM, Suto F, et al. Class 3 semaphorins negatively regulate dermal lymphatic network formation[J]. Biol Open, 2015, 4(9):1194-205. DOI:10.1242/bio.012302.
- [17] 黄巍,宋业光. 真皮下血管网薄皮瓣血运重建方式的实验研究[J]. 中华整形外科杂志, 2000,16(3):161-162. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2000.03.010.
- [18] 袁宇雯,李海州,顾斌,等. 微泡增强多普勒超声技术在锁骨上动脉穿支皮瓣设计中的应用[J]. 中华整形外科杂志, 2015,31(1):14-18. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2015.01.005.
- [19] Rees MJ, Taylor GI. A simplified lead oxide cadaver injection technique[J]. Plast Reconstr Surg, 1986,77(1):141-145.
- [20] Tang M, Geddes CR, Yang D, et al. Modified lead oxide-gelatin injection technique for vascular studies[J]. Chin Clin Anat, 2002, 1:73-78.
- [21] Rikimaru H, Kiyokawa K, Inoue Y, et al. Three-dimensional anatomical vascular distribution in the pectoralis major myocutaneous flap[J]. Plast Reconstr Surg, 2005,115(5):1342-1352;discussion 1353-1354. DOI:10.1097/01.PRS.0000156972.66044.5C.
- [22] Tang M, Thomas BP, Geddes CR, et al. Vascular basis of intrinsic muscle flaps in the hand[J]. Plast Reconstr Surg, 2008,122(1):206-215. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181774292.
- [23] Kawai K, Imanishi N, Nakajima H, et al. Vascular anatomy of the anterolateral thigh flap[J]. Plast Reconstr Surg, 2004,114(5):1108-1117. DOI:10.1097/01.PRS.0000135332.97062.7F.
- [24] 郭履灿,陈惟昌.显微CT的发展及其对美容-保健的影响[J]. CT理论与应用研究, 2001,10(2):41-42. DOI:10.3969/j.issn.1004-4140.2001.02.011.
- [25] Lui KW, Hu S, Ahmad N, et al. Three-dimensional angiography of the superior gluteal artery and lumbar artery perforator flap [J]. Plast Reconstr Surg, 2009,123(1):79-86. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181904b24.
- [26] Tang M, Mao Y, Almutairi K, et al. Three-Dimensional Analysis of Perforators of the Posterior Leg[J]. Plast Reconstr Surg, 2009,123(6):1729-1738. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181a3f376.
- [27] Blanco PJ, de Queiroz RA, Feijoo RA. A computational approach to generate concurrent arterial networks in vascular territories [J]. Int J Numer Method Biomed Eng, 2013,29(5):601-614. DOI:10.1002/cnm.2547.
- [28] Correa DM, GARCÍA H, Lorduy C, et al. Perforator flaps basic principles and clinical applications[J]. COMITÉ CIENT-ÍFICO, 2012,20(1):42-51.
- [29] Gravvanis A, Petrocheilou G, Tsoutsos D, et al. Integrating imaging techniques in lower limb microsurgical reconstruction: focusing on ultrasonography versus computed tomography angiography[J]. In Vivo, 2013,27(3):371-375.
- [30] 陶友伦,庄跃宏,张世民,等. 穿支皮瓣血流动力学模型的建立及研究进展[J]. 中华医学杂志, 2015,95(11):870-872. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.11.017.
- [31] Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien MV, et al. The perforasome theory: Vascular anatomy and clinical implications[J]. Plast Reconstr Surg, 2009,124(5):1529-1544. DOI:10.1097/PRS.0b013e3181b98a6c.
- [32] Hallock GG, Rice DC. Efficacy of venous supercharging of the deep inferior epigastric perforator flap in a rat model[J]. Plast Reconstr Surg, 2005,116(2):551-555;discussion 556. DOI:10.1097/01.prs.0000172889.62564.e1.
- [33] Chang H, Nobuaki I, Minabe T, et al. Comparison of three different supercharging procedures in a rat skin flap model[J]. Plast Reconstr Surg, 2004,113(1):277-283. DOI:10.1097/01.PRS.0000095953.57320.2F.
- [34] Chang H, Minn KW, Imanishi N, et al. Effect of venous super-drainage on a four-territory skin flap survival in rats[J]. Plast Reconstr Surg, 2007,119(7):2046-2051. DOI:10.1097/01.prs.00000260590.44798.9c.
- [35] Callegari PR, Taylor GI, Caddy CM, et al. An anatomic review of the delay phenomenon: I. Experimental studies[J]. Plast Reconstr Surg, 1992,89(3):397-407;discussion 417-418.
- [36] 苗雨露,梁杰. 真皮下血管网皮瓣成活质量的实验研究[J]. 贵阳医学院学报, 2015,40(3):270-273.
- [37] 张军威,杨新明,赵自刚,等. 真皮下血管网皮瓣血流量与皮瓣成活关系[J]. 河北北方学院学报(医学版), 2008,25(4):7-10. DOI:10.3969/j.issn.2095-1396.2008.04.003.
- [38] 郑俊,习珊珊,丁茂超,等. 静脉超引流与动脉增压对皮瓣存活影响的比较研究[J]. 解剖学报, 2015,已录用待刊出.
- [39] 习珊珊,丁茂超,郑俊,等. 尾静脉注射 DMOG 对大鼠跨区皮瓣 choke 血管区的影响[J]. 中华显微外科杂志, 2016,39(2):143-147. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2016.02.010.
- [40] 张海明,严义坪,孙广慈,等. 香猪的皮肤血管来源和构筑特点[J]. 中华烧伤杂志, 1999,15(6):437-440.

(收稿日期:2015-12-09)