

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2020.09.009

文章编号: 1005-8982 (2020) 09-0049-06

综述

穿支皮瓣术前影像学导航研究进展

周征兵, 潘丁, 唐举玉

(中南大学湘雅医院 手显微外科, 湖南 长沙 410008)

摘要: 穿支皮瓣术前影像学导航有利于穿支皮瓣的穿支定位和切取, 能够辅助医生制定精准的医疗方案, 减少医疗资源浪费, 避免盲目医疗带来的手术创伤, 降低手术并发症发生率, 缩短住院时间, 使患者获得更好的治疗效果。随着科学技术的发展, 新技术、新理论的发展和交融促进交叉学科的发展, 传统的影像学辅助诊断已不能满足目前的临床需求。该文通过介绍常见的影像学导航技术的临床应用、优缺点及临床常见使用范围, 为皮瓣术前选择合适的影像学技术提供参考。

关键词: 穿支皮瓣; 影像学导航; 穿支血管定位

中图分类号: R662.1

文献标识码: A

Advances in preoperative imaging navigation of perforator flaps

Zheng-bing Zhou, Ding Pan, Ju-Yu Tang

(Department of Hand Microsurgery, Xiangya Hospital, Central South University,
Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: Preoperative imaging navigation of perforator flaps is helpful for locating perforator vessels and harvesting flaps. It can assist doctors to formulate accurate medical plans, reduce waste of medical resources, avoid surgical trauma caused by medical blindness, reduce the incidence of surgical complications, shorten hospital stay, and make patients get better therapeutic effect. With the development of science and technology, the collision and blending of new technologies and theories has promoted the development of interdisciplinary subjects. The traditional imaging assisted diagnosis cannot meet the current clinical needs. This article introduces the clinical application, advantages and disadvantages of common imaging navigation technology and its common clinical application scope, so as to provide reference for selecting appropriate imaging technology before perforator flap operation.

Keywords: perforator flap; imaging navigation; localization of perforators

穿支皮瓣术前影像学导航技术是用来指引医生使用一定的影像学检查获取患者的供受区信息, 经综合分析后为患者制定最佳的手术方案^[1]。这种技术能够辅助医生制定精准的医疗方案, 减少医疗资源浪费, 避免医疗盲目性带来的手术创伤, 降低手术并发症发生率, 缩短住院时间, 使患者获得更好的治疗效果, 目前已常规应用于各类皮瓣手术^[2-3]。

目前临床开展穿支皮瓣的术前影像学导航技术有以下几种原因^[4-6]: ①穿支皮瓣的供区广泛, 各个供区的血管解剖差异大, 并且血管变异常见, 极大地

限制其临床应用; ②在目前精准医疗的大趋势下, 皮瓣外科医生尝试借用已有的成熟影像学技术来辅助手术; ③随着科学技术的发展, 新技术、新理论的碰撞和交融促进交叉学科的发展, 传统的影像学辅助诊断已不能满足目前的临床需求; ④近年来, 穿支皮瓣定位的技术层出不穷, 尚未出现1种影像学方法能够应用于更广泛的群体, 只是分别在某些供区予以报道, 更缺乏相关影像学检查的对比研究, 这促使临床医生不断地尝试新的影像学技术辅助手术。

收稿日期: 2019-12-09

[通信作者] 唐举玉, E-mail: tangjuyu@csu.edu.cn; Tel: 0731-89753005

目前临床常见的影像学导航技术大致分为以下几类：数字减影血管造影（digital subtraction angiography, DSA）、多普勒超声（doppler ultrasound, DU）、CT 血管造影（computed tomography angiography, CTA）、磁共振血管造影（magnetic resonance angiography, MRA）、DSA 结合 CTA，还有些新技术也应用于指导穿支皮瓣手术，如热成像、激光多普勒、荧光造影等。

1 数字减影血管造影

DSA 通过动脉置管，输注离子化碘造影剂的同时照射 X 射线，将获得的图片与先前未注射造影剂的 X 射线图片经数字化输入到计算机图像处理信息系统内。通过减影、增强、再成像等过程获得单纯的血管造影图像，并且能够实时动态地记录整个血管造影的过程。

DSA 只显影动脉的情况，最初在评估供受区血管条件方面有着重要的作用。1979 年 MAY 等^[7]首次报道应用扩大的血管造影术成功地实施 14 例游离组织瓣，14 例完全成活。因此他认为通过术前对供受区实施血管造影术，有助于增加手术的安全性。1990 年 FISCHER-BRANDIES 等^[8]意识到使用 DSA 辨认血管的位置有助于减少手术时间，降低血管变异的并发症，有助于手术的安全和成功。

随着穿支皮瓣解剖学研究逐渐成熟，DSA 因其良好的血管显影，被用于显影皮肤的穿支血管。KLEIN 等^[9]研究对比 MRA 和 DSA 用于评估腓骨皮瓣供区动脉的通畅性和皮肤穿支的数量，研究发现，MRA 在评估小腿动脉狭窄的敏感性仅为 DSA 的 79%，两者的特异性未见明显差异。在显影穿支血管数目方面，两种方法都平均显影 1 个穿支血管。

DSA 技术显影皮瓣穿支有以下优点：能清楚连续地显影血管的解剖和动脉硬化相关信息改变，可以高选择性地显影目标血管，对穿支血管间的吻合具有较好的效果。但 DSA 图像仅为二维平面，不能对血管进行三维显示，空间分辨率差，不能对显影的穿支进行精确定位。同时，DSA 检查本身耗时、有创，具有放射性，需要使用造影剂，有过敏史或肝肾功能差的患者禁止使用。

2 多普勒

2.1 手持多普勒

手持多普勒（hand-held doppler sonography, HHD）

是借助超声影像的原理，利用笔型的超声探头探测血液在血管内的流动。HHD 有各种不同的频率可供使用，选用何种频率的 HHD 取决于供区血管的口径和穿支在深筋膜浅层的深度^[10]。最常用的 2 种频率为 8 和 10 MHz，峰值敏感性分别为 2.0 和 1.5 cm。为能够更好地定位穿支血管的位置，应根据多普勒发出的声音调整局部按压的力量和超声探头的方向。若经过多次调整，通过 HHD 探测的穿支血管的声音很强烈，并且稍微偏移后减弱明显，则利用该点获取皮瓣的可能性和成功率就很大^[11]。

HHD 应用于穿支皮瓣血管探测的准确性尚有争议。2006 年 YU 等^[12]报道 100 例实施股前外侧穿支皮瓣的病例，所有患者在术前均采用 8 和 10 MHz 的 HHD 探测股前外侧皮瓣的穿支血管，在体表标记后与术中的穿支位置做比较。研究结果发现，每侧大腿有 1 ~ 3 个皮瓣穿支，且命名的 A、B、C 3 个皮瓣穿支的分布由大腿近端到远端遵循如下规律：A、B、C 3 个穿支出现率分别为 51%、89% 和 62%。

相关研究报道 HHD 的优点主要集中在微型、无创、低成本、简单易行。同时，一些特殊的超声探头，例如无菌探头，可以在手术切取皮瓣的过程中检查动脉的搏动性^[13]。与 DSA 一样，借助 HHD 也不能获得三维的血管结构及其周围组织情况，也不具有重复性和回顾性^[14]。HHD 已被广泛地应用于定位躯干和四肢的穿支血管，并在一些游离皮瓣和带蒂转移皮瓣的设计方面，展现出其优越性^[15]。

2.2 彩色超声多普勒

彩色超声多普勒（color doppler ultrasound sonography, CDUS）是将声波的多普勒效应应用于医学诊断，通过将 B 超图像和多普勒效应获得的血管内的血流图像进行叠加形成彩色多普勒超声血流图像，可以直接测量血液流速和穿支口径。此外，CDUS 不仅可以提供供区血管口径及走行的解剖学信息，而且可以显示血管周围的解剖学结构。在临床工作中广泛应用，被誉为非创伤性血管造影。

CDUS 已被成功地应用于各个供区的皮瓣术前设计，既往大量的研究集中在股前外侧穿支皮瓣（antero-lateral thigh perforator flap, ALTP）、腹壁下动脉穿支皮瓣（deep inferiorepigastric perforator flap, DIEP）、旋髂浅动脉穿支皮瓣（superficial circumflex iliac artery perforator flap, SCIP）、胸背动脉穿支皮瓣（thoracodorsal artery perforator flap, TAP）等，修复的部位涉及到头颈

部、躯干及四肢^[16]。TASHIRO 等^[17]应用 CDUS 术前显影胸背动脉的穿支血管,指导皮瓣的术前设计,在胸大肌的前缘发现直径小于 0.5 mm 的穿支血管,穿支的位置和走行在体表标记后用于指导手术切取获得成功。因此,认为使用 CDUS 可以清楚地显影胸背动脉的穿支血管,并且安全可靠。LICHTE 等^[18]将多普勒应用于术前定位和评估 ALTP 的位置,30 例患者共发现 74 个穿支血管,多普勒检查的平均时间为 29 min。穿支的位置和走行在术前可以精确地探测出,术前标记的位置和术中发现的精确位置相差 6.3 mm,穿支预测的准确性和患者的体重指数有高度的相关性。CDUS 是无创性检查,能比 HHD 提供更多的穿支血管及其周围结构的解剖学信息,同时能测量穿支的血流量及直径,能够辅助医生评估穿支的健康程度。但 CDUS 检查需要有经验的 B 超医生来执行,并且受到血流动力学的影响,穿支定位的位置可重复性较差,多次评估血管的结果可能不一致。

2.3 对比剂增强的三维超声

近几年,有少量文献报道血管内注射造影剂来对血管进行三维显示^[19]。基于六氟化硫-微泡的造影剂(SonoVue)增强血液回声,提高信噪比,改善血管图像。SU 等^[20]进行 1 项回顾性研究,包括 32 例行不同类型穿支皮瓣重建的患者,分析对比剂增强的三维超声(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)联合三维重建在术前穿支测量中的价值。研究发现,CEUS 是具备高特异性(100%)和敏感性的 1 种穿支显影方法。GAO 等^[21]研究结果支持上述结论,并证明 CEUS 检测锁骨下动脉胸支皮瓣的准确率达到 100%,20 例患者术前 CEUS 发现的穿支均在手术中予以确认,而传统 CDUS 的敏感性和阴性预测值均低于 CEUS。根据其研究,超声造影可以检测小于 0.5 mm 的穿支,而 CDUS 甚至对 0.5 ~ 0.6 mm 的穿支也只显示点信号,并且未能检测到较小的血管。

3 CTA

CTA 具有微创性,血管图像分解率高,患者较舒服、安全等特点,因此在临床上有较广泛的应用^[22]。CTA 在皮瓣穿支血管的可视化研究中具有很大前景,影像学导航的供区主要集中在 DIEP、ALTP、SCIP 等^[23]。2006 年 MASIA 等^[24]首次将 16 排 CT 血管造影用于 DIEP,实验组采用多探头 CTA 三维重建 DIEP,并且术前采用多普勒定位穿支,跟术中的发现比较,对照

组未使用 CTA。发现多探头 CTA 可以很好地显示腹壁下动脉的位置及三维走形,显露穿支的灵敏度和特异度高,安全、简单,为 DIEP 的切取提供可靠依据,实验组与对照组比较并发症更少。随后大量的报道 CTA 应用在 DIEP 术前影像学导航,CTA 已逐渐成为 DIEP 的术前常规检查,很多学者推荐其用于 DIEP 重建乳房的术前检查^[25]。近几年,CTA 应用广泛,不仅可以实现虚拟手术演示,借助 3D 打印技术可以实现术中精确定位^[26]。还有少量文献报道其在评估供区一期闭合和特殊类型穿支皮瓣的应用效果^[27]。很多学者借助 AMIRA^[28]、MIMICS^[29]等软件来解读 CT 数据,使得基于个人电脑完成数字化三维重建穿支皮瓣成为可能,为将来个人电脑虚拟手术提供个性化模型,实现个人计算机利用虚拟现实技术进行虚拟化模拟手术。

CTA 的优点:CTA 已经被广泛地用于 ALTP 的三维可视化构建,在显露穿支位置、类型及走形方面具有很大价值,用于指导皮瓣安全切取,缩短手术时间,减少患者出血量,为设计嵌合或分叶穿支皮瓣提供解剖学依据。目前 CTA 能够显示旋股外侧动脉系统主干及部分粗大的肌皮或肌间隙穿支,因此,对了解患者 ALTP 的解剖学变异具有重要意义。随着造影剂及造影技术的发展,CTA 分辨率会逐渐提高,结合目前 3D 打印技术,使虚拟化穿支皮瓣手术现实中预演成为可能。CTA 的缺点:具有一定放射性,价格较贵,需要静脉输入造影剂,有患者会出现造影剂过敏。

4 MRA

MRA 原理:MRA 成像使用强大的磁场来调整体内氢核的磁化。使用射频脉冲使氢核偏离主磁场,从而使氢原子核在移动的过程中产生射频信号,扫描仪可以检测到该射频信号。通过计算机,分析后得出实体器官、软组织、骨和几乎所有其他内部身体结构的详细的图片,通过注射顺磁造影剂(钆)使血管增强。由于磁共振成像不具有辐射暴露,所以通常在动脉期获得血管的图片和随后在血池阶段获得血管的图片仅选择性地显示动脉或者可以看到较大的动/静脉组合。最近,1 种新的血池造影剂钆膦维司三钠,已经用于优化造影增强的动脉和血池阶段的成像,从而避免来自软组织增强的干扰。尽管分辨率较低,但也可以在不注入造影剂的情况下将血管可视化^[30]。

目前大部分 MRA 报道来自游离腓骨皮瓣术前设计、DIEP 重建乳房的术前影像学检查^[31]。MRA 作为

腓骨皮瓣手术前的 1 个单独检查,已被证实能够显影传统的血管造影所发现的所有穿支。此外, MRA 发现肌间隔穿支血管的能力是其他检查所不能替代的。LORENZ 等^[32]最早将 MRA 用于游离腓骨皮瓣,但其并未做三维重建。GRYSELEYN 等^[33]研究评估术前 MRA 与 DSA 对腓骨皮瓣生存率及成功率的影响。与 DSA 比较, MRA 在动脉粥样硬化检测中创伤性更小,更有效。ROZEN 等^[34]对 6 例拟行 DIEP 重建乳房的患者先后行 CTA 与 MRA 扫描并分别可视化重建,将结果同术中所见相比较。笔者认为, CTA 和 MRA 在术前评估腹壁一些主要的穿支动脉的精确性都很高,但 CTA 能够发现更细小的穿支,分辨率较高,因此认为 MRA 是否能作为 DIEP 切取的常规术前检查还需要更大样本研究。KAGEN 等^[35]采用钆膦维司三钠进行血池 MRA,可以进行更长时间的多平面采集体素,使获得体素大小与 CT 相近或更小,并且信噪比和软组织对比度有所提高的同时保持了用时间分辨成像描绘血液流动的能力。由此产生的持续的血流信息能够精确地评估相关血管解剖结构,包括血管的走向、大小和分支类型,以及静脉的树枝化模式。

MRA 的优点:其工作原理与磁化相关,与电离辐射无关,可以在没有碘造影剂的情况下使用,这对患者来说是一个相对安全的检查。MRA 产生的 3D 图像,帮助外科医生在手术前准确评估血管的走向、直径以及与其他周围结构的关系。MRA 对软组织的分辨率好,可以对供区进行详细的评估,血池 MRA 的应用极大地提高血管的分辨率,有利于显影皮瓣的穿支血管。

MRA 的缺点:成本相对较高,并且不能用于幽闭恐惧症患者或有金属植入物的患者。此外,与 CTA 比较, MRA 对穿支血管分辨率相对较低,穿支定位困难,扫描时间长, MRA 对较小的穿支血管的重建欠佳。

5 高选择性动脉插管 CTA 技术

动脉置管 CTA 技术的原理:结合 DSA 和 CTA 两项技术的优势,在先于 DSA 下置管至皮瓣供区目标血管位置,然后导管内注入造影剂的同时行目标区域 CT 扫描,然后行血管重建。

2016 年卿黎明等^[36]将动脉插管造影 CTA 应用于股深动脉穿动脉穿支皮瓣的解剖学研究。同年,应用动脉插管造影 CTA 辅助旋股外侧动脉降支分叶穿支皮瓣的设计,12 例患者的旋股外侧动脉降支的穿支能够通过动脉插管造影 CTA 技术清晰地显示出来,可以

用于分叶皮瓣的术前设计^[37]。2017 年贺继强等^[38]将动脉插管 CTA 造影应用于股前外侧皮瓣穿支血管的显影研究,通过对比研究发现动脉插管造影 CTA 可清楚地显示旋股外侧动脉分支及其穿支,效果优于普通 CTA。

高选择性动脉插管 CTA 技术的优点:①将造影剂经导管直接注入旋股外侧动脉,短时间内提高血管内造影剂浓度,增强旋股外侧动脉分支与穿支的末梢显影效果,获取更详细的微血管分布参数;②选择性插管至目标动脉,借助 CTA 的优势,可以在术前了解目标源血管及供养皮瓣的穿支血管分布,有利于更精确地设计和切取皮瓣;③选择性插管,减少非目标血管的显影干扰,更利于目标血管的提取重建,三维重建后设计和虚拟手术,有利于实现皮瓣手术的个性化、精准化设计和应用,提高手术成功率;④本研究为活体血管造影,为动脉的正常生理状态下显影,可以更真实地反映生理状态下的血管口径。

高选择性动脉插管 CTA 技术的缺点:①检查需经动脉置管,为有创检查;②检查相对费时;③检查具有放射性;④费用相对昂贵;⑤ DSA 插管与 CT 扫描是不同仪器,检查中途需转运患者,可能会导致插管脱出。

6 其他影像学技术

6.1 动态红外热像技术

2016 年 WEUM 等^[39]设想利用不需要电离辐射或对比剂注射的动态红外热像仪评估 DIEP 供区的穿支,验证动态红外热像技术(dynamic infrared thermography, DIRT)是否可以替代 CTA 成为 DIEP 的术前检查。研究纳入 25 例准备用 DIEP 进行乳房重建的患者。术前用 HHD、DIRT 和 CTA 检查下腹部。将多普勒定位穿支的位置标记在皮肤上,DIRT 上热点的位置与多普勒定位的穿支进行比较。使用多平面 CT 重建来观察热点是否与 CTA 上的穿支相关。所有皮瓣的设计基于 DIRT 所选穿支,并分析手术结果。首次出现的热点与多普勒和 CTA 定位的穿支相关联。DIRT 图像上的热点总是比 CTA 在腹直肌筋膜浅层发现的穿支稍微偏外侧。一些脐周的穿支不与热点相关,但在 CTA 上与腹壁下浅静脉相交通。这项研究证实:用 DIRT 选择的穿支能够为 DIEP 乳房重建提供足够的血液灌注。

6.2 吲哚菁绿荧光造影技术

吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)是1957年由美国柯达研究所合成, ICG 以其在近红外光谱范围内的较强吸收和荧光显影特性和毒性小等优势已经广泛应用于生物医学成像和显微皮瓣外科的应用。目前研究发现, 吲哚菁绿荧光造影技术(indocyanine green video angiography, ICGVA)显影速度快, 定位准确, 可以准确地反映穿支血管的灌注范围, 但其只对浅表的血管显示较好, 深部的血管显示较差, 不适合用于描

述主干血管的走行和毗邻。为方便皮瓣外科医生选择合适的影像学技术辅助手术, 根据以上描述性研究制定穿支皮瓣术前影像学技术对比表格(见表1), 希望临床医生结合患者的实际情况选择合适的影像学技术手段, 从而能够更好地辅助穿支皮瓣的切取。

本文通过介绍常见的影像学导航技术的临床应用、优缺点及临床常见使用范围, 为皮瓣术前选择合适的影像学技术提供参考。

表 1 各种影像学技术手段比较

术前影像学检查	便携性	侵入性	花费/元	对操作者的依赖性	可重复性	穿支定位的准确性	穿支的血流动力学信息	检查时间/min	分辨率(最小穿支口径)/mm	3D视图	对比剂	放射性	主干血管的解剖和走行	禁忌证	适合供区
DSA	-	+	3 000	+	+	低	无	30	-	无	无	有	有	有	腓骨皮瓣
HHD	++	-	50	++	-	较高	无	10	-	无	无	无	无	无	所有供区
CDUS	+	-	200	++	-	较高	有	10	0.5	无	无	无	有	无	所有供区
CEUS	+	-	300	++	-	高	有	20	0.5	有	有	无	有	无	所有供区
CTA	-	-	500	-	++	高	无	5	0.5	有	有	有	有	有	所有供区
MRA	-	-	500	-	++	高	无	30	1	有	有	无	有	有	DIEP

参 考 文 献:

[1] 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.

[2] LIANG Y, JIANG C H, WU L M, et al. Application of combined osteotomy and reconstruction pre-bent plate position (CORPPP) technology to assist in the precise reconstruction of segmental mandibular defects[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2017, 75(9): 2021-2026.

[3] 李国栋, 徐永清, 何晓清, 等. 数字化技术在外侧腓肠浅动脉穿支皮瓣修复手部中小创面中的应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2017(5): 564-569.

[4] FRANCHI A, SCAGLIONI M F. Application of posterior thigh three-dimensional profunda artery perforator perforasomes in refining next-generation flap designs: transverse, vertical, and S-Shaped profunda artery perforator flaps[J]. Plast Reconstr Surg, 2017, 140(6): 818e-819e.

[5] SHEN Y, HUANG J, DONG M J, et al. Application of computed tomography angiography mapping and located template for accurate location of perforator in head and neck reconstruction with anterolateral thigh perforator flap[J]. Plast Reconstr Surg, 2016, 137(6): 1875-1885.

[6] PEREIRA N, VALENZUELA D, MANGELSDORFF G, et al. Detection of perforators for free flap planning using smartphone thermal Imaging: a concordance study with computed tomographic angiography in 120 Perforators[J]. Plast Reconstr Surg, 2018, 141(3): 787-792.

[7] MAY J J, ATHANASOULIS C A, DONELAN M B. Preoperative magnification angiography of donor and recipient sites for clinical free transfer of flaps or digits[J]. Plast Reconstr Surg, 1979, 64(4): 483-490.

[8] FISCHER-BRANDIES E, DIELEERT E, PFEIFER K J. The importance of preoperative digital subtraction angiography in micro surgically reanastomosed tissue transfer[J]. J Craniomaxillofac Surg, 1990, 18(3): 114-118.

[9] KLEIN S, van LIENDEN K P, VAN'T VEER M, et al. Evaluation of the lower limb vasculature before free fibula flap transfer. a prospective blinded comparison between magnetic resonance angiography and digital subtraction angiography[J]. Microsurgery, 2013, 33(7): 539-544.

[10] KOHLMAN-TRIGOBOFF D. Utility of the hand-held continuous wave Doppler in the vascular examination: a review[J]. J Vasc Nurs, 2016, 34(4): 160-162.

[11] MUN G H, JEON B J. An efficient method to increase specificity of acoustic Doppler sonography for planning a perforator flap: perforator compression test[J]. Plast Reconstr Surg, 2006, 118(1): 296-297.

[12] YU P, YOUSSEF A. Efficacy of the handheld Doppler in preoperative identification of the cutaneous perforators in the anterolateral thigh flap[J]. Plast Reconstr Surg, 2006, 118(4): 928-935.

[13] MERICLI A F, WREN J, GARVEY P B, et al. A prospective

- clinical trial comparing visible light spectroscopy to handheld Doppler for postoperative free tissue transfer monitoring[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2017, 140(3): 604-613.
- [14] CHENG H T, LIN F Y, CHANG S C. Evaluation of diagnostic accuracy using preoperative handheld Doppler in identifying the cutaneous perforators in the anterolateral thigh flap: a systematic review[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 129(4): 769e-770e.
- [15] STEKELENBURG C M, VAN ZUIJLEN P P. Reply to: perforator detection with a hand-held Doppler device: importance of the learning curve[J]. *Burns*, 2015, 41(1): 198.
- [16] DEBELMAS A, CAMUZARD O, AGUILAR P, et al. Reliability of color Doppler ultrasound imaging for the assessment of anterolateral thigh flap perforators: a prospective study of 30 perforators[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2018, 141(3): 762-766.
- [17] TASHIRO K, YAMASHITA S, ARAKI J, et al. Preoperative color Doppler ultrasonographic examination in the planning of thoracodorsal artery perforator flap with capillary perforators[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2016, 69(3): 346-350.
- [18] LICHTHE J, TEICHMANN J, LOBERG C, et al. Routine preoperative colour Doppler duplex ultrasound scanning in anterolateral thigh flaps[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 54(8): 909-913.
- [19] TASHIRO K, HARIMA M, KATO M, et al. Preoperative color Doppler ultrasound assessment in planning of SCIP flaps[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2015, 68(7): 979-983.
- [20] SU W J, LU L G, 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.
- [21] GAO Y S, YUAN Y W, LI H Z, 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.
- [22] 庄跃宏. CT 血管造影在皮瓣外科的研究进展 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2010, 28(4): 469-472.
- [23] WADE R G, WATFORD J, WORMALD J, et al. Perforator mapping reduces the operative time of DIEP flap breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis of preoperative ultrasound, computed tomography and magnetic resonance angiography[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2018, 71(4): 468-477.
- [24] MASIA J, CLAVERO J A, LARRANAGA J R, et al. Multidetector-row computed tomography in the planning of abdominal perforator flaps[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2006, 59(6): 594-599.
- [25] KIM S Y, LEE K T, MUN G H. Computed tomographic angiography-based planning of bipedicle DIEP flaps with intraflap crossover anastomosis: an anatomical and clinical study[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2016, 138(3): 409e-418e.
- [26] KAPPOS E A, JASKOLKA J, BUTLER K, et al. Preoperative computed tomographic angiogram measurement of abdominal muscles is a valuable risk assessment for bulge formation after microsurgical abdominal free flap breast reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2017, 140(1): 170-177.
- [27] ZHANG Y, PAN X, YANG H, et al. Computed tomography angiography for the chimeric anterolateral thigh flap in the reconstruction of the upper extremity[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2017, 33(3): 211-217.
- [28] 任义军, 任高宏, 金丹, 等. 数字化股前外侧皮瓣的可视技术在临床中的初步应用 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2008, 10(5): 432-435.
- [29] TANG M, YIN Z, MORRIS S F. A pilot study on three dimensional visualization of perforator flaps by using angiography in cadavers[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2008, 122(2): 429-437.
- [30] THIMMAPPA N D, VASILE J V, AHN C Y, et al. MRA of the skin: mapping for advanced breast reconstructive surgery[J]. *Clin Radiol*, 2019, 74(1): 13-28.
- [31] KURLANDER D E, BROWN M S, IGLESIAS R A, et al. Mapping the superficial inferior epigastric system and its connection to the deep system: an MRA analysis[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2016, 69(2): 221-226.
- [32] LORENZ R R, ESCLAMADO R. Preoperative magnetic resonance angiography in fibular-free flap reconstruction of head and neck defects[J]. *Head Neck*, 2001, 23(10): 844-850.
- [33] GRYSELEYN R, SCHLUND M, PIGACHE P, et al. Influence of preoperative imaging on fibula free flap harvesting[J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2017, 118(5): 265-270.
- [34] ROZEN W M, STELLA D L, BOWDEN J, et al. Advances in the pre-operative planning of deep inferior epigastric artery perforator flaps: magnetic resonance angiography[J]. *Microsurgery*, 2009, 29(2): 119-123.
- [35] KAGEN A C, HOSSAIN R, DAYAN E, et al. Modern perforator flap imaging with high-resolution blood pool MRI angiography[J]. *Radiographics*, 2015, 35(3): 901-915.
- [36] 卿黎明, 贺继强, 唐举玉, 等. 基于活体造影数据的股深动脉穿动脉穿支血管的数字解剖学研究 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2016(1): 12-15.
- [37] 唐举玉, 卿黎明, 贺继强, 等. 数字化技术辅助旋股外侧动脉降支分叶穿支皮瓣设计的初步应用 [J]. *中华显微外科杂志*, 2016, 39(2): 123-126.
- [38] 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.
- [39] WEUM S, MERCER J B, de WEERD L. Evaluation of dynamic infrared thermography as an alternative to CT angiography for perforator mapping in breast reconstruction: a clinical study[J]. *BMC Med Imaging*, 2016, 16(1): 43.

(王荣兵 编辑)

本文引用格式: 周征兵, 潘丁, 唐举玉. 穿支皮瓣术前影像学导航研究进展 [J]. *中国现代医学杂志*, 2020, 30(9): 49-54.