

陈益定，主任医师，博士研究生导师。浙江大学医学院附属第二医院肿瘤外科副主任，浙江省151人才工程第三层次培养人员，浙江省卫生高层次创新人才培养对象，浙江省科技创新团队肿瘤学骨干成员。主要社会兼职：中华医学会肠外肠内营养学会肿瘤学组委员，浙江省医学会肿瘤外科分会委员，浙江省医学会肠外肠内营养学分会委员，浙江省抗癌协会乳腺癌专业委员会委员兼修复重建学组副组长，中国医师协会乳腺疾病培训专家委员会委员。主要从事乳腺癌早期诊断及早期治疗工作，乳腺癌基础及临床转化医学研究，并以乳腺肿瘤整形学及遗传性乳腺癌的诊治作为主攻方向。近几年来，共主持国家自然科学基金青年项目1项和面上项目

2项，主持省部级课题5项。共发表了46篇文章，其中SCI收录论文21篇。作为主要参与者，获浙江省科技进步一等奖和三等奖各1项；作为第一发明人，获国家发明专利1项。

保留乳头乳晕复合体的乳房切除术中 乳头乳晕的血供特点及其评估

杨奕¹，陈益定²

1. 浙江省嘉兴市妇幼保健院乳腺外科，浙江 嘉兴 314001；
2. 浙江大学医学院附属第二医院肿瘤外科，浙江 杭州 310009

【摘要】 保留乳头乳晕复合体(nipple-areola complex, NAC)的乳房切除术(nipple-areola complex-sparing mastectomy, NSM)在乳腺肿瘤领域的治疗已得到认可，其更好的美容效果也使得这种手术方式的应用日益普及。在手术技巧方面需要着重考虑术后乳头缺血、坏死造成的并发症。患者因素、重建方法以及切口的位置等的选择可以降低这种缺血坏死并发症的发生，而且NSM术中判断NAC的血供更为重要。首先，着重阐述了NAC血供的解剖特点及临床意义；其次，讨论了乳腺MRI检查明确NAC血流灌注分类的方法，包括动脉充盈期、静脉引流期及三维重建最大密度投影(maximal intensity projection, MIP)图像，可以在术前评估NAC的血管解剖并提供有价值的信息；最后，阐述了基于吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光成像在术中影像导航的应用，为外科医生提供了术中实时评估乳房皮肤和NAC血流灌注的方法，可以帮助医生检测缺血的情况并及时调整手术方案，降低NSM术后乳头缺血坏死的发生。

【关键词】 乳头乳晕复合体；保留乳头乳晕复合体的乳房切除术；血供；乳头缺血坏死

DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2016.05.003

中图分类号: R737.9 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2016)05-0372-06

Vascular anatomy and evaluation of the nipple-areola complex in nipple-sparing mastectomies

YANG Yi¹, CHEN Yiding² (1. Department of Breast Surgery, Jiaying Health Care Hospital for Women and Children, Jiaying 314001, Zhejiang Province, China; 2. Department of Surgical Oncology, the Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, Zhejiang Province, China)

Correspondence to: CHEN Yiding E-mail: ydchen@zju.edu.cn

【Abstract】 Nipple-areola complex (NAC)-sparing mastectomies (NSM) have gained acceptance in the field of

breast oncology. The superior aesthetic outcomes of NSM explain their increased use and rising popularity. Technical considerations and challenges of this procedure are centered on nipple ischemia and necrosis. Patient selection, reconstructive strategies and incision placement have lowered ischemic complication rates. An understanding of the NAC vascular anatomy is, therefore, clinically relevant beyond NSM. In this paper, the relevant clinical anatomy is described, mainly focusing on the anatomy of the NAC. This article also covers how to identify and classify the in vivo blood supply to the NAC using breast MRI exams which provide valuable information for assessing vascular anatomy of the NAC. This includes the arterial filling phase, venous drainage phase and 3-dimensional reconstructed maximum intensity projection (MIP) images. Finally, the indocyanine green (ICG) and a specialized infrared camera-computer system provide surgeons with a practical tool to assess real-time breast skin and NAC perfusion. Intraoperative evaluation of skin perfusion allows surgeons to detect ischemia and modify the operative approach to reduce the risk of nipple ischemia and necrosis.

[Key words] Nipple-areolar complex; Nipple-areola complex-sparing mastectomy; Perfusion; Nipple ischemia and necrosis

保留乳头乳晕复合体(nipple-areola complex, NAC)的乳房切除术(nipple-areola complex-sparing mastectomy, NSM)是保留皮肤的乳房切除与保留NAC的结合, NSM后即刻重建有利于接受全乳房切除的患者获得更好的美容效果。

保留皮肤的乳房切除术最早是由Freeman^[1]在1962年首先报道,但是对于该术式一直存在争议,原因是其不明确的选择标准、欠佳的美容效果、较高的术后并发症发生率以及肿瘤学安全性的问题。但是,随着人们对乳房重建更好的美容效果的追求,NSM越来越引起重视。这种手术方法可以类似于其他乳房切除术切除了实质上所有的腺体组织,但又像保乳手术一样保留了NAC。但是NSM与传统的乳腺癌改良根治术一样,术后也存在皮瓣感染、缺血坏死、皮下积液、上肢淋巴水肿、同侧上臂运动障碍、术后继发性出血等并发症,而保留的乳头是否存活更是关系到手术成败,其中缺血并发症累及NAC坏死的发生率为3%~37%。影响NSM术后NAC坏死的因素很多,包括手术切口选择、植入假体后皮肤张力、不同的NSM手术方式及患者本身的因素等,而NAC的血供出现问题是造成乳头乳晕部分或全部坏死的主要原因。本文将着重从NAC血供的解剖特点,以及NSM术前及术中对NAC血供的评估进行讨论,试图降低NSM术后乳头缺血坏死的发生率。

1 NAC血供解剖特点

目前,对乳房及NAC血管解剖的大部分研

究集中在乳房缩小术上,因为在这些手术中乳头的存活能力至关重要。

自1998年起,Wuringer等^[2-4]一系列的研究发现,女性乳房内有一个由水平纤维横隔及其内外两侧纤维韧带所组成的纤维支持结构,该水平纤维横隔起始于第5肋水平胸肌筋膜,穿越乳腺组织到达乳头乳晕区域,在其内外两侧分别移行为内侧纤维韧带和外侧纤维韧带结构,分布于乳腺浅层,最终分别与胸骨旁筋膜和腋筋膜相延续。而且水平纤维横隔及其内侧和外侧纤维韧带结构与乳房内血管神经的分布走行,尤其是乳头乳晕区域的血供和神经支配存在着密切的关系^[5]。水平纤维横隔的头尾两侧各覆盖有一层向乳头乳晕区域方向走行的致密血管网,头侧的血管网主要血供来源为胸肩峰动脉胸肌支和胸外侧动脉的分支,该层较平坦,易辨别。尾侧血管网主要血供来源则是第4、第5和少数第6肋间动脉的穿支,该层往往难以明确辨别。此外,内侧胸廓内动脉的肋间穿支分别于第2~4肋间隙穿出后,分别沿内侧垂直纤维韧带分布,外侧的胸外侧动脉也于相同水平发出分支沿外侧垂直纤维韧带分布。这些分血管穿出后沿着乳腺包膜走行于乳腺浅层皮下组织内,并最终在乳晕周围形成真皮下血管网。

对NAC的血供来源,众多研究者也展开了一系列的研究。Sun等^[6]研究发现,乳房血供尤其是NAC的血供来源存在多源性。浅层的皮肤层主要来源为胸廓内动脉的肋间穿支和胸外

动脉的分支, 深层的主要来源为胸肩峰动脉胸肌支, 腺体层主要来源为自上而下发自锁骨下动脉的一支主干血管。此外, 来自深层的穿支往往在胸肌筋膜表面首先形成致密血管网, 再通过该血管网发出垂直穿支经乳腺组织直至皮肤浅层。Van Deventer等^[7-8]进一步证实了NAC血供来源的多源性, 并认为来自于内乳动脉(胸廓)和乳房内侧胸廓内动脉是NAC主要的血供来源。从第2肋间穿出胸大肌到达乳腺腺体外侧的血管, 在游离皮瓣时很容易被损伤, 因此在乳房内侧时应非常谨慎, 因为这个对游离皮瓣毛细血管网的供应很重要。当然, 从内乳动脉的第3和第4个肋间的穿支血管对NAC的血供也起到重要作用, 但是这些血管均穿行于乳腺组织间, 当乳腺腺体完全切除时, 这些血供也随之消失。

O'Dey等^[9]研究各种类型NAC组织蒂对NAC血供安全性的影响后, 也发现胸廓内动脉最多有3个独立的分支在其下行过程中提供NAC的血供, 但是这些血供都是从乳腺腺体深部向上供应NAC。研究也发现, 86%的NAC由第2或第4肋间隙的1个或2个穿支血管提供血供。

Le Roux等^[10]研究后发现, 乳房的静脉引流是经一个由许多静脉血管组成的网络所完成的, 而其中NAC的静脉引流是通过乳晕下浅层静脉环来实现的, 在外侧最终汇入锁骨下静脉, 在内侧则最终汇入胸廓内静脉, 而在乳房下侧也存在静脉进行引流。此外, Le Roux等^[10]还发现, 外侧的静脉行走层次较深, 而内侧的引流静脉行走层次较为表浅。因此, 术中减少对相应层次静脉引流系统的损伤, 可以有效预防术后NAC静脉性淤血的发生。

由于NAC的血供主要来自腺体深层的特点, 在行NSM术时乳房腺体被完全切除, 此时NAC的血供主要来自于浅层的血管网, 术后的坏死不能完全避免。然而, 为减少这些并发症, 乳房外科医生一定要注意细节, 切口必须有计划的选择, 以尽量减少对皮肤和NAC灌注的血管损伤。因此在术前进行乳头乳晕血供有效的评估显得更为重要。

2 NAC术前血供评估

以前, 大多数的文献是对离体或尸检的乳房切除标本进行解剖学研究, 因而不能真正评估活体状态下的NAC的血供状况。自从钆螯合剂作为对比剂被引入到MRI增强扫描后, 动态增强MRI(dynamic contrast-enhanced-MRI, DCE-MRI)在乳腺病变中的应用日益成熟。DCE-MRI可以同时兼顾时间与空间分辨率, 是一种较为理想的影像检查手段。目前国内外乳腺DCE-MRI研究多采用高场强(1.5~3.0T)磁共振系统, 其优点是图像信噪比高, 脂肪抑制效果好, 显示清晰, 高场强使强化组织与未强化组织间信号强度差异增大, 对比更明显。常用的对比剂为二乙烯五胺乙酸钆(GD-DTPA), 扫描之前先进行常规扫描, 动态增强扫描结束后, 对乳房及乳头乳晕血供的观察来自于动态增强减影成像最大密度投影(maximal intensity projection, MIP), 减影后的三维MIP图由于将强化的结构显示在同一张图像上, 可以清晰显示供血血管。

Amanti等^[11]分析了从2005年1月—2012年10月接受NSM的113例患者, 通过乳房磁共振成像进行解剖学研究, 并评估NAC坏死的并发症的发生率。在乳腺二维MRI减影和三维MIP重建图像发现, 乳房血管网由胸廓外动脉(乳房外侧动脉)、胸廓内动脉(乳房内侧动脉)和乳腺穿支共同组成。胸廓外侧动脉(或乳房外侧动脉)发自腋动脉第2段从腋静脉的深面穿出, 经过腋窝沿胸小肌下缘行走, 负责胸大肌、胸小肌前锯肌及乳腺外侧部血供; 胸廓内动脉(或乳房内侧动脉)起源于锁骨下动脉下壁, 紧贴胸膜顶前面进入胸腔, 沿胸骨旁乳内内侧(距胸骨缘0.8~1.25 cm)在第1~6肋软骨、肋间内肌和肋间外韧带的后面、胸横肌的前面下行, 达第6肋间隙, 分为两终末支, 移行为腹壁上动脉。乳腺的穿支动脉包括乳腺穿支动脉和乳腺深部穿支动脉。而乳腺穿支动脉主要来自胸廓内动脉、胸廓外侧动脉和第5、第6肋间动脉, 穿出点的分布密度以内下象限为主。乳房深部动脉穿支穿出胸肌筋膜后, 每支发出1~2支细小分支行走于

乳腺的后侧，并互相吻合构成乳腺的血管网，其主干在乳腺后水平走行1~2 cm后以1~3支穿入乳腺实质，沿乳腺小叶行走，大部分呈向心趋势，在不同水平发生细小分支供应乳腺组织，其终末支多穿出乳腺组织与浅层动脉吻合，或穿出乳腺组织在浅层继续走行，部分与穿入乳腺组织内的浅层动脉干吻合，少数终止于乳腺组织内部。笔者通过对患者术前乳房及NAC动脉血供的观察，选择合理的手术切口，尽量避免发生术后乳头乳晕坏死的并发症，结果接受NSM的113例患者中只有1例发生NAC完全坏死(0.9%)，6例有部分坏死(5.8%)。

而Seitz等^[12]对26例女性的双侧乳腺MRI扫描结果进行了分析。排除有乳腺癌病史或既往有乳房手术病史的患者。这项研究的目的是确定乳腺MRI对NAC血液灌注的分类方法。获取注射钆螯合剂前后的图像后，除了MIP的三维图像外，对轴向、冠状和矢状图像也分别进行了评价。该研究对26例女性患者共52个乳房影像结果进行了评估。患者年龄33岁~70岁(平均49岁，中位45.5岁)。MRI评估结果显示，供应NAC的血管总数为80支(右侧乳房37支，左侧乳房43支)。研究者将NAC的血液供应分类成5个解剖区域(图1)：内侧(I型)、外侧(II型)、中央(III型)、下方(IV型)和上方(V型)。52个乳房的MRI图像的评估表明：28个乳房只有I型血液供应(53.90%)，1个乳房只有II型血液供应(1.92%)，另1个乳房只有III型(1.92%)血液供应，22个乳房(42.30%)为多区血液供应，其中20个乳房由I及II型同时供应(38.46%)；2个乳房由I及III型同时供应(3.84%)。

其中右侧乳房的评估表明：16例患者只有内侧区(I型)血液供应，其中2例有1个额外的内侧血管，1例只有外侧区供血(II型)，9例有多区域的血液供应。9例多区域血液供应中，8例内侧和外侧型(I和II型)，1例内侧和中央型(I和III型)。分析8例同时内侧和外侧灌注型，4例有相似的内侧和外侧供应，2例患者以外侧为主灌注，2例以内侧为主供应。26个右侧乳房中25个(96.0%)的NAC血供由内侧来源的血供灌注；26个右侧乳房中15个(57.7%)的NAC血供有1个以上血管供应。左侧乳腺主血管直径范围为1~5 mm，二级分支血管的直径为2~4 mm。单血管灌注($n=11$)的血管的平均直径为2.73 mm，两个血管灌注($n=13$)的血管的平均直径为2.33 mm。

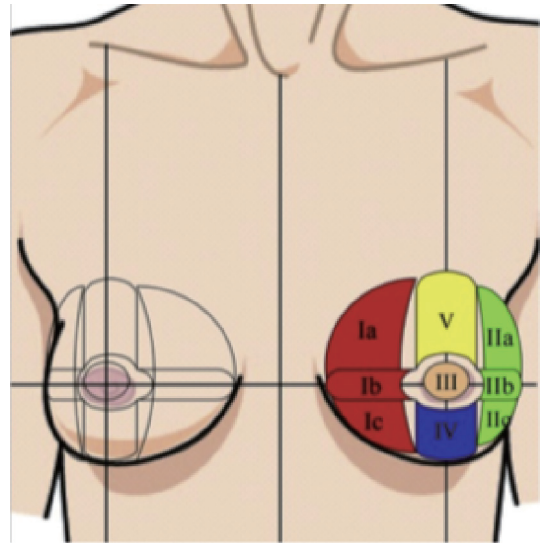


图1 NAC血供来源示意图^[12]

Fig. 1 The blood supply of NAC^[12]

The red parts were type I, the green parts were type II, the beige part was type III, the blue part was type IV, and the yellow part was type V

个右侧乳房中11个(42.3%)的NAC血供有1个以上血管供应的。右侧乳腺主干血管直径范围为1~6 mm，二级分支血管直径为2~3 mm。单血管灌注($n=15$)的血管的平均直径为2.5 mm，两个血管灌注($n=11$)的血管的平均直径为2.89 mm。

而左侧乳房的评估表明：12例只有内侧区(I型)血液供应，1例只有中央区供血(III型)，13例有多区域的血液供应。13例多区域血液供应中内侧区均有供给，12例内侧和外侧型(I和II型)，1例内侧和中央型(I和III型)。有2例有3个血管供应。分析12例同时内侧和外侧灌注型患者，3例有相似的内侧和外侧供应，1例患者外侧为主灌注，8例以内侧为主供应。26个右侧乳房中25个(96.0%)的NAC血供由内侧来源的血供灌注；26个右侧乳房中15个(57.7%)的NAC血供有1个以上血管供应。左侧乳腺主血管直径范围为1~5 mm，二级分支血管的直径为2~4 mm。单血管灌注($n=11$)的血管的平均直径为2.73 mm，两个血管灌注($n=13$)的血管的平均直径为2.73 mm，3个血管灌注($n=2$)的血管的平均直径为2.33 mm。

96%的患者右侧与左侧乳房的NAC有类似血流灌注分布。在这些患者中，52%有相同灌注区，而在48%的患者中1侧乳房有额外血液供

应区。该研究报道, 只有1例患者(4%)发现每个乳房有完全不同的灌注区域。

以上研究显示, MRI三维动态增强减影技术在对乳腺血供的评估中具有以下优势: ① 简便易行, 不受生理因素干扰, 分辨率高, 对于靶血管图像的采集可以通过在走行面内以较少扫描层面俘获最大覆盖视野的血管结构, 血管的显示效果较好; ② 图像后处理技术相对简单, 可以摒除非强化组织影像信号, 提高强化的组织及血管信号的对比度, 使血供情况显示得更加清晰; ③ MIP图像以减影图像为基础, 与断层图像相比, 优势在于能够直观清晰地显示乳腺的空间结构, 周围的血管结构及空间分布。基于这些术前的乳腺MRI检查, 手术者可用根据NAC血液灌注的类型进行切口的选择, 术中尽量保留重要的穿支, 可能会减少乳头乳晕坏死的发生率。

3 NAC术中实时血供评估

术中目测和皮瓣边缘出血一直是用于判断皮肤是否有足够血流灌注的传统方法, 外科医生通常会切除出现变色、发绀的皮肤并修剪皮肤边缘直至出血。但是, 目测具有很大的误差, 会导致缺血的低估或高估。目前除了目测, 术中彩色多普勒、组织血氧度和荧光染料造影也曾被用来评估血流灌注, 但是在临床实践中也未被证明是完全可靠的^[13]。

近年来, 吲哚氰绿(indocyanine green, ICG) 因为其独特的物理性质和近红外光谱特性, 越来越多的被用于医学检验、医学成像以及术中实时成像。基于ICG近红外荧光特性的成像技术已经广泛地被用来进行乳腺癌、胃癌、肺癌和食管癌中的前哨淋巴结活检^[14-17]。而ICG近红外荧光成像技术和基于ICG荧光成像的术中影像导航对NSM术中的皮瓣血供评估的应用也逐渐引起更多研究者的关注, 这种术中影像导航可提供关于组织灌流的实时信息, 补充目测的评估^[13, 18]。静脉内给药后几秒钟内利用红外照相机捕捉组织血液是否流入, 并且在计算机屏幕上观察。目前, 这个技术已经在多个中心^[19]用于评估乳房切除后的皮肤或者肌皮

瓣的灌注, 并引导切除缺血的皮肤。Phillips等^[20]前瞻性地比较了荧光染料血管造影以及基于ICG血管造影。发现这两种方法的灵敏度类似, 但基于ICG血管成像在特异性以及阳性和阴性预测值方面均优于荧光染料血管造影。在该研究中, 荧光染料血管造影比ICG血管成像可能高估皮瓣的坏死程度。Duggal等^[18]也证实, 在184例保留皮肤的乳房切除术(不保留乳头)中应用ICG血管造影成像可以显著降低再手术率(14.1% vs 5.9%)和皮肤坏死率(23.4% vs 13.0%)。

Wapnir等^[21]着重研究了术中NAC的灌注模式, 研究者应用3 mL的ICG对基线和乳房切除后的NAC血流灌注进行了细致的研究。按照动脉血流灌注主要起源分为: 深部乳房组织型(V1)、周围皮肤型(V2)以及V1和V2的组合(V3)。观察术后NAC缺血, 再次手术切除率以及延迟缺血并发症的发生率。共有39例患者乳房被评估。7例(18%)表现为V1模式, 18例(46%)表现为V2模式, 14例(36%)表现为V3模式。在该研究中, 共有7例(18%)患者的NAC最后被切除, 其中6例术中即时切除和1例延迟切除。值得注意的是, 在7例切除NAC的病例中5例均表现为V1模式。总体而言, 在所有V1模式灌注的患者中71%的患者在术中目测及ICG近红外荧光成像中均判断NAC缺乏血供。在3组不同动脉血流灌注模式中NAC的切除率有显著性差异。在NSM中V1模式的NAC缺血发生率最高。在NSM中应用ICG血管造影成像来判断NAC的灌注模式和皮肤血流灌注是一个潜在的有意义的辅助工具, 可以引导乳房切除术切口位置的设计, 及时调整手术方案, 以减少术后皮瓣及乳头缺血的发生。

4 结语

综上所述, NAC血供主要来自腺体深层, 而NSM术时乳腺被完整切除, 因此NSM术中NAC的血供主要来自于浅层的血管网, 术后NAC的缺血坏死不能完全避免。目前, 通过应用术前MRI等影像学检查手段评估患者NAC血流灌注模式已取得了一定的成果。而ICG近红外荧光成像技术等方法在术中进行血管造影可

以更加准确地反映乳房及NAC实时的血流灌注情况,补充术中目测评估,保证术后乳房皮瓣及NAC血供,及时发现可能存在的皮瓣缺血的隐患,从而将NSM术后相关的NAC坏死的并发症降至最低水平。然而,相关研究尚未得到大规模的临床验证,仍需要开展进一步深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] FREEMAN B S. Subcutaneous mastectomy for benign breast lesions with immediate or delayed prosthetic replacement [J]. *Plast Reconstr Surg Transplant Bull*, 1962, 30: 676-682.
- [2] WURINGER E, MADER N, POSCH E, et al. Nerve and vessel supplying ligamentous suspension of the mammary gland [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1998, 101(6): 1486-1493.
- [3] WURINGER E. Refinement of the central pedicle breast reduction by application of the ligamentous suspension [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1999, 103(5): 1400-1410.
- [4] WURINGER E, TSCHABITSEHER M. New aspects of the topographical anatomy of the mammary gland regarding its neurovascular supply along a regular ligamentous suspension [J]. *Eur J Morphol*, 2002, 40 (3): 181-189.
- [5] HAMDI M, VAN LANDUYT K, TONNARD P, et al. Septum-based mammoplasty: A surgical technique based on Wuringer's septum for breast reduction [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009, 123(2): 443-454.
- [6] SUN J M, QIAO Q, ZHAO R, et al. The neuro-vascular anatomical study of breast and its signification in reduction mammoplasty [J]. *Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi*, 2004, 20(4): 277-279.
- [7] VAN DEVENTER P V. The blood supply to the nipple-areola complex of the human mammary gland [J]. *Aesthetic Plast Surg*, 2004, 28(6): 393-398.
- [8] VAN DEVENTER P V, PAGE B J, GRAEWE F R. Vascular anatomy of the breast and nipple-areola complex [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2008, 121 (5): 1860-1861.
- [9] O' DEY D, PRESCHER A, PALLUA N. Vascular reliability of nipple-areola complex-bearing pedicles: An anatomical microdissection study [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2007, 119(4): 1167-1177.
- [10] LE ROUX C M, PAN W R, MATOUSEK S A, et al. Preventing venous congestion of the nipple- areola complex: An anatomical guide to preserving essential venous drainage networks [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2011, 127(3):1073-1079.
- [11] AMANTI C, VITALE V, LOMBARDI A, et al. Importance of perforating vessels in nipple-sparing mastectomy: An anatomical description [J]. *Breast Cancer (Dove Med Press)*, 2015, 7: 179-181. doi: 10.2147/BCTT.S78705.
- [12] SEITZ I A, NIXON A T, FRIEDEWALD S M, et al. "NACsomes": A new classification system of the blood supply to the nipple areola complex (NAC) based on diagnostic breast MRI exams [J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2015, 68(6): 792-799.
- [13] GURTNER G C, JONES G E, NELIGAN P C, et al. Intraoperative laser angiography using the SPY system: review of the literature and recommendations for use [J]. *Ann Surg Innov Res*, 2013, 7(1): 1.
- [14] KITAI T, INOMOTO T, MIWA M, et al. Fluorescence navigation with indocyanine green for detecting sentinel lymph nodes in breast cancer [J]. *Breast Cancer*, 2005, 12(3):211-215.
- [15] ISHIKAWA K, YASUDA K, SHIROMIZU A, et al. Laparoscopic sentinel node navigation achieved by infrared ray electronic endoscopy system in patients with gastric cancer [J]. *Surg Endosc*, 2007, 21(7):1131-1134.
- [16] ITO N, FUKUTA M, TOKUSHIMA T, et al. Sentinel node navigation surgery using indocyanine green in patients with lung cancer [J]. *Surg Today*, 2004, 34(7):581-585.
- [17] SOLTESZ E G, KIM S, LAURENCE R G, et al. Intraoperative sentinel lymph node mapping of the lung using near-infrared fluorescent quantum dots [J]. *Ann Thorac Surg*, 2005, 79(1):269-277.
- [18] DUGGAL C S, MADNI T, LOSKEN A. An outcome analysis of intraoperative angiography for postmastectomy breast reconstruction [J]. *Aesthet Surg J*, 2014, 34(1):61-65.
- [19] KOMOROWSHA-TIMEK E, GURTNER G C. Intraoperative perfusion mapping with laser-assisted indocyanine green imaging can predict and prevent complications in immediate breast reconstruction [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2010, 125(4): 1065-1073.
- [20] PHILLIPS B T, LANIER S T, CONKLING N, et al. Intraoperative perfusion techniques can accurately predict mastectomy skin flap necrosis in breast reconstruction: results of a prospective trial [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 129(5):778e-788e.
- [21] WAPNIR I, DUA M, KIERYN A, et al. Intraoperative imaging of nipple perfusion patterns and ischemic complications in nipple-sparing mastectomies [J]. *Ann Surg Oncol*, 2014, 21(1):100-106.

(收稿日期: 2015-12-26)