

# 股前外侧皮瓣穿支解剖学特征与定位方法的专家共识(2024版)

徐永清<sup>1</sup>, 唐举玉<sup>2</sup>, 刘元波<sup>3</sup>, 周征兵<sup>4</sup>, 蒋灿华<sup>5</sup>, 张兴<sup>6</sup>, 张世民<sup>7</sup>, 芮永军<sup>8</sup>, 杨晓东<sup>9</sup>, 巨积辉<sup>10</sup>, 孙向东<sup>11</sup>, 丁小珩<sup>12</sup>, 周小兵<sup>13</sup>, 魏在荣<sup>14</sup>, 杜青晏<sup>3</sup>, 臧梦青<sup>3</sup>, 俞芳<sup>2</sup>, 刘族安<sup>15</sup>, 杨曦<sup>1</sup>, 魏鹏<sup>16</sup>, 宋达疆<sup>17</sup>, 李赞<sup>17</sup>, 战杰<sup>18</sup>, 聂开瑜<sup>14</sup>, 郭峰<sup>5</sup>, 吴攀峰<sup>2</sup>, 王欣<sup>19</sup>, 崔怀瑞<sup>20</sup>, 谢松林<sup>21</sup>, 刘俊<sup>22</sup>, 刘亦杨<sup>23</sup>, 李士民<sup>24</sup>, 范新宇<sup>1</sup>, 何晓清<sup>1</sup>, 王腾<sup>1</sup>, 聂广辰<sup>25</sup>, 赵刚<sup>8</sup>, 刘军<sup>8</sup>, 石小田<sup>26</sup>, 张春<sup>23</sup>, 唐茂林<sup>20</sup>, 徐达传<sup>27</sup>

1. 中国人民解放军联勤保障部队第920医院, 昆明 650032; 2. 中南大学湘雅医院, 长沙 410008; 3. 中国医学科学院整形外科医院, 北京 100144; 4. 上海交通大学医学院附属第六人民医院, 上海 200233; 5. 中南大学湘雅口腔医院, 长沙 410078; 6. 平顶山市湛河骨伤科医院, 河南 平顶山 467000; 7. 同济大学附属杨浦医院, 上海 200092; 8. 无锡市第九人民医院, 江苏 无锡 214062; 9. 浙江省人民医院, 杭州 310014; 10. 苏州瑞华骨科医院, 江苏 苏州 215104; 11. 喀什地区第一人民医院, 新疆 喀什 844000; 12. 青岛大学附属医院, 青岛 266000; 13. 南华大学衡阳医学院, 湖南 衡阳 421001; 14. 遵义医科大学附属医院, 贵州 遵义 563003; 15. 广东省人民医院, 广州 510080; 16. 宁波大学附属第一医院, 浙江 宁波 315000; 17. 湖南省肿瘤医院, 长沙 410013; 18. 沈阳医学院附属中心医院, 沈阳 110024; 19. 宁波市第六医院, 浙江 宁波 315040; 20. 温州医科大学基础医学院, 浙江 温州 325035; 21. 南华大学附属南华医院, 湖南 衡阳 421001; 22. 郴州市第一人民医院, 湖南 郴州 423000; 23. 浙江省立同德医院, 浙江 杭州 310012; 24. 中国人民解放军联勤保障部队第988医院, 郑州 450000; 25. 哈尔滨市第五医院, 哈尔滨 150040; 26. 海南医科大学, 海口 570311; 27. 南方医科大学临床解剖学研究所, 广州 510515

**【摘要】** 股前外侧皮瓣(Anterolateral thigh flap, ALTF)是以股前外侧为组织供区、主要以旋股外侧动脉(Lateral circumflex femoral artery, LCFA)穿支为供血系统的外科皮瓣。ALTF作为一种经典的“万能皮瓣”广泛应用于临床修复重建领域。为了对ALTF穿支解剖特征与定位方法的研究成果进行系统的梳理和总结,由中华医学会显微外科学分会与中国解剖学会临床解剖学分会牵头,《中国临床解剖学杂志》编辑部组织国内多名从事显微修复重建外科的专家共同讨论,拟定《股前外侧皮瓣穿支解剖特征与定位方法的专家共识(2024版)》,旨在进一步推广其临床应用并展示我国学者在ALTF发展过程中所做的贡献。

**【关键词】** 股前外侧皮瓣; 旋股外侧动脉; 专家共识

**【中图分类号】** R322 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.13418/j.issn.1001-165x.2024.5.01

## Expert consensus on the anatomical characteristics and localization methods of perforators of anterolateral thigh flap (2024 edition)

Xu Yongqing<sup>1</sup>, Tang Juyi<sup>2</sup>, Liu Yuanbo<sup>3</sup>, Zhou Zhengbing<sup>4</sup>, Jiang Canhua<sup>5</sup>, Zhang Xing<sup>6</sup>, Chang Shimin<sup>7</sup>, Rui Yongjun<sup>8</sup>, Yang Xiaodong<sup>9</sup>, Ju Jihui<sup>10</sup>, Sun Xiangdong<sup>11</sup>, Ding Xiaoheng<sup>12</sup>, Zhou Xiaobing<sup>13</sup>, Wei Zairong<sup>14</sup>, Du Qingyan<sup>3</sup>, Zang Meiqing<sup>3</sup>, Yu Fang<sup>2</sup>, Liu Zuan<sup>15</sup>, Yang Xi<sup>1</sup>, Wei Peng<sup>16</sup>, Song Dajiang<sup>17</sup>, Li Zan<sup>17</sup>, Zhan Jie<sup>18</sup>, Nie Kaiyu<sup>14</sup>, Guo Feng<sup>5</sup>, Wu Panfeng<sup>2</sup>, Wang Xin<sup>19</sup>, Cui Huairui<sup>20</sup>, Xie Songlin<sup>21</sup>, Liu Jun<sup>22</sup>, Liu Yiyang<sup>23</sup>, Li Shimin<sup>24</sup>, Fan Xinyu<sup>1</sup>, He Xiaoqing<sup>1</sup>, Wang Teng<sup>1</sup>, Nie Guangchen<sup>25</sup>, Zhao Gang<sup>8</sup>, Liu Jun<sup>8</sup>, Shi Xiaotian<sup>26</sup>, Zhang Chun<sup>23</sup>, Tang Maolin<sup>20</sup>, Xu Dachuan<sup>27</sup>

1. the 920th Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Kunming 650032; 2. Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008; 3. Plastic Surgery Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100144; 4. Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200233; 5. Xiangya Stomatological Hospital, Central South University, Changsha 410078; 6. Pingdingshan Zhanhe Orthopedics Hospital, Pingdingshan 467000; 7. Yangpu Hospital, Tongji University, Shanghai 200090; 8. Wuxi No. 9 People's Hospital, Wuxi 214062; 9. Zhejiang Provincial Peoples's Hospital, Hangzhou 310014; 10. Suzhou Ruihua Orthopedic Hospital, Suzhou 215104; 11. the First People's Hospital of Kashi Prefecture, Kashi 844000; 12. the Affiliated Hospital of

**【收稿日期】** 2024-08-20

Qingdao University, Qingdao 266000; 13. Hengyang Medical School, University of South China, Hengyang 421001; 14. The Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563003; 15. Guangdong Provincial People's Hospital, Guangzhou 510080; 16. the First Affiliated Hospital of Ningbo University, Ningbo 315000; 17. Hunan Cancer Hospital, Changsha 410013; 18. The Central Hospital Affiliated Shenyang Medical College, Shenyang 110024; 19. Ningbo No. 6 Hospital, Ningbo 315040; 20. School of Basic Medicine, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035; 21. the Affiliated Nanhua Hospital, University of South China, Hengyang 421001; 22. Chenzhou First People's Hospital, Chenzhou 423000; 23. Tongde Hospital of Zhejiang Province, Hangzhou 310012; 24. the 988th Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Zhengzhou 450000; 25. the Fifth Hospital of Harbin, Harbin 150040; 26. Hainan Medical University, Haikou 570311; 27. Institute of Clinical Anatomy, Southern Medical University, Guangzhou 510515

**[Abstract]** The anterolateral thigh flap (ALTF), often referred to as a "versatile flap" due to its versatility, is extensively utilized in clinical repair and reconstructive surgery. This surgical flap involves using the anterolateral thigh as the donor site, primarily depending on the perforating branches of the lateral circumflex femoral artery (LCFA) for its blood supply. To comprehensively review and summarize the research findings regarding the anatomical characteristics and location of the perforators of the ALTF, the Microsurgery Branch of the Chinese Medical Association, the Clinical Anatomy Branch of the Chinese Society for Anatomical Sciences, and the Editorial Board of the *Chinese Journal of Clinical Anatomy* have taken the initiative to organize numerous domestic experts specializing in microsurgical repair and reconstruction. These experts convened to deliberate and formulate the "Expert Consensus on the Anatomical Characteristics and Localization Methods of Perforators of the Anterolateral Thigh Flap (2024 Edition)". The consensus aims to further advance the clinical application of the ALTF and to acknowledge the contributions of Chinese scholars to the advancement of ALTF techniques.

**[Key words]** Anterolateral thigh flap; Lateral circumflex femoral artery; Expert consensus

股前外侧皮瓣(Anterolateral thigh flap, ALTF)是按部位命名,以股前外侧为组织供区的外科皮瓣,主要以旋股外侧动脉(Lateral circumflex femoral artery, LCFA)携带穿支为供血系统。LCFA的穿支作为ALTF直接的血供来源,其解剖特征是皮瓣设计与临床应用的形态学依据。穿支定位方法和皮瓣设计以解剖特征为基础,以适应于临床上不同部位、不同类型创面的外观及功能修复需求。自1984年首次报道以来,ALTF推广应用已有40年,其穿支血管的解剖特征不断被研究和发掘,对其穿支的定义也在不断更新并持续发展。为了对ALTF穿支解剖特征与定位方法的研究成果做一个系统梳理和总结,中华医学会显微外科学分会与中国解剖学会临床解剖学分会牵头,组织国内多名从事显微修复重建外科的专家共同讨论,拟定《股前外侧皮瓣穿支解剖特征与定位方法的专家共识(2024版)》,以方便学术交流,进一步推广其临床应用,同时展示我国学者在ALTF发展过程中做出的重要贡献。

## 1 LCFA穿支解剖学研究的历史回顾

早在1811年,Cooper即在其论文插图中展示了LCFA及其发出的升支、横支、降支,及降支发的出内、外侧支<sup>[1]</sup>。1916年,美国的Daniel Baugh解剖和生物医学研究所,开展的“人体血管树”专项研究,将股动脉分支分为5种类型<sup>[2]</sup>,其中已经描述了LCFA的各种分支。1983年,Baek等<sup>[3]</sup>按组织供区报道了股内、外侧两个新的游离皮瓣,并且提出了“septocutaneous perforator(肌间隙穿支)”概念。但由于其进行动脉染

色灌注研究的仅有1具新鲜尸体,因而对股前外侧区血供的描述欠准确。所以,以切取ALTF为目的的LCFA解剖特征的系统性研究并未开展。1984年,徐达传等<sup>[4]</sup>、宋业光等<sup>[5]</sup>、罗力生等<sup>[6]</sup>同期报道了以LCFA降支为蒂的ALTF供区,以髂前上棘与髌骨外上缘顶点之连线(髂-髌线,A-P线)为ALTF穿支定位的基准线,提供了详细的解剖学信息。自此,ALTF成为皮瓣外科的研究热点。1988年,徐达传等<sup>[7]</sup>以英文更加详细地阐述了LCFA各分支的起源、分布及体表投影,专门设计了科学而简明实用的“股前外侧穿支定位与皮瓣设计示意图”,进一步丰富了LCFA系统的解剖学特征与临床应用的知识体系。此后,Koshima等<sup>[8,9]</sup>相继报道了LCFA穿支的变异:穿支可来自股深动脉、股动脉,也存在穿支缺如和穿出方式的变异,认为这是皮瓣的不稳定因素。尽管如此,还是能够以LCFA设计嵌合皮瓣。1991年,张春等<sup>[10]</sup>将LCFA降支的穿支归纳为3个基本类型和6个亚型,提出了“高位肌皮动脉穿支”的分型。同年,Zhou等<sup>[11]</sup>报道了来自横支、垂直穿出股外侧肌的高位穿支。此后,关于对肌间隙穿支、肌皮穿支变异的研究不断增多。更加重视高位穿支、降支内侧分支的解剖学研究,以及降支与横支联合应用的临床研究。衍生出肌皮瓣、嵌合皮瓣、血流桥接(flow-through)皮瓣的应用,以满足临床对复杂创面的修复需要<sup>[12-14]</sup>。2002年,Wei等<sup>[15]</sup>回顾672例ALTF,发现仅6例存在供区穿支缺如,认为LCFA的穿支有分布差异,但总体较为恒定,认为ALTF是可靠且功能多样的皮瓣。同年,徐达传等<sup>[16]</sup>

详细报道来自升支、横支及降支的“高位皮动脉”的解剖特点,进一步完善了 LCFA 的解剖学特征研究。2009 年, Wong 等<sup>[17]</sup>提出了 LCFA 的斜支概念,并发现“斜支陷阱”的现象<sup>[18]</sup>,拓展了 ALTf 的使用。LCFA 穿支解剖学特征是 ALTf 临床应用的基础,解剖学研究的深入,推动和扩展了对 ALTf 的临床应用。

## 2 LCFA 系统解剖

LCFA 的二级分支包括:升支、横支、斜支和降

支;三级分支为肌皮穿支、肌间隙穿支及高位皮支。应用新鲜成人尸体全身血管造影的 MDCT 扫描数据,输入图像工作站(MIMICS, Materialise, Belgium)构建“股部 3D 可视化模型”,此模型的股前外侧区数字化连续层次解剖可清晰显示 LCFA 的来源和各级分支及其穿支的分布,由此可见:带骨骼的嵌合穿支皮瓣以设计在 IA 区或 IIA 区上半部为佳,带肌肉的嵌合穿支皮瓣尽可能设计在 IIA 区(图 1)。

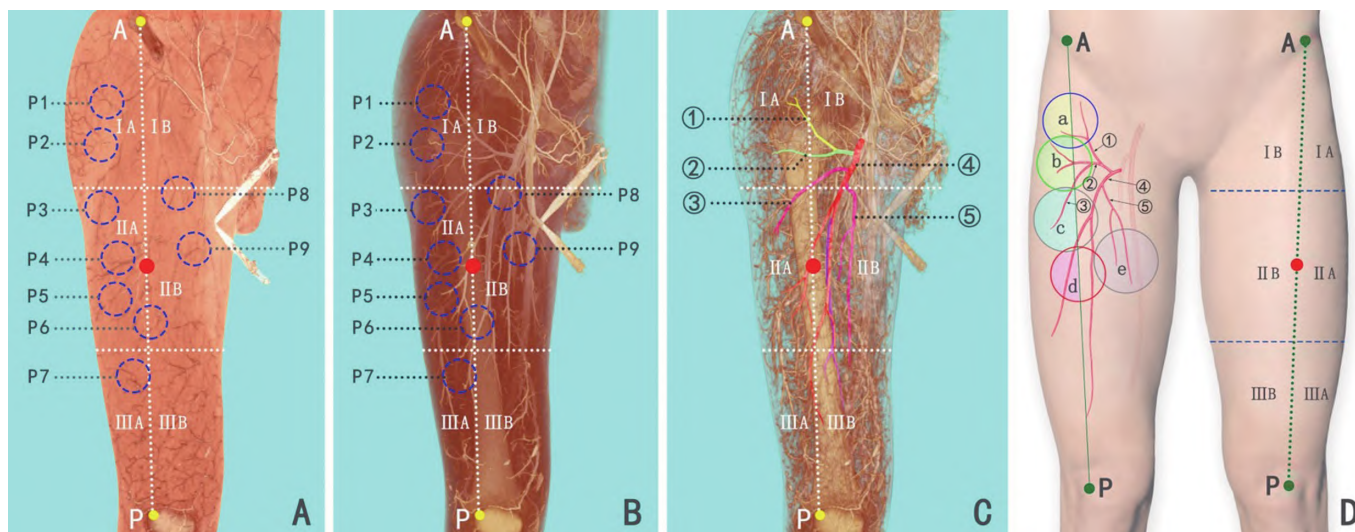


图 1 旋股外侧动脉各级分支及其穿支的分布概况

A~C: 股前外侧区由浅至深层次化三维重建 A. 髂前上棘 P. 髌骨外上缘 A-P: 髂-髌线 红点. A-P 线中点 ①升支 ②横支 ③斜支 ④降支 ⑤内侧高位皮支 P1. 源于升支的穿支 P2. 源于横支的穿支 P3. 源于斜支的穿支 P4, P5. 源于降支外侧支的穿支 P6, P7. 源于降支内侧支的穿支 P8, P9. 源于内侧高位皮支的穿支 D: 依据统计结果绘制示意图 a. 升支穿支供养区域 b. 横支穿支供养区域 c. 斜支穿支供养区域 d. 降支穿支供养区域 e. 内侧高位皮支穿支供养区域 圆圈表示穿支浅出点的范围;以 A-P 线为基准线,作 3 等分,将大腿前部分为 6 个区域, A-P 线外侧为 A 区,内侧为 B 区,自上至下分别为: IA 区、IB 区、IIA 区、IIB 区、IIIA 区、IIIB 区。(资料来源:唐举玉, 2022 年, 湘雅第九届全国穿支皮瓣高级培训班 5 号标本;数字化人体标本的前期处理:周小兵;三维重建与插图设计:张兴)

Fig. 1 Distribution overview of various branches and perforators of the lateral circumflex femoral artery. A-C: Three-dimensional reconstruction of the anterior lateral femoral area from superficial to deep layers; A: Anterior superior iliac spine, P: Superolateral edge of the patella, A-P: Iliac-patellar line, Red dot: Midpoint of the A-P line; ①Ascending branch, ②Transverse branch, ③Oblique branch, ④Descending branch, ⑤Medial high-level cutaneous branch; P1: Perforator derived from the ascending branch, P2: Perforator derived from the transverse branch, P3: Perforator derived from the oblique branch, P4, P5: Perforators derived from the lateral branch of the descending branch, P6, P7: Perforators derived from the medial branch of the descending branch, P8, P9: Perforators derived from the medial high-level cutaneous branch; D: Schematic diagram drawn based on statistical results; a, Supplying area of the perforators of the ascending branch; b, Supplying area of the perforators of the transverse branch; c, Supplying area of the perforators of the oblique branch; d, Supplying area of the perforators of the descending branch; e, Supplying area of the perforators of the medial high-level cutaneous branch. The Circles indicate the range of the cutaneous penetration point of the perforators. Taking the A-P line as the baseline, the ALTf and AMT is divided into six areas evenly. The lateral area of the A-P line is A, and the medial area is B. From the proximal to the distal: IA, IB, IIA, IIB, IIIA, IIIB. (Source: Juyu Tang, the No. 5 specimen of the 9th National Advanced Training Course on Perforator Flaps of Xiangya Hospital, 2022. Pre-processing of digital human specimens: Xiaobing Zhou. Three-dimensional reconstruction and illustration design: Xing Zhang).

### 2.1 LCFA 的起源

LCFA 多起源于股深动脉,少数情况下起自股动脉或髂外动脉,自股三角穿出,在缝匠肌与股直肌深面行向外侧,其变异率及分型报道均有差异<sup>[19-21]</sup>。ALTf 的血管蒂为 LCFA 分支,一般情况下无需向近端解剖至 LCFA 的发出点,所以 LCFA 的起源变异对 ALTf 的切取无重要影响。

### 2.2 LCFA 的分支

LCFA 经典的分支以位置、走行方向分为降支、横支、升支。三者起源存在的变异,主要有 3 种类型<sup>[16, 17, 22, 23]</sup>; I 型:占 76%,由股深动脉上端外侧发出后,分出升支、横支和降支,为最常见类型; II 型:占 20%,升支和横支、横支和降支分别两两共干,由股深动脉或股动脉发出; III 型:占 4%,升支、横支、降支可分别起源于股深动脉或股动脉。除经典分型外,斜支和高位皮支两种分型后续专门讨论。

(1)升支:主干多起自LCFA,少数情况下起自股动脉,起点外径约(3.1±0.5) mm,从起点至阔筋膜张肌肌门处长度约为2.8~6.9 cm。升支主干走行于股直肌深面与髂腰肌的间隙,斜向外上方,行至阔筋膜张肌内侧深面。由下而上自阔筋膜张肌及臀中肌之间穿出,在阔筋膜张肌肌门处发出阔筋膜张肌支、髂嵴支、臀中肌支;携带升支穿支可切取阔筋膜张肌肌皮瓣等<sup>[16, 24, 25]</sup>。

(2)横支:多与升支共干发出,或直接起于LCFA;外径(2.6±0.8) mm,长度5~6 cm。横支自上级动脉发出后在股直肌深面与身体水平轴几乎平行,可略向下或向上走行,分浅、深支。浅支至股外侧肌上部,还发出肌皮动脉穿支至股外侧上部皮肤;深支(主干)经股外侧肌上部深面行至大转子前下方,发出2~4支前支和前外侧支分布于大转子前外侧部;横支可与升支、降支共干切取,以分叶皮瓣的形式,提供较大的供区面积<sup>[26-28]</sup>。

(3)降支:是ALTF最重要的血管蒂,通常起源于LCFA,少数起于股深动脉或股动脉,走行距离最长,长度为8~12 cm,外径(3.8±1.3) mm。降支起始后走行在股直肌与股中间肌之间,行向外下方,在髂-髌线的中点稍上方可以分为内、外侧支。内侧支是主干血管的延续,分支至股直肌、股中间肌及股内侧肌的外侧部,终支参与膝关节动脉网。外侧支沿股外侧肌与股直肌之间向外下走行,沿途发出肌支,肌皮穿支和/或肌间隙穿支,供应股外侧肌、股直肌和股前外侧部皮肤,是ALTF的主要轴心血管。外侧支的终支与膝上外侧动脉的分支有多种吻合类型,是切取以膝上外侧动脉为蒂股前外侧逆行岛状皮瓣的解剖学基础。降支的长度、管径、穿支数量也是ALTF的分叶、串联、嵌合、血流桥接皮瓣等衍生皮瓣的解剖学依据<sup>[7, 22, 26, 29, 30]</sup>。

(4)高位皮支和斜支:高位皮支最先以中文文献报道,斜支概念以英文提出后,引发了中国学者的研究,二者在解剖形态的定义上既有相似又有区别<sup>[10, 16, 31]</sup>,都丰富了ALTF的临床应用,为了更好地理解二者的解剖特点,先对穿支的解剖特点进行梳理,再对其争鸣进行讨论,进一步明确二者异同。

### 2.3 穿支的特点

ALTF穿支指营养皮肤的穿支血管,属三级分支,是ALTF直接血供来源,其位置分布、穿行方式、起源及数量,以及共干和联体现象等解剖特点是ALTF应用的依据。

(1)分布:主要由LCFA的分支发出,随着不同分支的位置而进行分布。以降支为主要血管蒂的穿支集中分布在髂-髌线的中点附近<sup>[7, 20, 32]</sup>,是体表定位的解剖学依据。

(2)穿行方式:肌皮穿支和肌间隙穿支是主要穿行方式<sup>[5, 7, 22]</sup>,肌皮穿支出现概率高于肌间隙穿支是基本的解剖学特征<sup>[33, 34]</sup>。①肌皮穿支(musculocutaneous perforator)由分支发出后穿行于肌内部,沿途发出肌肉营养支,穿出肌肉后达筋膜层再穿入皮肤组织。游离肌皮穿支,需要切断覆盖血管表面的肌肉,仔细结扎肌支,追踪至上级主干。有时也可保留肌纤维,将血管从肌肉中仔细分离出来,然后将皮瓣或血管蒂从分离血管形成的肌肉隧道中拖出来即可,但是技术上更为困难。②肌间隙穿支起自分支后穿行于肌间隙,出现比例从9.5%至61.5%不等,直接到达筋膜皮肤层。将股直肌向内侧牵开,可在股外侧肌浅面发现沿途发出营养肌肉的分支,较为容易分离。

(3)起源和数量:起源的比例存在差异,主要起源于降支(57%~69.1%),其次为横支(4%~35%)和升支(2.6%~14.5%),以及斜支(14%)、LFCA(4.7%),极少部分起源于股深动脉(4.2%)、股动脉(1.8%)。在同一分支上双穿支的情况最多见,占53.6%,三穿支占28.2%,单穿支占18.2%<sup>[35, 36]</sup>。关于穿支数量报道结果有差异:穿支平均1.4~4.26支<sup>[19, 20]</sup>,影像学显示穿支平均数2.28~2.5支<sup>[37, 38]</sup>,而穿支缺如或者无法找到适合穿支的发生率在临床报道中为0.89%~5.4%<sup>[15, 17, 30, 33]</sup>。穿支数量存在变异,但穿支缺如发生率低。在临床的实际应用中,需要对穿支变异的解剖特征有总体认识,以数据作为参考,而不拘泥于数值的差异,根据解剖特征寻找到合适穿支来应对变异。

(4)穿支共干现象:距离相近的细小穿支同时出现时,在深筋膜的深面可能共干并起源于同一源血管<sup>[39]</sup>;携带共干穿支可以切取较大的皮瓣面积,切取时需要保留共干穿支,逆行向其源血管解剖,避免损伤共干的分叉部,保留皮瓣外血管通道的完整性,使得皮瓣有充足的灌注,减少坏死风险<sup>[40, 41]</sup>。

(5)联体现象:唐茂林等<sup>[42]</sup>发现皮瓣可由发自不同源动脉的2条及以上穿支供血,可通过外增压和内增压方式吻合分支血管,将同一供区内不同的血管体区组合在一起,以扩大皮瓣的供血面积,形成联体皮瓣<sup>[43]</sup>。

### 3 高位皮支与斜支的争鸣及其意义

1991年,张春等<sup>[10]</sup>首次以皮支的变异分型提出了高位皮支的概念:起始于降支根部,在股外侧肌上部较高位置垂直穿出,长度约5 cm、外径1 mm的粗大皮支,可为肌皮穿支或肌间隙穿支。罗力生等<sup>[31]</sup>、徐达传等<sup>[16]</sup>认为高位皮支更多起源于横支,也可起自升支或股动脉,是二级分支发出粗大穿支,在髂-髌线中点以上较高位置,以肌皮或者肌间隙形式穿出,外径0.8~2.6 mm,长度可达11.4 cm。高位皮支出现率高达26.7%~58%,在同一分布区代偿时,其他皮支可缺如,或者位置更低、外径更细。切取高位皮支时要

追踪来源,避免盲目切取降支作为主干血管蒂导致皮瓣坏死。高位皮支是众多穿支的一种形式,可以由二级分支(升支、横支、降支)发出。与其他分支或穿支具有相同支配功能,构成各自的“解剖功能单位”,出现概率较高,不应该视为变异。在临床应用中,可分为“均匀分布型”以及“高位皮动脉主要型”,可单一切取高位皮支为蒂进行移植,也可联合其他分支切取多种形式的皮瓣<sup>[44, 45]</sup>。虽然高位皮支,尤其是来自升支的高位皮支主要分布于股前外侧上 1/3 区域,但亦有一些来自升支/横支共干部,或横支/降支起始处等部位的分支自内上斜向外下走行,其穿支分布至股前外侧中 1/3 上部或上 1/3 的下部,此类高位皮支现被定义为“斜支”。

2009 年, Wong 等<sup>[17]</sup>提出了斜支概念,定义为:源自降支与横支之间,斜向外下走行于肌间隙的血管。外径约 1.5mm,长度约 12cm,主要起源于横支(51.6%)和降支(35.5%),其次起源于 LCFA、股深动脉和股动脉;在切取嵌合皮瓣时需要注意斜支的来源,避免只切取降支为蒂,出现肌瓣成活而皮瓣坏死的“斜支陷阱”现象<sup>[18]</sup>。斜支出现概率较高(32%~35%),以肌间隙穿支为主,营养股前外侧较高区域,该区域皮瓣可分“降支主要型”、“均匀分布型”以及“斜支主要型”<sup>[46]</sup>。由于斜支常起源于横支,且和横支有短的共干血管,因此,有的学者认为斜支是低位横支<sup>[47]</sup>,但是这一观点不能如实反映斜支独有的特制特点。

高位皮支与斜支二者在解剖学特征上具有相似性,临床应用的功能也相同。对于高位皮支切取时的风险描述<sup>[16]</sup>与“斜支陷阱”现象<sup>[18]</sup>尤其一致。高位皮支的定义相对宽泛,多见于中文报道,而在斜支的概念提出后,中、英文的报道逐渐增多。由于其解剖学特征与临床应用的相似性,魏在荣等<sup>[48]</sup>将二者作为同一类血管进行了解剖学特点及其临床应用的报道。巨积辉等<sup>[27]</sup>对 LCFA 各主要分支采用三级命名法进行分类,有一定的参考价值。因此,为便于学术交流,凡起源于降支起始段(根部)及其以上部位,斜向外下走行的分支均视为斜支,属于二级分支;那些横行向外侧,甚或向外上方分布的则称为外侧高位皮支;而起于降支起始段向下行,分布于股前内侧中 1/3 区域的分支称为内侧高位皮支。不管是斜支还是高位皮支,采用逆行四面解剖法均可成功切取皮瓣<sup>[49]</sup>,有效解决血管变异问题。

#### 4 穿支定位技术

LCFA 存在多种分支与穿支类型,需要定位技术来提高手术的精度。定位技术是依据 ALTF 穿支解剖特征的辅助定位手段,穿支在体表准确的投影及其穿出阔筋膜位置是定位的目的。每种技术各具特色,临床应用需综合考虑其灵敏度、特异度及并发症等多

种因素。

##### 4.1 体表投影标线

依据穿支体表分布规律进行标记的传统方法,任何技术都需要以此为基础。髂-髌线(A-P 线)大致为股中间肌与股外侧肌的肌间隙体表投影,穿支浅出筋膜的位点大致在该线的中点 3~6 cm 半径区域内分布,皮瓣切口线设计位于该区域的两侧,利于术中穿支解剖和保护。徐达传等<sup>[7]</sup>提出以髂-髌线中点为圆心、半径 3 cm 的“圆圈法”作为主要穿支的体表定位标志,该法主要以降支的穿支为目标。利用手持多普勒超声(Hand-held doppler, HHD)探查集中在“圆圈”内的穿支回声点,以提高定位的精确度。

##### 4.2 改良体表标线法

Yu 等<sup>[32]</sup>利用 HHD 在“圆圈法”的基础上,设计了“ABC 系统”:将位于髂-髌线中点、半径 3~6 cm 的圆形区域中的穿支定义为穿支 B,其近、远心端各 5 cm 范围的穿支分别为穿支 A 和穿支 C,扩大穿支切取范围。魏在荣等<sup>[50]</sup>提出了“三纵五横法”,以髂-髌线为 A 线,外加以股骨外上髁连线 B 线和髌骨中点连线 C 线的三纵线,联合以 A 线中点远近端间隔 5cm 划出的 D、E、F、G、H 等五条横线,从中细化出 I、II、III、IV 区为穿支探测区域,更好描述穿支的分布,方便定位。

体表投影标线定位高效、易行,对于筛选或者携带多个穿支时,结合 HHD 提高定位的精确度。体表投影标线只能提供穿支浅出点的相对位置, HHD 准确率为 70%,受体脂率影响,需要警惕假阳性出现<sup>[32, 51]</sup>。对于简单类型的游离皮瓣,以标线定位为主,多采用 HHD 辅助定位,术中再进一步明确穿支位置;对于儿童、肾功能不全、幽闭恐惧症、过敏体质、安装有受磁场影响内植物的个体可辅助无创定位。携带多穿支或分叶皮瓣时,需要测算穿支间距,可选择彩色多普勒定位,无禁忌症可行造影剂增强辅助,或者选择血管造影定位。

##### 4.3 无创定位技术

彩色多普勒血流显像(Color doppler flow imaging, CDFI)佳的穿支<sup>[52, 53]</sup>。然而, CDFI 具有较高的技术要求,结果受操作者经验影响,提供三维的解剖信息有限,定位耗时较长。红外热成像技术(Infrared thermal imaging technology, IRIT)利用辐射图像的“热点”与穿支入皮点的高相关性进行定位,结合超声多普勒可提高其精确度,但是易受体温和周围环境温度的干扰<sup>[54, 55]</sup>。

无创定位技术设备相对简单,便于开展;无过多禁忌症,适用人群广泛,但是其灵敏度、特异度可因 ALTF 区域组织增厚而下降,且不能全面提供穿支类型和上级血管的解剖信息。CDFI 结合造影剂增强使用,虽能提高灵敏度、特异度,亦增加创伤和造影剂

相关风险。

#### 4.4 血管造影/成像和数字化定位技术

CT血管造影(Computed tomography angiography, CTA)具有较高的血管对比度和空间分辨率,能够在短时间内重建穿支血管与周围组织的三维图像<sup>[56, 57]</sup>,可首选使用。徐永清等、刘元波等<sup>[58, 59]</sup>结合数字化重建LCFA各分支、穿支的位置、走行、长度、数量、类型等三维图像,可测量穿支、分支间距,计算血管蒂长度并进行筛选,为设计携带多穿支的分叶、嵌合、带蒂转位等类型皮瓣提供了精确导航。CTA有创、辐射量大、需要造影剂,儿童、肾功能损害、潜在过敏风险的

人群慎用或者禁用。对于管径小于0.5 mm血管的显影欠佳,造影时间窗的选择影响重建结果,可能出现假阴性<sup>[57]</sup>。唐举玉等应用股部3D可视化模型,不仅可清晰展示旋股外侧动脉各级分支及其穿支的分布概况,还可通过3D导航定位锚(3D-Navigation Locator)对每支血管进行精准定位与导航。通过模拟手术过程还可与层次解剖对照验证,即便是深层的大转子骨膜支亦可进行精准定位与导航。最后将切取的大转子,股骨头及髋关节部分关节囊行X线摄片,可清晰展示骨膜支的分布(图2)。

数字减影血管造影(Digital subtraction

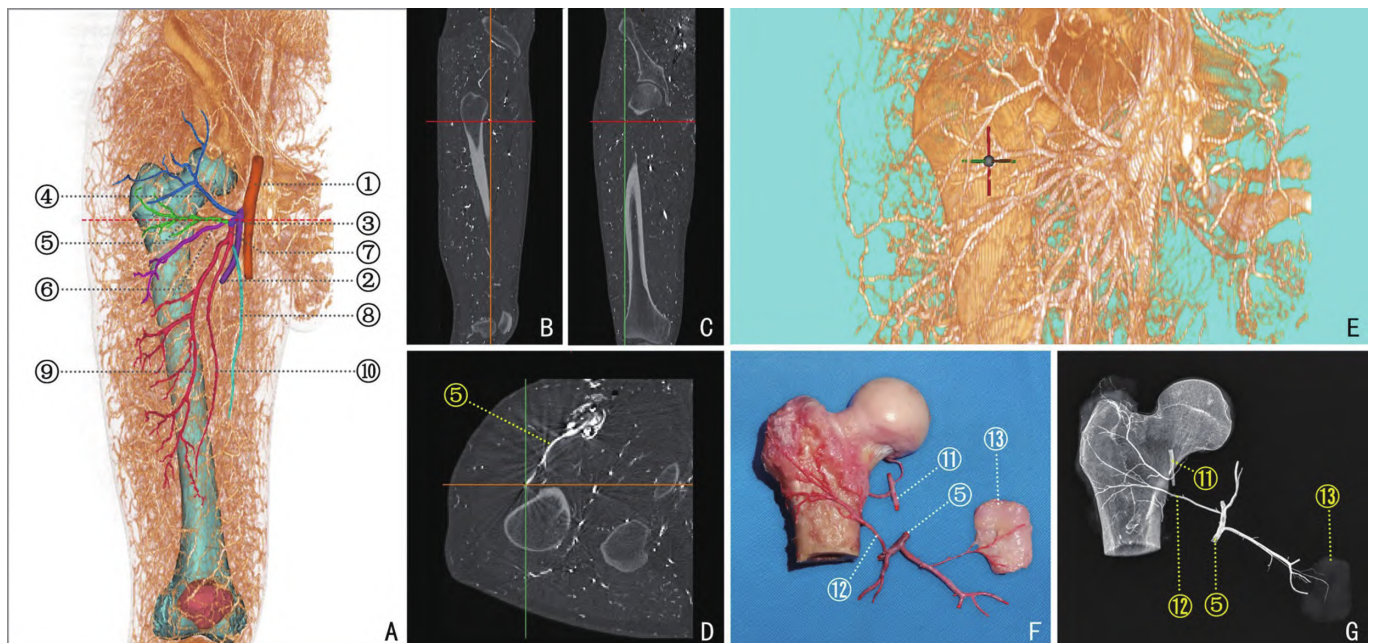


图2 层次解剖与3D导航定位锚虚实结合对照验证(右大腿)

A:以不同颜色显示三维重建旋股外侧动脉系统 B~D:整尸灌注标本CT扫描图像,坐标交点示大转子骨膜支的位置,矢状面(图B)/冠状面(图C)/横切面(图D) E:三维重建中3D导航锚显示来源于横支的大转子骨膜支位置 F:保留大转子骨膜支的股骨上段标本 G:血管及其相关组织X线摄片 ①股动脉 ②股深动脉 ③旋股外侧动脉 ④升支 ⑤横支 ⑥斜支 ⑦降支 ⑧内侧高位皮支 ⑨降支外侧支 ⑩降支内侧支 ⑪旋股内侧动脉 ⑫横支的大转子骨膜支 ⑬髋关节部分关节囊(资料来源:2020年,湘雅第7届全国穿支皮瓣高级培训班2号标本,血管追踪与解剖示教:唐举玉;数字化人体标本的前期处理:周小兵;三维重建与插图设计:张兴)

Fig.2 A virtual and real comparative verification of layered anatomy and 3D navigation positioning anchor of LCFA (right thigh). A: Three-dimensional reconstruction of the lateral circumflex femoral artery system displayed in different colors; B-D: CT scan images of the perfusion of the whole cadaver. The coordinate intersection points indicate the position of the greater trochanter periosteal branch. Sagittal plane (Figure B) / coronal plane (Figure C) / transverse plane (Figure D); E: The position of the greater trochanter periosteal branch from the transverse branch is shown by the navigation anchor in the three-dimensional reconstruction; F: The greater trochanter periosteal branch is preserved in the upper femoral specimen; G: X-ray radiography of vessels and related tissues; ① femoral artery; ② profunda femoris artery; ③ lateral circumflex femoral artery; ④ ascending branch; ⑤ transverse branch; ⑥ oblique branch; ⑦ descending branch; ⑧ medial superior cutaneous branch; ⑨ lateral branch of the descending branch; ⑩ medial branch of the descending branch; ⑪ medial circumflex femoral artery; ⑫ greater trochanter periosteal branch of the transverse branch; ⑬ partial joint capsule of the hip joint (Source: The No. 2 specimen of the 7th National Advanced Training Course on Perforator Flaps of Xiangya Hospital, 2020. Vascular tracing and anatomy demonstration: Juyun Tang. Pre-processing of digital human specimens: Xiaobing Zhou. Three-dimensional reconstruction and illustration design: Xing Zhang).

angiography, DSA)可清楚显示LCFA的“血管树”动态图像,DSA旋转采集数据可以实现三维重建,指导穿支定位。唐举玉等<sup>[60]</sup>采用旋股外侧动脉插管DSA结合CTA技术,整合了DSA与CTA技术的优点,可清晰

显示旋股外侧动脉及其分支、穿支走行与分布,解决静脉造影CTA和DSA存在的问题。然而,有创检查、辐射量较大、存在造影剂过敏风险等因素限制DSA的临床使用<sup>[61]</sup>。

磁共振血管造影(Magnetic resonance angiography, MRA)能够重建血管三维图像,还可对皮瓣周围组织损伤、坏死情况进行评估;增强造影剂可提高图像质量,在显示穿支数量、走行、来源方面,非增强MRA无明显差别;相对于CTA,非增强MRA无辐射、不存在过敏风险及肾毒性。但MRA精确性的报道差异大,并且不适合过度肥胖、幽闭恐惧症、安装干扰磁场内植物的人群<sup>[62]</sup>。

吲哚菁绿血管造影(Indocyanine green angiograph, ICGA)利用吲哚菁绿与血浆蛋白结合形成荧光信号,可提供实时动态的血流灌注影像,可以显示穿支的位置和供给范围,便于术中筛选合适的穿支;ICGA也可以评估血管通畅率和预测皮瓣坏死<sup>[63, 64]</sup>。ICG半衰期

短,肾毒性小,临床应用安全,但仪器价格昂贵,显影效果易受血浆蛋白浓度和造影剂浓度影响,在皮瓣厚度大于2cm的区域穿支显影不佳<sup>[65]</sup>。

虚拟现实技术(Virtual reality, VR)虚拟三维空间穿支走行定位,实现了手术的实时定位、术中导航;增强现实技术(Augmented reality, AR)可将穿支的虚拟信息与术区的真实视觉叠加,实现虚拟与现实的融合、交互。混合现实技术(Mixed reality, MR)是AR、VR的升级版,在手术方案设计、穿支定位、术前沟通、术中指导与教学等方面有着更精准直观实用的优势。VR/AR/MR技术均是以CTA数据为基础,仍需考虑辐射和造影剂的副作用<sup>[66-68]</sup>。

血管造影/成像和数字化定位技术可以快速提供

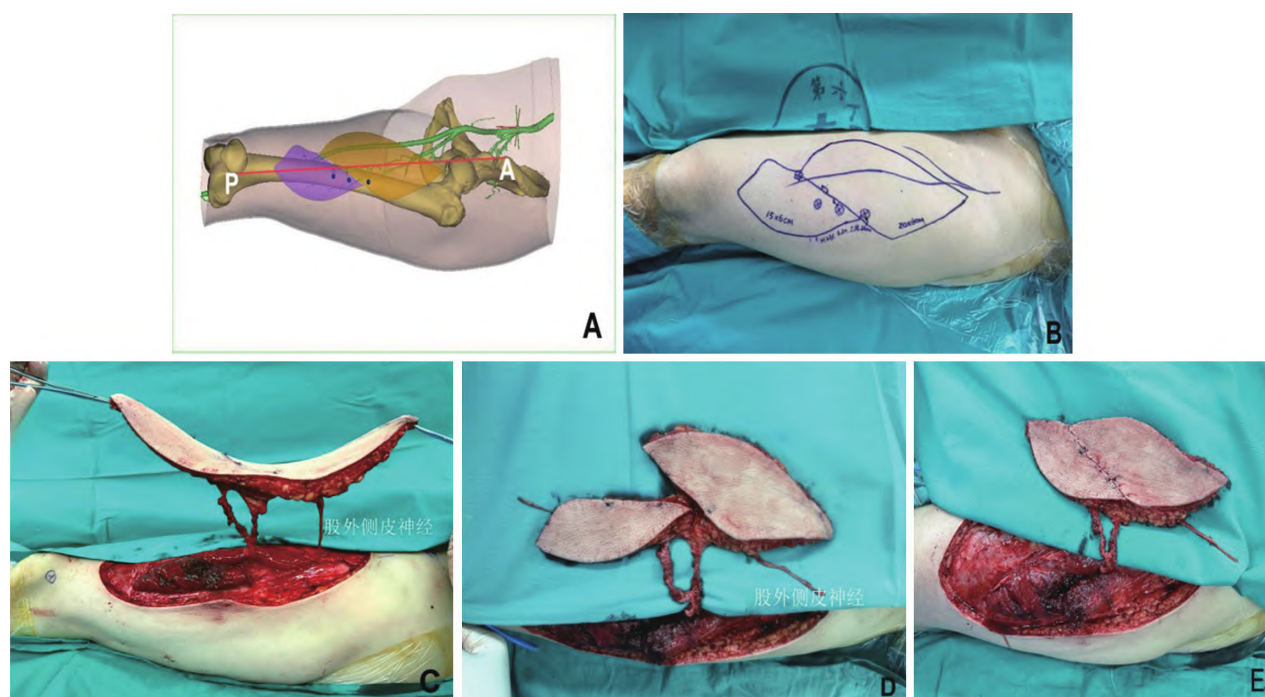


图3 CTA结合数字化技术重建LCFA系统三维图像

A, B: 根据CTA数据,利用Minics软件重建LCFA系统的三维图像,定位体表穿支位置,测量分支间距离和血管蒂长度,为皮瓣设计和切取提供精确导航,A-P:髂-髌线 C~E: 根据术前设计切取携带两个穿支的分叶穿支皮瓣(资料来源:周征兵,上海交通大学医学院附属第六人民医院)

Fig.3 3D image reconstruction of the LCFA system by CTA combined with digital technology. A, B: Three-dimensional images of the lateral circumflex femoral artery (LCFA) system were reconstructed using Minics software based on CTA data to locate the position of surface perforating vessels, measure inter-branch distances, and determine vascular pedicle length, providing precise guidance for flap design and harvesting, A-P: Iliac-patellar line; C~E: A polyfoliate perforator flap carrying two perforating branches was harvested according to the preoperative design (Source: Zhou Zhengbing, Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine).

穿支位置、类型、数量的血管信息,可为皮瓣设计提供更为精确的导航。在无禁忌症的情况下,CTA是首选的穿支定位技术。临床使用中,根据体表投影标线,结合HHD,可更加精确地辅助皮瓣设计(图3)。

在临床应用中,对ALTF供血系统解剖特点的掌握是先决条件。无论运用何种方法来定位穿支,都是

依据穿支的分布特点来设计皮瓣。在术前简单、快捷、准确、无损伤地明确ALTF血管解剖学信息,并设计出个性化的皮瓣,是穿支定位技术的初衷。

## 5 各类型皮瓣设计的解剖学特点

ALTF供血系统解剖特点和穿支定位是各种皮瓣的设计与临床应用坚实的形态学支撑和强有力的技

术支持。

(1)阔筋膜瓣:LCFA分支为血管蒂,携带穿支供血的阔筋膜或者阔筋膜张肌,在肌皮穿支类型中不游离肌肉内走行的穿支,皮瓣与肌瓣间隙不做分离。携带血管化的阔筋膜/髂胫束,可用于腹壁缺损、唇颊缺损的功能性重建<sup>[69]</sup>。

(2)肌皮瓣:LCFA分支在发出肌间隙穿支和肌皮穿支的沿途同时发出肌营养支是肌皮瓣的解剖基础,以股外侧肌最为常用,可填塞空腔,修复肌缺损,皮瓣和肌间隙不做分离<sup>[14]</sup>。

(3)血流桥接皮瓣:以旋股外侧动脉降支为主干,携带皮瓣并保留降支的远近端与受区血管的远近端分别吻合,桥接血流,保证受区主干血管的连续性和肢体远端的血供,平衡皮瓣内血流压力<sup>[70]</sup>。降支可切取血管蒂有效长度和粗大的管径是ALTF作为血流桥接皮瓣的解剖学优势。

(4)分叶皮瓣:在同一分支上双穿支出现约占53.6%,三穿支占28.2%,这是分叶皮瓣的解剖学依据,通过吻合一组血管建立两个或多个皮瓣的血液循环,将“皮瓣的长度/宽度转化为创面的宽度/长度”,实现不规则创面、巨大创面、多创面修复的同时直接闭合供区<sup>[46,56]</sup>。

(5)嵌合皮瓣:分别游离皮肤穿支与营养肌支,获得皮瓣与肌瓣在解剖空间上的距离后,形成皮瓣与肌瓣分离的嵌合组织瓣,降支的有效长度、分出肌支和肌皮穿支的存在是其解剖学基础,吻合一组血管蒂建立多个组织瓣的血液循环<sup>[71]</sup>。

(6)带蒂转位皮瓣:旋股外侧动脉不同分支具有大腿反流灌注现象,可为带蒂转位提供足够的供血压力,降支与膝关节动脉的分支具有多种吻合类型,是形成逆行岛状ALTF的基础,可为修复膝关节周围缺损提供更多的皮瓣选择<sup>[72]</sup>。

(7)超薄皮瓣:穿支穿过阔筋膜后穿经浅筋膜到达真皮层,或者在浅筋膜层内弥散为细小分支,保留穿支入皮点周围1~1.5cm半径范围内的深筋膜和脂肪层,削薄皮瓣其余区域的脂肪,以真皮下血管网供血,形成超薄皮瓣<sup>[73]</sup>。

(8)串、并联皮瓣:利用降支足够的有效长度,将其远端或分支与其他部位的皮瓣血管蒂吻合,形成串联和并联的皮瓣供血形式,增加修复面积;串联不同供区的皮瓣对大面积、不规则创面提供皮肤软组织覆盖和功能重建<sup>[74]</sup>。串联皮瓣的设计原理与血流桥接皮瓣相似。

(9)联体皮瓣:由发自不同源动脉的2条及以上穿支供血是联体穿支皮瓣的解剖学特征,将包含有不同穿支血管体区的血管,通过内增压(将次要分支或者穿支——如斜支或者其穿支,与主要一分支——如降

支远端或粗大肌支吻合)、外增压(将次要分支——如斜支,与另一供血动脉吻合)方式,形成联体皮瓣,再与受区血管吻合,可扩大供血面积,减少皮瓣坏死风险<sup>[75]</sup>。

## 6 中国学者在ALTF发展过程中的贡献

ALTF的发现:1984年,徐达传等<sup>[4]</sup>以中文报道了以LCFA降支为蒂的ALTF供区的解剖特征。同年,宋业光等<sup>[5]</sup>以英文综合报道了ALTF的解剖及临床应用。ALTF的解剖和临床应用最早由中国学者“发现”,40年来,国内外对ALTF开始了广泛而深入的研究,中国学者做出了开创性的贡献。

穿支特征的发现:中国学者对分支的变异开展了深入研究,率先提出重要概念。1991年,张春等<sup>[12]</sup>提出高位肌皮动脉穿支的概念。2002年,中国台湾学者Wei等<sup>[15]</sup>总结672例ALTF的临床应用,明确肌皮穿支和肌间隙穿支比例的变异对于皮瓣安全性无负性影响,自此,ALTF在英文文献的报道中又成为了皮瓣外科领域的热点。同年,由徐达传完善了“高位皮支”的概念<sup>[27]</sup>,并且提出对高位皮支来源的追踪、避免盲目切取降支导致皮瓣坏死的理念。2009年Wei团队的新加坡学者Wong等提出“斜支”概念<sup>[17]</sup>。中国学者对于穿支重要特征的“发现”具有突出贡献。

穿支定位技术的发明:徐达传等最早设计出以髂-髌线为标准的“圆圈法”示意图,指导临床的穿支定位与皮瓣设计,后来的各种改良设计都是以此图为基础而提出来的。如Yu等<sup>[55]</sup>利用HHD在“圆圈法”的基础上设计了“ABC系统”,魏在荣等设计了“三横五纵法”都是中国学者在穿支定位与皮瓣设计技术中的“发明”。尤其是临床病例报道中的“穿支定位与皮

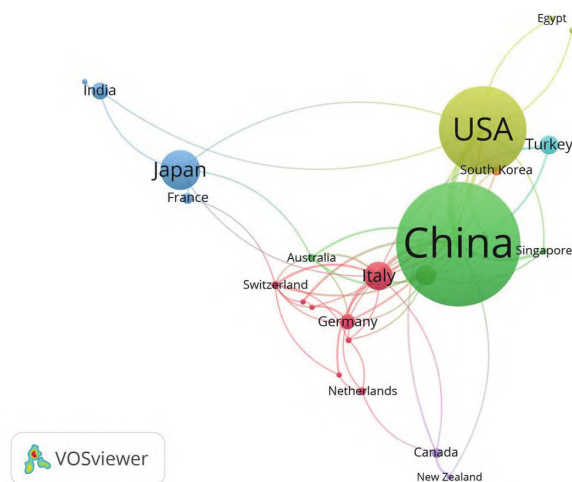


图4 中国是全球ALTF发展最活跃的国家,国际合作对象最多的国家(聂广辰、孟祥悦等提供)

Fig. 4 China is the country with the most active development of ALTF globally and the largest number of international cooperation partners. (Provided by Guangchen Nie, Xiangyue Meng, etc.).



瓣设计”几乎都是参照“圆圈法”示意图进行术前设计的(图3)。

经过40年的发展,ALTF作为一种经典的“万能皮瓣”广泛应用于全世界的修复重建领域。ALTF血供的解剖学特征的“发现”和众多概念的“发明”均属于中国学者的贡献。用文献计量学方法对ALTF的英文文献进行统计分析,利用VOSviewer等软件绘制可视化图谱,表明中国已经成为全球应用ALTF皮最活跃的国家之一(图4)。中国学者不仅在多年的研究积累中探索,完善了ALTF穿支解剖特征的基础理论,为ALTF穿支定位及各种皮瓣的设计与临床应用提供坚实的形态学理论支撑。未来ALTF的发展既取决于基础理论的完善,也取决于应用理念和数字化技术的研发,随着国内外学者的持续努力以及国际合作的进一步开展,在东西方智慧的共同助力之下,ALTF将获得更深入发展和推广应用。

致谢:

1.衷心感谢中南大学湘雅医院唐举玉教授提供宝贵的“股部3D可视化模型”资料;2.衷心感谢上海交通大学医学院附属第六人民医院周征兵教授提供宝贵的临床病例资料;3.衷心感谢广州市第一人民医院(华南理工大学附属第二医院)介入放射科陈胜利教授关于血管形态学检测方面的悉心指导!

执笔者:

杨曦

## 【参考文献】

- [1] Cooper A. Dissection of a limb on which the Operation for Popliteal Aneurism had been performed[J]. *Med Chir Trans*, 1811, 2: 251-420. DOI:10.1177/095952871100200122.
- [2] Lipshutz BB. Studies on the blood vascular tree. I. A composite study of the femoral artery[J]. *The Anatomical Record*, 1916, 10(5):361-370. DOI:10.1002/ar.1090100502.
- [3] Baek SM. Two new cutaneous free flaps: the medial and lateral thigh flaps[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1983, 71(3): 354-365. DOI: 10.1097/00006534-198303000-00012.
- [4] 徐达传,钟世镇,刘牧之,等.股前外侧部皮瓣的解剖学—一个新的游离皮瓣供区[J]. *临床应用解剖学杂志*, 1984, 2(3):158-160. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.1984.03.012.
- [5] Song YG, Chen GZ, Song YL. The free thigh flap: a new free flap concept based on the septocutaneous artery[J]. *Br J Plast Surg*, 1984, 37(2):149-159. DOI: 10.1016/0007-1226(84)90002-X.
- [6] 罗力生,高建华,陈林峰,等.股前外侧皮瓣及其游离移植的应用[J]. *第一军医大学学报*, 1984, 4(1,2):1-4.
- [7] Xu DC, Zhong SZ, Kong JM, et al. Applied anatomy of the anterolateral femoral flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1988, 82(2):305-310. DOI: 10.1097/00006534-198808000-00016.
- [8] Koshima I, Fukuda H, Utunomiya R, et al. The anterolateral thigh flap: variations in its vascular pedicle[J]. *Br J Plast Surg*, 1989, 42(3):260-262. DOI: 10.1016/0007-1226(89)90142-2.
- [9] Koshima I, Yamamoto H, Hosoda M, et al. Free combined composite flaps using the lateral circumflex femoral system for repair of massive defects of the head and neck regions: an introduction to the chimeric flap principle[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1993, 92(3): 411-420. DOI: 10.1097/00006534-199309000-00004.
- [10] 张春,占蓓蕾,陈士根,等.股前外侧皮瓣血管的临床分型及意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 1991, 9(2): 109-111, 128. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.1991.02.024.
- [11] Zhou G, Qiao Q, Chen G Y, et al. Clinical experience and surgical anatomy of 32 free anterolateral thigh flap transplantations[J]. *Br J Plast Surg*, 1991, 44(2):91-96. DOI: 10.1016/0007-1226(91)90038-L.
- [12] Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al. Anatomic variations and technical problems of the anterolateral thigh flap: a report of 74 cases [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1998, 102(5): 1517-1523. DOI: 10.1097/00006534-199810000-00026.
- [13] Luo S, Raffoul W, Luo J, et al. Anterolateral thigh flap: A review of 168 cases[J]. *Microsurgery*, 1999, 19(5): 232-238. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2752(1999)19:5<232::AID-MICR5>3.0.CO;2-S.
- [14] Huang LY, Lin H, Liu YT, et al. Anterolateral thigh vastus lateralis myocutaneous flap for vulvar reconstruction after radical vulvectomy: a preliminary experience[J]. *Gynecol Oncol*, 2000, 78(3 Pt 1): 391-393. DOI: 10.1006/gyno.2000.5883.
- [15] Wei F C, Jain V, Celik N, et al. Have we found an ideal soft-tissue flap? An experience with 672 anterolateral thigh flaps[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2002, 109(7): 2219-2226, 2227-2230. DOI: 10.1097/00006534-200206000-00008.
- [16] 徐达传,阮默,张春,等.股前外侧部皮瓣的进一步解剖学研究--高位皮动脉与皮瓣血供的分型[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2002, 20(6):410-413. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.2002.06.004.
- [17] Wong CH, Wei FC, Fu B, et al. Alternative vascular pedicle of the anterolateral thigh flap: the oblique branch of the lateral circumflex femoral artery[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009, 123(2): 571-577. DOI: 10.1097/PRS.0b013e318195658f.
- [18] Wong CH. The oblique branch trap in the harvest of the anterolateral thigh myocutaneous flap[J]. *Microsurgery*, 2012, 32(8):631-634. DOI: 10.1002/micr.22011.
- [19] Valdatta L, Tuinder S, Buoro M, et al. Lateral circumflex femoral arterial system and perforators of the anterolateral thigh flap: an anatomic study[J]. *Ann Plast Surg*, 2002, 49(2):145-150. DOI: 10.1097/0000637-200208000-00006.
- [20] Choi SW, Park JY, Hur MS, et al. An anatomic assessment on perforators of the lateral circumflex femoral artery for anterolateral thigh flap[J]. *J Craniofac Surg*, 2007, 18(4): 866-871. DOI: 10.1097/scs.0b013e3180a03304.
- [21] Tomaszewski KA, Vikse J, Henry BM, et al. The variable origin of the lateral circumflex femoral artery: a meta-analysis and proposal for a new classification system[J]. *Folia Morphol (Warsz)*, 2017, 76(2): 157-167. DOI: 10.5603/fm.a2016.0056.
- [22] Pan SC, Yu JC, Shieh SJ, et al. Distally based anterolateral thigh flap: an anatomic and clinical study[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2004, 114(7): 1768-1775. DOI: 10.1097/01.PRS.0000142416.91524.4C.
- [23] Seth R, Manz RM, Dahan IJ, et al. Comprehensive analysis of the anterolateral thigh flap vascular anatomy[J]. *Arch Facial Plast Surg*, 2011, 13(5):347-354. DOI: 10.1001/archfacial.2011.16.
- [24] 张增方,杜建春,朱朝晖,等.旋股外侧动脉升支薄型皮瓣的临床应用[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2004, 6(12):1433-1434. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2004.12.040.
- [25] 黄永涛,杨林,巨积辉.以旋股外侧动脉各分支为蒂的股前外侧皮瓣临床应用研究进展[J]. *中国美容整形外科杂志*, 2023, 34(7):412-415. DOI:10.3969/j.issn.1673-7040.2023.07.009.
- [26] Wong C H, Wei F C. Anterolateral thigh flap[J]. *Head Neck*, 2010, 32(4): 529-540. DOI: 10.1002/hed.21204.
- [27] 程俊楠,柳志锦,杨林,等.基于解剖学研究的三级命名法在旋股外侧动脉主要分支命名中的应用探讨[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2022, 27(1):13-18. DOI: 10.3760/cma.j.cn101202-20210410-00093.

- [28]王欣, 章伟文, 陈宏, 等. 带旋股外动脉横支的股前外侧皮瓣在小腿保肢技术中的应用[J]. 现代实用医学, 2009, 21(7): 718, 721. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0800.2009.07.023.
- [29]Gao S H, Feng S M, Chen C, et al. A new recipient artery for reconstruction of soft-tissue defects in the lower limb with a free anterolateral thigh flap: the reversed descending branch of the lateral femoral circumflex artery[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 130(5): 1059-1065. DOI: 10.1097/PRS.0000000000000448.
- [30]Lakhiani C, Lee M R, Saint-Cyr M. Vascular anatomy of the anterolateral thigh flap: a systematic review[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 130(6): 1254-1268. DOI: 10.1097/PRS.0b013e31826d1662.
- [31]罗力生, 张立宪, 胡志奇. 高位直接皮支型股前外侧皮瓣的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2001, 15(4): 206-207.
- [32]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): 928-933. DOI: 10.1097/01.prs.0000232216.34854.63.
- [33]Rozen W M, Ashton M W, Pan W R, et al. Anatomical variations in the harvest of anterolateral thigh flap perforators: a cadaveric and clinical study[J]. *Microsurgery*, 2009, 29(1): 16-23. DOI: 10.1002/micr.20550.
- [34]Nojima K, Brown SA, Acikel C, et al. Defining vascular supply and territory of thinned perforator flaps: part I. Anterolateral thigh perforator flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2005, 116(1): 182-193. DOI: 10.1097/01.prs.0000170801.78135.00.
- [35]Lee YC, Chen WC, Chou TM, et al. Anatomical variability of the anterolateral thigh flap perforators: vascular anatomy and its clinical implications[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2015, 135(4): 1097-1107. DOI: 10.1097/PRS.0000000000001103.
- [36]Malhotra K, Lian TS, Chakradeo V. Vascular anatomy of anterolateral thigh flap[J]. *Laryngoscope*, 2008, 118(4): 589-592. DOI: 10.1097/mlg.0b013e31815ed0e8.
- [37]Kim EK, Kang BS, Hong JP. The distribution of the perforators in the anterolateral thigh and the utility of multidetector row computed tomography angiography in preoperative planning[J]. *Ann Plast Surg*, 2010, 65(2): 155-160. DOI: 10.1097/SAP.0b013e3181c60f60.
- [38]Ribuffo D, Atzeni M, Saba L, et al. Angio computed tomography preoperative evaluation for anterolateral thigh flap harvesting[J]. *Ann Plast Surg*, 2009, 62(4): 368-371. DOI: 10.2752/089279306785415529.
- [39]Celik N, Wei FC, Lin CH, et al. Technique and strategy in anterolateral thigh perforator flap surgery, based on an analysis of 15 complete and partial failures in 439 cases[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2002, 109(7): 2211-2216, 2217-2218. DOI: 10.1023/A:1025406108454.
- [40]Zapata-Ospina A, Chen J, Tee R, et al. Harvesting the anterolateral thigh flap with non-sizable perforators[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2021, 74(5): 1022-1030. DOI: 10.1016/j.bjps.2020.10.063.
- [41]Xie T, Wang M, Zang M, et al. Extrinsic vascular pathway preservation improves survival in a rat three-territory flap model based on the deep circumflex iliac artery[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2024, 153(6): 1119e-1130e. DOI: 10.1097/PRS.0000000000010843.
- [42]唐茂林. 股前外侧逆行岛状皮瓣的解剖学基础[J]. 中华显微外科杂志, 1992, 15(2): 93-95.
- [43]张世民. 皮瓣远侧血液循环增强技术: 外增压、内增压和超回流[J]. 中华显微外科杂志, 2016, 39(6): 524-525. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2016.06.002.
- [44]江奕恒, 李学雷, 石小田, 等. 股前外侧单一高位穿支供血区域的形态学研究及皮瓣设计[J]. 中国临床解剖学杂志, 2007, 25(5): 497-501. DOI: 10.3969/j.issn.1001-165X.2007.05.004.
- [45]刘会仁, 张艳茂, 马铁鹏, 等. 对高位皮动脉股前外侧皮瓣的临床认识[J]. 中华显微外科杂志, 2017, 40(5): 456-459. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2017.05.011.
- [46]Liu WW, Guo ZM. Reconstruction of wide-apart double defect using a branch-based chimeric anterolateral thigh flap[J]. *Plast Reconstr Surg* Glob Open, 2014, 2(1): e96. DOI: 10.1097/GOX.0000000000000014.
- [47]Hubmer MG, Feigl G. Alternative vascular pedicle of the anterolateral thigh flap: does an oblique branch really exist?[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2010, 125(5): 1580-1581. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3181d51655.
- [48]孙雪, 魏在荣, 金文虎, 等. 旋股外侧动脉斜支穿支的解剖学特点及其临床应用[J]. 中华显微外科杂志, 2017, 40(1): 58-62. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2017.01.016.
- [49]唐举玉, 卿黎明, 吴攀峰, 等. 一种股前外侧穿支皮瓣血管切取的方法——逆行四面解剖法[J]. 中华显微外科杂志, 2021, 44(2): 137-140. DOI: 10.3760/cma.j.cn441206-20200303-00121.
- [50]常树森, 魏在荣, 金文虎, 等. 股前外侧皮瓣三纵五横法设计方案的临床研究[J]. 中华整形外科杂志, 2019, 35(6): 571-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2019.06.011.
- [51]Lin S J, Rabie A, Yu P. Designing the anterolateral thigh flap without preoperative Doppler or imaging[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2010, 26(1): 67-72. DOI: 10.1055/s-0029-1234023.
- [52]Chung YY, Li SY, Chen MK. Three-dimensional colour Doppler imaging for evaluating perforators of the anterolateral thigh flap[J]. *Clin Otolaryngol*, 2017, 42(2): 497-499.
- [53]Golusinski P, Luczewski L, Pazdrowski J, et al. The role of colour duplex sonography in preoperative perforator mapping of the anterolateral thigh flap[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(5): 1241-1247. DOI: 10.1111/coa.12454.
- [54]徐宏征, 张书诺, 章一新, 等. 红外热成像技术与彩色多普勒超声在股前外侧穿支皮瓣术前穿支血管探测中的比较[J]. 中华显微外科杂志, 2021, 44(4): 388-391. DOI: 10.3760/cma.j.cn441206-20210319-00084.
- [55]王戏丹, 李颖如, 林平, 等. 高频彩色多普勒超声联合红外线热成像技术在股前外侧穿支皮瓣术前导航中的应用[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2022, 19(3): 238-243. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2022.03.009.
- [56]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. DOI: 10.1055/s-0036-1597587.
- [57]Chen S Y, Lin W C, Deng S C, et al. Assessment of the perforators of anterolateral thigh flaps using 64-section multidetector computed tomographic angiography in head and neck cancer reconstruction[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2010, 36(10): 1004-1011. DOI: 10.1016/j.ejso.2010.07.005.
- [58]何晓清, 段家章, 徐永清, 等. 数字化辅助技术在股前外侧分叶皮瓣修复前中足脱套伤中的应用[J]. 中华创伤杂志, 2017, 33(10): 868-872. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2017.10.002.
- [59]王丹莹, 刘元波, 陈威威, 等. CT血管造影预估近端蒂股前外侧皮瓣血管蒂长度的临床应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(3): 322-328. DOI: 10.7507/1002-1892.202111002.
- [60]周征兵, 贺继强, 唐举玉. 高选择性动脉插管CTA技术在显影与定位股前外侧穿支中的应用研究: 中国解剖学会2019年年会[C]. 中国云南昆明, 2019.
- [61]赵振华, 杨建峰, 王伯胤, 等. MRA、CTA与DSA在股前外侧皮瓣移植术前应用的对比研究[J]. 中华整形外科杂志, 2015, 31(3): 172-175. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2015.03.004.
- [62]李雪栋, 赵刚, 潘筱云, 等. 非增强和增强核磁共振定位股前外侧皮瓣穿支的临床对照研究[J]. 中华外科杂志, 2021, 37(1): 27-30. DOI: 10.3760/cma.j.cn311653-20200323-00140.
- [63]Ishiura R, Fujita M, Furuya M, et al. Skin perforator mapping method for anterolateral thigh flap using indocyanine green angiography[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2018, 71(10): e64. DOI: 10.1016/j.bjps.2018.07.031.
- [64]La Padula S, Hersant B, Meningaud JP. Intraoperative use of indocyanine green angiography for selecting the more reliable perforator of the anterolateral thigh flap: A comparison study[J].

- Microsurgery, 2018,38(7):738-744. DOI: 10.1002/micr.30326.
- [65] Onoda S, Azumi S, Hasegawa K, et al. Preoperative identification of perforator vessels by combining MDCT, doppler flowmetry, and ICG fluorescent angiography[J]. *Microsurgery*, 2013, 33(4):265-269. DOI: 10.1002/micr.22079.
- [66] 莫勇军, 许林, 程志琳, 等. 增强现实技术联合数字化设计在股前外侧穿支皮瓣的应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2019, 42(2):189-192. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2019.02.024.
- [67] 苑博, 佟长贵, 梁海东, 等. 虚拟现实/现实增强技术在游离股前外侧动脉穿支皮瓣中的初步应用[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34(6):552-554. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.06.012.
- [68] Pratt P, Ives M, Lawton G, et al. Through the HoloLens looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels[J]. *Eur Radiol Exp*, 2018,2(1):2. DOI: 10.1186/s41747-017-0033-2.
- [69] Kuo YR, Yeh MC, Shih HS, et al. Versatility of the anterolateral thigh flap with vascularized fascia lata for reconstruction of complex soft-tissue defects: clinical experience and functional assessment of the donor site[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009,124(1):171-180. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3181a80594.
- [70] Sananpanich K, Tu YK, Kraisarin J, et al. Flow-through anterolateral thigh flap for simultaneous soft tissue and long vascular gap reconstruction in extremity injuries: anatomical study and case report [J]. *Injury*, 2008,39(Suppl 4):47-54. DOI: 10.1016/j.injury.2008.08.031.
- [71] Hallock GG. Simultaneous transposition of anterior thigh muscle and fascia flaps: an introduction to the chimera flap principle[J]. *Ann Plast Surg*, 1991,27(2):126-131. DOI: 10.1097/00000637-199108000-00006.
- [72] 丁强, 刘元波, 臧梦青, 等. 以旋股外侧动脉不同分支为蒂的大腿反流灌注皮瓣的分型研究和临床应用[J]. *中华整形外科杂志*, 2017, 33(z1):61-68. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2017.s1.013.
- [73] 罗盛康, 高建华, 罗力生, 等. 游离削薄股前外侧皮瓣修复腕部软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2005, 28(1):6-8. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2005.01.003.
- [74] 杨涛, 熊颖杰, 胡智玉, 等. 游离足底内侧皮瓣串联股前外侧皮瓣修复足底负重区大面积软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2021,44(4):398-402. DOI: 10.3760/cma.j.cn441206-20200808-00313.
- [75] 赵铭, 李涛. 联合体形式的股前外侧穿支皮瓣修复特殊类型创面的临床应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2018,41(2):181-184. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2018.02.022.