

• 综述 •

## 临时血管分流术在肢体血管伤救治的应用进展

项广源,陈金安,王爱萍\*

中国人民解放军东部战区空军医院糖尿病足中心,江苏 南京 210002

**[摘要]** 下肢大血管损伤是临床常见的危急重症,占有血管损伤的15%~20%。肢体动脉损伤的处理核心目标是快速止血和恢复外周动脉血流。临时血管分流术(temporary vascular shunting, TVS)作为损伤控制外科(damage control surgery, DCS)的重要组成部分,通过构建临时性血管分流通路,能够有效维持远端血供,达到损伤控制修复的目标,为后期确定性修复创造有利条件,在救治此类损伤中发挥着关键作用,其价值已在多发伤救治中得到充分验证,其置入与移除时机、技术直接影响血管修复的最终效果及患者预后,及时识别、有效处理并发症是提高救治成功率、改善患者生活质量的关键。文章从TVS技术的历史、有效性、适应证和禁忌证、类型和操作、术后管理和未来发展方向等方面进行全面阐述,以期对肢体血管外伤急救提供新的思路。

**[关键词]** 肢体血管损伤;临时分流;损伤控制;肢体挽救

**[中图分类号]** R658

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2026)04-615-07

**doi:** 10.7655/NYDXBNSN250565

## Progress in the application of temporary vascular shunt in the management of limb vascular injuries

XIANG Guangyuan, CHEN Jin'an, WANG Aiping\*

Diabetic Foot Center, the Air Force Hospital From Eastern Theater of PLA, Nanjing 210002, China

**[Abstract]** Lower extremity major vascular injury is a common critical emergency in clinical practice, accounting for approximately 15%-20% of all vascular injuries. The core goal of managing limb arterial injuries is rapid hemostasis and restoration of peripheral arterial blood flow. Temporary vascular shunting(TVS), as an essential component of damage control surgery(DCS), by establishing a temporary vascular shunt, distal blood supply can be effectively maintained, achieving the objective of damage control and repair. This creates favorable conditions for subsequent definitive repair. TVS plays a key role in the management of such injuries. The timing and technique of insertion and removal directly impact the final outcome of vascular repair and the patient's prognosis. Timely identification and effective management of complications are key to improving the success rate of treatment and enhancing the patient's quality of life. This article provides a comprehensive review of the history, efficacy, indications and contraindications, types and procedures, postoperative management, and future development directions of TVS technology, aiming to offer new insights for emergency care in limb vascular trauma.

**[Key words]** limb vascular injury; temporary shunt; damage control; limb salvage

[J Nanjing Med Univ, 2026, 46(04): 615-621]

人体四肢容易遭受钝性或穿透性创伤导致血管损伤,是交通事故、工业事故、暴力伤害以及战时环境相关的血管损伤中最常见的解剖位置,其中超

**[基金项目]** 军队专项基金(22DZ-002DX)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: wap454hospital@163.com(ORCID: 0000-0001-8522-1379)

过一半的损伤发生在股动脉或腘动脉<sup>[1]</sup>。肢体大血管损伤属于创伤中最为严重的类型之一,常常诱发肢体急性缺血和大出血事件的发生,通常还会伴随骨骼、神经损伤及身体其他部位的多处伤害,严重威胁患者的肢体和生命安全<sup>[2]</sup>。有时即便成功保肢,患者也往往面临慢性疼痛、运动与感觉障碍以

及日常生活活动受限等问题<sup>[3]</sup>。全球多个权威创伤登记系统数据表明,在和平时期肢体大血管伤在所有创伤病例中的占比相对稳定(1.2%~3.5%),因创伤事件基数庞大,实际发病人数不容小觑;一旦进入军事冲突阶段,其发生率会急剧上升,如伊拉克和阿富汗等饱受战争摧残地区的发生率可飙升至5%~12%<sup>[4]</sup>。

当患者出现肢体血管受损严重且无转运条件时,需当场对其实施快速止血和恢复外周动脉血流,以保全其肢体甚至生命<sup>[5]</sup>。现有资料及证据已证明损伤后6 h内是救治的黄金时间窗<sup>[6]</sup>,随着时间的延长,肢体丢失及生命危险的风险愈发严重。传统的一期血管修复手术虽然在理论上具有优势,但在面对血流动力学不稳定(收缩压<90 mmHg)或合并严重多发伤[损伤严重程度评分(injury severity score, ISS)>25]的患者时往往难以实施。在这种情况下,临时血管分流术(temporary vascular shunting, TVS)通过构建临时性血管分流通路,能够有效维持远端血供,达到损伤控制修复的目标,为后期确定性修复创造有利条件。

## 1 TVS应用的历史

在过去,无论是军事还是民用环境中,肢体血管损伤的快速止血主要依赖压迫和结扎的方法。虽然能封闭出血点,但无法恢复远端肢体的血液灌注。二战期间腓动脉结扎后的截肢率高达70%<sup>[7]</sup>。近几十年来,TVS在处理肢体血管创伤方面经历了显著演变,极大地提高了肢体保存和功能恢复的可能性。20世纪60年代的阿尔及利亚战争中首次使用了TVS,标志着一种新的肢体大血管创伤急救策略的开端,即通过暂时性地恢复血流来稳定患者的生理状态,以便后期进行更彻底的血管翻修手术<sup>[8]</sup>。20世纪末,Reber等<sup>[9]</sup>明确提出,在面对涉及血管和骨科复合损伤的复杂病例时,选择性地在确定性手术前使用TVS,有助于稳定患者循环状况、进一步降低其致残和致死率,这为后续探索TVS在多种创伤场景中的应用奠定了理论基础。

进入21世纪,Hossny等<sup>[10]</sup>研究进一步表明,常规使用TVS治疗因腓动脉钝挫伤导致的全下肢缺血患者,可以减少高发病率和截肢率。Chambers<sup>[11]</sup>、Taller等<sup>[12]</sup>报告了在战时情况下采用包括TVS在内的战术外科干预措施的重要性,强调需要快速有效的管理策略,建议将其作为战斗行动中近端肢体血管损伤的新标准护理。Junior等<sup>[13]</sup>的研究将TVS与静脉

结扎进行了比较,结果强调了维持血管流动的重要性以及TVS相比结扎的优势,支持了TVS在急性创伤管理中的应用价值。此外,一篇综述强调了对处理战场伤害的军事外科医生进行损害控制战术专门培训的需求,反映了现代战斗创伤的特点:高比率的血管损伤和有效手术干预(包括TVS)的重要性<sup>[14]</sup>。欧洲血管外科学会(European Society for Vascular Surgery, ESVS)在2025年发布的血管创伤管理临床实践指南<sup>[1]</sup>中明确指出,使用TVS可以迅速恢复肢体血流,有助于保肢并提高重伤患者的生存率。TVS在特殊战创伤环境或专业技能有限而无法进行重建肢体血管,以及患者有多处危急损伤需同时处理情况下的作用不容忽视。

## 2 TVS的有效性

肢体动脉损伤的处理核心目标是快速止血和恢复外周动脉血流。多项临床研究证实,缺血时间与保肢成功率呈显著负相关。来自美国和英国军事创伤数据库的数据显示,当缺血时间控制在1 h内时,保肢率可达86%;但随着时间延长,保肢成功率每小时下降约10%<sup>[15]</sup>。一项纳入3 000余例患者的Meta分析进一步证实<sup>[16]</sup>,缺血持续时间超过6 h是截肢的独立危险因素(OR=4.3, 95% CI: 3.2~5.8)。TVS技术提供一种临时解决方案,在动脉损伤中的通畅率70%~90%,显著降低了截肢风险。2025年ESVS血管创伤管理临床实践指南<sup>[1]</sup>和2024年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)外周动脉和主动脉疾病管理指南<sup>[17]</sup>均明确建议,应在1 h内对于急性肢体缺血患者实施血运重建,其中生理或解剖不稳定的患者应首选TVS方案。

## 3 TVS的适应证和禁忌证

### 3.1 TVS的适应证

TVS仅限于近端主干血管(如髂动脉、股动脉、腓动脉和锁骨下动脉)损伤的临时重建<sup>[8]</sup>。临床适用于伴有广泛软组织损伤和并发动脉损伤的开放性肢体骨折(Gustilo III C);复杂血管重建期间需要灌注;多发性创伤患者需优先处理危及生命的损伤时,TVS可作为延迟修复的过渡方案;非专业人员能实施的紧急治疗以及军事背景下血管创伤。此外,TVS适用于需长途转运至专科中心的患者,以减少缺血性并发症。

#### 3.1.1 伴血管损伤的重度开放性骨折(Gustilo III C型)

Gustilo III C型开放性骨折作为最严重的肢体创

伤类型,其特征性三联征包括:高度粉碎性的骨折、大面积软组织损伤以及需要手术修复的大动脉损伤,对重建外科医生构成了重大挑战<sup>[18]</sup>。治疗上,应采用多学科协作、分期治疗的模式:早期以实施DCS相关的手术为主,包括外固定架稳定骨折、彻底清创和TVS置入(推荐使用Argyle™颈动脉分流管,6 h内完成)<sup>[19]</sup>,二期修复主要指在患者情况稳定后(通常24~72 h)进行确定性血管翻修重建手术,此时静脉移植成功率提高、感染风险降低<sup>[20-21]</sup>。

### 3.1.2 复杂血管重建的过渡措施

在创伤性血管损伤的紧急处理中,传统动脉修复方法如直接缝合、静脉旁路移植和人造血管搭桥需进行多次血管吻合,耗时较长,难以满足紧急情况下60 min内完成DCS的要求。因此,在某些情况下选择临时放置TVS而非立即完美修复,可以在快速恢复血流的同时为后续确定性修复争取时间,减少缺血时间和手术复杂度,降低术后并发症风险,尤其适合严重生理紊乱的危重患者<sup>[22]</sup>。另外,有研究显示,TVS在战伤和平民创伤中均能有效维持血流动力学稳定,且后续确定性修复的成功率与一期修复差异无统计学意义<sup>[23]</sup>;TVS联合抗凝治疗可减少血栓形成风险,优化远期通畅率。

### 3.1.3 多发性创伤和出血危及生命的极端患者

对于多发性创伤和出血患者,启动DCS流程并立即放置TVS的标准已达成共识,包括以下关键指标:失代偿性血流动力学休克(收缩压<70 mmHg)、体温过低(<34 ℃)、输血需求大(>10 U浓缩红细胞)、酸中毒(pH<7.2),以及凝血功能障碍(INR>2)<sup>[8,24]</sup>。具体解释如下:收缩压低,表明患者可能进入难以通过常规手段纠正的休克状态;低温,会影响血液凝固功能并增加心脏事件风险;输血需求大,意味着存在严重内出血或难以控制的出血源;酸中毒反映组织灌注不足,可加剧凝血障碍并导致器官衰竭;血液凝固能力下降,增加未控制出血的风险<sup>[25]</sup>。

### 3.1.4 血管损伤的治疗

血管损伤的治疗常需要血管外科或骨科医师的专业技能。但在创伤转诊过程中,或者当医源性血管损伤使介入放射学或骨科手术复杂化时,由未接受过血管专科培训的外科医师进行紧急干预在临床上合理的。研究显示,在这种情况下使用TVS可实现早期血运重建,且不会影响后续专科医师执行确定性修复的效果<sup>[21]</sup>。这一策略尤其符合DCS原则,即在有限资源或专科支持不足时优先维持生命体征与组织灌注<sup>[26]</sup>。

### 3.1.5 军事伤

枪伤、高速枪伤及爆炸伤不仅造成直接物理损伤,还通过压力波、空腔效应和冲击波等机制对周围血管和软组织造成广泛间接损伤,常伴有骨骼暴露和大面积污染。炎症反应在受伤后2~3 d加剧,若血管破裂导致血栓或持续出血,治疗需注重损伤控制<sup>[27]</sup>。初期采用TVS进行血运重建、限制缺血时间,并在彻底清创后实施根治性动脉修复<sup>[8,28]</sup>。

### 3.1.6 特殊情况

在处理血管损伤时,对于肢体近端的大血管,如下肢的髂动脉、股总动脉、浅动脉和腘动脉,以及上肢的锁骨下动脉、腋动脉和肱动脉损伤,更倾向于采取积极修复措施(例如放置临时TVS),因为这些部位的损伤会严重影响远端肢体的血液供应。相反,在前臂或小腿等区域,由于侧支循环丰富,即使单一血管受损并经过结扎或修复,对长期血管通畅性和相关症状的影响较小,因此减少了在这些区域进行复杂修复的需求<sup>[29]</sup>。

### 3.2 TVS的禁忌证

TVS的禁忌证包括:①远端血管损伤(如前臂远端桡动脉或尺动脉、小腿远端胫腓动脉等):因侧支循环丰富,结扎后缺血风险低,且TVS的二次血栓率高<sup>[8]</sup>;②患者生理状态不稳定,包括严重代谢性酸中毒(pH<7.30)、低体温(体温<35 ℃)或凝血功能障碍;需优先纠正生理紊乱,否则TVS放置后易失败<sup>[23]</sup>;③不可逆的肢体坏死(如缺血时间超过6 h伴肌肉僵硬或乳酸水平持续升高或居高不下)<sup>[30]</sup>,此时再灌注可能引发全身炎症反应<sup>[31]</sup>;④严重污染或感染伤口,因TVS可能增加感染性血栓风险<sup>[32]</sup>;⑤血管损伤特点不允许,如血管内膜广泛损伤或长段缺损(>5 cm),因TVS难以维持稳定血流<sup>[33]</sup>;患者条件允许直接血管吻合或移植、单支血管损伤且远端灌注良好、非缺血性损伤(如仅静脉损伤或轻微动脉损伤)等均无需TVS植入<sup>[29]</sup>。

## 4 TVS的类型和操作

### 4.1 TVS类型

#### 4.1.1 商品化转流管

这种医疗器械采用高质量、生物相容性材料(如聚氨酯和硅胶)制造。其设计经过多次临床验证,确保良好的流量控制和耐压性能,适用于高流量和高压力环境。安全特性包括流量监测和可调节的压力控制,有效预防并发症。产品规格多样,包括带活动金属夹的硅胶管、内壁有不锈钢螺纹加

固的硅胶管、配备三通阀及两端球囊固定的中段监测管如 Pruitt-Inahara 管等<sup>[8,34-35]</sup>。

#### 4.1.2 医生自制转流装置

通常是根据患者具体的临床需要,由医务人员利用现有的材料和工具进行加工而成。在材料方

面,使用市售的医用导管、输液管或其他生物相容性较好的材料,适当调整,具有较高的灵活性,适应性强。作为一种应急手段,它能够为患者提供暂时的血流转留,尤其是在战地、灾难救援等资源有限的环境中(表1)。

表1 TVS类型及特性

Table 1 Types and characteristics of temporary vascular shunts

Features	Commercial temporary shunt	Surgeon-improvised temporary shunt
Material	High-quality synthetic materials with excellent biocompatibility	Utilizes repurposed medical-grade components (e.g., catheters), though their performance may be inconsistent compared to off-the-shelf commercial devices
Design	Precise, standardized design with controlled flow and pressure	Highly adaptable but inconsistent and error-prone
Safety profile	High biocompatibility	Suboptimal safety profile with an elevated risk of complications
Clinical scenarios	Intended for high-risk surgeries and emergency settings where standardized protocols are paramount	Designed for use in resource-poor and remote areas during emergency scenarios
Clinical evidence	Associated with favorable outcomes and higher rates of survival	Moderate effectiveness

## 4.2 TVS操作

TVS作为损伤控制外科的重要过渡手段,其置入与移除时机、技术直接影响血管修复的最终效果及患者预后。

### 4.2.1 TVS置入的步骤

①血管控制与暴露,使用血管阻断钳或硅胶带控制损伤血管的远端和近端,困难部位(如腘动脉)需扩大切口(如Cormier切口)以充分暴露<sup>[36]</sup>;②彻底清除坏死血管至健康内膜区域<sup>[24]</sup>;③Fogarty导管取栓+肝素盐水(12 500~25 000 U/L)冲洗管腔,以清除血栓<sup>[6]</sup>;④选择直径需略大于原血管(如股动脉6~8 mm)的TVS,避免过粗导致内膜撕裂;⑤先插入远端15~20 mm、再插入近端并确保无扭曲<sup>[6]</sup>,斜面修剪(45°)以减少血流湍流<sup>[33]</sup>;⑥用不可吸收缝线(如3-0 Prolene)环扎血管外膜或专用固定夹<sup>[37]</sup>;⑦释放阻断钳后,用多普勒确认远端灌注<sup>[33]</sup>;⑧另外,合并静脉损伤时,需同步置入静脉分流管,降低血栓风险<sup>[6]</sup>;缺血>4 h或骨筋膜室综合征时,必需筋膜切开术<sup>[37]</sup>。

### 4.2.2 TVS拔除的注意事项

目前针对TVS装置拔除的时间尚无明确规定,然而随着留置时间延长,导管相关血栓形成和感染并发症的风险随之增加。若因患者全身状况差(如多器官功能不全)或局部条件限制(如创面感染需二期修复)需延长转流,那么需要定期评估导管通畅性、预防性使用抗生素以及足够的抗凝治

疗。拔除TVS时,笔者建议优先拔除动脉近心端或血流量较大侧,减少出血量,拔除前先夹闭导管远端,避免血液逆流导致空气栓塞。若合并有开放性伤口,充分地消毒必不可少,若血管管壁缺损较大,需及时行血管修补或血管重建治疗;若TVS装置是通过血管穿刺的手段置入的,血管管壁完整、组织缺损不大、伤口及周围组织感染局限时,若条件适宜、转流管口径适宜,可采用动脉封堵器、血管缝合器等器械封闭血管破口,后弹力绷带环形包扎,患肢制动以减少出血事件发生。

### 4.3 TVS并发症的识别及处理

在肢体大血管损伤修复后,并发症的发生会对患者预后和肢体功能恢复产生重大影响。及时识别、有效处理并发症是提高救治成功率、改善患者生活质量的关键。①TVS移位、断裂、残留:多与TVS材料不佳、植入时间过长相关,常表现为TVS植入后血管端的急性失血、取出后装置不完整,一旦发现需及时完善影像学检查,如残端遗留在血管腔内可通过血管内异物取出装置抓捕后取出;如残端退出血管腔内,仅遗留在创面或窦道内,可先行封闭血管破口,后行创面内清理、异物取出;如贯穿血管壁,需及时手术取出并行血管壁修补术。②血管撕裂、急性出血及假性动脉瘤形成:多因拔除时角度、力量失衡以及血管壁薄弱相关,表现为拔除阻力较大仍强行牵拉后出血或搏动性包块;如急性失

血与血管壁破口压迫失败相关,及时有效封闭、压迫血管破口后出血消失;如考虑血管撕裂或假性动脉瘤形成,必要时手术修补治疗。对于血管壁条件差、难以直接缝合的患者,可采用补片修补吻合口,常用的补片材料有自体静脉片、人工补片等,以增强吻合口的强度,防止再次出血<sup>[38]</sup>。③血栓脱落:多因机体高凝、血流滞留、抗凝不充分相关,表现为拔除装置后突发肢体剧痛、苍白、动脉搏动消失等,一旦发生,需及时应用取栓导管取栓治疗,并启动加强抗凝治疗,如条件允许可行全身或局部血管接触溶栓治疗。拔除装置前行彩超探查有无附壁血栓可有效避免并发症发生。④移植物感染多因机体受到创伤、伤口暴露以及移植物相关,表现为机体感染相关的发热、寒战、创面红肿、异常渗出等,一般来说,全身症状较重。治疗移植物感染通常需要采取阶梯式的综合治疗策略。抗生素的使用要足量、足疗程,通过手术清创,彻底清除感染坏死组织,同时加强伤口换药和引流,促进感染控制。随着感染进展,出现吻合口破裂、大量脓肿形成,或经保守治疗无效,则需要果断切除感染的移植物。切除移植物后,可根据患者情况选择合适的处理方式,如一期或二期血管重建。

## 5 TVS的术后管理

### 5.1 抗凝药使用

战伤患者因多发伤出血风险高,禁用全身抗凝(文献中97%病例未使用)。TVS术后血栓率仅4%~18%,与抗凝无关,推荐局部肝素盐水冲洗(12 500~25 000 U/L)即可,而全身抗凝或使用抗血小板药物无明确获益<sup>[6]</sup>。若同期置入静脉分流管,可考虑低剂量肝素(如5 000 U皮下注射,q12h);如既往血栓史、长段分流管(>10 cm),需个体化评估<sup>[33]</sup>。

### 5.2 手术并发症及其处理

TVS在维持急性血管损伤患者的重要器官血液供应方面至关重要,但其使用可能引发多种并发症。移位和闭塞是两种主要机械性问题,前者由患者运动或外力引起,导致血流中断,需紧急压迫止血;后者多因血液高凝状态或装置打折造成,表现为肢体颜色、温度变化等,需抗凝处理及调整位置<sup>[34]</sup>。此外,感染风险尤其在第一现场操作时更高,需要严格的卫生管理和术后护理。长时间使用TVS可能导致重要器官如脑部、肾脏、心脏缺血或功能障碍。血流动力学改变可引起血压异常,长期使用还可能诱发动脉硬化或动脉瘤。因此,在临床应用中需谨慎监测并及时

干预,以减少这些并发症对患者的不良影响。对于TVS相关的具体问题,包括移位、闭塞、感染和出血的原因及处置方法,应给予特别关注。由于长期随访困难重重,目前尚缺乏评估TVS长期并发症的研究。

### 5.3 进一步的血管翻修

血管损伤的翻修技术主要包括开放手术(如自体静脉移植、补片成形)和血管内治疗(如覆膜支架、机械取栓),其中自体静脉移植是长段缺损(>5 cm)的金标准,而覆膜支架适用于解剖困难区域;术后需通过多普勒超声密切监测通畅性,并根据损伤类型(如战伤感染)选择个体化策略(如分阶段清创+肌瓣覆盖)<sup>[39]</sup>。战时管理中,TVS作为过渡手段,需在24 h内转为确定性血管翻修,并避免全身抗凝,降低出血风险<sup>[8]</sup>。

## 6 TVS应用现状与未来

目前国内尚缺乏统一的TVS技术操作指南、分流装置选择标准以及疗效评价体系,这使得临床决策在很大程度上依赖医生的个人经验,国内广泛使用的仍然是自制转流装置,由一线医生根据血管损伤的情况、部位及医疗条件选择现有材料(如输液管、导尿管、输血管、胃管等)进行制作,无论是在转流装置的材料、固定方式、自身抗凝性能及肢体血液灌注效果上,TVS转流装置在未来都还有很大的提升空间。王鑫等<sup>[40]</sup>发明设计了一款拉索式TVS装置,采用单向绞索扣,装置内卡齿间距小,具有止退功能,更方便快捷并牢固固定血管与分流管。李宏辉等<sup>[41]</sup>在TVS装置中嵌入了动力辅助模块,增加转流后肢体血液灌注,取得了良好效果。笔者单位研创出一款新型穿刺式球囊固定TVS装置,快速穿刺阻断血流、球囊内部固定可靠,操作便捷,可快速、有效恢复远端肢体血供。

TVS作为连接损伤控制与确定性修复的“桥梁”,逐步发展为集稳定锚定、抗血栓形成、远端灌注及生理监测于一体的精密技术,其价值已在多发伤救治中得到充分验证。近年来的创新主要围绕克服传统分流管的固有缺陷展开,旨在提高分流通畅率、延长安全分流时间、并简化操作流程。从装置本身来看,其锚定、固定模块创新是解决分流管易移位、脱落的方法,腔内血流动力学优化、装置材质优化或抗血栓表面改性技术可以改善分流管内的血流模式,减少湍流和剪切应力,从而降低血小板激活和血栓形成的风险。从装置功能来看,未来TVS装置可能超越单纯的“管道”功能,集成远端主动灌注和生理监测功能,允许向远端肢体持续或间

歇性地输注氧合血、肝素化盐水或器官保护液,同时实时监测远端血管的压力、血氧饱和度或血流速度,在延缓缺血损伤、冲刷代谢废物、减轻再灌注损伤的同时评估分流效果、及时发现血栓形成或肢体筋膜室压力增高,从而实现精准管理。血管外科与创伤骨科的多学科协作模式将是提升肢体大血管损伤救治成功率的关键。

#### 利益冲突声明:

所有作者声明无利益冲突。

#### Conflict of Interests:

The authors declare no competing interests.

#### 作者贡献声明:

项广源负责文献检索和撰写;陈金安负责文章的框架和审阅;王爱萍全程指导监督,审阅修改文章。

#### Author's Contributions:

XIANG Guangyuan was responsible for literature retrieval and manuscript writing. CHEN Jin'an was responsible for the structural design and critical review of the manuscript. WANG Aiping supervised the entire research process and contributed to the review and revision of the article.

#### [参考文献]

- [1] WAHLGREN C M, AYLWIN C, DAVENPORT R A, et al. Editor's choice —European society for vascular surgery (ESVS) 2025 clinical practice guidelines on the management of vascular trauma [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2025, 69(2): 179–237
- [2] URRECHAGA E, JABORI S, KANG N X, et al. Traumatic lower extremity vascular injuries and limb salvage in a civilian urban trauma center [J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 82: 30–40
- [3] YAHN C, HAQQANI M H, ALONSO A, et al. Long-term functional outcomes of upper extremity civilian vascular trauma [J]. *J Vasc Surg*, 2024, 79(3): 526–531
- [4] WHITE J M, STANNARD A, BURKHARDT G E, et al. The epidemiology of vascular injury in the wars in Iraq and Afghanistan [J]. *Ann Surg*, 2011, 253(6): 1184–1189
- [5] MARTINELLI O, MICELI F, CUOZZO S, et al. Temporary intravascular shunts and limb salvage in civilian vascular trauma [J]. *Front Surg*, 2023, 10: 1302976
- [6] 中国医师协会急诊医师分会,解放军急救医学专业委员会,北京急诊医学学会,等.院前创伤急救止血专家共识(2025年版)[J]. *中华急诊医学杂志*, 2025, 34(4): 469–477  
Chinese College of Emergency Physicians, Emergency Medicine Committee of the People's Liberation Army, Beijing Society of Emergency Medicine, et al. Expert consensus on prehospital trauma hemorrhage control (2025 edition) [J]. *Chinese Journal of Emergency Medicine*, 2025, 34(4): 469–477
- [7] DEBAKEY M E, SIMEONE F A. Battle injuries of the arteries in World War II; an analysis of 2 471 cases [J]. *Ann Surg*, 1946, 123: 534–579
- [8] HORNEZ E, BODDAERT G, NGABOU U D, et al. Temporary vascular shunt for damage control of extremity vascular injury: a toolbox for trauma surgeons [J]. *J Visc Surg*, 2015, 152(6): 363–368
- [9] REBER P U, PATEL A G, SAPIO N L, et al. Selective use of temporary intravascular shunts in coincident vascular and orthopedic upper and lower limb trauma [J]. *J Trauma*, 1999, 47(1): 72–76
- [10] HOSSNY A. Blunt popliteal artery injury with complete lower limb ischemia: is routine use of temporary intraluminal arterial shunt justified? [J]. *J Vasc Surg*, 2004, 40(1): 61–66
- [11] CHAMBERS L W, GREEN D J, SAMPLE K, et al. Tactical surgical intervention with temporary shunting of peripheral vascular trauma sustained during Operation Iraqi Freedom: one unit's experience [J]. *J Trauma*, 2006, 61(4): 824–830
- [12] WOODWARD E B, CLOUSE W D, ELIASON J L, et al. Penetrating femoropopliteal injury during modern warfare: experience of the Balad Vascular Registry [J]. *J Vasc Surg*, 2008, 47(6): 1259–1264
- [13] MARINHO DE OLIVEIRA GÓES JUNIOR A, DE CAMPOS VIEIRA ABIB S, DE SEIXAS ALVES M T, et al. To shunt or not to shunt? An experimental study comparing temporary vascular shunts and venous ligation as damage control techniques for vascular trauma [J]. *Ann Vasc Surg*, 2014, 28(3): 710–724
- [14] SELIVERSTOV P A, SHAPKIN Y G. Application of damage control tactics in combat injuries of limbs at the advanced stages of medical evacuation in modern war settings (literature review) [J]. *Med-biol Soc-psihol Probl Bezop Črezvyčajnyh Situac*, 2023(1): 42–52
- [15] PERKINS Z B, KERSEY A J, WHITE J M, et al. Impact of ischemia duration on lower limb salvage in combat casualties [J]. *Ann Surg*, 2022, 276(3): 532–538
- [16] PERKINS Z B, YET B, GLASGOW S, et al. Meta-analysis of prognostic factors for amputation following surgical repair of lower extremity vascular trauma [J]. *Br J Surg*, 2015, 102(5): 436–450
- [17] MAZZOLAI L, TEIXIDO-TURA G, LANZI S, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases [J]. *EUR HEART J*, 2024, 45(36): 3538–3700
- [18] GUSTILO R B, MENDOZA R M, WILLIAMS D N. Prob-

- lems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures[J]. *J Trauma*, 1984, 24(8): 742-746
- [19] MATHEW S, SMITH B P, CANNON J W, et al. Temporary arterial shunts in damage control: experience and outcomes[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2017, 82(3): 512-517
- [20] MCMAHON H A, STRANIX J T, LEE Z H, et al. Management of gustilo type III C injuries in the lower extremity[J]. *Clin Plast Surg*, 2021, 48(2): 267-276
- [21] POLCZ J E, WHITE J M, RONALDI A E, et al. Temporary intravascular shunt use improves early limb salvage after extremity vascular injury[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 73(4): 1304-1313
- [22] DING W W, WU X J, LI J S. Temporary intravascular shunts used as a damage control surgery adjunct in complex vascular injury: collective review[J]. *Injury*, 2008, 39(9): 970-977
- [23] XIAO D, ZHU F, LI S, et al. TIVS versus Non-TIVS management of limb vascular injury in limb salvage: systematic review and meta-analysis[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2025, 410(1): 95
- [24] ROTONDO M F, ZONIES D H. The damage control sequence and underlying logic[J]. *Surg Clin North Am*, 1997, 77(4): 761-777
- [25] EGER M, GOLCMAN L, GOLDSTEIN A, et al. The use of a temporary shunt in the management of arterial vascular injuries[J]. *Surg Gynecol Obstet*, 1971, 132(1): 67-70
- [26] DUBOSE J J, MORRISON J J, SCALEA T M, et al. Beyond the crossroads: who will be the caretakers of vascular injury management? [J]. *Ann Surg*, 2020, 272(2): 236-237
- [27] MCHENRY T P, HOLCOMB J B, AOKI N, et al. Fractures with major vascular injuries from gunshot wounds: implications of surgical sequence[J]. *J Trauma*, 2002, 53(4): 717-721
- [28] KLEM C, SNIEZEK J C, MOORE B, et al. Microvascular reconstructive surgery in Operations Iraqi and Enduring Freedom: the US military experience performing free flaps in a combat zone[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2013, 75(2 Suppl 2): S228-S232
- [29] SCHIPPERS S M, HAJEWSKI C, GLASS N A, et al. Single forearm vessel injury in a perfused hand: repair or ligate? A systematic review[J]. *Iowa Orthop J*, 2018, 38: 159
- [30] BELU A, TARCĂ V, FILIP N, et al. Lactate levels in a replanted limb as an early biomarker for assessing post-surgical evolution: a case report [J]. *Diagnostics*, 2025, 15(6): 688
- [31] HAFEZ H M, WOOLGAR J, ROBBS J V. Lower extremity arterial injury: results of 550 cases and review of risk factors associated with limb loss [J]. *J Vasc Surg*, 2001, 33(6): 1212-1219
- [32] TALLER J, KAMDAR J P, GREENE J A, et al. Temporary vascular shunts as initial treatment of proximal extremity vascular injuries during combat operations: the new standard of care at Echelon II facilities? [J]. *J Trauma*, 2008, 65(3): 595-603
- [33] JOHNSON C A. Endovascular management of peripheral vascular trauma [J]. *Semin Intervent Radiol*, 2010, 27(1): 38-43
- [34] RASMUSSEN T E, CLOUSE W D, JENKINS D H, et al. The use of temporary vascular shunts as a damage control adjunct in the management of wartime vascular injury [J]. *J Trauma*, 2006, 61(1): 8-12
- [35] DAVINS M, LLAGOSTERA S, LAMAS C, et al. Role of temporary arterial shunt in the reimplantation of a traumatic above-elbow amputation [J]. *Vascular*, 2007, 15(3): 176-178
- [36] JEFFREY BORUT L T, ACOSTA C J A, TADLOCK L C D R M, et al. The use of temporary vascular shunts in military extremity wounds: a preliminary outcome analysis with 2-year follow-up [J]. *J Trauma*, 2010, 69(1): 174-178
- [37] PECK M A, CLOUSE W D, COX M W, et al. The complete management of extremity vascular injury in a local population: a wartime report from the 332nd Expeditionary Medical Group/Air Force Theater Hospital, Balad Air Base, Iraq [J]. *J Vasc Surg*, 2007, 45(6): 1197-1204
- [38] TIWARI A, CHENG K S, SALACINSKI H, et al. Improving the patency of vascular bypass grafts: the role of suture materials and surgical techniques on reducing anastomotic compliance mismatch [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2003, 25(4): 287-295
- [39] CHEN Y D, YANG H, WANG W, et al. Staged management of a large ischemic heel ulcer in a diabetes patient: a case report [J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1198818
- [40] 王鑫, 陆海波, 李强, 等. 拉索式血管分流装置设计及体外试验 [J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(6): 30-32, 70  
WANG X, LU H B, LI Q, et al. Design and in-vitro testing of a cable-style vascular shunt device [J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2017, 38(6): 30-32, 70
- [41] 李宏辉, 郑灿镔, 何海洪, 等. 动力辅助血管转流术在兔离断肢体再植中的应用 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(12): 1519-1524  
LI H H, ZHENG C B, HE H H, et al. Application of power-assisted vascular shunt in replantation of severed rabbit limbs [J]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 2014, 28(12): 1519-1524
- (收稿: 2025-05-18; 修回: 2025-12-07; 录用: 2025-12-09)  
(本文编辑: 戴玉娟)