

文章编号: 1671-7104(2017)03-0208-05

# 战时血管伤早期救治技术研究进展

【作者】刘申<sup>1</sup>, 梁向党<sup>1</sup>, 王歆溟<sup>1</sup>, 郭占社<sup>2</sup>, 孙赓<sup>3</sup>

1 解放军总医院骨科, 北京市, 100853

2 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京市, 100191

3 解放军252医院骨科, 保定市, 071000

【摘要】在战时血管伤高发背景下, 该文详细介绍了战争环境下血管伤的特点, 以及自二战以来战争中应用的血管伤早期救治技术的发展, 并分析了各种救治技术的优点和局限性。最后, 对发展中的相关技术及研究方向进行了概括和展望。

【关键词】血管伤; 战争; 救治技术; 进展

【中图分类号】R54

【文献标志码】A

doi:10.3969/j.issn.1671-7104.2017.03.014

## Development on Early Treatment Technique of Vascular Injury in Wartime

【Writers】LIU Shen<sup>1</sup>, LIANG Xiangdang<sup>1</sup>, WANG Xinhao<sup>1</sup>, GUO Zhanshe<sup>2</sup>, SUN Geng<sup>3</sup>

1 Orthopaedic Department, General Hospital of PLA, Beijing, 100853

2 School of Instrumentation Science and Opto-electronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191

3 Orthopaedic Department of 252 Hospital of PLA, Baoding, 071000

【Abstract】In the background of the high incidence of vascular injury in wartime, this paper introduces the characteristics of vascular injury in war environment and the development of early treatment technique of vascular injury applied in wars since World War II. Then, the advantages and limitations of various treatment techniques are also analyzed. Finally, The development of technology and research direction are summarized and prospected.

【Key words】vascular injury, wartime, treatment technique, development

### 0 引言

血管伤是指血管遭受直接或间接暴力后引起的血管离断、破裂、血管壁挫伤、内膜撕裂、动脉痉挛等开放性或闭合性损伤。战时环境下发生的血管伤多为直接暴力造成的离断、破裂等开放性损伤。血管伤一直是战争创伤中较为高发的损伤之一。研究<sup>[1-2]</sup>表明, 由于现代战争中高能量杀伤性武器的应用, 战时血管损伤的发生率是以往战争报道的5倍, 近年来伊拉克战争中血管损伤发生率已经达到4.8%至7%, 黎巴嫩战争中更是达到7.6%, 在阿富汗和伊拉克战争期间血管损伤患者的围手术期死亡率就高达4.3%。因此, 血管伤早期救治技术的发展将直接关系到伤员的生命安全和未来生活质量。本文将从战时血管伤的特点、早期救治技术的进展以及未来展望进行综述。

### 1 战时血管伤的特点

#### 1.1 四肢成为高发部位

血管伤按发生的部位一般分为躯干伤和肢体伤两类。由于战场防护装置的进步, 如防弹衣、防弹

头盔等, 使得头部及胸腹部的防护加强, 而防护相对薄弱的四肢则更容易受伤, 导致四肢血管伤较躯体伤更多见。Nitecki等<sup>[2]</sup>于2010年总结黎巴嫩战争的血管伤数据后发现, 四肢血管伤在血管损伤中大约占72%。同样, 来自伊拉克巴拉德空军基地战区医院的报告<sup>[3]</sup>称, 在仔细检查了战争中伤员伤情后, 发现在四千多名伤员中有近4.4%存在严重的血管损伤, 其中四肢血管伤占70%。而在四肢血管伤中, 上肢和下肢血管伤分别占三分之一和三分之二。由此看来, 四肢已成为血管伤的高发部位, 这也使未来战时血管伤的研究更加有针对性。

#### 1.2 高能量损伤更加多见

在现代战争中, 高能量武器的使用率呈现明显上升趋势, 其所致的伤害也愈发常见。2008年Owens等<sup>[4]</sup>的一项研究报告中提到, 在伊拉克和阿富汗战争中爆炸伤已经占到各类伤害总数的78%。战争环境下血管损伤的发生及严重程度与其受伤机制密切相关。首先, 现代战争中使用的的高能量杀伤性武器, 如导弹、榴弹、地雷等爆炸装置, 其爆炸后产生的众多大小不同的高速碎片进入人体后, 易造成多方向、深层次的穿透伤, 由此导致的血管伤的概率和严重程度都

收稿日期: 2016-11-22

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2014DFA31230); 军队应用基础研究重点项目(BWS13C029)

通信作者: 梁向党, E-mail: lxd301@263.net

较普通战伤高。其次,除了弹片直接穿破、离断血管外,高能量武器还存在其他致伤机制。Nguyen等<sup>[5]</sup>研究显示,弹片在组织中高速摩擦引起的热量、减速时的剪切力和压缩力以及直接栓塞血管等也可以造成血管、神经及周围组织的附加损伤。所以,爆炸伤等高能量损伤高发、致伤机制复杂、多合并伤使战时血管伤的救治具有很高的挑战性。

### 1.3 出现严重的出血和感染

战时血管损伤的另一个特点是易出现严重的出血和伤口感染。其中,大量的出血可引起低体温、酸中毒和凝血障碍等症状(俗称“死亡三联征”),“死亡三联征”的出现大大增加了伤员的死亡率。研究表明<sup>[6]</sup>,伤员运送至医疗中心之前,因失血导致的死亡率可达10%。而伤口感染很可能会演变为败血症或脓毒血症,引发全身感染。2010年Fox<sup>[7]</sup>分析了46例战时血管损伤患者,其中有14例进行了截肢,按受伤时间不同分为立即( $\leq 48$  h, 5例)、早期( $> 48$  h且 $\leq 30$  d, 6例)和晚期( $> 30$  d, 3例)三组。该研究发现截肢原因多为感染、移植物血栓形成和慢性疼痛。同样,来自黎巴嫩战争的数据显示,近80%的四肢血管伤伤员都有不同程度的开放性骨折,而开放性骨折引起的感染是影响截肢率的一个独立危险因素<sup>[2]</sup>。所以,感染若不能及时控制,将直接威胁到伤员生命,此时唯一的挽救办法是及时截肢,而截肢也代表着肢体救治的失败。

## 2 战时四肢血管伤的早期救治技术进展

一般地,战士在战场受伤后,需在接受早期治疗24 h后才能顺利脱离战场环境。而由于战场环境恶劣,医疗条件限制以及后送能力薄弱等原因,战时血管伤救治很难达到一般医院的救治水平,进而严重影响了伤员的生命安全。战时血管伤的早期、高效救治技术一直是军事医学的重要研究方向之一。本节主要就目前的结扎技术、血管重建、血管接入技术等主要救治技术研究现状进行了阐述。

### 2.1 结扎技术

结扎救治技术原理如图1所示,主要采用止血带、绷带或简易绳索等直接捆绑肢体近心端从而阻断血管血流以达到止血目的。结扎止血一直被认为是救治血管伤的最基本方法。第二次世界大战期间,战场医疗资源有限,止血带结扎止血是当时条件下可以接受且较理想的救治方式。2009年Kragh等<sup>[8]</sup>对伊拉克战争中止血带的使用情况和有效性进行了随访研究,在2 838例肢体受伤平民及军人中有232人使用了止血带,随访结果显示使用止血带伤员中有31例因伤势严

重死亡,死亡率13%,而未使用止血带伤员死亡率高达90%。研究显示,止血带结扎在现代战场环境下仍然可以明显提高四肢血管伤伤员的生存率。但是,长时间肢体结扎极易导致远端肢体的缺血、坏死,最后被迫选择截肢。所以在二战期间,虽然采用了结扎救治但也导致了当时美军近60%的截肢率。近年来止血带结扎技术也取得了一些进展,先后出现了计时止血带、卡式止血带、棘轮止血带、全自动止血带等,其中,卡式、棘轮止血带具有易携带、可单手操作等优点,计时、全自动止血带具备计时和报警功能,可在一定程度上防止止血时间过长导致肢体坏死的发生<sup>[9]</sup>。



图1 止血带结扎的使用  
Fig.1 Use of tourniquet ligation

### 2.2 血管重建

随着保护措施的增加、手术能力的提高以及战场疏散伤员能力的强化,血管损伤造成的死亡率不断下降。但是,因动脉结扎造成的截肢率却不断增加,使得医疗工作者不得不考虑新的救治方式。血管重建是用临时管道、自体或人工血管等连接血管断端,恢复血液流通,从而达到血管伤的救治目的。现今战时血管重建主要包括临时血管分流术和血管移植两方面。

#### (1) 临时血管分流术

临时血管分流术(如图2所示)是将临时性导管插入血管两侧断端,两侧丝线结扎后作为临时血流通道的一种救治技术。临时血管分流术相比止血带结扎可以使离断血管复通,不仅可以迅速减少出血,还



图2 临时血管分流术  
Fig.2 Temporary vascular shunt

可以暂时保证远端肢体的血液供应,降低截肢率,为急救复苏、处理其他致命伤以及战场后送赢得时间。在朝鲜战争期间,美军将血管分流术应用到四肢血管伤的救治中,从而使截肢率减少到13%。2016年Inaba等<sup>[10]</sup>对213例临时血管分流术的患者进行了调查研究,结果显示肢体挽救率达96.3%,没有死亡病例。所以,临时血管分流术在四肢血管伤救治中被证明是可行的。不过,临时血管分流术救治损伤血管也面临新的问题。2008年Subramanian<sup>[11]</sup>的一份研究报告称,在回顾了10年内接受临时血管分流术的60人生存情况后,术后血管的血栓形成率为5%。Inaba的研究中也存在5.6%的血栓形成率和1.4%分流器脱位,血栓形成成为临时血管分流术最常见的并发症。

## (2) 血管移植

血管移植是使用替代血管对损伤血管进行重建,常见的替代血管是自体的隐静脉和膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管。自体隐静脉作为移植物属于自体移植,具有无排异、血管功能正常、获取及时等优点,据报道<sup>[12-13]</sup>,隐静脉移植救治血管损伤曾在阿富汗和伊拉克战争期间备受青睐,图3是股动脉损伤后用对侧隐静脉进行的血管移植。2015年Watson等<sup>[13]</sup>对阿富汗和伊拉克战争期间自体静脉和膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管的效果进行研究发现,自体隐静脉移植到外周血管后8年内血栓形成率只有23%,而膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管则高达69%。不过自体隐静脉的获取时间较长、操作技术要求较高以及隐静脉的直径无法最佳的匹配受伤血管管径等原因使静脉移植的应用受到限制,同时,血管伤在四肢的多发性,理论上减少了移植物的供应来源,因此这些特点一定程度上限制了静脉移植的应用。

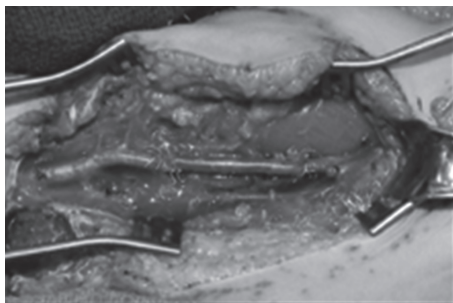


图3 隐静脉移植  
Fig.3 An interposition graft of saphenous vein

随着生物材料学的迅猛发展,膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人工血管(如图4所示)以其良好的生物相容性、柔韧性以及特有的微孔结构在医学领域开始

作为血管的替代品,并且迅速得到广泛应用。Watson等<sup>[13]</sup>研究显示,膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管参与了美军十年来近百分之六战时血管伤的动脉重建,在战时血管伤救治方面发挥了重要作用。在与自体血管移植组的对比中,膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管具有同样的有效性和持续性,尽管血栓、感染等并发症的几率较自体血管移植高,但其来源充足、管径种类多、操作简单等优点也是自体静脉移植所无法替代的。因此,Walter Reed团队<sup>[14]</sup>曾提出了一种设想,膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管仅作为没有合适移植物或严重损伤患者的暂时动脉重建,在伤员后送和恢复肢体灌注后,外科医生再择期进行自体血管的移植。因此,鉴于膨体聚四氟乙烯(ePTFE)人造血管不错的移植有效性以及众多优点,可以将其作为早期血管重建的首选之一,而在长期效果方面,对其并发症的预防或替代技术可以作为后续研究的重点。



图4 膨体聚四氟乙烯人造血管  
Fig.4 Polytetrafluorethylene(ePTFE)

## 2.3 血管介入技术

血管介入技术是指在医学影像设备的引导下,利用穿刺针、导丝、导管等装置经血管途径进行诊断和治疗的血管救治技术。2004年Fox<sup>[15]</sup>在首次描述了血管造影在评估战场血管伤人员中的巨大应用前景,发现在进行血管造影的受伤人员中,有一半以上的伤员存在隐性血管损伤。2010年Nitecki等<sup>[2]</sup>在511例因战伤收治的患者中筛查出39例有血管损伤,其中62%是由CTA诊断出,38%由手术探查诊断出,图5是CTA成像后显示血管伤患者左下肢股动脉损伤以及右下肢内含多个弹片。在该研究中CTA可以快速采集数据和重建图像,准确性和特异性可达到90%~100%。在血管伤治疗方面,2008年Rasmussen等<sup>[16]</sup>首次证明了血管介入技术在战时损伤中治疗的有效性和可行性。他在研究中发现,13%的血管损伤用血管介入治疗效果显著,如颈动脉、骨盆血管损伤等,血管介入治疗可以通过栓塞、支架植入、过滤器植入等直接治疗或间接辅助开放性手术的进行,并且该技术可以减少失血

以及生理应激, 有效性更加明显。Desai<sup>[17]</sup>等于2014年对28例外周动脉早期损伤病例进行了介入技术治疗, 手术全部成功, 并且45 d后肢体挽救成功率达92%, 从而验证了介入技术治疗血管伤的早期有效性。综合血管介入技术的诊断及治疗, 可以肯定血管介入技术早期救治四肢血管伤的应用效果。但该技术实际操作仍然较为耗时, 无法应对战争时期大批伤员的快速诊断和处理, 且治疗后的长期疗效还未有报道, 所以对该技术在战场救治的应用仍然需要做进一步研究和优化。

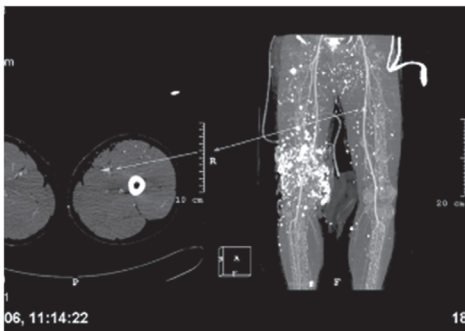


图5 计算机断层摄影血管造影术  
Fig.5 Computed tomographic angiography(CTA)

### 3 未来展望

战场之外, 新的血管救治技术仍在不断研究中, 这些技术还未曾在战时血管伤救治中报道, 多在临床试验阶段, 其中包括机械吻合法、粘合剂吻合法、激光吻合法等。

利用针环原理的血管吻合器为代表的机械性吻合技术具有操作迅速、不易缩窄、通畅率高等优点, 该技术在临床中已经广泛应用于静脉血管的吻合<sup>[18]</sup>。对于动脉吻合, 北京积水潭医院<sup>[19]</sup>于2013年尝试用COUPLER血管吻合器修复上肢动脉, 在后续的随访中初步验证了COUPLER血管吻合器快捷、安全、有效地修复上肢动脉的临床效果。不过, 吻合器吻合也存在较为棘手的问题, 包括吻合口血管僵硬、血管管径受限、外膜易形成异物肉芽肿等<sup>[20]</sup>。

以氰基丙烯酸酯医用胶、光敏化学组织粘合剂等为代表的化学合成材料和以纤维蛋白胶、血浆戊二醛胶等为代表的生物组织材料是目前粘合吻合法研究的两个热点方向。研究表明<sup>[21]</sup>, 氰基丙烯酸酯医用胶具有迅速吻合、操作方便、抗张强度可靠、抗菌性等优点, 但其也存在热损伤、组织毒性、在与液体接触时粘合力小等缺点。纤维蛋白胶利用血液凝固原理, 在接触血液时其所含的纤维蛋白原和凝血酶两种组分发

生作用生成不溶的纤维蛋白, 因为是生物合成材料, 纤维蛋白胶具有良好的生物相容性, 同时也具有止血效果好、操作简单等优点。而它的不足则在于价格昂贵、易形成血栓、强度不够等, 不过该方法配合针线缝合时优势互补, 取得了不错的吻合效果<sup>[22]</sup>, 这也给未来的救治方式带来了启发。

随着激光器技术的不断发展和血管吻合提出的高要求, 激光吻合法近些年来也取得了很大进展, 是极具前景的一种吻合方法。激光吻合通过光效应转变为热效应而使吻合处组织的胶原蛋白发生溶解、凝固, 即发生焊接现象。激光吻合法具有降低损伤、减少出血、功能恢复快、微创等优点, 是其他技术所未能达到的, 但同时其初期抗压强度小、需辅助材料、易形成假性动脉瘤等缺陷还需要进一步研究并克服<sup>[23]</sup>。

随着科技的进步以及研究的不断进展, 战时四肢血管伤的早期救治已经由单纯的结扎进展为应用临时血管内分流术、静脉或人工血管移植、血管介入技术等多种先进救治方式; 也由开始的以止血为主到以止血、保肢、抗凝、恢复、微创等多因素考虑的救治方式。同时, 新的血管伤救治技术还在继续研究中, 多种救治技术优势互补的理念也在尝试, 相信不断发展的新技术会更加适应现代战争血管伤的特点, 为未来战争中血管伤的早期救治提供更有力的保障。

#### 参考文献

- [1] White J, Stannard A, Burkhardt G, et al. The epidemiology of vascular injury in the wars in Iraq and Afghanistan[J]. *Ann Surg*, 2011, 253(6): 1184-1189.
- [2] Nitecki S S, Karram T, Ofer A, et al. Vascular injuries in an urban combat setting: experience from the 2006 Lebanon War[J]. *Vascular*, 2010, 18(1): 1-8.
- [3] 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.
- [4] Owens B D, Kragh J F, Wenke J C, et al. Combat wounds in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom[J]. *J Trauma*, 2008, 64(2): 295-299.
- [5] Nguyen T, Kalish J, Woodson J. Management of civilian and military vascular trauma: lessons learned[J]. *Semin Vasc Surg*, 2010, 23(4): 235-242.
- [6] Okello J, Nakimuli-Mpungu E, Musisi S, et al. War-related trauma exposure and multiple risk behaviors among school-going adolescents in Northern Uganda: the mediating role of depression symptoms[J]. *J Affect Disord*, 2013, 151(2): 715-721.
- [7] Fox C J, Perkins J G, Kragh J F Jr, et al. Popliteal artery repair in massively transfused military trauma casualties: a pursuit to save

- life and limb[J]. *J Trauma*, 2010, 69(1): 123-134.
- [8] Kragh J F Jr, Walters T J, Baer D G, et al. Survival with emergency tourniquet use to stop bleeding in major limb trauma[J]. *Ann Surg*, 2009, 249(1): 1-7.
- [9] 米永巍, 樊光辉, 王强, 等. 战伤急救止血带研究进展[J]. *中国医学装备*, 2016(4): 129-131.
- [10] Inaba K, Aksoy H, Seamon M J, et al. Multicenter evaluation of temporary intravascular shunt use in vascular trauma[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2016, 80(3): 359-364.
- [11] Subramanian A, Vercruyse G, Dente C, et al. A decade's experience with temporary intravascular shunts at a civilian level I trauma center[J]. *J Trauma*, 2008, 65(2): 316-324.
- [12] Villamaria C Y, Morrison J J, Fitzpatrick C M, et al. Wartime vascular injuries in the pediatric population of Iraq and Afghanistan: 2002-2011[J]. *J Pediatr Surg*, 2014, 49(3): 428-432.
- [13] Watson J D, Houston R 4th, Morrison J J, et al. A retrospective cohort comparison of expanded polytetrafluorethylene to autologous vein for vascular reconstruction in modern combat casualty care[J]. *Ann Vasc Surg*, 2015, 29(4): 822-829.
- [14] Vertrees A, Fox C J, Quan R W, et al. The use of prosthetic grafts in complex military vascular trauma: a limb salvage strategy for patients with severely limited autologous conduit[J]. *J Trauma*, 2009, 66(4): 980-983.
- [15] Fox C J, Gillespie D L, O' Donnell S D, et al. Contemporary management of wartime vascular injury[J]. *J Vasc Surg*, 2005, 41(4): 638-644.
- [16] Rasmussen T E, Clouse W D, Peck M A, et al. Development and implementation of endovascular capabilities in wartime[J]. *J Trauma*, 2008, 64(5): 1169-1176.
- [17] Desai S S, DuBose J J, Parham C S, et al. Outcomes after endovascular repair of arterial trauma[J]. *J Vasc Surg*, 2014 60(5): 1309-1314.
- [18] Frederick J W, Sweeny L, Carroll W R, et al. Microvascular anastomotic coupler assessment in head and neck reconstruction[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2013, 149(1): 67-70.
- [19] 武克衡, 陈山林, 田光磊, 等. 血管吻合器在上肢动脉损伤中的应用[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2016, 48(2): 346-350.
- [20] Zhang T, Lubek J, Salama A, et al. Venous anastomoses using microvascular coupler in free flap head and neck reconstruction[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2012, 70(4): 992-996.
- [21] Lang N, Pereira M J, Lee Y, et al. A blood-resistant surgical glue for minimally invasive repair of vessels and heart defects[J]. *Sci Transl Med*, 2014, 6(218): 218ra6.
- [22] Sacak B, Tosun U, Egemen O, et al. Microvascular anastomosis using fibrin glue and venous cuff in rat carotid artery[J]. *J Plast Surg Hand Surg*, 2015, 49(2): 72-76.
- [23] Bogno S, Schoni D, Constantinescu M, et al. Tissue fusion, a new opportunity for sutureless bypass surgery[J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2011, 112:45-53.

## 上接第199页

螺钉的应力集中,防止了对股骨干的二次伤害。

在本研究中,在保证研究结果准确性的前提下对分析模型进行了较多简化,并作出了大量的假设,有效保证了研究的简便性。但在进行外力加载时,仅考虑了单腿站立状态下主要轴向受力的影响,而实际往往受到肌肉及韧带等软组织的影响,后续将考虑在正常步态下综合受力的研究。虽然整个有限元分析过程存在着些许有待改进之处,但分析结果与临床反馈相匹配。在该课题的后续研究中,将逐渐完善分析中的不足,努力为临床医疗提供更加简便有效的途径。

## 参考文献

- [1] 韦善平. 股骨干骨折钢板内固定失效24例原因分析[J]. *医学理论与实践*, 2010, 23(5): 555-556.
- [2] 文化娟, 白桂荣, 梅艳玲, 等. 下肢骨折术后内固定物断裂的原因分析及护理对策[J]. *中华护理杂志*, 2003, 38(3): 191-193.
- [3] 关薇, 翟伟, 刘斌, 等. 接骨板固有风险浅析[J]. *中国药物警戒*, 2013, 10(12): 752-754.
- [4] 徐文华, 袁晓军, 舒敏锐, 等. 探讨长骨骨干骨折内固定术后断裂及松动的原因[J]. *中国实用医药*, 2012, 7(31): 36-37.
- [5] Cui S, Bledsoe J G, Israel H, et al. Locked plating of comminuted distal femur fractures: does unlocked screw placement affect stability and failure[J]. *J Orthop Trauma*, 2014, 28(2): 90-96.
- [6] 张魁忠, 吴柄华, 徐聪, 等. 螺钉数量对钢板螺钉内固定结构载荷的生物力学影响[J]. *中国组织工程及临床康复*, 2009, 13(43): 8454-8457.
- [7] 韩诗杭, 董黎敏, 李炫, 等. 镁合金与钛合金接骨板固定股骨中骨折的有限元分析[J]. *山东理工大学学报(自然科学版)*, 2015, 29(3): 60-63.
- [8] Zhang Y K, Wei H W, Lin K P, et al. Biomechanical effect of the configuration of screw hole style on locking plate fixation in proximal humerus fracture with a simulated gap: A finite element analysis [J]. *Injury*, 2016, 47(6): 1191-1195.
- [9] Nobuaki O, Roxana S, Eriko K, et al. Influence of maxillary cortical bone thickness, implant design and implant diameter on stress around implants: A three-dimensional finite element analysis [J]. *J Prosthodontic Res*, 2010, 54(3): 133-142.
- [10] 林振恩, 谢丹, 张森. 股骨远端骨折锁定钢板螺钉布局的有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18(22): 3517-3522.
- [11] 刘石磊, 唐刚, 王冬梅, 等. 医用316L不锈钢接骨板固定股骨的有限元方法分析[J]. *北京生物医学工程*, 2012, 31(5): 445-449.
- [12] 董双鹏, 王成焘, 齐宝芬, 等. 肱骨内植物材料选择及预紧力影响的参数化研究[J]. *中国骨及关节外科*, 2014, 7(1): 35-39.
- [13] 林峰, 姚天平, 王成焘, 等. 肱骨外科颈接骨板断裂有限元建模和应力分析[J]. *中国医疗器械杂志*, 2013, 37(2): 84-87.
- [14] 吴泽海, 王永清, 董黎敏, 等. 异体骨接骨板联合不同螺钉治疗股骨干骨折有限元分析[J]. *实用骨科杂志*, 2014, 20(10): 910-913.
- [15] 张功林, 葛宝丰. 锁定钢板国外应用进展[J]. *中国骨伤*, 2009, 22(8): 643-645.