

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20211137

· 综述 ·

战伤救护止血带的特性和研究进展

聂少杰, 柏 骏, 王 亮, 邹思力, 曲乐丰*

海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院血管外科, 上海 200003

[摘要] 在近代以来的战争中, 血管创伤发生率逐渐升高, 在火线救治阶段利用止血带对四肢和交界区大出血止血成为挽救伤员生命的有效手段。现代战争的复杂环境对新型止血带提出了智能化、集成化、轻量化、微型化、重复使用、舒适度好、稳定性强、成本低等要求, 在此背景下, 本文对美军战术战伤救治指南推荐的止血带、俄军使用的止血带、我军常用止血带以及目前未正式纳入指南但对研发有启发意义的止血带进行综述, 总结现有止血带的优缺点, 为新型止血带的研制提供参考。

[关键词] 战创伤急救; 血管创伤; 止血带; 止血器具

[中图分类号] R 826.1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-1338(2023)04-0486-07

Characteristics and research progress of tourniquets for combat casualty care

NIE Shao-jie, BAI Jun, WANG Liang, ZOU Si-li, QU Le-feng*

Department of Vascular and Endovascular Surgery, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

[Abstract] The incidence of vascular trauma is increasing in modern warfare, and tourniquets have become the most effective adjuncts to save lives of the wounded by preventing extremity or junctional hemorrhage at the stage of first-line treatment. Due to the complex environment of modern war, tourniquets should be of intelligence, integration, lightweight, miniaturization, reuse, well patient tolerance, strong stability, and low-cost. This review summarizes the research progress on tourniquets, including those recommended by the tactical combat casualty care guidelines, used by the Armed Forces of the Russian Federation and the Chinese People's Liberation Army, and those currently not included in the guidelines but inspirational for research and development. We also list the advantages and disadvantages of those tourniquets, hoping to provide reference for the development of new tourniquets.

[Key words] first-aid of combat casualties; vascular trauma; tourniquets; hemostatic devices

[Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(4): 486-492]

打仗和流血相伴而生, 第一次世界大战血管战创伤发生率为 0.4%~1.3%, 第二次世界大战为 0.96%, 朝鲜和越南战争的数据为 2%~3%, 伊拉克战争为 4.8%~7.0%, 2006 年黎巴嫩战争为 7.6%^[1], 2011 年阿富汗和伊拉克战争血管战创伤发生率分别为 9.0% 和 12.5%^[2]。随着武器的改良, 从第二次世界大战开始, 爆炸伤在战斗伤亡人员中的占比(约 70%)逐渐超过枪伤^[3-4]。同时, 单兵防护装备(防护背心和凯夫拉头盔)的进步改变着战伤部位的分布, 经统计, 四肢大出血占 42.6%~51.9%, 颈部、腋窝、腹股沟等交界区出

血占 8.9%~22.2%^[3,5-6]。对四肢和交界区出血进行有效止血能挽救至少 1/4 伤员的生命^[7], 因此对止血理论、技术和器材的研究与创新工作逐渐受到各国军队的重视。

美军战术战伤救治(tactical combat casualty care, TCCC)指南最新版修订于 2021 年 12 月 15 日, 指南根据战术形势将战术战伤救护分为 3 个阶段: 火线救护(care under fire/threat)、战术区域救护(tactical field care)和战术后送救护(tactical evacuation care)^[8]。火线救护阶段强调使用 TCCC 委员会推荐的止血带对四肢大出血进行

[收稿日期] 2021-11-09 [接受日期] 2022-07-01

[基金项目] 海军后勤部技术产品研究项目(BHJ20C008)。Supported by Technical Product Research Program of PLA Naval Logistics Ministry (BHJ20C008)。

[作者简介] 聂少杰, 硕士生, 住院医师。E-mail: NSJ1873153291@outlook.com

*通信作者(Corresponding author)。Tel: 021-81886531, E-mail: qulefeng@smmu.edu.cn

止血,其他救护技术在战术区域救护和战术后送救护2个阶段开展^[9]。TCCC指南的科学性和有效性在伊拉克、阿富汗战场的实战中得到验证,受此影响,越来越多的人已能正确使用止血带,伤员存活率随之升高。

前苏联野战外科专家库普里亚诺夫在1933年建议航空医学救援中使用止血带,尤其针对四肢出血伤员。1941~1945年卫国战争期间,苏红军成立前线实验室,开展止血带及其使用方法的研究,其间设计的НИИСИ РККА止血带被视作美军战伤止血带(combat application tourniquet, CAT)的雏形,还编撰有多卷本指南《伟大的苏联医学经验》,为俄军战场伤员规范救治奠定了基础。2011年俄罗斯联邦卫生部发布政令,明确军事人员在大出血救治中,若手指按压无法有效止血,需要及时使用止血带^[10]。

我军结合现代战争爆炸伤增多的特点制定了明确的舱室爆炸伤救治技术要求,同样强调止血带的正确使用^[11]。止血带不仅应用于军方,还被急救、护理等领域纳入相关国际医疗指南^[12-13]。

本文主要论述的对象是在四肢或交界区大出血时使用的止血带。交界区止血带的名称尚存在争议,因此需要对命名问题进行解释,以帮助读者更好地理解。TCCC委员会将战伤救护止血器材分为四肢止血带(limb tourniquet)、交界区止血带(junctional tourniquet)、止血敷料(hemostatic dressing)和备选止血辅助材料(alternative hemostatic adjuncts)4大类^[8]。而根据我国国家药品监督管理局发布的《免于进行临床试验医疗器械目录汇总》,本文涉及的四肢止血带可归类为无源止血带(二级类别),交界区止血带可归类为无源止血器(二级类别),两者可统称为止血器具(一级类别)。在撰写本文时,搁置了命名方面的争议,继续沿用“四肢止血带”和“交界区止血带”的名称,希望读者加以鉴别。

1 美军TCCC委员会推荐的止血带

1.1 四肢大出血

1.1.1 CAT 该止血带由自粘束带(宽度约39 mm)、日字环、绞棒、收紧带、绞棒固定卡槽和时间记录带组成。束带为尼龙材质,内侧有软物填充,绞棒和日字环的材质为硬质塑料,与束带外侧的收紧带相连。在火线救护阶段,对威胁生命的四肢出血可使用CAT进行自救或互救,直接将其扎在军装外,

尽量靠近伤侧肢体近心端,此阶段不追求止血带的精准位置,采用“高而紧”策略。在战术区域救护和战术后送救护阶段,可在距伤口近心端5~10 cm的皮肤上扎1根CAT并松解前一阶段“高而紧”的止血带^[14],若四肢出血仍未止住,可紧挨其在近心端再扎1根以确保止血。止血带持续使用的最长时间为2~3 h,通常每小时松带1次,每次1~3 min。此救治策略适用于所有四肢止血带。CAT是目前应用范围最广的止血带^[15-16]。

1.1.2 特战部队战术止血带(special operation forces tactical tourniquet, SOFTT) 该止血带的止血原理与CAT相同,根据其结构分为SOFTT-H和SOFTT-W 2种。SOFTT-H由束带(宽度约25 mm)、带咬合齿日字环、绞棒、收紧带、三角环组成,SOFTT-W由束带(宽度约39 mm)、卡钩、绞棒、收紧带、三角环组成。2种SOFTT的束带为尼龙材质,其余部件均为金属材质,其中绞棒采用航天用铝合金削切而成,造价比CAT贵1/3,主要配发特种部队。该止血带使用三角环固定绞棒,操作起来比CAT的绞棒固定卡槽更便捷。SOFTT-W的卡钩设计代替了CAT和SOFTT-H的日字环卡扣,省去了将尼龙带穿过日字环的操作步骤。

1.1.3 军用急救止血带(emergency and military tourniquet, EMT) 该止血带由充气球囊、调压阀、自粘充气袖带(宽度约91 mm)、连接组件组成。EMT通过袖带充气加压止血。其袖带宽度大,且充气后受力均匀,局部压迫轻,充气压力容易控制,止血有效率较CAT高,更为安全、舒适,并发症风险低^[15,17]。但EMT易损坏,不如CAT耐用,目前主要提供给一线医护人员使用^[18]。

利用袖带加压止血具有很好的开发前景,动物实验发现,通过调节袖带宽度和袖带压力既能压闭血管止血又不至于引起肌肉骨骼并发症^[19-20]。目前已有根据人体血压变化自动调节充气压力的止血带应用于手术室^[21]。

1.2 交界部位出血 交界区特殊的解剖位置和结构增加了该部位的止血难度。2021版TCCC指南强调,如果交界区出血,请立即使用美国FDA批准的交界区止血带。没有止血带可用时再考虑止血敷料、止血药或其他止血器材^[8]。使用四肢止血带止血无效的,也可尝试使用交界区止血带在出血部位近心端的交界区进行止血。

1.2.1 止血卡钳 (combat ready clamp, CRoC[®]) 止血卡钳由 C 形钢制支架、塑胶压迫器、T 形螺纹可调杆、固定带组成。使用时可以将压迫器固定在腋窝或腹股沟,然后将 T 形螺纹可调杆拧紧,达到加压止血的目的。CRoC[®] 的优点是操作简单,舒适度较好,在几种交界区止血带中止血速度最快;缺点是拼装难度大,组装时间较长^[22-23]。CRoC[®] 止血持续时间建议不超过 2 h。

1.2.2 交界区急救止血带 (junctional emergency treatment tool, JETT) 该止血带由尼龙腰带、2 个带有压力垫的 T 形可调节手柄组成。该止血带仅在腹股沟区域应用,优点是操作便捷,缺点是 T 形可调节手柄耐用度较差,旋转不当会导致止血效果不佳或设备损坏,对操作者熟练度要求较高。止血持续时间建议不超过 4 h。

1.2.3 SAM 交界区止血带 (SAM junctional tourniquet, SJT) 该止血带由腰带、充气球囊、调压阀、压力垫、压力垫拓展器和辅助系带组成。尽管供应商在说明书中指出该止血带的充气球囊和调压阀采用可拆装结构,配合压力垫对颈部、腋窝等不同出血位置进行压迫,但证据仍不足,目前仅应用于腹股沟区域^[24]。SJT 的止血效果与其他交界区止血带相近^[22],可在止血的同时固定前后压缩型骨盆骨折。止血持续时间建议不超过 4 h。

1.2.4 腹部大动脉交界区止血带 (abdominal aortic junction tourniquet, AAJT) 该止血带由可粘束带、塑料背板、绞棒、充气球囊、调压阀、压力垫组成,使用时将其稳定在腹部、腹股沟或腋窝位置。使用充气球囊充气,有针对性地压迫腹主动脉、髂动脉或腋动脉,建议腹主动脉的止血持续时间不超过 1 h,腹股沟或腋窝压迫不超过 4 h。该止血带止血效率与美国 TCCC 委员会推荐的上述 3 款交界区止血带无明显差异,于 2013 年获得美国 FDA 批准,但在使用过程中产生的疼痛感较强^[24]。

2 俄军使用的止血带

2.1 НИИСИ РККА 止血带 该止血带由前苏联红军研制,曾在卫国战争中应用,由束带、带扣、绞棒、收紧带、绞棒固定环组成。其结构与 CAT 十分相似,故苏联人视其为 CAT 的前身,目前该型止血带已很少见^[25]。

2.2 布质止血带 (Матерчатый жгут) 该止血带

由 1 条宽纱布组成,使用时将其缠绕肢体后绑紧,在卫国战争期间应用广泛,但纱布摩擦力大,松紧度不易控制,极易造成远端肢体静脉充血,已逐渐被其他止血带替代^[25]。

2.3 艾斯玛奇橡胶止血带 (жгутом Эсмарха трубчатой формы) 该止血带由 1 根橡胶带 (宽度约 25 mm) 组成,橡胶带头端预留 3 个洞,尾端预制 3 处凸起。使用时将其缠绕肢体,固定原理是橡胶带头尾预留的洞和凸起以榫卯结构嵌合。该止血带成本低,比布质止血带摩擦力小,可以更紧地缠绕,也更牢固。但是使用时需与皮肤之间加垫敷料,避免挤压伤。此外,橡胶带存在易断裂的缺点,且在潮湿环境下摩擦力减小,止血能力下降。该止血带在第 1 次和第 2 次车臣战争中开始应用,目前仍配备在俄军军用急救和护理包中^[25]。

2.4 阿尔法止血带 (АЛЬФА) 该型止血带为艾斯玛奇橡胶止血带的改良版,由波纹橡胶 (宽度 27~30 mm) 和固定绳或 S 型固定环组成。使用时将波纹橡胶缠绕肢体后以固定绳或 S 型固定环固定。该止血带的优点是成本低,波纹橡胶的凹槽设计也降低了挤压伤的风险,可直接在裸露的皮肤上使用。该止血带比艾斯玛奇橡胶止血带更坚韧,对温度变化和潮湿环境的适应性也更强^[25],是目前应用的热点产品。

2.5 ТКБ-1 止血带 ТКБ-1 止血带由白俄罗斯医科大学军事医学系与白俄罗斯共和国设计局于 2016 年研发 (白俄罗斯共和国第 11371 号实用新型专利,俄罗斯联邦第 177273 号实用新型专利,医疗器械注册号 Mn.-7.116699/7.005-1706)。其止血原理与 CAT 相同。该止血带由束带 (宽度约 40 mm)、登山扣、绞棒、收紧带、绞棒固定卡槽、时间记录带、基板、限制环、背带扣、防滑锁组成。束带使用特殊尼龙材质,可在高湿、高低温变化、日晒、污染等环境中保持一定的强度和摩擦力;绞棒使用硬铝合金,强度高、重量低;登山扣为自锁式,可初步无声地收紧束带;在收紧带旁创新地添加限制环,避免过度收紧,同时避免收紧带收紧过程对皮肤的挤压;参照卡宾枪原理设计的背带扣,平时处于关闭状态,打开后可拉出预折叠的束带,用在周径较粗的肢体。通过实验对比,ТКБ-1 止血带的止血时间与 CAT 及 SOFTT 相近,但在着冬装或能见度较低时,ТКБ-1 止血带的止血效率明显优于后两

者^[26],造成的痛感低^[27]。

2.6 ЖК-02止血带 ЖК-02止血带的止血原理与CAT相似。该止血带由自粘束带(宽度约40 mm)、口字环、加压棒、收紧带、基座和自动时间记录器组成。ЖК-02止血带结合了杠杆和齿轮原理,将CAT的水平旋压式结构改为垂直压杆式结构,减少了收紧带长度,操作更省力。自动时间记录器与收紧带相连,可自动记录加压时间。

3 我军使用的止血带

我军目前只配发四肢止血带,暂无交界区止血带,运用最广的仍是卡式止血带、橡胶管止血带和三角巾^[28]。

3.1 卡式止血带 该止血带由卡扣连接装置和松紧带(宽度约25 mm)组成。使用时将松紧带缠绕肢体并拉紧,将卡扣插入卡口进行固定。操作时间短于旋压止血带,舒适度也更好。但松紧带能提供的压力有限,使得止血成功率有所下降^[17,29]。此外,该止血带的卡扣为塑料材质,松紧带为橡胶材质,均易老化。

3.2 橡胶管止血带 该止血带由一根橡胶带(宽度约20 mm)组成,与俄军艾斯玛奇橡胶止血带相似。使用时将其缠绕肢体后固定,止血效果尚可。但其易对皮肤产生挤压,舒适度较差。

3.3 旋压止血带 该止血带结构及用法与CAT相同。美军将CAT配戴于作训服右肩,我军将旋压止血带配备于单兵急救包。

3.4 “17”式编织内腰带 该止血带由腰带(宽度约32 mm)和腰带扣组成。若无其他止血器材,可将该腰带作为止血带。使用时固定腰带一端,另一端缠绕肢体数周后插入腰带扣并拉紧。腰带由帆布和尼龙材料制成,腰带扣材质为高密度合金,经久耐用,但尚未见到其实际止血效果的研究报道。

3.5 三角巾 三角巾为一块等腰三角形形状的棉布,与俄军布质止血带相似。若无其他止血器材,可作为止血带应急使用。

4 未正式纳入指南的止血带

4.1 四肢止血带

4.1.1 战术机械止血带(tactical mechanical tourniquet, TMT) 该止血带由自粘束带(宽度约110 mm)、卡钩、绞棒、塑料背板、绞棒固定卡槽、收紧带

构成。该止血带在SOFTT-W基础上进行了改进。它采用卡钩结构,节约了操作时间,绞棒固定卡槽设计增加了稳定性。此外,TMT的束带和绞棒锁紧槽都比CAT和SOFTT-W宽,可更均匀地分布压力,减轻不适感^[30]。

4.1.2 机械优势止血带(mechanical advantage tourniquet, MAT) 该止血带由束带、卡钩、日字环、旋压器构成。该止血带在CAT基础上进行了改进。它采用与TMT相似的卡钩结构,同时将收紧带和旋扭组合为旋压器,旋压过程比CAT更省力^[31]。

4.1.3 速停止止血带(rapid stop tourniquet, RST) 该止血带由束带、卡钩、日字环、加压滑轨构成。利用杠杆和齿轮原理进行单向阶梯式加压,上提加压杆后可迅速释压,操作更加省时、省力。

4.1.4 战术充气止血带(tactical pneumatic tourniquet, TPT) 该止血带由充气球囊、释压阀、自粘充气袖带构成,同EMT一样,利用袖带压迫止血。其在大腿中部使用时表现出较好的止血性能^[30]。它比TMT宽,伤员舒适度更好,折叠后携带方便。

4.1.5 单手止血带(one-handed tourniquet, OHT) 该止血带由弹性束带和D环组成,适用于上臂止血,使用方式与我军卡式止血带和“17”式编织内腰带相似。

4.1.6 帕拉腰带(parabelt) 该腰带由尼龙束带(宽度约43 mm)、棘轮装置、固定环组成。战时直接作为皮带使用,应急状态可作止血带。使用时将束带绕过肢体后穿过棘轮装置,可单向拉紧。该腰带结构简单,易于携带和使用,已在美国FDA注册,尚未列装部队^[32]。

4.1.7 以色列硅胶止血带(Israeli silicone tourniquet, IST) 该止血带为1根硅胶止血带。20世纪80年代,IST在以色列国防军列装,通过将硅胶止血带一圈圈缠绕加压达到止血目的。目前逐渐被CAT取代,但其在大腿中部应用的止血效果优于CAT(91% vs 73%, $P=0.007$)^[33]。

4.1.8 拉伸、包裹和折叠止血带(stretch, wrap, and tuck tourniquet, SWAT-T™) 该止血带与IST结构和原理相同,属于弹性型止血带,宽度更大(约63.5 mm),舒适度更好。

4.1.9 SAM肢体止血带(SAM extremity tourniquet, SAM-XT) 该止血带由防滑束带、锁定表扣、绞棒、收紧带、绞棒固定卡槽和时间记录带组成。其主要创新点是利用榫卯结构固定束带和锁定表

扣,有效防止束带滑脱。SAM-XT止血有效率与CAT相近^[34]。

4.2 交界区止血带 阿多尼斯交界区止血带(Adonis junctional tourniquet, JTQ)由3条固定带、带有压力垫的T型可调节手柄组成。阿多尼斯是一位死于腹股沟损伤的希腊神话人物的名字。该止血带通过调节3条束带的长短灵活应用于腹股沟、腋窝和颈部等交界区,稳定性好。JTQ对神经肌肉组织及腹股沟区域腹腔脏器损伤小。同时,其重量轻,携带和操作方便,成本仅为目前列装交界区止血带的1/3^[35]。

5 止血带的研发方向

检验止血带有效性的指标是止血效率,具体体现在止血带的操作难度、止血成功率、伤员舒适度和并发症发生率等方面。综上所述,为止血带的改良提出以下几点建议。

5.1 智能化 目前止血效率较高、伤员舒适度最好、并发症发生率最低的是袖带充气加压止血带,其主要缺点是易损坏,可重复利用率低,且袖带压力对非医学专业人员而言不易把握,故未在火线配发。在研发过程中若能融入智能元素,使其“一键式”自动加压,加压过程中通过超声或触觉传感器自动识别动脉压闭程度,便能在止血的同时保证远心端的血供、自动计算止血时间并及时松解^[36],以此为军医腾出时间抢救其他伤员。

智能化设计给人以充足的想象空间,未来可将充气式止血装置预组装于作训服或防护装具的颈部、腋窝、腹股沟等交界区,作战时不影响战士完成战术动作,发生四肢大出血时,可触发开关,在出血点上游交界区进行“高而紧”止血,发生交界区出血时,可实现对出血区域的有效压迫。还有报道提到可在新型止血带上加装伤员身份识别系统和北斗定位系统^[37],智能元素的组合将使止血带在现代战争中发挥更大作用。

5.2 集成化 “它山之石可以攻玉”,材料学的进步加速了止血敷料的研发,以往的止血粉已更新为止血海绵和止血凝胶,在小血管出血时应用止血效果显著,但在大血管出血时效果不佳,未来可尝试对止血带和止血敷料进行有机联合,尤其研发应用于交界区出血的集成化止血器材意义重大。

5.3 轻量化 目前止血器具的重量主要来源于各

金属部件,若能研发刚性和韧性最佳化的硬质塑料代替硬铝合金等结构,则有望进一步降低止血带的重量和体积。

5.4 微型化^[38] 研发各部件的新型原材料,在实现止血功能的基础上尽可能压缩体积;此外,可通过添加类似TKB-1止血带背带扣的附件,将束带预折叠,以此减小止血带储存体积。

5.5 重复使用 尼龙材质成本低、耐磨、抵御不良环境能力强,可重复使用多次,可继续沿用。另可研发耐受不良环境的硬质塑料,替换止血器具的金属部件,以此避免金属腐蚀的问题,延长止血带的服役时间。

5.6 舒适度好 目前止血带宽度多在40 mm左右,有研究表明,当宽度在120~180 mm时可以在更低的压力下更好地压闭动脉^[39-40]。同时,宽度的增加对伤员舒适度的提升和肌肉神经损伤等并发症的减少亦有帮助。因此可通过合理设计止血带宽度增加舒适度。

5.7 稳定性强 可进一步改进目前尼龙材质,使束带摩擦力更大、重量更轻,减少转运伤员过程中止血带与伤员衣物或肢体间的相对位移。也可添加束带和带扣之间的防滑脱装置,预防束带滑脱,增加稳定性。

5.8 低成本 使用尼龙、硬质塑料、硅胶新型材料,与应用于航天的硬铝合金相比可降低生产成本。同时,日字环和重叠金属环固定系统已被证实具有最好的拉力-压力转换效能^[41],采用这种结构也可节约止血带操作过程的体力成本。

6 小结

血管战创伤是造成战斗人员伤亡的重要伤情,而战创伤救护止血带的应用挽救了大批伤员的生命,包括我国、美国、俄罗斯等在内的很多国家在战争实践中形成了各自的战创伤救护止血带使用历史,也不断尝试将战创伤救护止血带进行创新,以适应现代战争的复杂战斗环境要求。在此背景下,智能化、集成化、轻量化、微型化、重复使用、舒适度好、稳定性强、低成本的创新理念将可能为新型止血带的研制提供参考。

[参考文献]

[1] NITECKI S S, KARRAM T, OFER A, ENGEL A,

- HOFFMAN A. Vascular injuries in an urban combat setting: experience from the 2006 Lebanon war[J]. *Vascular*, 2010, 18: 1-8.
- [2] WHITE J M, STANNARD A, BURKHARDT G E, EASTRIDGE B J, BLACKBOURNE L H, RASMUSSEN T E. The epidemiology of vascular injury in the wars in Iraq and Afghanistan[J]. *Ann Surg*, 2011, 253: 1184-1189.
- [3] BELMONT P J Jr, GOODMAN G P, ZACCHILLI M, POSNER M, EVANS C, OWENS B D. Incidence and epidemiology of combat injuries sustained during “the surge” portion of Operation Iraqi Freedom by a U.S. Army brigade combat team[J]. *J Trauma*, 2010, 68: 204-210.
- [4] SHARROCK A E, TAI N, PERKINS Z, WHITE J M, REMICK K N, RICKARD R F, et al. Management and outcome of 597 wartime penetrating lower extremity arterial injuries from an international military cohort[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70: 224-232.
- [5] SINGLETON J A, GIBB I E, HUNT N C, BULL A M, CLASPER J C. Identifying future ‘unexpected’ survivors: a retrospective cohort study of fatal injury patterns in victims of improvised explosive devices[J/OL]. *BMJ Open*, 2013, 3: e003130. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-003130.
- [6] BELMONT P J Jr, MCCRISKIN B J, SIEG R N, BURKS R, SCHOENFELD A J. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73: 3-12.
- [7] EASTRIDGE B J, HOLCOMB J B, SHACKELFORD S. Outcomes of traumatic hemorrhagic shock and the epidemiology of preventable death from injury[J]. *Transfusion*, 2019, 59(S2): 1423-1428.
- [8] COTCCC. Tactical Combat Casualty Care (TCCC) guidelines for medical personnel[EB/OL]. (2021-12-15) [2022-04-25] <https://learning-media.allogy.com/api/v1/pdf/1045f287-baa4-4990-8951-de517a262ee2/contents?download=true>.
- [9] KRAGH J F Jr, DUBICK M A. Battlefield tourniquets: lessons learned in moving current care toward best care in an army medical department at war[J]. *US Army Med Dep J*, 2016(2-16): 29-36.
- [10] БОЯРИНЦЕВ В.В., САМОЙЛОВ А.С., НАЗАРОВ В.Б., КОВАЛЕНКО Р.А., ЛЕБЕДЕВ А.О., СЕРЕДА А.П. История и современное состояние проблемы остановки наружных массивных кровотечений в России и за рубежом[J]. *Московский Хирургический Журнал*, 2011, 4: 51-57.
- [11] 第三军医大学野战外科研究所. 舱室爆炸伤救治规范[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34: 673-679.
- [12] CANNON J W. Hemorrhagic shock[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378: 370-379.
- [13] SINGLETARY E M, ZIDEMAN D A, BENDALL J C, BERRY D A, BORRA V, CARLSON J N, et al. 2020 international consensus on first aid science with treatment recommendations[J]. *Resuscitation*, 2020, 156: A240-A282.
- [14] 王胥人, 夏德萌, 刘可心, 桂莉, 王毅欣. 旋压式止血带止血效能相关因素的研究[J]. *解放军护理杂志*, 2018, 35: 33-36.
- [15] PICARD C, DOUMA M J. A systematic review and meta-analysis of tourniquet devices for speed of application, successful hemostasis and patient tolerance[J/OL]. *CJEM*, 2018, 20(S1): S97. DOI: 10.1017/cem.2018.311.
- [16] TREAGER C, LOPACHIN T, MANDICHAK S, KINNEY B, BOHAN M, BOBOC M, et al. A comparison of efficacy, efficiency, and durability in novel tourniquet designs[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2021, 91(2S Suppl 2): S139-S145.
- [17] 郭俊艳, 皮红英, 王建荣. 军队医院 5 种止血带应用效果的实验研究[J]. *护理学杂志*, 2014, 29: 53-55.
- [18] TAYLOR D M, VATER G M, PARKER P J. An evaluation of two tourniquet systems for the control of prehospital lower limb hemorrhage[J]. *J Trauma*, 2011, 71: 591-595.
- [19] BEEKLEY A C, SEBESTA J A, BLACKBOURNE L H, HERBERT G S, KAUVAR D S, BAER D G, et al. Prehospital tourniquet use in Operation Iraqi Freedom: effect on hemorrhage control and outcomes[J]. *J Trauma*, 2008, 64(2 Suppl): S28-S37.
- [20] MAEDA H, IWASE H, KANDA A, MOROHASHI I, KANEKO K, MAEDA M, et al. A study of the blood flow restriction pressure of a tourniquet system to facilitate development of a system that can prevent musculoskeletal complications[J]. *Am J Disaster Med*, 2017, 12: 139-145.
- [21] SATO J, ISHII Y, NOGUCHI H, TAKEDA M. Safety and efficacy of a new tourniquet system[J/OL]. *BMC Surg*, 2012, 12: 17. DOI: 10.1186/1471-2482-12-17.
- [22] KRAGH J F, LUNATI M P, KHAROD C U, CUNNINGHAM C W, BAILEY J A, STOCKINGER Z T, et al. Assessment of groin application of junctional tourniquets in a manikin model[J]. *Prehosp Disaster Med*, 2016, 31: 358-363.
- [23] GASPARY M J, ZAROW G J, BARRY M J, WALCHAK A C, CONLEY S P, ROSZKO P J D. Comparison of three junctional tourniquets using a randomized trial design[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2019, 23: 187-194.
- [24] SMITH S, WHITE J, WANIS K N, BECKETT A, MCALISTER V C, HILSDEN R. The effectiveness of junctional tourniquets: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86: 532-539.
- [25] ГАЛИК Н.И., МАКСИМОВ И.Б., СТАРОКОНЬ П.М.,

- ДОЛГИХ Р.Н. Местный гемоста—эволюция методов и взглядов[C]. Материалы XVI съезда хирургов Республики Беларусь и Республиканской научно-практической конференции «Хирургия Беларуси на современном этапе» Гродно, 2018.
- [26] САВЧАНЧИК С.А., СТРИНКЕВИЧ А.Л., БОГДАН В.Г. Особенности применения турникетов для временной остановки наружного кровотечения в условиях ограниченной видимости и при ношении зимней формы одежды[J]. Военная Медицина, 2019, 2: 18-24.
- [27] САВЧАНЧИК С.А., СТРИНКЕВИЧ А.Л., БОГДАН В.Г., ЩЕМЕЛЕВА А.А., ДЖИГИРИС Г.В., КАРАЖАН Р.А. Сравнительная характеристика эффективности кровоостанавливающих турникетов[J]. Новые Технологии В Медицине, 2017, 13: 93-98.
- [28] 王军梅,江珉,王玲玲.美军止血带的使用优化[J].西南国防医药,2019,29:890-892.
- [29] 吕文亮,张荷焕,赵先花,张莹,刘杰.卡式止血带与旋压式止血带对人体四肢止血效果比较研究[J].临床军医杂志,2021,49:584-585.
- [30] BEAVEN A, BRIARD R, BALLARD M, PARKER P. Two new effective tourniquets for potential use in the military environment: a serving soldier study[J/OL]. Mil Med, 2017, 182: e1929-e1932. DOI: 10.7205/MILMED-D-16-00298.
- [31] BASHTALY A E, KHALIL E, MÉTHOT F, LEDOUX-HUTCHINSON L, FRANC J M, HOMIER V. Tourniquet application by schoolchildren—a randomized crossover study of three commercially available models[J]. J Trauma Acute Care Surg, 2021, 90: 666-672.
- [32] BEQUETTE B W, KRAGH J F, ADEN J K, DUBICK M A. Belts evaluated as limb tourniquets: belt study comparing trouser supporters used as medical devices in a manikin model of wound bleeding[J]. Wilderness Environ Med, 2017, 28: 84-93.
- [33] GLICK C P T Y, FURER M A J A, GLASSBERG C O L E, SHARON R, ANKORY M A J R. Comparison of two tourniquets on a mid-thigh model: the Israeli silicone stretch and wrap tourniquet vs. the combat application tourniquet[J]. Mil Med, 2018, 183(suppl_1): 157-161.
- [34] KATSNELSON S, OPPENHEIMER J, GERRASI R, FURER A, WAGNERT-AVRAHAM L, EISENKRAFT A, et al. Assessing the current generation of tourniquets[J/OL]. Mil Med, 2020, 185: e377-e382. DOI: 10.1093/milmed/usz392.
- [35] NACHMAN D, DULCE D, WAGNERT-AVRAHAM L, GAVISH L, MARK N, GERRASI R, et al. Assessment of the efficacy and safety of a novel, low-cost, junctional tourniquet in a porcine model of hemorrhagic shock[J]. Mil Med, 2020, 185(Suppl 1): 96-102.
- [36] KING R B, FILIPS D, BLITZ S, LOGSETTY S. Evaluation of possible tourniquet systems for use in the Canadian Forces[J]. J Trauma, 2006, 60: 1061-1071.
- [37] 刘辉,郑大伟,刘世政,陈彪,解苏华,燕颖军.战伤自救互救能力建设探讨[J].白求恩医学杂志,2018,16: 88-90.
- [38] ZHANG Z Y, ZHANG H Y, TALMY T, GUO Y, ZHOU S R, ZHANG L Y, et al. Management of non-compressible torso hemorrhage: an update[J]. Chin J Traumatol, 2021, 24: 125-131.
- [39] YOUNGER A S, MCEWEN J A, INKPEN K. Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet pressures[J]. Clin Orthop Relat Res, 2004: 286-293.
- [40] WEATHERHOLT A M, VANWYE W R, LOHMANN J, OWENS J G. The effect of cuff width for determining limb occlusion pressure: a comparison of blood flow restriction devices[J]. Int J Exerc Sci, 2019, 12: 136-143.
- [41] VALLIERE M J, WALL P L, BUISING C M. From pull to pressure: effects of tourniquet buckles and straps[J]. J Am Coll Surg, 2018, 227: 332-345.

[本文编辑] 魏莎莎