

综 述

主动脉阻断技术在控制不可压缩躯干出血方面的应用进展

卢 畅综述, 黄禾菁, 孙吕平审校

【摘要】 美军十年海外战争的战伤救治经验证实控制出血对降低战伤死亡率的意义至关重要。躯干和躯干交界处出血的止血比四肢出血的止血过程复杂, 四肢止血带的应用对降低战伤死亡率具有很好的效果, 但躯干和躯干交界处出血常规方法难以奏效。近年来发展的主动脉阻断技术通过阻断主动脉通路控制远心端不可压缩躯干的出血, 其应用在动物实验和小范围临床研究方面获得了成功。文章就主动脉阻断技术和各技术的应用特点进行综述。

【关键词】 主动脉阻断; 外部主动脉压迫; 腹主动脉连接止血带; 胃食管复苏性主动脉闭塞; 腹膜内止血装置; 复苏性血管内主动脉球囊闭塞

【中图分类号】 R6 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-271X(2023)02-0177-06

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2023.02.014

Progress in the application of aortic clamping techniques in the control of NCTH

LU Chang¹ reviewing, HUANG Hejing¹, SUN Lüping² checking

(1. Department of Ultrasound, 2. Department of Medical Service, Changzheng Hospital Affiliated to Naval Medical University, Shanghai 200003, China)

【Abstract】 The U. S. military's 10 years of combat wound care experience in foreign wars confirms that bleeding control is critical to reducing the significance of combat wound mortality. The hemostatic process of bleeding at the junction of torso and torso is more complicated than that of bleeding at the extremities. The application of tourniquet at the extremities has a good effect on decreasing the mortality of combat injuries, but the conventional method of bleeding at the junction of torso and torso is not effective. In recent years, the aortic occlusion technique has been developed to control Non-compressible truncal hemorrhage by blocking the aortic access, and its application has been successful in animal experiments and small-scale clinical studies. This study reviews the techniques of aortic occlusion and their application characteristics, so as to guide clinical decision makers to correctly understand and choose aortic occlusion techniques.

【Key words】 occlusion of the aorta; external aortic compression; abdominal aortic and junctional tourniquet; gastroesophageal resuscitative occlusion of the aorta; intra-peritoneal hemostasis device; resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta

0 引 言

随着现代战争中大规模杀伤武器的使用, 战场环境更加复杂恶劣。美军伊拉克战争期间战伤

院前死亡率高达 87.3%, 其中 75.7% 的伤员被认为不可能存活, 对可能存活伤员的院前实施紧急救治成为降低战伤死亡率的关键, 而 90.9% 的可能存活伤员与出血相关^[1]。由于止血带在控制四肢出血方面的应用取得了巨大成功, 院前控制出血研究的重点发生了变化, 致死性不可压缩躯干的出血 (non-compressible truncal hemorrhage, NCTH) 俨然成为

作者单位: 200003 上海, 海军军医大学 (原第二军医大学) 长征医院
超声科 (卢 畅、黄禾菁), 医务处 (孙吕平)

通信作者: 黄禾菁, E-mail: huanghejinga@163.com

战场出血死亡的首要原因^[2]。然而,无论是在严酷的战场环境还是平民院前急救医疗服务环境中,治疗致死性 NCTH 的能力都是有限的。开放手术治疗虽然是重要的止血手段,但迫于致伤环境下有限的救治条件,实施形式异常严峻^[3]。机械性阻断主动脉搏血流对阻断点远端具有确切的止血效果,因此,机械性出血控制在应对 NCTH 方面继续受到关注。本文就主动脉搏阻断技术和各技术的应用特点作一综述,以期指导临床决策者正确认识和选用主动脉搏阻断技术。

1 概 述

常见的主动脉搏阻断技术包括外部主动脉搏压迫 (external aortic compression, EAC)、腹主动脉搏连接止血带 (abdominal aortic and junctional tourniquet, AAJT)、胃食管复苏性主动脉搏闭塞 (gastroesophageal resuscitative occlusion of the aorta, GROA) 和腹膜内止血装置 (intra-peritoneal hemostasis device, IPHD) 以及复苏性血管内主动脉搏球囊闭塞 (resuscitative endovascular balloonocclusion of the aorta, REBOA)。闭塞主动脉搏的不同位置将产生不同的止血效果。REBOA 技术将主动脉搏为 3 个主要区域:1 区 (从左锁骨下动脉起点到腹腔干起点,长约 20 cm)、2 区 (从腹腔干起点到右肾动脉起点,长约 3 cm) 和 3 区 (从右肾动脉起点到腹主动脉搏分叉处,长约 10 cm)^[4]。现有研究对其他主动脉搏阻断技术作用于主动脉搏的位置分区借鉴 REBOA。

2 常见的主动脉搏阻断技术

2.1 EAC

2.1.1 操作方法和止血原理 实施 EAC 无需特定装备,施救者徒手可完成操作。技术实施时,施救者于患者右侧,将左拳紧握放在患者脐部的上方偏左侧,右手手掌覆盖左拳,伸展肘部,调整合适的姿势,双手协力垂直向下对患者腹部施加最大压力。借助腹壁、腹主动脉搏与脊柱三者间的解剖关系,压力经腹壁、腹腔内容物传导至腹主动脉搏,受压的腹主动脉搏贴向后方脊柱直至管腔完全闭塞。施救者也可使用单侧膝关节代替双手进行压迫^[5]。

2.1.2 应用进展 早在 1983 年,Badowski 等就报道了使用双手从外部按压主动脉搏控制出血的方法^[6],随后该技术被用于控制产后出血^[7-8],而后 Espiner 和 Mattox 建议将该技术用于控制 NCTH^[9],

当前将 ECA 作为腹部创伤者接受最终治疗前的维持手段被广泛讨论^[9]。2014 年,Douma 等^[9]率先报道了使用 EAC 抢救 1 名因枪伤致腹腔大出血的患者的案例,EAC 技术才在真正意义上用于临床实践。对健康志愿者使用 EAC 的模拟实验认为^[6]: EAC 具有①实施速度快,完成操作平均只需要 12.5s;②非侵入性,减少医源性伤害。可能更安全;③免费,无需使用设备;④操作简单,易于示教且立即可用的特点。此外,借助超声的可视化特点,EAC 还可做到精准压迫主动脉搏并实时监测压迫效果。然而,施救者体重、患者营养状态和转运过程等因素均可能影响 EAC 的作用效果。Douma 等^[10]的模拟研究认为施救者双手以可维持平均 55% 自身体重的压力,这一比例在短时期的压力维持方面最大可达 69%,体重较轻的施救者实施徒手主动脉搏压迫具有显著劣势。所幸的是,使用单侧膝关节代替双手进行可持续的压迫,比例可延伸至 80%。Douma 等^[11]的模拟研究认为 EAC 在患者转移过程中实施中断,随后的救护车后送过程使用 EAC 无法提供止血所需的稳定、持续有效的压力,认为 ECA 不适用于转运过程中的施救。徒手压迫的缺点仍比较显著,一方面为提供持续有效的压迫,1 名救援人员将被完全占用且不能进行其它的所有任务;另一方面徒手压力不均,施救者将不可避免地会产生疲倦,降低压迫效果^[9-11]。尽管如此,EAC 技术仍然是具有广泛培训和应用价值的动脉阻断技术之一,但在转运过程中必须联合使用其它止血方式弥补其不足^[11]。

2.2 AAJT

2.2.1 操作方法和止血原理 AAJT 是一种气动止血带,配有束带、充气气囊和手动泵。技术实施时:将充气气囊准确放置于待压迫位置并收紧束带,使用手动泵向气囊充气至所需压力为止。AAJT 止血依据的解剖结构和止血原理同 EAC^[5]。

2.2.2 应用进展 最初连接止血带的应用并不是为了弥补 ECA 的不足,即便其较 ECA 拥有更稳定和持续的压迫效果。战争的需求加速了应对腹腔 NCTH 的研究进程,人们尝试将止血带应用于腹部创伤的止血过程^[12]。2012 年,Lyon 等^[13]进行模拟实验,验证了 AAJT 在阻断模拟伤员腹主动脉搏血流方面的有效性。随后的 1 年,Anonymous 和 Croushorn 分别应用 AAJT 成功抢救 1 名双下肢外伤性截肢术中严重出血的患者和 1 名腋窝枪伤引起的交界处出血的患者,AAJT 才被实际应用于躯干交界

处的止血^[14-15]。目前尚未有研究将 AAJT 实际用于闭塞主动脉 3 区以控制盆腔出血的报道。对健康受试者使用 AAJT 的模拟实验认为:AAJT 具有①操作简单,实施速度快,可由单个操作者在不到 1 min 的时间内完成;②不持续占用救治力量^[13];③可在长达 60 min 的时间内稳定维持主动脉闭塞状态;④可在转运后送过程中使用等优势^[6]。在腹部应用 AAJT 的平均有效性为 52%^[12],但使用过程中的受试者均出现约 5~7 级(10 分法)的疼痛^[12]。对动物模型使用 AAJT 的研究表明:安全使用时间方面:AAJT 使用超过 1 h,实验动物结、直肠坏死和神经变性率显著增加^[16],也有学者推荐将使用时间延长至 4 h,虽能有效止血,但未对长期观察效果和脏器损伤进行评估^[17];并发症发生情况方面:机械性压迫腹腔未导致明确腔静脉损伤、肠损伤或肺功能障碍等不良后果^[18-19],仅 Do 等^[20]的研究认为 50% 的 AAJT 受试者的尸体解剖显示肠道或膀胱损伤,其研究目的是将 AAJT 同 PPB 进行对比;对血流动力学的影响方面:腹部使用 AAJT 会导致严重的血流动力学和代谢影响^[18],装备移除后实验动物可能出现心脏骤停,需要血管加压药支持^[21]。在实际临床应用方面,1 则针对院前创伤性心脏骤停患者应用 AAJT 失败的原因分析认为:救援时间长、AAJT 操作时间长、AAJT 装备与患者体型不切合和装备故障等问题均可能导致其应用失败^[22]。此外,AAJT 的实施需要特定的装备且装置相对复杂,未经培训的人员难以使用 AAJT 完成有效的止血目标^[6],若应用不当,AAJT 也有可能增加出血^[4]。因此,有研究推荐将 AAJT 作为主动脉 3 区及以下部位出血和创伤性心脏骤停患者的院前桥接装置^[23],但绝对禁忌用于妊娠和腹主动脉瘤患者,相对禁忌用于腹部穿透伤^[5]。AAJT 是众多连接止血带的一种类型,已获得美国 FDA 认证批准用于控制 NCTH^[23]。获 FDA 认证的连接止血带还包括 SAM 连接止血带(SAM junctional tourniquet, SJT)、交界紧急处理工具(junctional emergency treatment tool, JETT)和战斗准备钳(combata ready clamp, CRoC)^[12]。然而根据现有报道,仅 AAJT 被报道用于阻断主动脉 3 区控制动脉远端出血^[23],SJT、JETT 和 CRoC 均被报道用于控制腹股沟或腋窝处出血控制^[12],但是否可用于阻断主动脉以控制远端出血尚需进一步证实。连接止血带的止血原理同 EAC,在盆部和腹股沟处使用连接止血带时受压动脉后方的骨性结构提供后支撑。

2.3 GROA

2.3.1 操作方法和止血原理 构成 GROA 装备的主要部件包括 1 个带有椭圆形气囊的三腔胃-食管管、1 个空气泵/压力计组件和 1 个可调节的外部压缩系统。GROA 对主动脉的压迫利用了胸椎体、胃和腹主动脉的解剖关系。其简要操作步骤为:①将胃管放置在 GROA 装置的中央管腔;②胃管引导三腔胃-食管气囊以口胃的方式进入胃内;③挤压空气泵气囊向椭圆形气囊内充入足量气体;④激活外部压缩系统协助气囊对高 2 区主动脉进一步实施压迫直至闭塞^[4]。

2.3.2 应用进展 GROA 是较为新颖的侵入性主动脉闭塞技术,Tiba 等^[24]于 2020 年提出该装置并使用动物模型研究用于控制 NCTH,证实了使用 GROA 的实验动物在血流动力学效应和生理耐受性方面与 REBOA 具有相似的特点。随后,McCracken 等^[25]在致命性肝撕裂伤动物模型中对比使用 GROA 和 REBOA,结果表明 GROA 和 REBOA 在控制出血的效果、延长生存期和提高存活率方面的作用相似。Tiba 等^[26]对致死性肝撕裂伤动物模型的进一步研究证实了在创伤发生时优先使用展开速度更快的 GROA 进行主动脉压迫止血,而后转换为高级别的 REBOA 继续主动脉压迫的可行性,推荐将 GROA 作为确定性止血手术的桥梁应用于控制 NCTH。总的来说,GROA 具有①侵入性较小,不需要任何手术干预或成像;②展开速度较快,2 min 内即可完成操作;③可用于高 2 区主动脉闭塞,对减少肝血流量有一定作用;④转运、后送过程可用等优势^[4]。然而,GROA 的展开需要特定装备、操作者需接受专业培训,GROA 设备在手术期间需要放气,从而限制了其在手术和持续出血期间的使用。关于 GROA 充气后是否存在胃-食管损伤和呼吸抑制,目前的动物实验表明 GROA 暂没有引起任何急性灾难性胃食管损伤和呼吸抑制^[25],不影响通气或氧合参数^[4]。推荐 GROA 作为术前紧急止血措施,术中需从 GROA 向 REBOA 过渡^[26]。

2.4 IPHD

2.4.1 操作方法和止血原理 IPHD 装备的主要部件包括 1 个连接有气泵/压力表组件的半顺应球囊和 1 个可装载球囊的穿刺器。使用时需提前将球囊装载至穿刺器内,携带球囊的穿刺器经皮穿刺进入腹腔后释放球囊,按压气泵以充分膨胀球囊,根据需要可选择性于腹壁外压迫球囊进一步闭塞主动脉^[27]。IPHD 可通过置换腹腔容量减少出血、

直接向出血表面施加压力压迫止血和选择性于腹壁外压迫球囊进闭塞主动脉止血。

2.4.2 应用进展 受 ResQFoam 技术的启发, McCracken 等^[27]于 2019 年提出 IPHD。ResQFoam 是一种自膨胀聚氨酯泡沫,腹腔注射前呈液态,注射后可迅速膨胀为自身体积的约 35 倍并转变为符合内脏解剖结构的固态泡沫,固态泡沫可对腹腔产生的局部堵塞效应以降低腹部 NCTH 的发生率并延目标长生存期^[28]。ResQFoam 泡沫虽不粘附组织且于剖腹手术时可以轻松移除,但泡沫自膨胀期间的热效应可能导致腹膜和肠管损伤;ResQFoam 注射后对腹腔内的压力效果不可调节,过少的注射剂量可能导致不充分的止血,过多的注射剂量可能引起腹腔间隔室综合征;即便在放射介入技术已控制出血的情况下,仍需开腹手术去除该泡沫^[27]。同 ResQFoam 相比,IPHD 可通过调节球囊充气量控制腹腔容量的置换量、对腹膜和肠管不产生热损伤和停用 IPHD 无需开腹手术移除。此外,于腹壁外压迫 IPHD 球囊可产生同 GROA 相似的主动脉高 II 区阻断效果^[4]。动物实验表明:IPHD 操作的平均所需时间约 102 s,能够通过暂时稳定腹部致命的 NCTH 来延长生存期。使用期间超声波流量测量结果表明,IPHD 能够在不阻塞肝动脉血流的情况下闭塞主动脉。与 GROA 类似,IPHD 需要在手术时停用并移除,因此推荐 IPHD 在院前环境作为通往更先进治疗途径的桥梁控制腹部 NCTH^[27]。

2.5 REBOA

2.5.1 操作方法和止血原理 REBOA 是一种血管内阻断主动脉血流的技术,通过在动脉内特定位置放置扩张的球囊,阻塞远端动脉血流以达到控制动脉远端的目的。其主要组成部件包括导丝、初始鞘管、带有球囊的鞘管和注射器^[29]。其中,导丝的直径一般为 0.035 英寸;初始鞘管用于扩张穿刺通道,直径较带有球囊的鞘管小;注射器容量通常为 30~60 mL,可预填充无菌生理盐水和碘化造影剂的混合溶液。REBOA 的简要实施过程为:①建立动脉通路;②球囊的选择和定位;③球囊充气;④球囊放气;⑤鞘管移除^[29]。

2.5.2 应用进展 最早的血管内主动脉球囊止血概念在 1950 年朝鲜战争期间就被描述,其后虽得到一定的发展,但血管内技术的相对落后阻碍了其进入主流临床实践^[30],直到近些年,随着导管材料和介入技术的快速发展,REBOA 被再次用于非压迫性躯干出血的研究^[31]。动物实验研究表明:

REBOA 在临时控制 NCTH 和提高实验动物平均动脉压方面具有积极作用,使用 REBOA 后平均收缩压增加了近 50 mmHg^[32],同开胸主动脉夹闭术相比,对实验动物造成的生理紊乱更少^[33]。REBOA 同外压迫主动脉止血的设计原理不同,但阻断血流的效果没有明显的差别并具有如下优势:①适用范围广,可以用在主动脉内的任何水平;②阻断动脉远端组织缺血性损伤程度更轻;③可在手术期间保持止血并在严格的血流动力学监测下进行适应性再灌注^[21,30]。作为血管内的阻断技术,REBOA 具有以下缺点:①侵入性,需行股动脉穿刺;②操作复杂、需要高技能水平,如不能准确放置球囊位置,将出现显著的失败和并发症率;③完成放置的操作时间长,平均需 10~15 min^[26]。④在主动脉 3 区使用 REBOA 需要向患者输入 7.2 倍以上的晶体液才能维持与 AAJT 同等的平均动脉压。在实际临床应用方面,尽管 REBOA 在控制 NCTH 方面的有效性已得到广泛证实^[34-35],但 REBOA 降低患者死亡率的临床证据仍存在争议。为此,Castellini 等^[36]对纳入的 11 项研究进行 meta 分析,认为使用 REBOA 组同未使用 REBOA 组相比,两组患者的死亡率差异没有统计学意义;使用 REBOA 组同使用开胸主动脉夹闭术相比,REBOA 具有更积极的作用。即便如此,作者分析认为仍不能明确否定 REBOA 在降低患者死亡率方面的作用,因纳入的研究均为观察性研究,存在患者选择适应症偏差和生存偏差,即患者血流动力学的稳定程度影响干预手段的选择。作者建议使用随机对照试验克服了这一局限性,但目前仍未有学者发表相关研究。在使用 REBOA 的并发症方面,一则系统性评价研究认为:作为侵入性手段,REBOA 导管插入可导致血管损伤(主动脉夹层、破裂和穿孔)和栓塞(空气栓塞、血栓栓塞)等严重并发症;主动脉完全闭塞引起的组织缺血相关的并发症同球囊置入位置和动脉闭塞时间相关;缺血再灌注可导致包括急性肾损伤、肝衰竭、脊髓梗死、肠缺血、肌坏死、肢体丧失在内的多器官衰竭,最终导致患者死亡^[37]。REBOA 的作用机制在于停止大出血本身并改善心肌和脑的血流灌注^[38],闭塞动脉远端组织的耐受程度取决于主动脉球囊放置位置^[36]。在主动脉 1 区使用 REBOA 适用于创伤性心脏骤停、穿透性胸部创伤出血和腹部脏器严重出血的临时处置,其推荐时限为 30~45 min^[39];在主动脉 3 区使用 REBOA 适用于盆部损伤导致的严重出血性休克和下肢交界处出血的临时处置,其推荐

时限为不超过 120 min^[39];因主动脉 2 区长度较短且动脉分支较多,一般不适合用于闭塞^[37]。近年来发展的流量控制型 REBOA 通过部分开放球囊允许部分血液通过球囊流向闭塞远端,具有防止干预阶段大脑和冠状动脉区域超生理量血压和精确控制主动脉血流量、解决终末器官灌注不足的缺陷,已在动物实验中得到证实^[40],但距离实际的临床应用仍有很大距离。

3 结 语

操作简单且无需特定装备的 EAC 技术本应具有广泛培训应用的前景,但受限于 EAC 技术难以提供稳定、持续有效的压力的缺陷,目前仅推荐作为不具备急救条件的临时救治措施。连接止血带在设计原理上弥补了 EAC 技术的部分不足,以 AAJT 为代表的连接止血带在控制 NCTH 方面的作用在模拟实验和临床应用方面均得到广泛证实,被认为是具有广阔应用前景的无创止血手段。相对而言, GROA 和 IPHD 的概念提出较晚,目前仅应用于动物实验。 GROA 和 IPHD 的应用可弥补连接止血带无法阻断主动脉 II 区及以上部位的缺陷且不伴有连接止血使用时难以忍受的痛感, IPHD 可选择性的主动脉阻断在避免有效止血过程中引起的远端组织严重缺血方面可能存在一定价值,但仍需进一步研究证实。此外,作为侵入性止血手段, GROA 和 IPHD 可能存在较连接止血带应用更严重的并发症。以上所述的止血手段仅作为出血的临时控制措施,患者仍需接受最终的止血手段如开放手术或放射介入止血,术前以上止血设备必须移除可能增加患者失血死亡的风险。 REBOA 作为血管内的止血手段,理论上可应用在主动脉内的任何水平且不影响最终治疗时手术视野的暴露而无需术前撤除。操作时间较长可能是 REBOA 院前应用的最大限制,即使在院内抢救室,受患者自身条件、操作人员的经验和其他因素的影响,快速应用 REBOA 也非常具有挑战性。联合应用展开速度较快的主动脉压迫技术而后转向 REBOA 可能是有效的解决措施。需要注意的是,一旦主动脉阻断技术成功实施,最终控制出血手段的开展是必要且有时限的。

【参考文献】

- [1] Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, *et al.* Death on the battlefield (2001-2011): implications for the future of combat casualty care [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73(6 Suppl 5):S431-437.
- [2] Kragh JF Jr, Murphy C, Dubick MA, *et al.* New tourniquet device concepts for battlefield hemorrhage control[J]. *US Army Med Dep J*, 2011;38-48.
- [3] Alarhayem AQ, Myers JG, Dent D, *et al.* Time is the enemy: Mortality in trauma patients with hemorrhage from torso injury occurs long before the "golden hour" [J]. *Am J Surg*, 2016, 212(6):1101-1105.
- [4] McCracken BM, Ward KR, Tiba MH. A review of two emerging technologies for pre-hospital treatment of non-compressible abdominal hemorrhage [J]. *Transfusion*, 2022, 62 Suppl 1: S313-S322.
- [5] Shi C, Li S, Wang Z, *et al.* Prehospital aortic blood flow control techniques for non-compressible traumatic hemorrhage [J]. *Injury*, 2021, 52(7):1657-1663.
- [6] Paix BR, Tingey DJ, Copley G, *et al.* Prehospital External Aortic Compression for Temporizing Exsanguinating Sub-Diaphragmatic Hemorrhage-A Promising Technique, but with Challenges; Four Illustrative Cases, Including Two Survivors [J]. *Prehosp Disaster Med*, 2020, 35(1):115-118.
- [7] Riley DP, Burgess RW. External abdominal aortic compression: a study of a resuscitation manoeuvre for postpartum haemorrhage [J]. *Anaesth Intensive Care*, 1994, 22(5):571-575.
- [8] Soltan MH, Faragallah MF, Mosabab MH, *et al.* External aortic compression device: the first aid for postpartum hemorrhage control [J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2009, 35(3):453-458.
- [9] Douma M, Smith KE, Brindley PG. Temporization of penetrating abdominal-pelvic trauma with manual external aortic compression: a novel case report [J]. *Ann Emerg Med*, 2014, 64(1):79-81.
- [10] Douma M, Brindley PG. Abdominal aortic and iliac artery compression following penetrating trauma: a study of feasibility [J]. *Prehosp Disaster Med*, 2014, 29(3):299-302.
- [11] Douma MJ, O'Dochartaigh D, Brindley PG. Bi-manual proximal external aortic compression after major abdominal-pelvic trauma and during ambulance transfer: A simulation study [J]. *Injury*, 2017, 48(1):26-31.
- [12] Smith S, White J, Wanis KN, *et al.* The effectiveness of junctional tourniquets: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86(3):532-539.
- [13] Lyon M, Shiver SA, Greenfield EM, *et al.* Use of a novel abdominal aortic tourniquet to reduce or eliminate flow in the common femoral artery in human subjects [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73(2 Suppl 1):S103-105.
- [14] Anonymous A. Abdominal aortic tourniquet? Use in afghanistan [J]. *J Spec Oper Med*, 2013, 13(2):1-2.
- [15] Croushorn J, McLester J, Thomas G, *et al.* Abdominal aortic tourniquet controls junctional hemorrhage from a gunshot wound of the axilla [J]. *J Spec Oper Med*, 2013, 13(3):1-4.
- [16] Kheirabadi BS, Terrazas IB, Miranda N, *et al.* Long-term consequences of abdominal aortic and junctional tourniquet for hemorrhage control [J]. *J Surg Res*, 2018, 231:99-108.
- [17] Brännström A, Rocksén D, Hartman J, *et al.* Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet release after 240 minutes is survivable

- and associated with small intestine and liver ischemia after porcine class II hemorrhage[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2018, 85(4):717-724.
- [18] Kheirabadi BS, Terrazas IB, Miranda N, *et al*. Physiological Consequences of Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet (AAJT) Application to Control Hemorrhage in a Swine Model[J]. *Shock*, 2016, 46(3 Suppl 1):160-166.
- [19] Rall JM, Ross JD, Clemens MS, *et al*. Hemodynamic effects of the Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet in a hemorrhagic swine model[J]. *J Surg Res*, 2017, 212:159-166.
- [20] Do WS, Forte DM, Sheldon RR, *et al*. Minimally invasive preperitoneal balloon tamponade and abdominal aortic junctional tourniquet versus open packing for pelvic fracture-associated hemorrhage: Not all extrinsic compression is equal[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86(4):625-634.
- [21] Brännström A, Dahlquist A, Gustavsson J, *et al*. Increased crystalloid fluid requirements during zone 3 Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) versus Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet (AAJT) after class II hemorrhage in swine[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48(1):335-344.
- [22] Bulger EM, Perina DG, Qasim Z, *et al*. Clinical use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in civilian trauma systems in the USA, 2019: a joint statement from the American College of Surgeons Committee on Trauma, the American College of Emergency Physicians, the National Association of Emergency Medical Services Physicians and the National Association of Emergency Medical Technicians[J]. *Trauma Surg Acute Care Open*, 2019, 4(1):e000376.
- [23] Cantle PM, Hurley MJ, Swartz MD, *et al*. Methods for Early Control of Abdominal Hemorrhage: An Assessment of Potential Benefit[J]. *J Spec Oper Med*, 2018, 18(2):98-104.
- [24] Tiba MH, McCracken BM, Colmenero CI, *et al*. Gastroesophageal resuscitative occlusion of the aorta: Physiologic tolerance in a swine model of hemorrhagic shock[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2020, 89(6):1114-1123.
- [25] McCracken BM, Tiba MH, Colmenero CI, *et al*. Gastroesophageal resuscitative occlusion of the aorta prolongs survival in a lethal liver laceration model[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2022, 92(5):880-889.
- [26] Tiba MH, McCracken BM, Greer NL, *et al*. Tandem use of Gastroesophageal Resuscitative Occlusion of the Aorta followed by REBOA in a Lethal Liver Laceration Model[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2023, 94(1):148-155.
- [27] McCracken BM, Tiba MH, Colmenero CI, *et al*. Novel intraperitoneal hemostasis device prolongs survival in a swine model of non-compressible abdominal hemorrhage[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2021, 90(5):838-844.
- [28] Chang JC, Holloway BC, Zamisch M, *et al*. ResQFoam for the Treatment of Non-Compressible Hemorrhage on the Front Line[J]. *Mil Med*, 2015, 180(9):932-933.
- [29] Stannard A, Eliason JL, Rasmussen TE. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) as an adjunct for hemorrhagic shock[J]. *J Trauma*, 2011, 71(6):1869-1872.
- [30] Morrison JJ, Lendrum RA, Jansen JO. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA): a bridge to definitive haemorrhage control for trauma patients in Scotland? [J]. *Surgeon*, 2014, 12(3):119-120.
- [31] Brenner M, Inaba K, Aiolfi A, *et al*. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta and Resuscitative Thoracotomy in Select Patients with Hemorrhagic Shock: Early Results from the American Association for the Surgery of Trauma's Aortic Occlusion in Resuscitation for Trauma and Acute Care Surgery Registry[J]. *J Am Coll Surg*, 2018, 226(5):730-740.
- [32] Borger van der Burg BLS, van Dongen TTCF, Morrison JJ, *et al*. A systematic review and meta-analysis of the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in the management of major exsanguination[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018, 44(4):535-550.
- [33] White JM, Cannon JW, Stannard A, *et al*. A porcine model for evaluating the management of noncompressible torso hemorrhage[J]. *J Trauma*, 2011, 71(1 Suppl):S131-138.
- [34] Brenner ML, Moore LJ, DuBose JJ, *et al*. A clinical series of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for hemorrhage control and resuscitation[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2013, 75(3):506-511.
- [35] DuBose JJ, Scalea TM, Brenner M, *et al*. The AAST prospective Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery (AORTA) registry: Data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA)[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2016, 81(3):409-419.
- [36] Castellini G, Gianola S, Biffi A, *et al*. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in patients with major trauma and uncontrolled haemorrhagic shock: a systematic review with meta-analysis[J]. *World J Emerg Surg*, 2021, 16(1):41.
- [37] Ribeiro Junior MAF, Feng CYD, Nguyen ATM, *et al*. The complications associated with Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA)[J]. *World J Emerg Surg*, 2018, 13:20.
- [38] Marciniuk P, Pawlaczyk R, Rogowski J, *et al*. REBOA - new era of bleeding control, literature review[J]. *Pol Przegl Chir*, 2019, 92(2):42-47.
- [39] Zhang ZY, Zhang HY, Talmy T, *et al*. Management of non-compressible torso hemorrhage: An update[J]. *Chin J Traumatol*, 2021, 24(3):125-131.
- [40] Polcz JE, Ronaldi AE, Madurska M, *et al*. Next-Generation REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta) Device Precisely Achieves Targeted Regional Optimization in a Porcine Model of Hemorrhagic Shock[J]. *J Surg Res*, 2022, 280:1-9.

(收稿日期:2022-11-21; 修回日期:2023-01-31)

(责任编辑:刘玉巧; 英文编辑:吕镗烽)