

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230166

· 论 著 ·

膨胀止血材料在战创伤急救中的应用探索

曹智^{1△}, 鲁欣^{1△}, 杨印辉¹, 赵琳¹, 李劲锋², 侯建国¹, 陈基快², 王林辉^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院泌尿外科, 上海 200433

2. 海军军医大学(第二军医大学)海军医学系卫生毒理学教研室, 上海 200433

[摘要] **目的** 探讨膨胀止血材料在战创伤急救中的应用价值。**方法** 体外物理性能评价中,将聚乙烯醇(PVA)和聚醚酯-氨基甲酸乙酯(PEEC)分别置于生理盐水、抗凝兔血及生理盐水与抗凝兔血1:1混合液中,记录2种膨胀止血材料的体积、重量变化及体积压缩一半时所需压强。体内止血性能评价中,构建大鼠股动静脉损伤出血模型和兔肝损伤出血模型,观察无菌纱布、PVA和PEEC3种止血材料对股动静脉损伤出血和肝损伤出血的止血效果;观察记录术后1h和术后24h总出血量、取出止血材料后1min出血量、取出止血材料时粘连程度和难易程度。**结果** 在3种模拟体液中PVA的体积变化系数、体积变化速率均大于PEEC,重量变化系数小于PEEC(P 均 <0.01),在生理盐水和抗凝兔血中PVA体积压缩一半所需的压强小于PEEC体积压缩一半所需的压强(P 均 <0.05)。术后1h,2个动物模型实验中取出PVA时的粘连程度和取出难易程度均优于无菌纱布和PEEC;取出止血材料后1min内仅无菌纱布组动物见少量出血,PVA组、PEEC组动物均未见活动性出血。在股动静脉损伤出血模型中PVA组的术后1h总出血量低于PEEC组($P<0.01$),在肝损伤出血模型中术后1h总出血量PVA组高于PEEC组($P<0.01$)。术后24h,2个动物模型实验中取出PVA时的粘连程度和取出难易程度均优于无菌纱布,PEEC大部分被降解,无法取出;取出止血材料后1min内,无菌纱布、PVA、PEEC组动物均未见活动性出血。在股动静脉损伤出血模型中无菌纱布组与PVA组的24h总出血量差异无统计学意义($P>0.05$),在肝损伤出血模型中PVA组的24h总出血量高于无菌组纱布组($P<0.01$),在2个动物模型中PEEC组术后24h总出血量均见少量出血,无法计算出出血量。在股动静脉损伤出血模型中,PVA组止血材料附近肌肉组织周边浸润的炎症细胞少于无菌纱布组和PEEC组。**结论** PVA和PEEC均可通过吸收包括血液在内的体液使自身体积膨大控制股动静脉损伤出血和肝损伤出血,为战创伤救治新装备的研发提供了新的选择。

[关键词] 战创伤;肝损伤;股动静脉;膨胀止血材料;聚乙烯醇;聚醚酯-氨基甲酸乙酯

[引用本文] 曹智,鲁欣,杨印辉,等.膨胀止血材料在战创伤急救中的应用探索[J].海军军医大学学报,2023,44(10):1154-1160. DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20230166.

Application of swelling hemostatic materials in first aid of war trauma

CAO Zhi^{1△}, LU Xin^{1△}, YANG Yinhui¹, ZHAO Lin¹, LI Jinfeng², HOU Jianguo¹, CHEN Jikuai², WANG Linhui^{1*}

1. Department of Urology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai, 200433, China

2. Department of Health Toxicology, Faculty of Naval Medicine, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai, 200433, China

[Abstract] **Objective** To explore the application value of swelling hemostatic materials in the first aid of war trauma. **Methods** Polyvinyl alcohol (PVA) and polyether ester-ethyl carbamate (PEEC) were placed in normal saline, anticoagulant rabbit blood, and 1:1 mixture of normal saline and anticoagulant rabbit blood to evaluate their physical properties *in vitro*. The volume, weight changes, and pressure required for half volume compression of the 2 swelling hemostatic materials were recorded. A rat femoral arteriovenous injury model and a rabbit liver injury model were established to evaluate the hemostatic performances of PVA and PEEC *in vivo*. The hemostatic effects of sterile gauze, PVA,

[收稿日期] 2023-04-01 **[接受日期]** 2023-07-10

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金(82102880),上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项青年项目(20214Y0499),海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院“深蓝123”军事医学研究专项(2020SLZ016)。Supported by National Natural Science Foundation for Young Scientists of China (82102880), Special Youth Program for Clinical Research in Health Industry of Shanghai Municipal Health Commission (20214Y0499), and Project of “Shenlan 123” Military Medical Research and Development Program of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) (2020SLZ016).

[作者简介] 曹智,博士,讲师、主治医师. E-mail: caozhi@smmu.edu.cn; 鲁欣,博士,讲师、主治医师. E-mail: luxin_smmu@163.com

△共同第一作者(Co-first authors).

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31161718, E-mail: wanglinhui@smmu.edu.cn

and PEEC on bleeding after femoral arteriovenous injury and liver injury were observed. The blood loss at 1 h and 24 h after operation, the blood loss at 1 min after removing the hemostatic materials, the degree of adhesion and the removal difficulty were observed and recorded. **Results** The volume change coefficient and volume change rate of PVA in the 3 simulated body fluids were higher than those of PEEC, while the weight change coefficient was lower than that of PEEC (all $P < 0.01$). In normal saline and anticoagulant rabbit blood, the pressures required for PVA to compress half of its volume were lower than that required for PEEC (both $P < 0.05$). One hour after surgery, the degree of adhesion and difficulty of removing PVA were better than those of sterile gauze and PEEC in the 2 animal models. One minute after removing the hemostatic materials, only the sterile gauze group showed a small amount of bleeding, while no active bleeding was observed in the PVA or PEEC group. In the femoral arteriovenous injury bleeding model, the blood loss at 1 h after surgery in the PVA group was less than that in the PEEC group ($P < 0.01$), while in the liver injury bleeding model, the blood loss at 1 h after surgery in the PVA group was more than that in the PEEC group ($P < 0.01$). At 24 h after surgery, the degree of adhesion and difficulty of removing PVA were better than those of sterile gauze, while most of PEEC was degraded and could not be removed. One minute after removing the hemostatic materials, no active bleeding was observed in the sterile gauze, PVA, or PEEC group. In the femoral arteriovenous injury bleeding model, there was no significant difference in the blood loss at 24 h between the sterile gauze group and the PVA group ($P > 0.05$). In the liver injury bleeding model, the blood loss at 24 h in the PVA group was more than that in the sterile gauze group ($P < 0.01$). In the 2 animal models, the blood loss at 24 h in the PEEC group was small, and it could not be calculated. In the femoral arteriovenous injury bleeding model, there were fewer inflammatory cells infiltrating around the muscle tissue near the hemostatic materials in the PVA group than in the sterile gauze and PEEC groups. **Conclusion** Both PVA and PEEC can control bleeding after femoral arteriovenous injury or liver injury by absorbing body fluids (including blood) to enlarge their own volume, providing new choices for the research and development of new equipment for the first aid of war trauma.

[**Key words**] war trauma; liver injury; femoral arteriovenous; swelling hemostatic materials; polyvinyl alcohol; polyether ester-ethyl carbamate

[**Citation**] CAO Z, LU X, YANG Y, et al. Application of swelling hemostatic materials in first aid of war trauma[J]. Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(10): 1154-1160. DOI: 10.16781/j.cn31-2187/R.20230166.

现代战争条件下,战创伤导致的不可控出血仍然是战创伤相关死亡的首要因素,出血死亡人数约占战场总死亡人数的50%~80%^[1]。既往研究显示,90%的战创伤死亡发生在伤员被送到野战救治机构之前的战术环境中^[2],伤后0.5 h内得到急救、1 h内得到救治可使伤员死亡率降低66.3%^[3]。美军战术作战伤员救护(tactical combat casualty care, TCCC)指南从第1版开始就一直把止血作为战创伤救治的首要核心技术。

传统的绷带、止血纱布、止血粉等止血材料已难以满足现代战创伤急救的需求。膨胀止血材料主要指遇水后可迅速膨胀,能机械压迫创面达到止血目的的高分子材料。常见的膨胀止血材料包括聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)、聚醚酯-氨基甲酸乙酯(polyether ester-ethyl carbamate, PEEC)、聚乙烯乙酸、聚氨酯等。目前,膨胀止血材料已广泛用于鼻腔填充止血,取得了良好的临床治疗效果,具有止血确实、头痛和头胀闷感轻的优点^[4]。膨胀止血材料在战创伤急救中的应用仍处于早期探索阶段,本研究拟探索PVA和PEEC的体外物理性

能及其在典型战创伤模型中的止血效能。

1 材料和方法

1.1 主要材料 PVA(建德市康华医疗器械有限公司)、PEEC(荷兰Polyganics BV公司)、无菌纱布、生理盐水、EDTA抗凝兔血、游标卡尺(德力西集团有限公司)、平板测力计(SL-10N型,东莞市三量精密量仪有限公司)、普通教学尺子(得力办公用品有限公司)、精密电子天平(BSA224S-CW,德国Sartorius公司)、注射器、秒表、电子显微镜(BX43F,日本Olympus公司)、载玻片、盖玻片、甲醛水溶液(上海国药集团化学试剂有限公司)、戊巴比妥钠(上海国药集团化学试剂有限公司)、夹子、塑料薄板、实验动物手术器械等。

1.2 实验动物及分组 清洁级成年雄性SD大鼠购于上海市计划生育科学研究所实验动物经营部[动物生产许可证号:SCXK(沪)2018-0006],饲养于温度为22~24℃、湿度为55%~65%,每12 h昼夜光照循环的屏障环境动物房内,分笼饲养,自

由饮食。适应性饲养1周后,将18只成年雄性SD大鼠(体重200~250 g)随机分为PVA组、PEEC组和无菌纱布组,每组6只。普通级雄性新西兰兔购于上海甲干生物科技有限公司[动物生产许可证号:SCXK(沪)2020-0006],饲养于温度21~25℃,湿度为45%~65%,每12 h昼夜光照循环的普通级动物房内,单笼饲养,自由饮食。适应性饲养1周后,将18只成年雄性兔(体重3~4 kg)随机分为PVA组、PEEC组和无菌纱布组,每组6只。实验操作严格按照海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院实验动物管理条例和实验动物伦理要求执行。

1.3 体外物理性能评价 制备生理盐水、抗凝兔血及生理盐水与抗凝兔血1:1混合液;将相同体积的PVA和PEEC分别放置在以上3种模拟体液中,记录膨胀止血材料完全膨胀所需时间和膨胀后体积、重量变化情况;用平板测力计测量膨胀止血

材料体积被压缩一半时所需压强。

1.4 股动静脉损伤出血模型制备及观察指标 麻醉大鼠后,于右后肢内侧划开皮肤找到股动脉股静脉并剪断,构建股动静脉损伤出血模型(图1A、1B)^[5];将相同体积的PVA、PEEC和无菌纱布置于出血部位后迅速缝合(保证手术伤口大小、位置一致)。术后1 h剪开伤口,取出止血材料,观察材料取出时的粘连程度和取出难易程度;观察评估取出止血材料后1 min的出血量;用吸引器吸取术野出血及血块,采用称重法计算术后1 h总出血量;取止血材料周边肌肉组织做病理切片行H-E染色,观察止血材料周边肌肉组织中炎症细胞浸润情况。重新置入新的止血材料,24 h后观察记录取出止血材料的粘连程度、取出难易程度、取出止血材料后1 min的出血量、24 h总出血量,并取止血材料周边肌肉组织做病理切片行H-E染色。

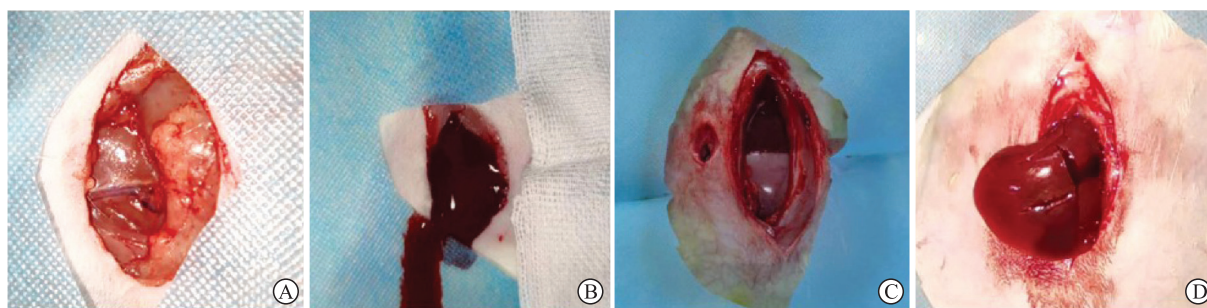


图1 股动静脉损伤和肝损伤出血模型

Fig 1 Bleeding models of femoral arteriovenous injury and liver injury

A: Exposure of rat femoral artery and vein; B: Femoral arteriovenous injury model of rats; C: Skin incision of rabbit liver injury model; D: Liver X-shaped incision of rabbit liver injury model.

1.5 肝损伤出血模型制备及观察指标 将兔麻醉后打开腹腔,暴露左中叶肝脏,用手术刀片于肝脏做3 cm×3 cm“X”形创口后快速缝合,用穿孔器在兔腹壁做穿孔模拟贯通伤和盲管伤入口,构建肝损伤出血模型(图1C、1D)^[5-6];从腹壁穿孔填塞相同体积的PVA、PEEC和无菌纱布(保证手术伤口大小、位置一致)。术后1 h剪开伤口,取出止血材料,观察材料取出时的粘连程度和取出难易程度;用吸引器吸取术野出血及血块,计算术后1 h总出血量,观察评估取出止血材料后1 min的出血量。重新置入新的止血材料,24 h后观察记录取出止血材料的粘连程度、取出难易程度、取出止血材料后1 min的出血量、24 h总出血量。

1.6 指标判定标准及计算方法 体积变化系数=止血材料膨胀后体积/止血材料膨胀前体积;体积变化速率=(止血材料膨胀后体积-止血材料膨胀前体积)/(止血材料膨胀前体积×止血材料完全膨胀所需时间);重量变化系数=止血材料膨胀后重量/止血材料膨胀前重量。粘连百分比=止血材料同周围组织紧密贴合在一起的面积/止血材料的表面积;粘连程度评分标准:无粘连计0分,粘连0~30%计1分,粘连31%~60%计2分,粘连>60%计3分。取出难易程度标准:0分,轻松取出,可一次性将止血材料同周围组织进行分离,且分离后不对周围组织造成二次伤害;1分,花费少量精力可取出,需轻柔仔细地分离止血材料和周围组织,分离后对周围组织产生轻微二次伤害;2分,

花费大量精力可取出,需多次、逐步清理粘连在组织上的止血材料,且分离后对周围组织产生一定的二次伤害;3分,无法完全取出,止血材料粘连在周围组织上、部分被降解,无法通过钳夹将止血材料从组织上进行分离。总出血量=止血材料吸附的血+吸引器吸出的血+凝固的血块。

1.7 统计学处理 采用SPSS 18.0软件进行统计学分析。符合正态分布且方差齐的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用t检验。取出止血材料时粘连程度评分及取出难易程度评分为各组得分的平均数。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 膨胀止血材料的体外物理性能评价 由图2可见,PVA在生理盐水、抗凝兔血及生理盐水与抗凝兔血1:1混合液中的体积变化系数均大于PEEC(P 均 <0.001),重量变化系数均小于PEEC(P 均 <0.01),体积变化速率均大于PEEC(P 均 <0.01);PVA在生理盐水和抗凝兔血中体积压缩一半时所需压强均低于PEEC(P 均 <0.05),PVA与PEEC在生理盐水与抗凝兔血1:1混合液中体积压缩一半时所需压强的差异无统计学意义($P>0.05$)。

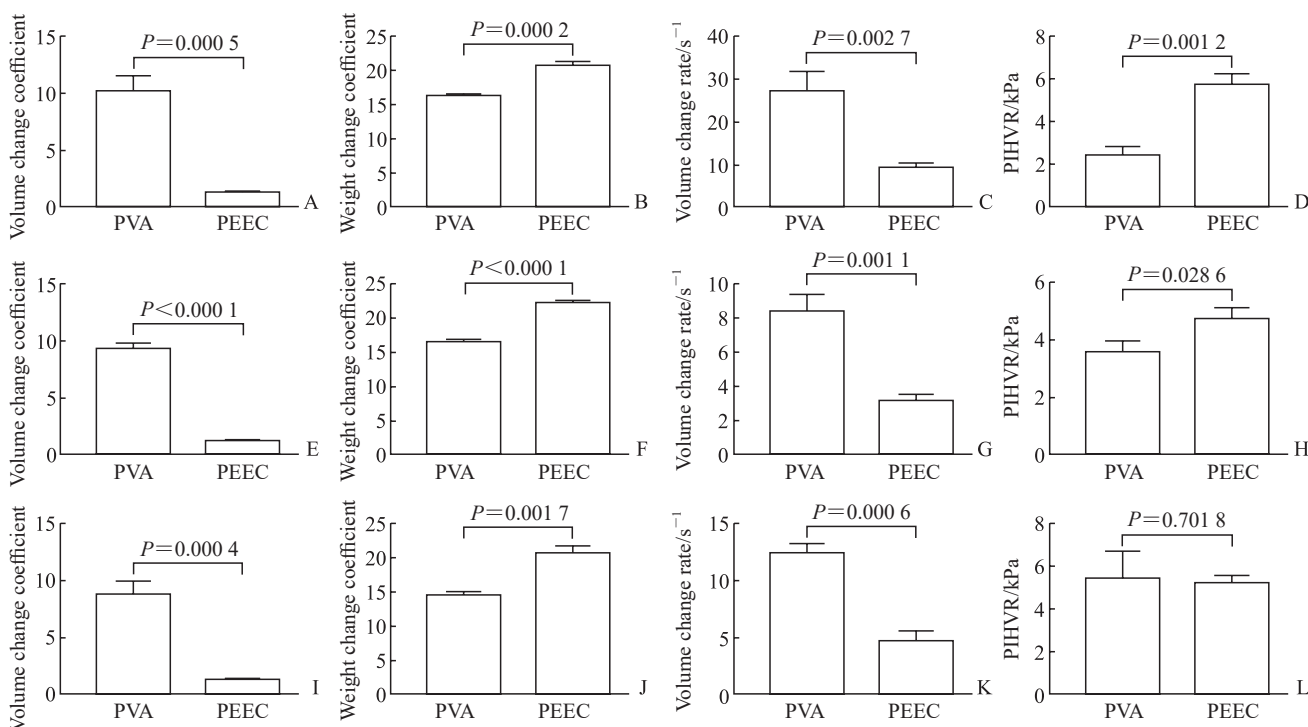


图2 2种膨胀止血材料的体外物理性能比较

Fig 2 Physical properties of 2 swelling hemostatic materials *in vitro*

A-D: Normal saline; E-H: Anticoagulant rabbit blood; I-L: 1:1 mixture of anticoagulant rabbit blood and normal saline. $n=6, \bar{x} \pm s$. PVA: Polyvinyl alcohol; PEEC: Polyether ester-ethyl carbamate; PIHVR: Pressure intensity after half volume reduction.

2.2 膨胀止血材料在股动静脉损伤出血模型中的止血效能和安全性评估 术后1h,无菌纱布组、PVA组、PEEC组取出止血材料时粘连程度评分分别为2、0、1分,取出难易程度评分分别为1、0、1分。无菌纱布组和PVA组术后1h总出血量均低于PEEC组(P 均 <0.01 ,图3A);取出止血材料后1min内,无菌纱布组2只大鼠可见少量出血(0.41 mL和0.98 mL),PVA组和PEEC组均未见活动性出血。

术后24h,无菌纱布组取出止血材料时粘连程

度评分为3分,取出难易程度评分为2分;PVA组取出止血材料时粘连程度及取出难易程度评分均为0分;PEEC组止血材料大部分被分解,取出难易程度评分为3分。无菌纱布组和PVA组术后24h总出血量差异无统计学意义[(2.90±0.14)g vs (2.87±0.24)g, $P>0.05$],PEEC组仅见少量出血,无法计算出血量;取出止血材料后1min各组均未见活动性出血。PVA组的肌肉组织周边炎症细胞浸润少于无菌纱布组和PEEC组(图4)。

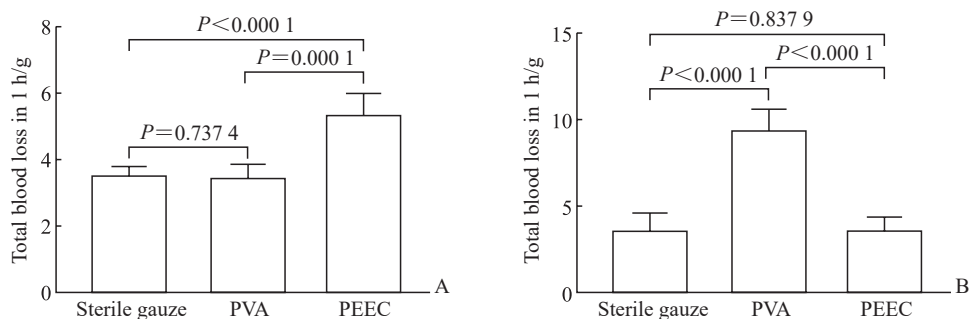


图3 3种止血材料在动物创伤模型中的止血效果比较

Fig 3 Comparison of hemostatic effect of 3 hemostatic materials in animal trauma models

A: Bleeding model of rat femoral arteriovenous injury; B: Bleeding model of rabbit liver injury. $n=6, \bar{x} \pm s$. PVA: Polyvinyl alcohol; PEEC: Polyether ester-ethyl carbamate.

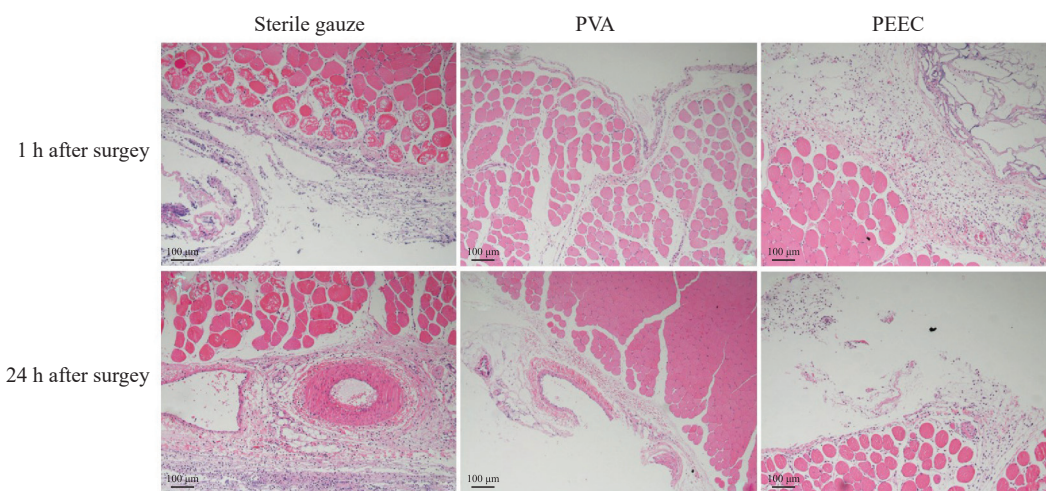


图4 大鼠股动静脉损伤出血模型中止血材料周边肌肉组织 H-E 染色

Fig 4 H-E staining of muscle tissue around hemostatic materials in rat femoral arteriovenous injury model

H-E: Hematoxylin-eosin staining; PVA: Polyvinyl alcohol; PEEC: Polyether ester-ethyl carbamate.

2.3 膨胀止血材料在肝损伤出血模型中的止血效能和安全性评估 术后1 h, 无菌纱布组、PVA组、PEEC组取出止血材料时粘连程度评分分别为2、0、1分, 取出难易程度评分分别为1、0、1分。PVA组术后1 h总出血量大于无菌纱布组和PEEC组 ($P<0.01$, 图3B); 取出止血材料后1 min, 无菌纱布组有3只新西兰兔见少量出血(0.05 mL、0.03 mL和0.10 mL), PVA组和PEEC组均未见活动性出血。

术后24 h, 无菌纱布组取出止血材料时粘连程度评分为3分, 取出难易程度评分为2分; PVA组取出止血材料时粘连程度及取出难易程度评分均为0分; PEEC大部分被分解, 取出难易程度评分为3分。PVA组24 h总出血量高于无菌纱布组 [$(14.43 \pm 0.72) \text{ g vs } (5.08 \pm 0.24) \text{ g}, P<0.01$], PEEC组仅见少量出血, 无法计算出血量; 取出止

血材料1 min后, 3个观察组均未见活动性出血。

3 讨论

出血是导致战创伤死亡的最主要因素^[7], 在抵达医疗救治机构之前及时有效地控制急性大出血可以挽救90%伤员的生命^[8]。分析2001—2011年美军在伊拉克军事行动中的伤员送达医疗救治机构前创伤相关死亡因素时发现, 躯干出血占有出血死亡的67.3%、交界性出血占19.2%、四肢出血占13.5%, 其中胸腔出血占躯干出血的36%、腹腔出血占躯干出血的64%^[9]。美军TCCC指南推荐在抵达医疗救治机构前应用止血带控制四肢出血和交界性出血^[10]; 对于止血带无法控制的躯干出血和部分交界性出血, 推荐应用止血敷料控制出血^[11]。由于在抵达医疗救治机构之前无法开展确切手术止血, 体腔内出血和交界性出血的战创伤急

救仍面临着巨大的困難和挑戰^[9]。

止血敷料一直是戰創傷救治領域研究的重點,理想的止血敷料應滿足以下要求:(1)2 min內止住嚴重的動靜脈出血;(2)無不良反應;(3)不引起疼痛和熱損傷;(4)對醫護人員無任何風險;(5)隨取隨用,不需或只需簡單培訓;(6)輕便耐用;(7)靈活應對複雜傷口並且容易去除殘留物;(8)在極端環境中作用穩定,使用方便;(9)彌補止血帶在控制交界性出血中的缺陷;(10)保質期長;(11)價格低廉;(12)可生物降解^[12]。儘管目前仍沒有一種敷料能滿足以上所有要求,但針對傷口與傷情特點設計的特定敷料與止血系統為戰創傷急救止血提供了支持和選擇。美軍基於沸石類止血材料開發了能夠顯著提高大面積出血和嚴重創傷者生存率的止血敷料QuickClot^[13],並在此基礎上推出產熱量較少、組織熱損傷較輕的速效止血海綿(QuickClot-Advanced Clotting Sponge)產品^[14]。基於高嶺土類止血材料開發的戰傷紗布(QuickClot Combat Gauze)具有攜帶方便、操作簡單、容易儲存的優點,已入選2008年美軍“十大頂尖陸軍裝備”,列裝美軍及多個北約國家的軍隊^[15]。應用殼聚糖類止血材料相繼開發的HemCon Gauze、HemCon Chito Flex、Celox Granules、Celox Gauze、HemCon Chito Gauze等產品不但可以活化凝血因子和血小板,促進凝血過程,還可通過改變細胞膜通透性來干擾細菌和真菌代謝,起到抗菌、抑菌作用^[16]。將殼聚糖和纖維素壓制成圓片狀結構並裝入注射器中開發的適用於狹窄傷道止血的Xstat^[17],對交界區止血的成功率高达90%,可持續止血40 h,但若放置時間超過40 h可造成橫紋肌溶解^[18]。應用海藻酸鹽類止血材料開發的Modified Rapid Deployment Heostat和Rapid Deployment Heostat止血敷料,具有無毒、高吸水性、良好的生物相容性、高透氧性、可生物降解吸收等特性^[16]。

我軍在戰救止血敷料開發領域也取得了豐碩成果,如殼聚糖止血海綿、聚丙烯酸樹脂止血敷料、多功能液體止血敷料、多聚糖止血顆粒、沸石止血敷料等的止血效果顯著^[19]。其中,以沸石為主要成分的速效止血粉“血盾”已正式列裝^[20]。

儘管上述止血敷料取得了不錯的戰救止血效果,但仍難以滿足現代戰爭條件下戰傷急救的需

求。壓迫止血是外科手術中常見的止血方法,指壓法也是戰創傷急救止血的基本技能。膨脹止血材料通過吸收包括血液在內的體液使自身體積膨大,同時受限於創傷局部的有限空間,形成創傷局部高壓環境,發揮壓迫止血的作用。膨脹止血材料體外性能評價實驗發現,PVA充分吸收體液後體積變化系數和速率優於PEEC,PEEC充分吸收體液後重量變化系數大於PVA,PEEC在生理鹽水和抗凝兔血中體積被壓縮一半時所需壓强大於PVA。這表明PVA材料的膨脹性能優於PEEC,而PEEC的液體吸收能力和抗壓能力更強。

在大鼠股動靜脈損傷出血模型和兔肝損傷出血模型中,儘管PVA和PEEC 2種材料在術後1 h總出血量上存在一定差異,但均可有效控制股動靜脈和肝臟出血。由於PEEC是一種可吸收材料,其在動物模型中的粘連程度評分和取出難易程度評分均大於PVA;尤其是在術後24 h,大部分PEEC已被吸收降解,無法取出。同時,由於PEEC被吸收降解,無法計算術後24 h總出血量,無法比較兩組間術後24 h總出血量的差異。此外,PEEC和PVA在股動靜脈損傷出血模型和肝損傷出血模型中止血效能相似;PVA基本不會與組織發生粘連,容易去除;PEEC與組織粘連嚴重,但可被吸收降解,無需取出。本研究中粘連程度評分和取出難易程度評分均採用半定量方法進行評估,在一定程度上受研究者主觀判斷影響,對研究結果的客觀性可能造成一定影響。值得一提的是,PEEC需保存在4℃的低溫環境中,這在某種程度上限制了其在戰傷急救中的推廣應用。此外,在股動靜脈損傷出血模型中,PVA引起的肌肉組織周邊炎症反應低於無菌紗布組和PEEC組,顯示出了較好的組織耐受性。本研究構建的肝損傷出血模型創面較小,所需膨脹止血材料較少,未對腹腔臟器、循環和呼吸穩定性造成影響。在嚴重腹腔臟器損傷出血需大量膨脹止血材料壓迫止血時,還需充分考慮膨脹止血材料體積膨大後對腹腔臟器造成的不良損傷和對呼吸循環穩定性的影響,這一點在今後的研究中進一步探討明確。

本研究創造性地探索鼻用膨脹止血材料PVA和PEEC在戰創傷急救中的應用價值,研究發現PVA和PEEC均可通過吸收包括血液在內的體液使自身體積膨大控制股動靜脈損傷出血和肝臟出血,為戰傷救治新裝備的研發提供了新的選擇。

[参考文献]

- [1] DEVLIN J J, KIRCHER S, KOZEN B G, et al. Comparison of ChitoFlex[®], CELOX[™], and QuikClot[®] in control of hemorrhage[J]. *J Emerg Med*, 2011, 41(3): 237-245. DOI: 10.1016/j.jemermed.2009.02.017.
- [2] 李丽娟,刁天喜. 外军卫勤研究系列讲座(63) 美军战术战伤救治理念的发展与启示[J]. *人民军医*, 2013, 56(3): 280-282.
- [3] 蒋建新,李磊. 战伤创伤救治新进展与展望[J]. *解放军医学杂志*, 2010, 35(7): 781-784.
- [4] 何平. 三种鼻腔填塞物在老年鼻出血患者中的应用[J]. *西部医学*, 2011, 23(8): 1522-1523. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2011.08.051.
- [5] 吴伟萍,彭承宏,韩宝三,等. 羧甲基壳聚糖在大鼠创伤出血模型的止血效果的观察[J]. *外科理论与实践*, 2010, 15(3): 240-244. DOI: 10.16139/j.1007-9610.2010.03.039.
- [6] 林振华,侯丽,董传俊,等. 胶原蛋白止血海绵在猪肝出血模型中止血效果研究[J]. *中国医疗设备*, 2018, 33(11): 7-9. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2018.11.002.
- [7] STRAUSS R, MENCHETTI I, PERRIER L, et al. Evaluating the Tactical Combat Casualty Care principles in civilian and military settings: systematic review, knowledge gap analysis and recommendations for future research[J]. *Trauma Surg Acute Care Open*, 2021, 6(1): e000773. DOI: 10.1136/tsaco-2021-000773.
- [8] HOENCAMP R, VERMETTEN E, TAN E C, et al. Systematic review of the prevalence and characteristics of battle casualties from NATO coalition forces in Iraq and Afghanistan[J]. *Injury*, 2014, 45(7): 1028-1034. DOI: 10.1016/j.injury.2014.02.012.
- [9] EASTRIDGE B J, MABRY R L, 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-S437. DOI: 10.1097/TA.0b013e3182755dcc.
- [10] SHACKELFORD S A, BUTLER F K, KRAGH J F, et al. Optimizing the use of limb tourniquets in tactical combat casualty care: TCCC guidelines change 14-02[J]. *J Spec Oper Med*, 2015, 15(1): 17-31. DOI: 10.55460/tdtk-rin8.
- [11] BRADLEY M, NEALEIGH M, OH J S, et al. Combat casualty care and lessons learned from the past 100 years of war[J]. *Curr Probl Surg*, 2017, 54(6): 315-351. DOI: 10.1067/j.cpsurg.2017.02.004.
- [12] 胡传忠,梁向党,刘申. 战创伤院前急救止血敷料研究进展[J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(12): 106-109, 145. DOI: 10.7687/j.issn1003-8868.2017.12.106.
- [13] BUTLER F K, HOLCOMB J B, GIEBNER S D, et al. Tactical combat casualty care 2007: evolving concepts and battlefield experience[J]. *Mil Med*, 2007, 172(Suppl_1): 1-19. DOI: 10.7205/MILMED.172.Supplement_1.1
- [14] GEGEL B, BURGERT J, GASKO J, et al. The effects of QuikClot combat gauze and movement on hemorrhage control in a porcine model[J]. *Mil Med*, 2012, 177(12): 1543-1547. DOI: 10.7205/MILMED-D-12-00165.
- [15] 张宜,张梦,刘学会,等. 美军高岭土止血材料的研究进展[J]. *华南国防医学杂志*, 2014, 28(12): 1275-1277. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2595.2014.12.042.
- [16] 陈艺,贾柯瑶,邓蓉,等. 战创伤止血材料的研究进展[J]. *东南国防医药*, 2022, 24(4): 397-402. DOI: 10.3969/j.issn.1672-271x.2022.04.013.
- [17] QIN H, YANG L, LIU D, et al. Efficacy of a temporary hemostatic device in a swine model of closed, lethal liver injury[J]. *Mil Med*, 2020, 185(5-6): e742-e747. DOI: 10.1093/milmed/usz372.
- [18] WARRINER Z, LAM L, MATSUSHIMA K, et al. Initial evaluation of the efficacy and safety of in-hospital expandable hemostatic minisponge use in penetrating trauma[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86(3): 424-430. DOI: 10.1097/TA.0000000000002091.
- [19] 史跃,朱卉琪,张琦,等. 创伤急救止血贴的研制及应用研究[J]. *东南国防医药*, 2019, 21(2): 219-221. DOI: 10.3969/j.issn.1672-271X.2019.02.027.
- [20] 张平,肖南,张治纲,等. 战创伤止血敷料的现状及展望[J]. *创伤外科杂志*, 2009, 11(4): 378-380. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2009.04.033.

[本文编辑] 魏莎莎