

火器 - 冻/冻 - 火器复合伤相关机制研究进展

肖 熙 曹慧慧 孟 辉

摘 要 我国西北地区海拔高、气温低,部队官兵在各种军事行动中不可避免地发生火器 - 冻/冻 - 火器复合伤。国内外虽然对于单一火器伤和冻伤已有广泛深入研究,但在火器 - 冻/冻 - 火器复合伤发生机制和诊治方面的研究仍十分匮乏。本文拟对火器 - 冻/冻 - 火器复合伤的致伤机制、机体影响、诊断及救治等相关性研究进行简要阐述。

关键词 火器 - 冻 冻 - 火器 复合伤 救治 研究进展

中图分类号 R826.1

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2016.07.046

火器 - 冻复合伤 (firearms - frozen compound injury) 是指机体在火器伤 (firearms injury) 基础上同时发生冻伤 (frostbite); 冻 - 火器复合伤 (frozen - firearms compound injury) 是机体在冻伤基础上同时发生火器伤。二者致伤因素相互作用比较复杂,伤者伤情严重。目前国内外对火器 - 冻/冻 - 火器复合伤致伤机制、伤后机体血流动力学、血液生物化学、血气变化规律和救治措施等方面研究鲜有报道。

一、火器伤特点及对机体影响

1. 火器伤、远达效应的致伤特点:火器伤包括枪弹伤和爆炸伤。前者是因火药引爆或以火药作为动力的武器发射的投射物如枪弹、弹片等造成的机体损伤,后者是火药爆炸直接作用于机体所产生的损伤。高速投射物击中机体后因其动能、形状、方向及击中部位解剖结构不同,不仅产生直接损伤,且其动能、冲击波向周围传导会导致周围组织器官发生间接损伤,这种间接损伤即为火器伤远达效应^[1-3]。

远达效应造成的组织器官损伤常因远离原发伤部位而被忽视。因此,对于火器伤远达效应的研究成为热点。但目前学界对于距离原发伤道多远的脏器损伤属远隔脏器损伤尚无权威定义。赵欣等^[4]主张将距离原发伤道一个脏器以上距离的组织器官损伤定义为远隔脏器损伤,此定义有助于临床工作者明确伤者是否存在远隔脏器损伤并加以诊治。远达效应的发生主要与致伤因素和伤处组织结构有关。目前

研究发现其发生机制主要与压力波效应、冲击波效应、血流动力学改变、神经内分泌改变等有关^[4]。

2. 火器伤、远达效应对机体影响机制:机体遭受火器伤后在直接致伤作用、远达效应及局部热效应等共同影响下出现血流扰动、血管内皮损伤及应激反应;机体皮肤、肾脏及腹腔脏器血管强烈收缩以保证心脑等重要脏器供血,血管外周阻力增高,同时,心脏发生非特异性变性损伤严重影响心脏生理功能^[4,5]。火器伤后机体出现低钙、低钠、低氯、低镁血症及乳酸堆积^[5,6]。机体内过酸环境及低钠、低氯导致心肌细胞膜 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶活性降低。低钙也会抑制心肌细胞兴奋 - 收缩偶联过程,导致心肌收缩力下降。低镁血症可影响细胞能量代谢,引起细胞内钙超载及细胞水肿。火器伤远达效应、应激反应、疼痛刺激、失血等因素可引起代偿性呼吸增加,伤后炎性介质损伤呼吸膜均可引起肺泡气体弥散功能障碍,从而使机体相对缺氧,无氧代谢产生的酸性物质堆积导致机体出现酸中毒^[7-9]。此外,火器伤以及火器、冻复合伤后机体组织损伤严重,血流动力学紊乱加重、心肌酶水平升高^[10,11]。

二、冻伤特点及对机体影响

1. 冻伤致伤特点:冻伤是寒冷潮湿等因素作用于机体而导致的机体局部或全身损伤。在西北地区特殊地理气候条件下,冻伤在部队官兵作战、训练及普通民众日常生活中较多见。依据冻伤对机体造成损伤程度不同,可将其分为4度:Ⅰ度伤及表皮层,复温后出现针刺样疼痛或灼热感,无水疱可自愈;Ⅱ度伤及真皮层,局部红肿有浆液性水疱,愈后无瘢痕;Ⅲ度伤及皮肤全层,皮肤感觉消失,有血性水疱须靠植皮愈合;Ⅳ度伤及肌肉、骨骼,皮肤青紫感觉消失,治愈后多有功能障碍或致残^[12,13]。

基金项目:全军“十一五”面上基金资助项目(06MB103);兰州军区“十一五”医学科研计划基金资助项目(LXH - 2006027);兰州军区面上项目A类(C LZ15JA04)

作者单位:730050 中国人民解放军兰州军区兰州总医院普胸外科

通讯作者:孟辉,硕士生导师,电子邮箱:mhgl2008@163.com

依据冻伤程度分级,如何在试验中制备可靠动物冻伤模型是目前亟待研究的问题。Ⅰ度冻伤损伤程度轻可自愈,自愈因素很可能对实验结果造成较大干扰。Ⅲ、Ⅳ度冻伤属重度冻伤,损伤程度重,常致动物死亡亦不利于后续研究。杨臣礼等^[10]和周旭等^[14]研究发现Ⅱ度冻伤既可最大限度排除自愈因素对实验的干扰,又不致使动物损伤过重(半数致死量 < 50%)而有利于后续研究。因此,Ⅱ度冻伤是制备动物冻伤模型较适宜的冻伤程度。

动物冻伤模型制备目前有局部冻伤模型和全身冻伤模型两种。局部冻伤模型一般使用液氮(-196℃)直接或间接接触实验动物局部皮肤来制备冻伤模型。但此种方式中动物仅局部遭受低温损害,并不能有效模拟全身冻伤后机体反应。为克服以上缺点,张培谊等^[15]将实验动物置于野外寒冷环境中建立动物全身冻伤模型。此种方式可更准确模拟冻伤后机体局部和全身反应,便于对野外冻伤研究。但露天环境中致伤温度及程度不能精确控制。

2. 冻伤对机体的影响机制:遭受冻伤后,机体为抵御寒冷刺激而收缩皮肤、肾脏等处血管以减少热量散失,并调动肌肉等产热器官加速产生热量以维持中心体温不致过低^[16]。因此,冻伤后可见机体皮温降低、皮肤颜色苍白等表现。由于外周血管收缩后组织灌流不足且肌肉活动增加后需氧量增大,机体内出现相对组织缺氧及营养、代谢产物交换不足,体内乳酸等无氧代谢产物堆积并出现酸中毒表现。由于低温刺激对机体损伤是由外向内过程,所以轻、中、度冻伤时机体损伤较轻微,血液心肌酶、血流动力学及血气等指标虽存在一定程度紊乱但并不重。寒冷刺激所致血管收缩及血管内皮损伤可导致局部血栓形成,且血管因素所造成的损伤较寒冷刺激直接损伤更为严重^[17, 18]。

三、火器-冻/冻-火器复合伤特点及对机体影响

1. 火器-冻/冻-火器复合伤特点:火器-冻复合伤、冻-火器复合伤致伤特点既有火器伤和冻伤各自对机体影响,又有两种致伤因素共同作用,因而对机体的影响存在叠加、促进等协同作用。所以,要综合两种损伤的机制来分析复合伤的致伤特点和机制及对机体影响。但目前国内外对于此种复合伤的致伤机制及对机体影响并无详尽研究。

杨臣礼等^[10]在冰箱冷冻室外放置一层锡纸包裹的绝热板(上方预留空气进出口,并由此放入温度计

监控室内外温度),冷冻室内温度控制在 $-21 \pm 1^{\circ}\text{C}$,构建模拟野战状态下全身冻伤设备。将实验动物置于此冻伤设备中置冻 90min 即可制备冻伤程度达到Ⅱ度的全身冻伤模型。此种冻伤模型既模拟了全身冻伤损害,又精确控制冻伤程度便于后续研究。

2. 火器-冻/冻-火器复合伤对机体影响:机体遭受火器-冻复合伤后,冻伤与火器伤形成协同作用,进一步放大机体损伤。因此,机体血流动力学紊乱程度进一步加重特别是伤后第 1h 即黄金小时内紊乱程度最重,且机体酸中毒程度进一步加深。由于两种致伤因素对于机体损伤严重,故血液心肌酶水平显著升高^[10]。因此火器-冻复合伤较单一火器伤或冻伤机体损伤更重。

机体遭受冻-火器复合伤后,寒冷刺激使局部血管收缩、血液黏滞度升高、动静脉短路关闭及局部血栓形成。此时局部血流量较常温时明显减少,因而冻伤处遭受火器伤后,火器伤所致的失血、血流扰动及血槌效应对机体产生的损害轻于常温下火器伤。此时冻伤对于火器伤损伤起到了间接减损作用,冻-火器复合伤对机体损害不及火器-冻复合伤。但火器伤客观上仍对冻伤所致机体应激反应、血流动力学紊乱以及各种损伤效应起到放大作用,所以机体出现的血流动力学紊乱、酸中毒以及血液心肌酶水平升高程度较单一火器伤或冻伤严重。

四、诊断与治疗

1. 火器伤诊断与治疗:火器伤诊断分为原发伤诊断和远达效应诊断两部分。由于火器伤患者常存在明确火器伤病史及伤道,原发伤不难确诊。远达效应造成损伤诊断,要注意远离原发伤道组织器官损伤后所表现出的症状、体征。特别是在火器伤伤后 1h 内失血、应激等因素会导致伤者血流动力学出现紊乱,因而依据其快速血流动力学监测指标诸如心率、收缩压、舒张压以及平均动脉压的变化可协助伤情程度诊断。血液学检查包括心肌酶谱、电解质、肝肾功在内的生化和动脉血气分析,以及 CT 等影像学方法协助对火器伤原发伤道、组织损伤程度及远达效应所致组织器官损伤诊断^[10, 19]。

现代武器致伤多元化、复杂化特点突出,在战时火器伤救治应尽量前伸并按照分级及时处理。在非战场环境下应尽快将伤者送医急救,同时急救人员应做好院前急救^[20, 21]。火器伤患者分级:Ⅰ级为即刻存在生命危险者;Ⅱ级为 8~12h 内暂不存在生命危险者;Ⅲ级为 24h 内不存在生命危险者。Ⅰ级者应就

地评估生命体征及快速血流动力学指标变化情况,并依据其变化即刻予以心肺复苏、止血及抗休克等急救处理,待患者生命体征平稳后及时后送进行治疗。Ⅱ、Ⅲ级者可予以一般救护后及时后送继续治疗。

火器伤后续治疗同样十分重要,此时可对患者各项生命体征进行全面监测,并依据监测结果调整治疗方案以更有效改善患者血流动力学以及其他各脏器功能紊乱。同时,应充分利用影像学方法协助完成对残留致伤物、伤道以及临近脏器损伤确定,并通过手术清除坏死组织和残留的异物。术中应重点做好“清、冲、引”,即彻底清除伤道中坏死组织和残留异物,清创后可使用稀双氧水与生理盐水反复冲洗以尽可能清除坏死组织,最后放置低负压引流充分引流渗液保持创面干燥利于愈合。此外,应重视受伤部位的功能恢复和伤员心理疏导^[22]。

2. 冻伤诊断与治疗:冻伤患者常存在明确寒冷环境暴露病史,且受伤部位皮温低,颜色苍白、青紫,因此对于冻伤不难诊断。冻伤治疗中首要的是明确冻伤程度并依据其程度给予相应治疗方式。但其基本治疗原则一致:使患者迅速复温,防止进一步冷暴露及恢复患处血液循环。Ⅰ~Ⅱ度冻伤在迅速复温的基础上在伤处局部涂抹冻伤膏等外用药物后一般可痊愈;Ⅲ~Ⅳ度冻伤属重度冻伤且组织损伤程度重,且患者冻伤部位局部血管常伴血栓形成,故目前主张对此类患者及解冻后 24h 内血管造影发现栓塞者应用低分子肝素钙等溶栓药物^[17,18,23],但同时应注意可能出现的出血迹象并及时监测患者凝血功能。若组织已彻底坏死,应在尽量多保留患处功能前提下及时进行手术清除坏死组织。

3. 火器-冻/冻-火器复合伤的诊断与治疗要点:目前,火器-冻/冻-火器复合伤的诊断与治疗措施鲜见报道,但有关诊治问题可结合火器伤、冻伤的诊断与治疗方法进行研究。火器-冻复合伤伤者存在明确火器伤与冻伤病史,故不难诊断。由于复合伤情重,治疗原则为在积极生命支持的前提下明确损伤程度并据此予以个性化治疗。具体治疗措施包括急救与后续治疗两方面。

急救是从伤者接诊到生命体征平稳可耐受下一步治疗的阶段。此时应优先评估火器伤程度。若属Ⅰ级,需就地展开复苏、抗休克等处理,并注意伤者保暖,待生命体征平稳后及时后送。若属Ⅱ~Ⅲ级,需使伤者尽快脱离低温环境并予以复温、补液、纠正酸

碱平衡紊乱等对症处理。在行液体复苏时建议将液体加温至 37~40℃ 后输注,这样可同时达到体内复温和维持有效循环血量的目的^[12]。在复温时应密切关注伤者生命体征变化,预防因外周寒冷血液迅速回流引起中心体温过快下降导致的复温性休克。

后续治疗包括远隔脏器损伤治疗、清创、抗感染及高压氧治疗等。鉴于远达效应客观存在,应尽快完善相关检查以明确远隔脏器损伤的程度并据此予以适当治疗。复合伤后感染致病菌与寒冷干燥环境下单纯火器伤相同且主要为 G⁺ 菌特别是金黄色葡萄球菌,但复合伤后感染更重^[22]。故早期应经验用药,待细菌培养及药敏结果回报后调整抗生素使用。同时应彻底清创以清除坏死组织减轻菌负荷。高压氧具有减少局部血容量、提高血液含氧量及抑菌作用,可缓解组织水肿、促进伤处愈合,控制复合伤后感染^[23]。

综上所述,目前国内外对于单一火器伤及冻伤已有广泛而深入的研究,特别是对其致伤机制、诊断要点、救治措施已有全面的论述。但是对于火器-冻、冻-火器复合伤的研究仍十分匮乏,仅杨臣礼等研究了复合伤对于机体血液心肌酶的影响。而复合伤对机体电解质、血生化、炎性因子的影响,以及创伤修复、伤道细菌学、治疗原则与治疗方案的研究鲜有报道。笔者认为上述方面可以作为火器-冻及冻-火器复合伤进一步研究的方向,并有望进一步阐明复合伤的致伤机制及对机体的影响,提出有效的治疗方案。

参考文献

- David K, Carr DJ, Leclair SCJ, *et al.* Gunshot induced indirect femoral fracture: mechanism of injury and fracture morphology [J]. J Royal Army Med Corps, 2013, 159(4): 294-299
- Rochkind S, Strauss I, Shlitner Z, *et al.* Clinical aspects of ballistic peripheral nerve injury: shrapnel versus gunshot [J]. Acta Neurochirurgica, 2014, 156(8): 1567-1575
- Stefanopoulos PK, Filippakis K, Soupiou OT, *et al.* Wound ballistics of firearm-related injuries—Part I: missile characteristics and mechanisms of soft tissue wounding [J]. Int J Oral Maxi Surg, 2014, 43(2): 1445-1458
- 赵欣,王玮. 高速投射物致远达效应的研究进展 [J]. 西南国防医药, 2009, 19(07): 749-751
- 李素芝,殷作明,胡德耀,等. 高原肢体枪弹伤对循环呼吸系统的影响 [J]. 西南国防医药, 2010, 20(10): 1109-1112
- 殷作明,李素芝,胡德耀,等. 高原高寒战时环境肢体枪弹伤后电解质代谢的动物实验研究 [J]. 创伤外科杂志, 2011, 13(2): 155-158
- 赵欣,王亚蓉,王勇,等. 猪后肢枪弹软组织贯通伤致心血管远达效应的实验研究 [J]. 医学影像学杂志, 2012, 22(04): 652-657

(转第 123 页)

有镇静镇痛作用,节省阿片类镇痛药的用量;增强术后镇痛作用,提高患者的满意度;降低阿片类药物的不良反应如呛咳、恶心、呕吐、躁动及谵妄等;术后镇静的同时,对患者的呼吸没有影响;可预防术后出现慢性疼痛。右美托咪定用于术后静脉镇痛方案适用于骨科、胸科、胃、肝胆切除、妇科及无痛分娩等手术。除禁忌证患者(如心脏传导阻滞)外,其他患者均可尝试,关键是要调整好剂量。右美托咪定用于术后静脉镇痛方案,给予 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 的剂量范围可以发挥最大效果,同时又最大限度地规避右美托咪定对于心率、血压的影响^[9]。因此,本研究选取右美托咪定的剂量为 $2.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

本研究中 A 组和 B 组患者术后 MAP 和 HR 均高于术前, C 组术后 MAP 较术前升高,但 HR 较术前降低;术后 B、C 两组患者的 HR、MAP 均较 A 组更平稳,说明右美托咪定可达到较为稳定的血流动力学的作用。本研究表明, B、C 组患者术后 2~8h 内的 VAS 和 Ramsay 镇静评分均低于 A,且 C 组患者术后 2~8h 内的 VAS 及 Ramsay 镇静评分均低于 B 组。这提示,右美托咪定和氢吗啡酮的作用机制不同,但二者均可提供良好的术后镇痛镇静的效果。B 组和 C 组患者的总不良反应发生率低于 A 组,而 B 组与 C 组患者的总不良反应发生率均降低,但差异无统计学意义($P > 0.05$),其原因可能为氢吗啡酮和右美托咪定对呼吸系统几乎无影响,且二者节省了舒芬太尼的用量,降低了阿片类镇痛药的不良反应发生率,安全性

较高。总之,氢吗啡酮复合右美托咪定应用于胸腔镜下肺叶切除术患者术后镇痛的效果较好。

参考文献

- Gerlach AT, Dasta JF. Dexmedetomidine: an updated review [J]. *Ann Pharmacother*, 2007, 41(2):245-252
- Liu SS, Bieltz M, Wukovits B, *et al.* Prospective survey of patient-controlled epidural analgesia with bupivacaine and hydromorphone in 3736 postoperative orthopedic patients [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2010, 35(4):351-354
- 梅莉,徐金东,王刚,等. PainVision 法评估妇科腹腔镜手术后疼痛程度的可靠性:与 VAS 评分的比较 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2013, 33(6):708-710
- Eren G, Cukurova Z, Demir G, *et al.* Comparison of dexmedetomidine and three different doses of midazolam in preoperative sedation. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology* [J]. 2011, 27(3):367-332
- Beatty NC, Arendt KW, Niesen AD, *et al.* Analgesia after Cesarean delivery: a retrospective comparison of intrathecal hydromorphone and morphine [J]. *J Clin Anesth*, 2013, 25(5):379-383
- Min TJ, Kim WY, Jeong WJ, *et al.* Effect of ketamine on intravenous patient-controlled analgesia using hydromorphone and ketorolac after the Nuss surgery in pediatric patients [J]. *Korean J Anesthesiol*, 2012, 62(2):142-147
- Alipour M, Tabari M, Faz RF, *et al.* Effect of dexmedetomidine on postoperative pain in knee arthroscopic surgery: a randomized controlled clinical trial [J]. *Arch Bone Jt Surg*, 2014, 2(1):52-56
- Kayyal TA, Wolfswinkel EM, Weathers WM, *et al.* Treatment effects of dexmedetomidine and ketamine on postoperative analgesia after cleft palate repair [J]. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr*, 2014, 7(2):131-138
- Zhang X, Bai X. New therapeutic uses for an alpha2 adrenergic receptor agonist-dexmedetomidine in pain management [J]. *Neurosci Lett*, 2014, 561:7-12 (收稿日期:2015-12-01) (修回日期:2015-12-28)
- Oehmichen M, Meissner C, König HG. Brain injury after survived gunshot to the head: reactive alterations at sites remote from the missile track [J]. *Forensic Sc Int*, 2001, 115(3):189-197
- Agot I, Guro V, Leif A. Quality of life-the effect of hyperbaric oxygen treatment on radiation injury [J]. *Undersea Hyperbaric M*, 2014, 40(6):479-485
- 杨臣礼,李乃斌,孟辉,等. 火器-冻复合伤后早期血液心肌酶组合变化研究 [J]. *西北国防医学杂志*, 2011, 32(02):81-83
- Xue HC, Li ZX, Zheng WW, *et al.* Injuries of myocardial cells and changes of myocardial enzymes after firearm wound-induced intestinal perforation in porcine abdomen [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(2):2273-2278
- 薛宝升,王杨,孙海峰. 冻伤诊疗研究进展 [J]. *创伤与急危重病医学*, 2014, 2(2):65-68,104
- Kiss TL. Critical care for frostbite [J]. *Crit Care Nurs Clin North Am*, 2012, 24(4):581-591
- 周旭,吕俊兰,靳士晓,等. 家兔皮肤轻度冻伤模型的研究 [J]. *解放军药学报*, 2011, 27(06):516-8
- 张培谊,付勇,邹赛英,等. 高寒环境实验兔骨骼肌火器伤组织病理学观察 [J]. *现代生物医学进展*, 2012, 12(13):2425-2458
- Rothenberger J, Held M, Jaminet P, *et al.* Assessment of microcirculatory changes of cold contact injuries in a swine model using laser Doppler flowmetry and tissue spectrophotometry [J]. *Burns*, 2013, 40(4):725-730
- Eric G, Johanna M. Using thrombolytics in frostbite injury [J]. *J Emerg, Trauma Shock*, 2012, 5(3):267-271
- Ken Z. Frostbite: prevention and initial management [J]. *High Altitude Med Biol*, 2013, 14(1):9-12
- 王勇,王玮. CT 技术在肢体枪弹伤致心肺远达效应损伤检查中的应用 [J]. *人民军医*, 2012, 55(1):65-67
- Iordanis P, Nikolaos K, Nikolaos D, *et al.* A structured autopsy-based audit of 370 firearm fatalities: Contribution to inform policy decisions and the probability of the injured arriving alive at a hospital and receiving definitive care [J]. *Accid Anal Prev*, 2013, 50(6):67-77
- Zafar SN, Haider AH, Stevens KA, *et al.* Increased mortality associated with EMS transport of Gunshot wound victims when compared to private vehicle transport [J]. *Injury*, 2014, 45(9):1320-1326
- Tolga T, Nicole CA. Management of gunshot wounds to the hand: a literature review [J]. *J Hand Surg*, 2013, 38(8):1641-1650
- 杨帆,周其全,高钰琪,等. 高原冻伤的预防与治疗进展 [J]. *人民军医*, 2013, 56(1):100-102 (收稿日期:2015-12-08) (修回日期:2015-12-21)

(接第 172 页)