DOI:10.16016/j.1000-5404.1991.04.007

三年冲击伤研究的回顾*

王正国 朱佩芳 杨志焕 孙立英 赵敏 张均奎

（第三军医大学 野战外科研究所） 630042

提 要 采用TNT炸药爆炸、激波管试验和火炮发射等方法对929只绵羊、狗、兔、大鼠和豚鼠进行了冲击伤研究，其主要结果如下：（1）研制了中、小型生物激波管，适于小动物及局部损伤研究。(2)建立了胸部动力学响应的数学模型，由此可根据环境参数推算出体内受力情况和伤情。同时，还证实了内爆效应在肺损伤的发生上具有重要作用。（3）中度烧冲复合伤时，其细胞免疫功能增强。输注晶体液加全血的疗效最好。（4）提出了炮口冲击波对人员非听器损伤的参考安全限值如下：$P=41-3\ln\frac{TC\cdot N}{4}$ (kPa)，其中TC为持续时间，N为发数，ln为自然对数。（5）用小型激波管制成了典型的兔眼冲击伤模型。还证实冲击波作用下大鼠学习和记忆功能有所减退。

关键词 冲击伤；炮口冲击波安全限值；激波管；内爆效应；烧冲复合伤；应力-应变效应

我所从1970年起，开始对冲击伤进行实验研究，其主要结果曾在有关专著[1]和论文[2][3]中发表。近3年来，我们又研制了新型的生物用激波管，并对肺冲击伤的发生机制、烧冲复合伤的病理生理和救治、非听器损伤的安全限值等专题进行了研究，其主要结果如下。

1 材料和方法

1.1 中、小型激波管的研制

为便于进行小动物和局部性冲击伤实验研究，设计和研制了两种激波管，并作了200余只狗、兔、豚鼠和大鼠实验，以考核其功能。

1.2 肺冲击伤的病理改变和发生机制

实验动物为羊22只、狗61只、兔64只、大鼠30只，用激波管或模拟激波管造成动物中度至重度肺冲击伤，分别作扫描电镜和体视学观察，并测定血液流变学、凝血功能和循环内皮细胞某些指标的变化。发生机制方面包括胸部动力学响应、内爆效应和应力应变效应等研究。

1.3 关于烧冲复合伤

给50只狗造成25%Ⅱ°凝固汽油烧伤和中度冲击伤，分组及治疗方案见附表。另有324只大鼠分为正常对照、单冲（中度伤）、单烧（15%Ⅱ°烧伤）和烧冲复合伤4组，分别观察伤后不同时间中肺巨噬细胞和过氧化氢酶（CAT）、多形核白细胞功能、脾淋巴细胞增殖反应、碱性成纤维细胞生长因子（bFGF）等方面的变化。

1.4 炮口冲击波非听器损伤安全限值

绵羊145只，分别用152加榴炮60次发射（7只）、激波管单次暴露（21只）、10kg TNT炸药爆炸（单次52只、20次32只、60次33只）等方法致伤，以研究非听器损伤的安全限值。

1.5 眼冲击伤

40只家兔用Ⅱ型激波管造成眼冲击伤，致伤前后作眼外观、眼压和眼底检查，伤后24h摘除眼球作病理检查。

1.6学习和记忆功能

30只大鼠分为全身致伤、头部致伤和正常对照，以观察大鼠伤后在穿梭箱中对主动回避反应的习得率

*本项目曾得到国家自然科学基金委员会的部份资助

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

附表 烧冲复合伤狗输液治疗方案

Tab. Different programs of fluid therapy in dogs with burn-blast combined injury

group	No. of animals	Bodyweight (kg)	amount of replaced fluid ml/kg B.W./1% BSA					Arrangement
			Saline	Ringer	whole blood	dextran	5%gluc.	
Control	10	13.8±2.1	0.8 (isotonic)	…	…	…	1.6	First 8h-infuse 1/2 Other 16h-infuse 1/2
Treat-1	10	13.50±2.7	…	4.0	…	…	…	Same as control
Treat-2	10	12.70±2.3	…	1.5	…	0.5	…	First 8h-infuse 1/2 Other 16h-infuse 1/2 (Ringer+dextran)
Treat-3	10	13.01±2.4	2.0 (hypertonic)	…	…	…	1.6	First 8h-infuse 2/3 hypertonic saline+1/3 gluc. sol. Other 16h-infuse the rest part
Treat-4	10	12.8±1.7	…	2.0	0.5	…	1.6	First 8h-infuse 2/3 Ringer+1/2 gluc. sol. 8～10h-infuse whole blood Other 14h-infuse the rest part

和消退率。

2 实验结果

2.1 中、小型激波管（BST-Ⅱ、Ⅲ型）的研制

Ⅰ型为等截面和变截面组合式结构，驱动段内径77mm，长0.5m～0.8m；实验段截面内径0.1m～0.6m，长0.2m～10.3m，两段间有单层或双层夹膜。超压峰值为2.52～650kPa，作用时间为200μs～2.0s。负压峰值达45kPa，负压作用时间为数毫秒。Ⅱ型内径40mm，管口内径2mm～10mm，全长0.5m，超压峰值26.8～231.9kPa，正压作用时间为3.3ms～16.8ms，负压峰值为10.4～52.2kPa，负压作用时间为31.3ms～88.8ms。两种激波管的压力和作用时间可调范围大，体积小，操作简便，可产生不同程度的伤情，Ⅱ型用于眼冲击伤研究最为理想。

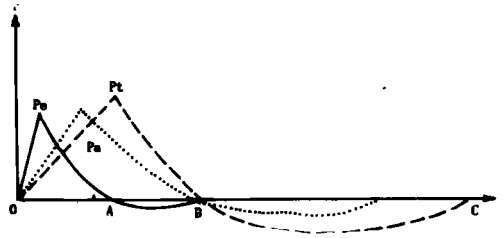
2.2 肺冲击伤病理改变和发生机制

扫描电镜观察见气管和支气管粘膜有浅层剥脱和因上皮撕裂而出现的裂缝。细支气管仅见个别浅层裂隙。肺泡隔有破坏，残留索条状结构，毛细血管有裂隙和窗孔形成[4]。体视学测定表明，大鼠伤后肺泡血气屏障的算术平均厚度有所增加，其中主要是内皮增厚所致（$P<0.05$），伤情重者更为明显。内皮细胞、间质细胞和Ⅰ型肺泡上皮中质膜小泡数密度和单位面积细胞膜上质膜小泡数均与对照组无显著差异[5]。血液流变学和凝血功能检查显示，狗致伤后6h，全血粘度明显增高，以重伤组更为明显，伤后24h恢复正常。血球压积在轻伤组伤后1h和重伤组伤后6h均有明显升高，中度伤组无明显改变。血浆粘度伤后无明显改变。白细胞总数伤后1h有降低，伤后6h回升，伤后24h高于正常（$P<0.05$），伤情重者变化幅度更大。白细胞粘附率在轻伤组伤后2h和6h分别由伤前的43.1±17.1%降至22.0±7.9%（$P<0.05$）和7.4±1.8%（$P<0.01$），伤后24h回升。重伤组伤后1～2h有增高，6h明显降低，约为伤前的50%；24h后为伤前的33%（$P<0.05$）。血小板粘附率在轻伤组无明显变化，重伤组伤后1h、2h有显著增加（$P<0.01$，0.05），平均为伤前的2～3倍，伤后6h、24h降低，但仍高于正常值。血小板数伤后24h内有减少，但凝血酶原时间和纤维蛋白原含量均无明显改变，优球蛋白溶解时间缩短，3P试验阳性。绵羊循环内皮细胞检查显示，伤后细胞数减少，伤情重者减少更多。对48只家兔的血管紧张素转换酶（ACE）检查表明，伤后

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1h，轻伤组和重伤组血清ACE活性分别下降24%（平均由伤前的240μ降至186μ）和42%（平均由伤前的237μ降至140μ），伤后24h方接近伤前水平。血清ACE降低程度与肺损伤程度基本一致，与肺体指数和肺含水率呈负相关。肺组织出血渗血区中ACE活性变化与血清ACE变化大致相同。

实测了绵羊在冲击波作用下胸壁内向运动的位移、最大速度和最大加速度[6]，然后根据建立的单腔数学模型计算出预测值。结果表明，肺冲击伤伤情与绵羊胸壁内向运动的位移无关，而与速度和加速度有关。因此，通过数学模型计算的胸壁内向运动速度和加速度，可在一定程度上预计肺损伤伤情。将压力传感器放在食管（平气管分叉）和腹腔内测定致伤瞬间的压力变化，结果显示：压力变化经历3个时相（附图）：第一时相(OA)中腹内压大于胸内压，第二时相(AB)中的胸内压大于腹内压，第三时相(BC)中胸内负压大于腹内负压。胸腹腔间的压力在瞬间呈双相传导。这种压力的急剧变化，特别是胸腔扩张，可引起肺损伤。



附图 冲击波作用时绵羊胸腹腔瞬间压力变化

Fig. Initial changes of intrathoracic and intraabdominal pressure in sheep after blast exposure

给家兔朝爆心侧的胸腔内伤前分别注射30ml空气或水，结果显示，注射空气组伤后的肺出血较注射水或未作处理的致伤兔严重得多，这间接支持了内爆效应在致伤中可能起重要作用。

给家兔胸部包绕胸带，束紧压2.94kPa，以限制冲击波作用后的胸腔扩张。结果表明，包胸带者肺出血明显减轻，说明减弱张应变有可能减轻肺损伤。

2.3 烧冲复合伤

对狗的补液治疗实验表明，晶体加全血的第4组疗效最好。补钠量以0.3mmol/kg/1%体表面积为宜，给水量以2～2.5ml/kg/1%体表面积最佳。常用的Parkland烧伤输液公式用于烧冲复合伤时，肺含水量较高，故不宜推荐。血清渗透压的测定对指导输液，特别是高渗液治疗是有效的。大鼠的实验显示，伤后肺泡灌洗液（BALF）中白蛋白含量增加，巨噬细胞释放H_2O_2增加，BALF及肺组织匀浆中CAT活性降低，表明肺损伤可能与巨噬细胞被激活和肺组织抗氧化系统功能降低有关。多形核白细胞全血自发化学发光(CL)增强，刀豆蛋白A(ConA)戴帽实验形成增加，说明白细胞被激活后功能增强。脾淋巴细胞增殖反应于伤后早期有降低，白介素-Ⅰ诱生在伤后明显增加。PGE1对前两者有抑制作用，而消炎痛作用相反。正常肺组织内没有具有活性的bFGF，亦不合成bFGF，肺损伤后则可检出bFGF活性和bFGF mRNA。bFGF活性增高是肺损伤的一个标志。同时，bFGF也参与肺损伤后的组织修复。

2.4 炮口冲击波非听器损伤安全限值

经分析压力值与伤情的关系，并作数据处理后，提出无防护条件下，炮口冲击波对人员非听器损伤的参考安全限值如下式：

$$Ps = 41 - 3\ln\frac{TC \cdot N}{4}\ (kPa)$$

式中Ps为炮手所在处自由场超压峰值，最低值不应低于23kPa；N为火炮发射次数；TC为持续时间，通常迫击炮可取1ms(<1ms按1ms计算)；85mm口径以上火炮在开阔地面射击时可取4ms；掩盖工事内射击时可取6ms，85mm口径以上火炮在坑道内射击时可取10ms；ln为自然对数。这一参考安全限值可保护90%以上的炮手免遭内脏损伤。

此外，在10kg TNT炸药爆炸条件下，选择了经受不同爆炸次数而超压值相似的几组绵羊。结果表明，与单次相比，20次和60次暴露条件下，胃肠道和肺损伤似略有加重，上呼吸道损伤未见加重[7]。在超压峰值相近（107.7±7.0kPa与114.5±9.2kPa）的条件下，作用时间较长（39.3±2.7ms）者比起较短（5.1±0.2ms）者来，其伤情更重。

2.5 眼冲击伤

采用Ⅱ型激波管在距管口4cm和2cm外分别正向和侧向暴露兔眼，超压峰值分别为477.0±42.4kPa和

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

236.7±22.0kPa，正压作用时间分别为8.2±0.3ms和0.06±0.02ms。致伤后伤眼有瞳孔缩小(占97.5%)、眼压升高（占80%）；健侧眼分别占22.5%和35%，两眼差别显著（$P<0.05$）。病理检查见伤眼有角膜、晶体、视网膜及色素膜损伤，严重者可发生眼球破裂、视路断离以致眼球被击体外。值得注意的是，有的伤眼，其角膜和前房无明显改变，但却发生了晶体和视网膜损伤。

2.6 学习和记忆功能

学习和记忆的研究显示，伤后5 d，两致伤组动物的习得率均明显低于对照组（$P<0.05$），尤以头部致伤组更为显著（$P<0.01$），伤后10d接近正常。记忆消退速度亦如此，头部致伤组显著快于对照组（$P<0.01$），而全身致伤组仅为一过性。这表明，在冲击波作用下，中枢神经系统学习记忆功能可出现一定的障碍。本实验的超压值不很高（267.6～325.3kPa），伤情较轻。如超压值较高，则功能障碍可能更为显著。

3.1 激波管

我们曾研制成一大型(BST-1)生物激波管，直径1m，长39.4m[8]，使用良好，但作小动物或眼冲击伤实验时则显得浪费或不便。为此，研制成中、小型激波管，其中Ⅱ型为组合式，可变换多种内径不同的试验段，因而完全做到了系列化，可满足各种生物实验要求。

3.2 肺冲击伤发生机制

以往曾有内爆、碎裂（或剥落）、惯性、压力差等多种学说[1]，但多停留在推论上。本次实验中，一定程度上证实了内爆效应在肺冲击伤发生上的重要作用。至于碎裂效应，其作用可能很小，因为肺内应力波波长l约6cm～20cm，而碎裂效应通常在介面为$\frac{1}{2}l$时才能起充分作用，即肺泡壁厚3cm以上时碎裂效应最显著，但事实上肺泡壁厚度不足1mm，故碎裂效应不会很明显。冲击波作用于机体后，其能量转化为应力波。按理，传给组织的能量愈大则损伤愈重。但在实验中发现，如用胸带包绕胸腔，使其扩张受限，尽管应力相同，却因张应变减少而使肺出血显著减轻。这就提示，改变应力-应变本构关系，可能对冲击伤有减轻作用。

3.3 烧冲复合伤的补液治疗

烧冲复合伤早期补液问题至今无统一意见[1]。本实验表明，大量补晶体液虽有一定效果，但易增加肺水量；如适当补给晶体，并给予一定量的全血，则疗效最佳。这一结果有重要临床意义。

（冷华光、唐承功、刘国建、周继红、杨军民、丁昌桢、杨映波对、李晓炎、马孝华、尹友国 刘大为、刘怀林、邹用志、张香菊、张长城、袁良礼参加了部份实验研究）。

参 考 文 献

1. 王正国。冲击伤。北京：人民军医社，1983
2. 王正国 郑世钢 杨志焕，等。冲击伤研究。创伤杂志 1986；2 (4)：193
3. 王正国 杨志焕 冷华光，等。冲击伤的实验研究。中华医学杂志 1989；69 (1)：7
4. 赵敏 王正国 刘大维。正常和冲击伤大鼠气道及肺的扫描电镜观察。第三军医大学学报 1988；10 (6)：470
5. 赵敏 王正国 刘大维，等。大鼠冲击伤后肺形态变化的定量分析—血气屏障的结构变化分析。中华物理医学杂志 1990；12 (4)：217
6. 张均奎 王正国 姚德胜，等。激波载荷下绵羊胸部动力学响应的数学模型。生物医学工程学杂志 1990；7 (1)：13
7. 杨志焕 唐承功 王正国，等。冲击波延长正压作用时间和重复作用生物效应的初步观察。第三军医大学学报 1990；12 (6)：517
8. Wang ZG (王正国)，Leng HG (冷华光)，Yang ZH (杨志焕)，et al. A newly designed shock tube for biological testing. J Trauma (China) 1990；6 (2) Suppl：20

（收稿：1991.02.21；修回：1991.06.04）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

A Retrospect of Three Years Research on Blast Injuries

Wang Zhengguo, Zhu Peifang, Yang Zhihuan, et al (Research Institute of Field Surgery, Third Military Medical College, Chongqing, 630042)

Abstract The research on blast injuries was continued in our lab in the last 3 years. Altogether 145 sheep, 54 dogs, 65 rabbits, 560 rats and 105 guineapigs were employed and the methods to inflict injuries consisted of TNT charge explosion, shock tube testing, and gunfiring. The main results obtained in the 3-year-period were follows:

1. A medium-sized and a small shock tubes were designed and manufactured to inflict blast injuries on small animals and reginal blast injuries.

2. A mathematic model was developed to predict the dynamic responses of the chest wall to blast waves in sheep. It was demonstrated that the implosion effect might play an important role to cause lung damages.

3. The immune function of the animals after moderate burn-blast combined injury was even more active than before injury. The infusion of electrolyte solution associated with whole blood was most effective to treat burn-blast combined injury.

4. A reference formula to express the safety limits of muzzle blast waves to nonauditory injuries of human body was put forward, that is, $P = 41 - 3 \ln (TC \cdot N/4)$ (kPa).

5. A model of ocular blast injury was established in rabbits with the small shock tube. It was found that a decrease of the ability of learning and memorizing after blast exposure in rats.

Key worbs blast injury; safety limit of muzzle blast waves; shock tube; implosion effect; burn-blast combined injury; stress-strain effect

---

脑室注入尿激酶治疗脑室出血2例报告

焦 辉* （第三军医大学 90级研究生） 630038

本文报告2例用尿激酶注入脑室治疗高血压性脑出血的病人，获得成功。

病例1 赵××，女性，74岁。因头痛、恶心、伴右肢体力弱2 d住院，既往有高血压病史。病人呈浅昏迷、右侧肢体轻瘫、双下肢腱反射弱、双巴氏征（+）、颈有抵抗、CT扫描发现左侧脑室出血，入院第2天行左侧脑室前角穿刺引流。

病例2 武××，男性，47岁。因头痛、呕吐伴精神异常32h住院。有家族性高血压史。查体：除脑膜刺激征阳性外，无定位体征。发病第6天行脑室引流。

1 操作及用药

按脑室穿刺术常规行侧脑室前角穿刺，成功后固定引流管。尿激酶5000u、生理盐水4 ml～6 ml稀释后注入脑室，首次为半支或1支 2/d、第2、3天2支 2/d，72h拔管。做头颅CT对照。为避免癫痫发作及防止颅内感染，同时用鲁米那及抗生素。

2 讨 论

脑室出血死亡率高，是因为（1）血液滞留于脑室形成血块，阻塞中孔造成脑水肿。(2) 压迫周围脑组织，刺激破坏下丘脑，引起胃出血。(3) 刺激脉络丛分泌增加，加重脑水肿。（4）造成颅内感染及精神异常，加重临床症状及颅内压，最终导致脑疝而死亡。

（下转338页）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net