论著

文章编号:1000-5404(2005)12-1216-04

水下冲击波致犬肺损伤的病理学观察

刘大维,杨志焕,张 波,朱佩芳,蒋建新,王正国,尹志勇,周继红,李晓炎,宁 心,冯 刚 (第三军医大学大坪医院野战外科研究所第四研究室,创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室,重庆 400042)

提 要:目的 探讨水下冲击伤后犬肺的病理学改变。**方法** 成年杂种犬37只,布放于离爆心3.5~17.5 m处,分别用200、500 g和1 000 g TNT水下3 m爆炸,水中压力传感器测定冲击波物理参数,观察伤后肺的大体形态学改变以及光镜和电镜下组织结构的变化。**结果** 肺损伤的发生率达83.7%,大体形态学改变主要为肺出血、肺水肿及少数肺撕裂;光镜下可见肺泡腔内有大量的红细胞及纤维蛋白渗出;电镜下可见肺泡壁毛细血管内皮细胞破坏严重,部分线粒体出现空泡变与髓鞘样结构,核膜不完整等特点。**结论** 严重的肺出血和肺水肿可能为动物水下冲击伤早期死亡的主要原因。

关键词:水下冲击波;肺组织;病理学改变
中图法分类号:R563.02;R846.2 **文献标识码**:A

Pathological observation of the dog lungs after underwater blast injury

LIU Da-wei, YANG Zhi-huan, ZHANG Bo, ZHU Pei-fang, JIANG Jian-xin, WANG Zheng-guo, YIN Zhi-yong, ZHOU Ji-hong, LI Xiao-yan, NING Xin, FENG Gang (State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury, Department 4, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China)

Abstract: Objective To explore pathological changes of the dog lungs after underwater blast injury. **Methods** Lungs from 37 adult dogs were taken after different underwater blast explosions, and observed with gross examination, light microscopy (LM) and electron microscopy (EM). **Results** Pulmonary hemorrhage and edema were the main morphological changes. Under LM the alveolus space was seen to be filled with edematous fluid and bloody components. Part of alveolus walls were ruptured and fused into bigger cavities while under EM the mitochondria of alveolar epithelium were vacuolated and some of the capillary predominant endothelium were broken. Hemorrhage was the pathological feature of intestinal tract. **Conclusion** Severe pulmonary hemorrhage and edema may be the main cause of early death of dogs with underwater blast injury.

Key words: underwater blast; pulmonary tissue; pathological changes

水下冲击伤是岛礁作战和渡海登陆作战中常见的一种损伤。据有关文献报道,第二次世界大战时曾发生数千例水下冲击伤伤员[1],尤其以肺部损伤最为严重,是伤员死亡的主要原因之一。国内有关水下冲击伤研究的报道甚少,也少见有关水下冲击波致肺损伤的详情报道。本研究旨在通过水下TNT爆炸,探讨水下冲击波引起的肺损伤的病理形态学改变,从而为其防治提供一定的依据。

基金项目:全军医学科学技术研究"十五"计划指令性课题(01L067)
Supported by the Mandatory Scientific Research Project of the "Tenth Five-Year Plan" of PLA (01L067)
作者简介:刘大维(1957-),男,四川省安岳县人,高级实验师,主要从事野战外科病理方面的研究,发表论文10余篇。电话:(023)68757078
通讯作者:朱佩芳,电话:(023)68757464
收稿日期:2004-04-29;**修回日期**:2005-01-05

1 材料与方法

1.1 实验动物及致伤方法

实验动物为成年杂种犬37只(第三军医大学实验动物中心提供),雌性12只,雄性25只,体质量8.2~15.5 kg。1.5%戊巴比妥钠(20~30 mg/kg)静脉注射麻醉后,颈部固定漂浮夹具,然后垂直于水面,胸腹部及四肢浸没于水中。爆炸物为两个丰球构成的TNT球,质量分别为200、500 g和1 000 g,装药密度为(1.643±0.005)g/cm^3,传爆药为泰安。将TNT球放入网兜中并扎紧,其上端系上悬挂用钢丝绳,下端用尼龙丝系上一吊锤,炸药入水深度为3 m,用高压瞬发雷管(24-1-3C)通过传爆药柱在药球中心起爆致水下冲击伤。本研究先后进行200 g TNT水下爆炸1次,500 g TNT和1 000 g TNT爆炸分别为4次和1次。

1.2 冲击波物理参数测试

压力传感器为2个PCBV138M124、2个PCB138A05和3个

PCB138A01 电气石水下爆炸压力传感器。传感器置于水下 0.3 m，分别布放于离爆心两侧 3.5～17.5 m。数据采集和处理系统为 2 台 4 路 HP54540 数字示波器和 PCBF482A20 讯号适调仪。

1.3　观察指标

1.3.1　冲击波物理参数　　包括冲击波的压力峰值(Pm)、正向持续时间(τ_+)、正向冲量(I_+)、上升时间(τ_r)

1.3.2　形态学观察　　现场死亡犬立即作大体解剖观察，存活犬于伤后 6 h 戊巴比妥钠(30 mg/kg)静脉注射麻醉后股动脉放血处死并作大体解剖。观察肺的大体形态学改变，并根据冲击伤病理诊断标准确定肺损伤程度。取损伤与正常之间的肺组织，置于 10% 甲醛溶液中固定，HE 染色，作光镜观察；置于 4% 的戊二醛，行电镜观察。

2　结果

2.1　冲击波物理参数

水下冲击波物理参数表现为高峰值压力，但正向持续时间较短，前沿上升时间快，仅为数微秒量级，冲量较大。物理参数的总趋势是随距爆心距离增加，峰值压力逐渐下降，正向持续时间缩短，冲量降低，而前沿上升时间变化不大。结果详见表 1。

表 1　水下爆炸的冲击波物理参数 ($\bar{x} \pm s$)

Tab 1　Physical parameters of blast waves from underwater TNT explosion ($\bar{x} \pm s$)

D distance	0.2 kg TNT					0.5 kg TNT					1.0 kg TNT				
(m)	MPN	Pm (MPa)	τ_+ (μs)	I_+ (kPa·ms)	τ_r(μs)	MPN	Pm (MPa)	τ_+ (μs)	I_+ (kPa·ms)	τ_r(μs)	MPN	Pm (MPa)	τ_+ (μs)	I_+ (kPa·ms)	τ_r(μs)
3.5	1	7.119	332.8	539.8	5.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	2	4.657±0.211	243.7±9.2	347.8±9.3	5.9±2.6	2	6.837±0.092	243.8±11.3	578.9±10.5	2.9±1.1	—	—	—	—	—
7.5	1	2.871	161.0	193.0	6.6	4	4.217±0.063	166.2±4.0	322.6±4.3	5.8±2.5	1	5.336	168.9	470.0	4.0
8.75	1	2.432	132.4	146.3	3.0	3	3.401±0.027	141.5±0.3	247.8±0.9	3.1±0.2	—	—	—	—	—
10.0	—	—	—	—	—	4	3.003±0.041	129.0±4.6	214.2±3.5	7.0±1.7	1	3.873	129.8	297.7	7.8
12.5	—	—	—	—	—	4	2.292±0.050	101.8±3.1	142.0±1.9	6.6±1.8	1	3.102	100.8	190.0	3.4
15.0	—	—	—	—	—	2	1.820±0.100	81.8±5.3	91.7±2.8	5.0±2.3	1	2.388	84.4	121.1	3.2
17.5	—	—	—	—	—	2	1.614±0.003	68.8±3.4	73.1±0	4.4±2.3	1	2.059	43.0	106.0	7.5

D distance: Distribution distance; MPN: Measurement point number; Pm: Peak pressure; I_+: Impulse; τ_+: The continuous time duration; τ_r: The time duration of recompression

2.2　形态学观察

2.2.1　大体形态学改变　　结果详见表 2～4。

表 2　200 g TNT 水下爆炸肺损伤

Tab 2　Severity and incidence of lung injuries from 200 g TNT under water explosion

Distance (m)	Animal number	Pulmonary hemorrhage						Pulmonary edema						Lung weight (g)/ body weight (g) index% ($\bar{x} \pm s$)
		−	±	+	++	+++	++++	−	±	+	++	+++	++++	
3.5	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3.45±0.25
5.0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2.25±0.07
7.5	2	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1.25±0.21
8.75	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0.98±0.02

−, ±, +, ++, +++, ++++: no wound, slight wound, light wound, mild wound, serious wound and severe wound

表 3　500 g TNT 水下爆炸肺损伤

Tab 3　Severity and incidence of lung injuries from 500 g TNT under water explosion

Distance (m)	Animal number	Pulmonary hemorrhage						Pulmonary edema						Lung weight (g)/ body weight (g) index% ($\bar{x} \pm s$)
		−	±	+	++	+++	++++	−	±	+	++	+++	++++	
5.0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3.9±0.1
7.5	4	0	0	0	0	1	3	0	0	1	2	1	0	2.0±0.7 (n=3)
8.75	3	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	1.96±1.1
10.0	4	0	0	1	3	0	0	3	0	1	0	0	0	0.92±0.23 (n=3)
12.5	4	2	1	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0.75±0.1 (n=3)
15.0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.65±0.1
17.5	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0.71 (n=1)

−, ±, +, ++, +++, ++++: no wound, slight wound, light wound, mild wound, serious wound and severe wound

表4 1 000 gTNT水下爆炸肺损伤

Tab 4 Severity and incidence of lung injuries from 1 000 g TNT under water explosion

Distance (m)	Animal number	Pulmonary hemorrhage						Pulmonary edema						Lung weight (g)/ body weight (g) index% ($\bar{x} \pm s$)
		−	±	+	++	+++	++++	−	±	+	++	+++	++++	
7.5	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	3.4±0.71
10.0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2.8
12.5	2	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1.3±0.28
15.0	2	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.92±0.01
17.5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1.5

−, ±, +, ++, +++, ++++: no wound, slight wound, light wound, mild wound, serious wound and severe wound

200 g TNT水下爆炸时布放的8只动物中只有1只未出现肺损伤,500 g TNT水下爆炸时布放的21只动物中只有5只未出现肺损伤,而1 000 g TNT水下爆炸时布放的8个动物中均有肺组织损伤。37只犬中,只有6例没发现有肺损伤占16.37%。肺损伤主要表现为不同程度的肺出血、肺淤血和肺水肿,现场死亡的动物均有极重度的肺出血和中度至极重度的肺水肿(图1),有的动物还可见血性肺大泡和肺撕裂,气管内可见大量血性泡沫样液体(图2),肺体指数明显增加。肺出血的发生率为83.78%,肺水肿的发生率为56.75%,总体趋势随距爆心距离的增加,肺损伤发生率降低,程度减轻。

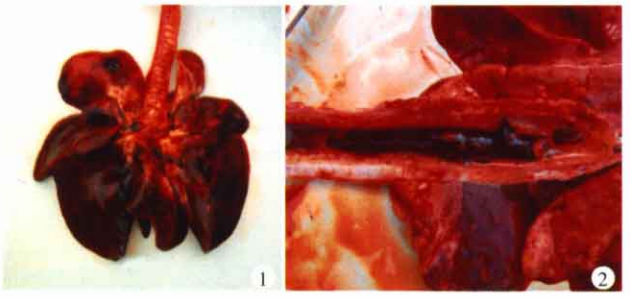


图1 极重度肺出血、水肿

Fig 1 Severe pulmonary hemorrhage and pulmonary edema

图2 气管内大量泡沫样液体及血凝块

Fig 2 Foamy fluid and blood clots in the trachea

2.2.2 形态学观察

2.2.2.1 光镜观察 光镜下可见肺组织内广泛出血,肺泡腔内有大量的红细胞及纤维蛋白渗出,部分细支气管内可见脱落的上皮(图3)。

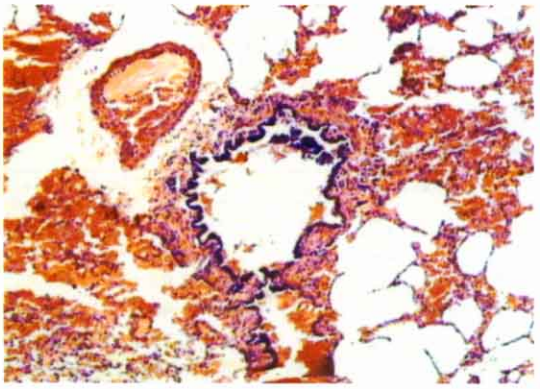


图3 肺泡融合,肺泡腔内有大量的红细胞,肺内细支气管上皮脱落 (HE×40)

Fig 3 Alveolus fusion, lots of red blood cells in alveolus and epithelium shedding in bronchioles (HE×40)

2.2.2.2 电镜观察 可见肺泡腔内有较多红细胞及少量白细胞,肺泡壁结构不完整,肺泡壁Ⅰ型细胞胞浆内线粒体空泡变,并可见髓鞘样结构,细胞膜失去完整性;肺泡壁毛细血管内皮细胞破坏严重,部分线粒体出现空泡变与髓鞘样结构,核膜不完整(图4)。



图4 肺泡上皮细胞线粒体空泡变与髓鞘样结构 (TEM×6 000)

Fig 4 Vacuolated and myelin-like mitochondria in the alveolar epithelium (TEM×6 000)

3 讨论

3.1 水下冲击波的物理特性

水的密度约为空气的800倍,且无明显的压缩性,因此水下冲击波传播的速度不仅比空气冲击波传播的速度快,而且传播的距离也远得多。有资料报道,水下冲击波的传播速度大致相当于同样强度空气冲击波的3~4倍,同样质量的TNT,地面爆炸与水下爆炸相比,同距离的压力值可相差200倍左右[2,3]。本研究结果表明,水下冲击波物理参数的特征表现为峰值压力高,前沿上升时间极快,仅为微秒级,正向作用时间较短(为数百微秒级)。基于水下冲击波的这一物理特征,因此在评价水下冲击伤伤情时,不能单用超压峰值这一参数来评价伤情,而采用冲击波正向冲量这一参数也许能更好的反映与冲击伤伤情之间的关系[4]。

3.2 肺损伤的特点及其机制

3.2.1 动物死亡率较空气冲击波高 37只犬中,现

场死亡 12 只，本研究发现 500 g TNT 水下爆炸，距爆心 5.0 m 处的 2 只犬均现场死亡，7.0 m 处的 4 只犬半数现场死亡。现场死亡边界为距爆心 8.75 m，这与以往笔者所在实验室 40 kg TNT 地面爆炸的死亡边界（8.5 m）相当[5]。显然，水下冲击伤的死亡率要比同当量间距离空气冲击伤的死亡率高得多。这可能与水下冲击波较空气冲击波传播的速度快，传播的距离远，同质量爆炸时同距离的冲击波强度远大于空气冲击波有关。

3.2.2　肺仍是水下冲击波致伤和致死的靶器官

本研究发现肺损伤的发生率最高（83.7%），程度也最重，现场死亡动物均与严重的肺出血和肺水肿有关，有的动物还可见肺破裂和因肺损伤导致的冠状动脉气栓。由于肺是体内比较脆弱、柔软与含气的组织，易受到冲激波的影响。与空气冲击波不同的是水下冲击波没有负压，动压也很小，所以，负压和动压在水下冲击波致肺损伤中不占重要地位。水下冲击波致肺损伤的主要机制可能与强超压通过内爆效应和过牵效应使肺泡过速和过度扩张有关，由此引起肺泡和肺泡毛细血管的破裂[6]。

3.3　对水下冲击伤防治的意义

本研究的结果表明严重肺损伤是动物早期死亡的主要原因，因此在水下冲击伤早期救治中，仍应把肺损伤的处理作为早期救治的重点。在水下冲击伤的防护方面，防护装备研究应着重于胸部的防护，当可能遭受水中爆炸性武器袭击时，应尽快离开水面，来不及时，可尽快从深水区转移到浅水区，或采用仰卧于水面的体位，这样可避免或减轻冲击波引起的胸部脏器损伤。患有上呼吸道、肺部疾病者，尽可能暂时避免水下作业，以减少水下冲击伤的危险性。

参考文献：

[1] Phillips YY 3rd, Zaitchuk J. The management of primary blast injury[A]. In: Bellamy R F Zajtchuk K. Conventional warfare ballistics, blast and burn injuiries. Textbook of military medicine part 1. vol 5[M]. Office of the surgeon general department of the Army U S A, 1991. 231－231, 258－260.

[2] 王正国. 冲击伤[M]. 北京：人民军医出版社，1983. 77－78.

[3] 宁　心，李晓炎，杨志焕，等. 水下冲击波和空气冲击波传播速度及物理参数的对比研究[J]. 解放军医学杂志，2004，29(2)：97－99.

[4] 杨志焕，朱佩芳，蒋建新，等. 水下冲击伤损伤特点的初步探讨[J]. 中华创伤杂志，2003，19(2)：111－114.

[5] 王正国，郑世刚，吴和平. 肺冲击伤的病理学[J]. 解放军医学杂志，1983，8：180－183.

[6] 陈海斌，王正国，杨志焕，等. 冲击波传播的三个时段模拟实验中动物肺的损伤[J]. 爆炸与冲击，2000，20(3)：264－269.

（编辑　王　红）

（上接 1215 页）

大部分动脉瘤呈腊肠状的宽径与瘤颈比接近 1∶1，进行栓塞时，GDC 不稳定，容易脱出。②在栓塞过程中，因弹簧圈型号与瘤体不匹配，或操作技术的不熟练放置不理想或太长，或反复推拉而解旋，回拉未解脱的弹簧圈时容易将已游离的 GDC 带出动脉瘤。另外在栓塞中过分的强求完美致密栓塞，使弹簧圈突向载瘤动脉也是造成此并发症的一方面的原因[1,2]。

对于少部分 GDC 脱入载瘤动脉的，如果造影显示 GDC 牢固无波动现象，且载瘤动脉通畅，只需给予强力、有效的抗凝治疗。而对于 GDC 大部分脱出，在血流冲击下表现为与心跳同步的搏动现象，或是完全脱出的，应积极抢救，目前的对策是术后短期的肝素化（48 h）和长期的阿司匹林治疗[3]。除抗凝外，还包括血管内应用抓取器圈套拖出、球囊闭塞载瘤动脉和开颅取出 GDC[4]。另外还可以使用支架将脱出的 GDC 孤立在支架和载瘤动脉的血管壁之间。

GDC 脱出现象多发生在类似本组类型的动脉瘤的栓塞中，塞前要注意观察动脉瘤、载瘤动脉和前后交通动脉的代偿情况。栓塞中适时造影，观察动脉瘤的栓塞和载瘤动脉的循环情况。采用重塑形技术和联合支架技术可减少 GDC 脱出的可能。另外预防和判断弹簧圈解旋很重要，首枚 GDC 应根据动脉瘤的直径选择最长的 3D 的 GDC。在路途（Roadmap）下编篮筐，只有在好的篮筐里操作才能更好的栓塞动脉瘤，降低 GDC 脱出并发症的发生率。然后根据动脉瘤的大小及已填塞弹簧圈的密度选择合适规格的 GDC，如多次推拉 GDC 后突然阻力变大，变涩，GDC 推送不前进，反而在微导管内皱缩，可能已解旋，应及时拉出。另外每次解脱前都应再造影观察 GDC 的位置是否正确，有无移位及脱出。

我们体会到要减少 GDC 脱入载瘤动脉现象的发生，应提高操作技术，详细全面的了解动脉瘤类型。如发现动脉瘤颈较宽时，应采用瘤颈成形技术。

关键词：弹簧圈；动脉瘤；载瘤动脉；并发症

中图法分类号：R732.21　　文献标识码：B

参考文献：

[1] 陈左权，白如林. 电熔断可脱弹簧圈栓塞治疗颅内动脉瘤的并发症[J]. 第二军医大学学报，1999，20(10)：811－812.

[2] 王大明，凌　锋，李　萌，等. 颅内动脉瘤的致密栓塞、过度栓塞和不全栓塞[J]. 中华放射学杂志，2000，34(9)：621－624.

[3] Vinuela F, Duckwiler G, Mawad M. Guglielmi detachable coil embolization of acute intracranial aneurysm: perioperative anatomical and clinical outcome in 403 patients[J]. J Neurosurg, 1997, 86(3): 475－482.

[4] Fessler R D, Ringer A J, Qureshi A I, *et al*. Intracranial stent placement to trap an extruded coil during endovascular aneurysm treatment: technical note[J]. Neurosurgery, 2000, 46(1): 248－253.

（编辑　王　红）