

• 论著 •

水下冲击波致犬腹部脏器损伤的病理形态学改变

杨志焕 朱佩芳 蒋建新 王正国 尹志勇 李晓炎 宁心 周继红 冯刚 刘大维

【摘要】 目的 探讨水下冲击波致腹部脏器损伤的病理形态学改变。**方法** 成年杂种犬 61 只,用 200 g、500 g 和 1 000 g 的三硝基甲苯(TNT)水下爆炸致水下冲击伤,美国 PCB 公司水下爆炸压力传感器测定冲击波物理参数,观察伤后 6 h 腹部脏器损伤的形态学改变。**结果** 水下冲击波物理参数的特征表现为高的峰值压力,正向作用时间较短,冲量较大。形态学观察发现胃肠道损伤发生率高,其发生率为 62.30%,主要表现为胃肠道浆膜和黏膜下不同程度的出血,部分动物可见浆肌层撕裂,浆膜下血肿,甚至发生胃肠道穿孔;肝、脾等实质脏器也可发生不同程度的损伤,如包膜下出血、血肿和破裂,但发生率较低;含液脏器,如胆囊和膀胱未见明显损伤。**结论** 水下冲击波可致腹部多脏器损伤,胃肠道损伤发生率高、程度重,是水下冲击伤早期救治的重要环节之一。

【关键词】 水下冲击波; 腹部; 水下冲击伤; 病理形态学

中图分类号: R825.93; R361.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0603(2004)04-0226-04

Pathomorphological changes in abdominal viscerae in dogs subjected to underwater blast wave injury YANG Zhi-huan*, ZHU Pei-fang, JIANG Jian-xin, WANG Zheng-guo, YIN Zhi-yong, LI Xiao-yan, NING Xin, ZHOU Ji-hong, FENG Gang, LIU Da-wei. * Research Institute of Surgery, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China

【Abstract】 Objective To explore the pathomorphological changes in abdominal viscerae injuries produced by underwater blast waves. **Methods** Sixty-one adult mongrel dogs were used in this study. Underwater explosions in different intensity were produced by detonating 200 g, 500 g and 1 000 g TNT, respectively. The physical parameters of blast wave were measured by PCB dynamic pressure transducers specially designed for underwater explosion. The pathomorphological changes in abdominal viscerae were observed at 6 hours after injury. **Results** The physical features of underwater blast wave were characterized by high peak pressure, short positive action duration, and higher intensity of impulse. The pathomorphological observation revealed high incidence of injuries of gastrointestinal tract (62.30%), manifesting mainly various degrees of subserosal and submucous bleeding in gastrointestinal tract. Rupture of seromuscular layer, subserosal hematoma, and even, perforations of gastrointestinal tract occurred in some animals. Injuries of the liver, spleen, pancreas and other parenchymatous organs injuries, such as subcapsular bleeding, hematoma, and ruptures, appeared with low incidence. No obvious injuries were found in the gallbladder or urinary bladder and other fluid containing organs. **Conclusion** Underwater blast wave can induce injuries to many abdominal viscerae. Gastrointestinal tract injuries, occurring in high incidence are usually severe, and they should be given early treatment in underwater blast injuries.

【Key words】 underwater blast wave; abdominal; underwater blast injury; pathomorphology

CLC number: R825.93; R361.2 **Document code:** A **Article ID:** 1003-0603(2004)04-0226-04

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,二次世界大战时曾发生数千例水下冲击伤伤员,并注意到除原发性肺冲击伤外,胃肠道损伤发生率高,而且是伤员死亡的主要原因之一^[1,2]。国内有关水下冲击伤研究的报道甚少,也未见有关水下冲击波致腹部脏器损伤的详情报道。本研究旨在通过水下三硝基甲苯(TNT)爆

基金项目:全军医药卫生科研基金课题(01L067)

作者单位:400042 重庆,第三军医大学大坪医院野战外科研究所

作者简介:杨志焕(1938-),男(汉族),江苏省武进人,研究员,博士研究生导师,主要研究方向为冲击伤和撞击伤发生机制与防治研究,获军队科技进步二等奖 2 项,国家科技进步三等奖 1 项,发表论文 60 余篇。

炸,探讨水下冲击波引起的腹部脏器损伤的病理形态学改变,从而为其防治提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物及致伤方法:成年杂种犬 61 只,雌性 29 只,雄性 32 只;体质量 8.10~16.90 kg,平均(11.50±1.95)kg。予 15 g/L 的戊巴比妥钠(20~30 mg/kg)静脉注射麻醉后,颈部固定漂浮夹具,然后垂直于水面布放于距爆心 3.5~17.5 m 的两侧,头露出水面,胸腹部及四肢浸没于水中。爆炸物为两个半球构成的 TNT 球,质量分别为 200、500 和 1 000 g,装药密度为(1.643±0.005)g/cm³,传爆药柱为泰安。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。本研究中先后进行 200 g TNT 和 1 000 g TNT 水下爆炸各 3 次,500 g TNT 水下爆炸 4 次。

1.2 冲击波的物理参数测试:使用的压力传感器为 2 个 PCBV138M124,2 个 PCB138A05 和 3 个 PCB138A01 电气石水下爆炸压力传感器。传感器进入水下深度为 0.3 m,分别布放于距离爆心两侧 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:包括冲击波的峰值压力(Pm)、正向持续时间(τ_+)和正向冲量(I_+)。

1.3.2 形态学观察:对现场死亡犬立即进行大体解剖,存活犬于伤后 6 h 给予戊巴比妥钠(30 mg/kg)静脉注射麻醉后股动脉放血处死,并进行大体解剖。重点观察胃肠道、肝、脾等腹腔脏器损伤情况,并根据冲击伤病理诊断标准确定冲击伤程度。部分犬取损伤与正常交界处的小肠组织,置于体积分数为 10%的甲醛溶液中固定,苏木素-伊红(HE)染色,进行光镜观察。

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的峰值压力,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。结果见表 1。

2.2 形态学观察:

2.2.1 胃肠道损伤:61 只动物中,伴有胃肠道损伤 38 只,其中胃损伤 5 只(均合并有肠道损伤),单纯小肠损伤 4 只,单纯结肠损伤 20 只,同时有小肠和结肠损伤 12 只,直肠损伤 2 只。胃肠道损伤的发生率为 62.30%。胃肠道穿孔共 7 只,其发生率为 11.48%。胃肠道损伤的结果见表 2。

小肠损伤 16 只,主要病理改变为:空肠和回肠穿孔各 1 只(见彩色插页图 1),浆膜和黏膜下出血 12 只,小肠系膜出血 2 只。小肠损伤的发生率为 26.23%。

结肠损伤 32 只,主要病理改变为:结肠穿孔 3 只(发生部位位于升结肠、横结肠和两者的交界处,见彩色插页图 2),浆肌层撕裂 5 只,浆膜下血肿 3 只(见彩色插页图 3),其余为浆膜和黏膜下出血。结肠损伤的发生率为 52.46%。

直肠损伤 2 只,均为轻度黏膜下出血。

胃损伤 5 只,主要病理改变为:胃体和胃底穿孔各 1 只(见彩色插页图 4),浆膜下出血 2 只,黏膜下出血 1 只。胃损伤的发生率为 8.20%。

2.2.2 肝、脾、胰损伤:肝损伤 9 只,其中肝破裂 6 只(见彩色插页图 5),肝包膜下血肿 2 只,肝包膜下出血 1 只,肝损伤发生率为 14.75%;脾损伤 3 只,

表 1 水下爆炸的冲击波物理参数($\bar{x} \pm s$)

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

距爆心距离 (m)	200 g TNT(n=2)			500 g TNT(n=5)			1 000 g TNT(n=2)		
	Pm(MPa)	τ_+ (μ s)	I_+ (kPa·ms)	Pm(MPa)	τ_+ (μ s)	I_+ (kPa·ms)	Pm(MPa)	τ_+ (μ s)	I_+ (kPa·ms)
3.50	7.133±0.019	328.80±5.66	533.20±9.33						
5.00	4.551±0.173*	240.95±6.68*	347.30±8.81*	6.689±0.236 Δ	258.77±12.61 Δ	591.57±13.85 Δ	8.660±0.304*	242.88±6.77*	823.73±15.72*
7.50	2.843±0.040	165.65±6.58	196.10±4.38	4.194±0.074	170.42±10.21	325.70±7.93	5.422±0.121	168.45±0.64	473.20±4.53
8.75	2.491±0.083	135.00±3.68	149.20±4.10	3.393±0.033 [#]	141.45±0.35 [#]	247.57±1.06 [#]			
10.00	2.124±0.052	127.75±1.06	131.80±0.00	3.001±0.035	131.66±7.15	217.24±7.55	3.887±0.019	131.25±2.05	300.85±4.45
12.50	1.656±0.112	100.45±2.62	89.15±1.48	2.315±0.070	104.56±6.79	144.62±6.09	3.102±0.001	102.05±1.77	193.05±3.04
15.00				1.867±0.074	84.00±3.83	95.32±4.85	2.407±0.026	84.50±0.14	121.55±0.64
17.50				1.614±0.002 [#]	68.80±3.39 [#]	73.10±0.00 [#]	2.085±0.036	57.45±20.44	106.60±0.00

注: *: n=4; Δ : n=10; [#]: n=2

表 2 水下爆炸的胃肠道损伤

Tab. 2 Severity and incidence of injury in gastrointestinal tracts from TNT underwater explosion

TNT 质量 (g)	动物数 (只)	胃					小肠					结肠					直肠				
		-	±	+	++	+++	-	±	+	++	+++	-	±	+	++	+++	-	±	+	++	+++
200	19	18	0	0	0	1	15	0	0	4	0	9	0	6	3	1	19	0	0	0	0
500	20	20	0	0	0	0	15	0	2	3	0	12	0	4	4	0	20	0	0	0	0
1 000	22	18	1	2	0	1	15	1	3	1	2	8	1	10	1	2	20	0	2	0	0

注: 无伤(-), 轻微伤(±), 轻度损伤(+), 中度损伤(++), 重度损伤(+++)

其中脾破裂合并包膜下血肿 1 只,脾包膜下出血 2 只;胰腺损伤 5 只,主要表现为不同程度的胰腺出血。

2.2.3 其他脏器损伤:肾包膜下出血 1 只,膀胱黏膜下出血 3 只,均为轻微伤;胆囊未见损伤。上述形态学的改变与冲击波物理参数明显有关,总的趋势是冲量愈大,损伤的发生率愈高,伤情愈重。

2.3 超微组织结构观察:光镜下观察可见小肠上皮基底膜与肌层之间有血液成分漏出,黏膜肌层多处断裂,平滑肌失去原有的正常结构,肌细胞核可见空泡化,浆膜不完整。黏膜下层的毛细血管内有血细胞淤积,黏膜上皮偶见脱落。

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。据有关文献报道,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^[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(仅数微秒级),正向持续时间较短(为数百微秒级),基于水下冲击波的这一物理特征,在评价水下冲击伤伤情时,不宜单用超压峰值这一参数,而采用冲击波正向冲量这一参数也许能更好地反映与冲击伤伤情之间的关系。

3.2 腹部脏器损伤的形态学特点及其机制:本研究的结果表明,水下冲击波致腹部脏器损伤具有以下特点:①胃肠道损伤发生率高,伤情严重,是水下冲击波致伤的靶器官。本研究中胃肠道损伤的发生率为 62.30%,胃肠道穿孔的发生率为 11.48%,远较空气冲击波致伤时伤情更为严重^[4]。②胃肠道损伤中,结肠损伤的发生率为 52.46%,比小肠损伤发生率增加 1 倍。③实质脏器肝、脾等损伤发生率较低,但在高冲量的动物仍可发生实质脏器损伤。本研究中肝损伤的发生率为 14.75%,其中 6 只发生了不同程度的肝破裂。④含液脏器如膀胱、胆囊等损伤发生率低,且伤情轻。本研究中仅见 3 只膀胱黏膜轻微的点灶状出血,胆囊未见损伤。⑤多处伤发生率高。本研究 61 只动物中,18 只为多处伤,有的动物可同时发生空肠、回肠和结肠穿孔,肝破裂和胰腺出血,多处伤的发生率为 29.51%。

水下冲击波致伤时,腹部脏器损伤发生率较高

且较严重的原因可能与水下冲击波传至水与空气的界面时会反射回来而在水下形成拉伸波,而拉伸波对于浸没于水下较深的腹部入射冲击波正向持续时间截断较少,即腹部荷载的冲量较躯体上部(如胸部)大有关。含气组织胃肠道仍是水下冲击波致伤的靶器官,由于水下冲击波运动过程中无明显的稀疏性,对含气的胃肠道损伤可能主要由压缩波超压所致的内爆和碎裂效应等引起,而结肠含气比小肠多,所以也更容易致伤。高冲量时,强的压缩波还可能引起肝、脾等实质脏器损伤。胆囊和膀胱为含液脏器,与介质水的密度接近,激波通过这些脏器时经历的时程短,即这些脏器吸收的冲击波能量较少,所以胆囊、膀胱等含液脏器很少发生损伤,即便发生损伤也很轻微。

3.3 对水下冲击伤防治的意义:本研究的结果表明,在水下冲击伤早期救治中,不仅要注意原发肺冲击伤的处理,还应加强对腹部内脏器官损伤的处理,如胃肠穿孔、肝脾破裂引起的内出血等。在诊断未明确以前,不要经口给饮食和液体,以免有胃肠穿孔者引起感染扩散,同时应严密观察,及时发现可能发生的迟发性肠穿孔。在剖腹探查时,不能局限于已发现的一处损伤,而应仔细探查,以免遗漏多处伤或多脏器损伤。在水下冲击伤的防护方面,防护装备的研究不仅是胸部,而且还应包括腹部的防护;当可能遭受水中爆炸性武器袭击时,应尽快离开水面,来不及可尽快从深水处转移到浅水区,或者采用仰卧于水面的体位,以避免或减轻水中冲击波引起的胸腹部的损伤。

(志谢:感谢中国工程物理研究院流体物理研究所在实验场地和冲击波物理参数测试等方面给予大力协助。)

参考文献:

- 1 Phillois Y Y, Zaitchuk J. The management of primary blast injury. In: Bellamy R F, Zaitchuk K, ed. Conventional warfare ballistics, blast and burn injuries. Textbook of military medicine (Part 1. Vol 5) [M]. Washington D C: Office of the Surgeon General Dept of the Army USA, 1991. 231 - 232, 258 - 260.
- 2 Cripps N P, Coper G J. The influence of personal blast protection on the distribution and severity of primary blast gut injury [J]. J Trauma, 1996, 40(3 Suppl): s206 - s211.
- 3 王正国, 主编. 冲击伤 [M]. 第 1 版. 北京: 人民军医出版社, 1983. 77 - 78.
- 4 唐承功, 杨志焕, 王正国, 等. BST-I 型生物激波管动物实验研究 [J]. 第三军医大学学报, 1989, 11(3): 172 - 174.

(收稿日期: 2003 - 07 - 13 修回日期: 2003 - 12 - 03)

(本文编辑: 李银平)

水下冲击波致犬腹部脏器损伤的病理形态学改变

(正文见226页)

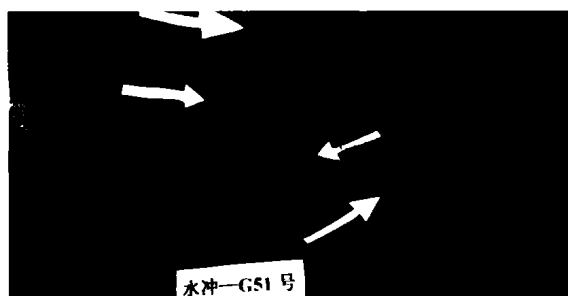


图1 空肠和回肠多处穿孔
Fig.1 Multiple perforations in the jejunum and ileum

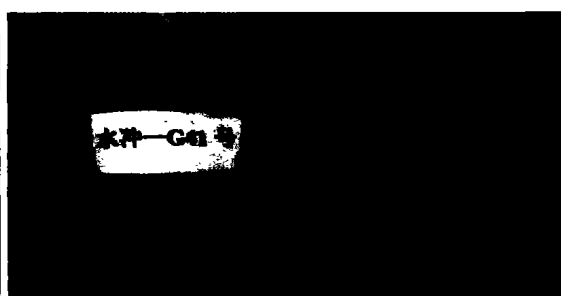


图2 升结肠和横结肠结合部穿孔
Fig.2 Perforation in the joint position of ascending colon and transverse colon



图3 横结肠浆膜下血肿和浆膜撕裂
Fig.3 Hematoma and rupture in the subserosa of transverse colon



图4 胃体穿孔
Fig.4 Perforation in the bodies of stomach

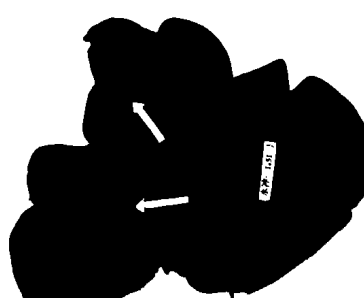


图5 肝星芒状破裂
Fig.5 Stelliform ruptures in the liver

高渗液对体外培养星形胶质细胞中水通道蛋白4 mRNA表达的影响

(正文见210页)



图2 正常星形胶质细胞AQP4 mRNA 的表达(DAB, ×200)
Fig.2 Expression of AQP4 mRNA in normal astrocytes(DAB, ×200)



图3 高渗液(333 mmol/L)作用6 h,星形胶质细胞 AQP4 mRNA 的表达(DAB, ×200)
Fig.3 Expression of AQP4 mRNA of astrocytes at 6 hours in 333 mmol/L hypertonic medium(DAB, ×200)



图4 高渗液(333 mmol/L)作用12 h,星形胶质细胞 AQP4 mRNA 的表达(DAB, ×200)
Fig.4 Expression of AQP4 mRNA of astrocytes at 12 hours in 333 mmol/L hypertonic medium(DAB, ×200)

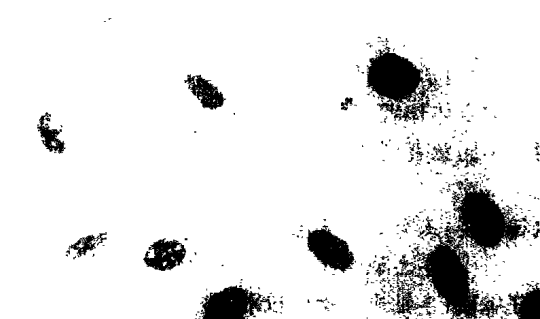


图5 高渗液(333 mmol/L)作用24 h,星形胶质细胞 AQP4 mRNA 的表达(DAB, ×200)
Fig.5 Expression of AQP4 mRNA of astrocytes at 24 hours in 333 mmol/L hypertonic medium(DAB, ×200)