

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240076

• 海洋军事医学 •

高空坠落冲击和水下爆炸冲击致比格犬脾损伤的超声表现和造影特点

张世奇¹, 许文慧², 李维卿², 黄彦栋¹, 张丹枫³, 侯立军³, 刘建湖⁴, 黄禾菁^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院超声科, 上海 200003
2. 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院病理科, 上海 200003
3. 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院神经外科, 上海 200003
4. 中国船舶科学研究中心, 无锡 214082

[摘要] **目的** 研究高空坠落冲击和水下爆炸冲击致脾脏的损伤情况及其二维超声和超声造影表现。**方法** 23只健康比格犬分入高空坠落冲击实验(13只)和水下爆炸冲击实验(10只)。利用自由落体高台装置和克级三硝基甲苯分别模拟比格犬高空坠落冲击损伤和水下爆炸冲击损伤, 致伤后立刻对比格犬脾脏行超声检查, 每小时复查1次, 并对存活犬行超声造影检查。致伤后取死亡犬脾脏标本, 观察大体损伤情况, 并通过H-E染色观察组织的病理形态学改变及组织内细胞凋亡情况。**结果** 致伤后高空坠落冲击模型6 m、7 m、8 m和9 m组分别死亡6、2、1、1只, 水下爆炸冲击模型中泅渡组和蛙人组分别死亡1、4只。高空坠落冲击模型二维超声检查显示, 比格犬有脾破裂(脾实质连续性中断)、脾周积液、被膜下血肿、脾内大血肿、脾静脉回声增高、脾实质回声不均匀等表现; 水下爆炸冲击模型二维超声检查显示, 比格犬有脾静脉回声增高、脾实质回声不均匀表现, 损伤程度较高空坠落冲击模型轻。脾超声造影显示2种模型造影剂灌注表现大体分为4型, 出现I型(造影剂灌注出现局部大范围缺损)、II型(造影剂灌注弥漫性缺损)、III型(脾静脉内未见造影剂进入)造影表现的比格犬伤后均发生脾破裂。H-E染色结果显示, 比格犬脾损伤后存在真性脾破裂、脾内弥漫性出血、脾内血肿/瘀斑、被膜下血肿/瘀斑、静脉内淤血等, 与超声检查结果相吻合。**结论** 高空坠落引起的比格犬脾损伤较水下爆炸严重, 常规超声诊断典型脾损伤的准确性较好, 而超声造影对不典型脾损伤的评估更有优势且对于迟发性脾破裂具有一定的预判价值。

[关键词] 冲击波; 水下爆炸伤; 高空坠落伤; 超声检查; 超声造影

[引用本文] 张世奇, 许文慧, 李维卿, 等. 高空坠落冲击和水下爆炸冲击致比格犬脾损伤的超声表现和造影特点[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(12): 1561-1568. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240076.

Ultrasonographic features and contrast-enhanced characteristics of splenic injuries caused by high-altitude falling and underwater explosion in Beagle dogs

ZHANG Shiqi¹, XU Wenhui², LI Weiqing², HUANG Yandong¹, ZHANG Danfeng³, HOU Lijun³, LIU Jianhu⁴, HUANG Hejing^{1*}

1. Department of Ultrasound, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China
2. Department of Pathology, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China
3. Department of Neurosurgery, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China
4. China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, Jiangsu, China

[Abstract] **Objective** To study the splenic injuries caused by high-altitude falling and underwater explosion and the 2-dimensional ultrasound and contrast-enhanced ultrasound (CEUS) characteristics. **Methods** Twenty-three healthy Beagle dogs were divided into high-altitude falling group ($n=13$) and underwater explosion group ($n=10$). Free-fall high-platform device and gram-grade trinitrotoluene were used to simulate high-altitude falling injury and underwater explosion injury in Beagle dogs, respectively. Ultrasound examination of the spleen was performed immediately after injury, with follow-up examinations every hour. CEUS examination was performed in surviving dogs. Spleen specimens were taken from deceased dogs after injury to observe gross injuries. Pathological changes in tissue morphology and cell apoptosis were observed by

[收稿日期] 2024-01-27

[接受日期] 2024-08-27

[基金项目] 军队后勤科研计划重点项目(AWS17J003). Supported by Key Project of Logistical Scientific Research Program of PLA (AWS17J003).

[作者简介] 张世奇, 助教、住院医师. E-mail: shiqi0805@sina.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81886656, E-mail: huanghejinga@163.com

hematoxylin-eosin (H-E) staining. **Results** In the high-altitude falling model, 6, 2, 1, and 1 dogs died in the 6 m, 7 m, 8 m, and 9 m groups, respectively; in the underwater explosion model, 1 and 4 dogs died in the buoyancy and frogman groups, respectively. Two-dimensional ultrasound examination of the high-altitude falling model showed spleen rupture (disruption of splenic parenchymal structure), perisplenic fluid accumulation, subcapsular hematoma, intrasplenic hematoma, increased splenic vein echo, and uneven splenic parenchymal echo. Two-dimensional ultrasound examination of the underwater explosion model showed increased splenic vein echo and uneven splenic parenchymal echo, which were less serious compared with the high-altitude falling model. CEUS results indicated 4 major contrast patterns in both models. The Beagle dogs with type I (large focal contrast defect), type II (diffuse contrast defect), or type III (no contrast agent entry into the splenic vein) contrast patterns all had splenic rupture after injury. H-E staining results showed true splenic rupture, diffuse intrasplenic hemorrhage, splenic hematoma/ecchymosis, subcapsular hematoma/ecchymosis, and venous congestion after spleen injury, which were consistent with the 2-dimensional ultrasound findings. **Conclusion** High-altitude falling causes more serious spleen injuries in Beagle dogs compared with underwater explosions. Routine ultrasound performs well in diagnosing typical splenic injuries, while CEUS has advantages in evaluating atypical splenic injuries and has good predictive ability for delayed splenic rupture.

[**Key words**] shock wave; underwater explosion injuries; high-altitude falling injuries; ultrasonography; contrast-enhanced ultrasound

[**Citation**] ZHANG S, XU W, LI W, et al. Ultrasonographic features and contrast-enhanced characteristics of splenic injuries caused by high-altitude falling and underwater explosion in Beagle dogs[J]. Acad J Naval Med Univ, 2024, 45(12): 1561-1568. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240076.

在现代海战中,舰艇编队作战是海军的主要作战形式,随着水雷等水下高爆性武器的广泛应用,舰艇冲击伤的发生率不断升高,其早期诊断和治疗也逐渐成为人们关注的重点^[1]。根据舰员所处战位不同,舰艇冲击伤有以下特点:(1)甲板位置高、坡度大、上下舷梯多,受击后舰艇震动、摇摆等情况较易致甲板人员抛掷,造成高空坠落伤。(2)现代海战中蛙人承担着水下作战的重要任务^[2],舰底检修、武装泅渡人员如遇水下爆炸袭击,由于水的密度和黏滞系数远大于空气,水下冲击波的传播速度更快、距离更远,更易发生冲击伤^[3]。

冲击波可致机体所有组织和部位损伤,伤情复杂,常为多部位、多器官的复合伤^[4]。在腹部器官中,脾脏因质地脆弱且位置表浅,是易受损、易致腹腔大出血的脏器^[5-6]。在所有腹部闭合性损伤中,脾破裂占 20%~40%^[7]。冲击波致脾损伤的早期、快速诊断对提高我国海军卫勤保障能力有重要意义。超声相较于其他影像学检查具有无创、便携、实时等优点,尤其是创伤超声重点评估作为战创伤救治的重要一环,对军事训练伤、腹部创伤等的诊断具有较高的灵敏性和准确性,但常规超声受分辨率有限、伪影干扰等因素影响,对小损伤和不典型损伤的灵敏度较低^[8-10]。超声造影是一种对微血管灌注及血流动力学较为灵敏的手段^[11],当脾实质损伤出血、血肿形成或局部血管断裂闭塞时造影剂

无法进入,超声造影任何时相始终显示为低至无强化区域,境界对比明显,弥补了常规超声的不足^[12],可在舰艇救护所等环境尝试开展。

目前国内外学者开展了较多的舰艇冲击伤研究,但关于现代舰艇作战环境下冲击波致脾损伤的研究报道较少,对于冲击波致脾损伤的超声特点等更鲜见阐述。本实验以比格犬为研究对象,采用二维联合造影的多模态超声手段,研究高空坠落冲击和水下爆炸冲击致脾损伤的二维超声表现和造影特点,并通过病理结果验证,以期该类损伤的防护与救治提供参考。

1 材料和方法

1.1 实验动物 实验用比格犬 23 只,雌雄不限,均身体健康,平均体重约为 8 kg,购于大连医科大学实验动物中心,相关动物实验通过海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院伦理委员会审批。

1.1.1 受试状态 2 种冲击实验开始前,均予 3%戊巴比妥钠(1 mL/kg)腹腔注射麻醉比格犬,并予腹部备皮后行超声检查。实验过程处于全身麻醉状态。在高空坠落冲击实验中,将比格犬按照既定体位固定于致伤装置中的托架上。在水下爆炸冲击实验中,将比格犬置于水中并保持躯干竖直,模拟蛙人的比格犬采用气管插管的方式保持呼吸,模拟泅渡的比格犬保持头部露出水面。

1.1.2 分组方法 取 13 只标准比格犬, 雌雄不限, 根据坠落高度随机分为 6 m、7 m、8 m、9 m 组, 其中 6 m 组根据体位分为仰卧位、左侧卧位、右侧卧位, 每个体位 3 只; 7 m 组分为坐位、俯卧位, 每个体位 1 只; 8 m、9 m 组均 1 只, 采用仰卧位。

另取 10 只标准比格犬, 雌雄不限, 随机分为溺水组 (5 只比格犬爆距分别为 120 mm、250 mm、400 mm、500 mm、500 mm) 和蛙人组 (5 只比格犬爆距分别为 150 mm、250 mm、350 mm、450 mm、500 mm)。

1.2 致伤装置及方法

1.2.1 高空坠落致伤模型 实验装置采用坠落式冲击机的结构形式, 主体构件为一件放置在地面的大质量刚性质块, 质块表面垂直树立 2 组导轨。导轨中托架用于放置受试动物, 上下设置导向板, 确保托架沿导轨运动。托架底部装有专用的刚性碰撞头, 用以接触刚性质块。实验时, 托架通过吊绳起吊至额定高度, 释放后垂直下落直至与刚性质块发生碰撞完成冲击过程。实验装置示意图见图 1。

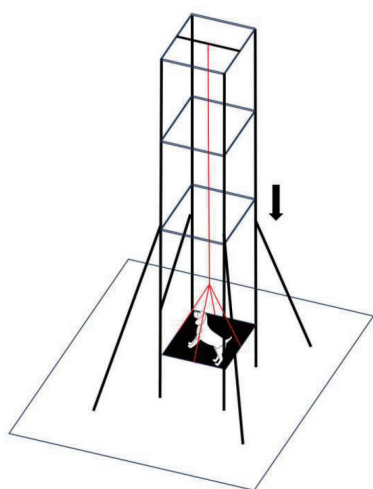


图 1 高空坠落实验装置示意图

1.2.2 水下爆炸致伤模型 采用观测水箱实验装置^[13] (1 m×1 m×1 m) 进行水下爆炸实验, 爆源为 1 g 三硝基甲苯当量的雷管炸药。通过起爆缆将爆源放置在水箱正中。通过吊绳将比格犬置入水中并保持躯干竖直, 根据爆距固定位置, 使比格犬的头部露出水面 (模拟溺水) 或沉入水下 (模拟蛙人)。连接起爆电缆与爆源, 起爆。实验装置见图 2。

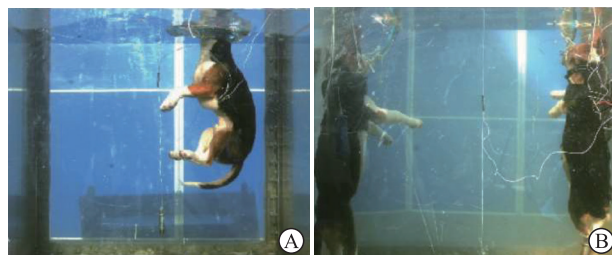


图 2 水下爆炸实验装置

A: 模拟溺水; B: 模拟蛙人。

1.3 致伤后处理

1.3.1 基本情况 致伤后立即将比格犬从坠落台上或水箱中救出, 监测生命体征, 判断死伤情况。

1.3.2 二维超声和超声造影检查 致伤后立刻使用 Mindray M9 便携式超声仪对比格犬脾脏行二维超声检查, 同时对仍存活的比格犬行超声造影检查。造影剂使用注射用六氟化硫微泡 (SonoVue) 59 mg, 注射前用 5 mL 0.9% 氯化钠溶液重悬, 单次造影静脉注射 2.5 mL。致伤后每小时对比格犬进行 1 次二维超声复查。若伤后即刻检查显示脾包膜完整、无腹腔积液, 复查时有脾破裂, 判断为迟发性脾破裂。

1.3.3 病理学检查 对实验过程中死亡的比格犬进行现场解剖, 取脾脏观察大体损伤情况, 并在取出后置于 4% 多聚甲醛溶液中固定, 留存待检。选取脾瘀斑区、脾门区、脾被膜及周边脂肪组织行常规石蜡包埋、切片和 H-E 染色, 在光学显微镜下观察组织的病理形态学改变。

2 结 果

2.1 致伤后比格犬一般情况 在高空坠落冲击实验中, 共 10 只比格犬死亡, 其中 8 m 组仰卧位、9 m 组仰卧位、7 m 组俯卧位、6 m 组仰卧位各 1 只当场死亡; 7 m 组坐位及 6 m 组仰卧位、左侧卧位、右侧卧位各 1 只比格犬在致伤后呈濒死状态并在 2 h 内死亡; 6 m 组左侧卧位、右侧卧位各 1 只比格犬出现体温降低、血压下降, 于当晚死亡。6 m 组仰卧位、左侧卧位、右侧卧位各有 1 只比格犬存活。见表 1。

在水下爆炸冲击实验中, 溺水组和蛙人组分别有 1、4 只比格犬死亡, 均于致伤后 2 h 内死亡。见表 2。

2.2 脾脏二维超声和超声造影表现

2.2.1 高空坠落冲击实验 如图 3 所示, 高空坠落后比格犬最突出的二维超声表现为脾破裂 (脾实质

连续性中断, 图 3A)、脾周积液(图 3B), 部分(图 3D)、脾静脉回声增高且脾实质回声不均匀比格犬出现了被膜下血肿(图 3C)、脾内大血肿(图 3E)和脾实质回声欠均匀(图 3F)。

表 1 高空坠落冲击实验中比格犬受试参数及伤情统计

比格犬编号	坠落高度/m	体位	脾脏二维超声表现	脾脏超声造影表现	转归
019	6	仰卧位	实质回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、尚均匀	存活
094	6	仰卧位	被膜下血肿、实质回声欠均匀,迟发性脾破裂	被膜下较大范围造影剂灌注缺损、造影剂灌注缓慢	2 h 死亡
037	9	仰卧位	脾破裂、脾周大量积液		当场死亡
024	8	仰卧位	脾破裂、脾周大量积液		当场死亡
071	6	左侧卧位	脾静脉回声增高、实质回声欠均匀,迟发性脾破裂	造影剂灌注缓慢、明显大范围缺损	1.5 h 死亡
038	6	左侧卧位	实质回声欠均匀	造影剂灌注速度尚可、欠均匀	存活
029	6	仰卧位	脾破裂、脾周积液		当场死亡
032	6	右侧卧位	脾静脉回声增高、实质回声不均匀,迟发性脾破裂	脾静脉内未见造影剂进入、造影剂灌注缓慢、弥漫性缺损	1.5 h 死亡
073	6	右侧卧位	实质回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、尚均匀	存活
030	6	右侧卧位	脾静脉回声增高、实质回声欠均匀	脾静脉内未见造影剂进入、造影剂灌注速度尚可、局部缺损	当晚死亡
027	6	左侧卧位	被膜下小血肿、实质回声欠均匀	被膜下小区域未见造影剂进入、造影剂灌注稍慢、局部小缺损	当晚死亡
095	7	坐位	实质内梭形血肿、实质回声欠均匀,迟发性脾破裂	梭形造影剂充盈缺损区、造影剂灌注缓慢、弥漫性缺损	1.5 h 死亡
089	7	俯卧位	脾破裂、脾周大量积液		当场死亡

表 2 水下爆炸实验后比格犬受试参数及伤情统计

比格犬编号	爆距/mm	模拟体位	脾脏二维超声表现	脾脏超声造影表现	转归
085	120	泗渡	脾静脉回声增高、实质回声弥漫性不均匀、迟发性脾破裂	造影剂灌注缓慢、弥漫性缺损	死亡
026	250	泗渡	脾静脉回声增高、包膜下实质回声不均匀	造影剂灌注稍慢、尚均匀、包膜下局部小区域未见造影剂进入	存活
084	400	泗渡	脾静脉回声增高、局部实质回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、欠均匀	存活
075	500	泗渡	脾静脉回声增高、局部实质回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、欠均匀	存活
079	500	泗渡	实质内局部回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、欠均匀	存活
083	150	潜泳/蛙人	脾静脉回声增高、局部实质回声不均匀,迟发性脾破裂	造影剂灌注缓慢、局部大范围灌注缺损、脾静脉内未见造影剂进入	死亡
173	250	潜泳/蛙人	脾静脉回声增高、局部实质回声不均匀,迟发性脾破裂	造影剂灌注缓慢、局部大范围灌注缺损	死亡
076	350	潜泳/蛙人	脾静脉回声增高、实质回声弥漫性不均匀	造影剂灌注缓慢、弥漫性缺损	死亡
087	450	潜泳/蛙人	脾静脉回声增高、局部实质回声不均匀,迟发性脾破裂	造影剂灌注缓慢、弥漫性缺损	死亡
092	500	潜泳/蛙人	脾静脉回声增高、局部实质回声欠均匀	造影剂灌注稍慢、欠均匀	存活

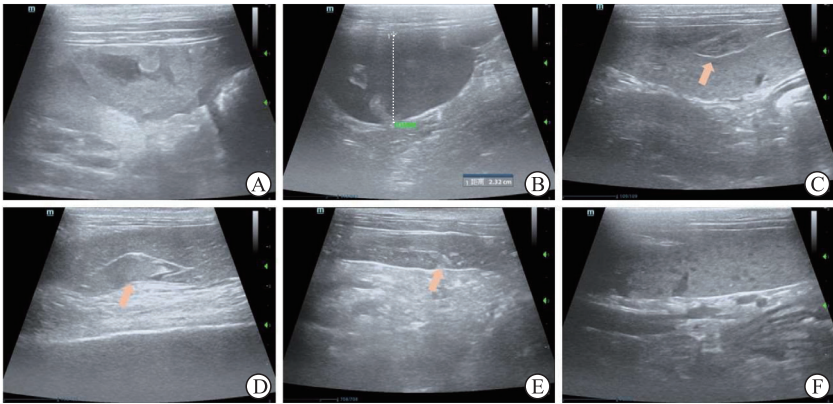


图 3 高空坠落致伤后比格犬脾脏二维超声检查结果

A:脾破裂、脾周积液(犬编号 037,9 m 仰卧位);B:脾周大量积液(白色虚线为积液最大深度;犬编号 089,7 m 俯卧位);C:脾被膜下血肿(箭头所示;犬编号 094,6 m 仰卧位);D:脾内大血肿(箭头所示;犬编号 095,7 m 坐位);E:脾静脉回声增高(血栓形成可能,箭头所示)、脾实质回声不均匀(弥漫性出血可能)(犬编号 032,6 m 右侧卧位);F:脾实质回声欠均匀(犬编号 027,6 m 左侧卧位)。

对伤后尚存活的比格犬行超声造影, 编号 095 比格犬 (7 m 坐位坠落) 脾内见梭形造影剂充盈缺损区, 提示脾内梭形血肿 (图 4A), 与二维超声表现相互佐证。编号 094 比格犬 (6 m 仰卧位坠落) 脾被膜下较大范围未见造影剂进入, 提示被膜下血肿 (图 4B), 对比二维超声表现范围有所增大。超声造影检查见所有存活比格犬均不同程度

出现脾内造影剂灌注缓慢, 提示血流淤滞, 部分比格犬脾静脉内未见造影剂进入, 确诊为脾静脉血栓 (图 4C)。延迟死亡的比格犬脾内均出现明显造影剂灌注缺损 (二维超声仅表现为实质回声欠均匀), 提示存在二维超声无法明确的脾内出血或瘀斑 (图 4D), 其中 4 只比格犬 (均为 2 h 内死亡) 发生迟发性脾破裂 (图 4E、4F)。

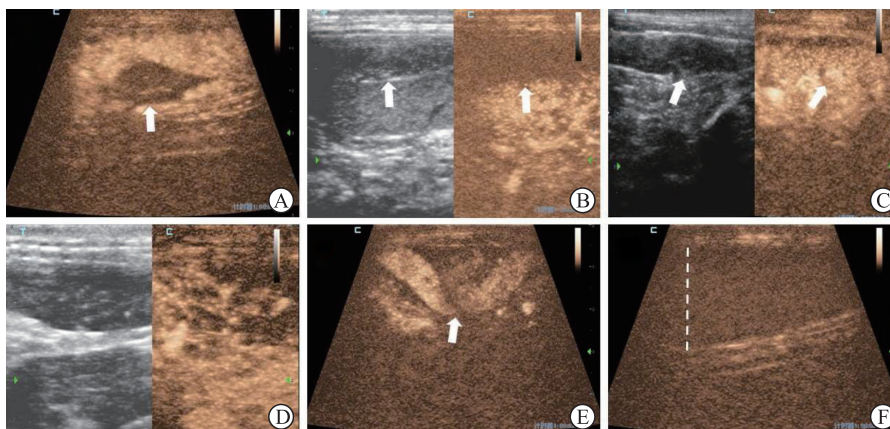


图 4 高空坠落致伤后比格犬脾脏超声造影检查结果

A: 脾内梭形血肿 (箭头所示; 犬编号 095, 7 m 坐位); B: 被膜下血肿 (箭头所示; 犬编号 094, 6 m 仰卧位); C: 脾静脉血栓 (箭头所示; 犬编号 032, 6 m 右侧卧位); D: 脾内瘀斑 (犬编号 027, 6 m 左侧卧位); E: 致伤 1 h 后迟发性脾破裂、脾实质损伤 (箭头所示; 犬编号 095, 7 m 坐位); F: 迟发性脾破裂、脾周积液 (白色虚线为积液最大深度; 犬编号 094, 6 m 仰卧位)。

2.2.2 水下爆炸冲击实验 如图 5 所示, 水下爆炸后比格犬的二维超声最突出的表现为脾静脉回声增高 (除编号 079 犬外, 其余实验犬脾静脉均有不同程度的回声增高), 提示脾静脉血栓/淤血 (图 5A、5B); 其次为脾实质弥漫性 (图 5C) 或区域性 (图 5D) 的回声不均匀, 提示脾实质内可能存在小血肿。所有比格犬致伤后即刻超声检查均未发现明显的脾破裂、脾周积液。对仍存活的比格犬行超声造影检查, 所有实验犬均出现造影剂灌注缓慢或不同程度的灌注缺损 (图 5E、5F), 提示存在血流淤滞和脾内小血肿, 其中 4 只延迟死亡犬 (编号 083、085、087、173) 脾内造影剂灌注更慢、灌注缺损更明显, 该 4 只比格犬在随访中均出现迟发性脾破裂、脾周少量积液 (图 5G~5I)。

2.2.3 超声造影表现分型 致伤后未即刻发生严重脾破裂的 19 只实验犬根据超声造影表现大体分为 4 型。I 型: 造影剂灌注局部大范围缺损; II 型: 造影剂灌注弥漫性缺损; III 型: 脾静脉内未见造影剂进入; IV 型: 造影剂灌注分布欠/尚均匀。

2.3 病理形态学表现

2.3.1 高空坠落冲击实验 比格犬脾脏组织 H-E 染色结果与超声检查结果相吻合, 如编号 032 比格犬脾实质出现弥漫性出血 (图 6A), 主要表现为脾脏红髓血窦扩张充血, 残存部分白髓; 编号 094 比格犬脾脏中出现被膜下血肿 (图 6B), 脾脏被膜结构光滑完整, 其下可见大量红细胞片状淤积, 同时在更深的实质处见红细胞巢状聚集形成瘀斑 (图 6C); 编号 095 比格犬脾门处淤血形成, 脾门静脉扩张充血 (图 6D)。

2.3.2 水下爆炸冲击实验 比格犬脾脏组织 H-E 染色结果与超声结果相吻合, 如编号 085 比格犬出现脾脏真性破裂 (图 7A), 表现为脾脏被膜缺损破裂, 红细胞淤积并浸润至脾周脂肪组织, 被膜下红髓内红细胞小片状聚集形成瘀斑 (图 7B), 脾门静脉扩张充血 (图 7C); 编号 083 比格犬脾实质内可见在弥漫性出血背景中有小静脉扩张, 红细胞聚集填充, 静脉淤血形成 (图 7D)。

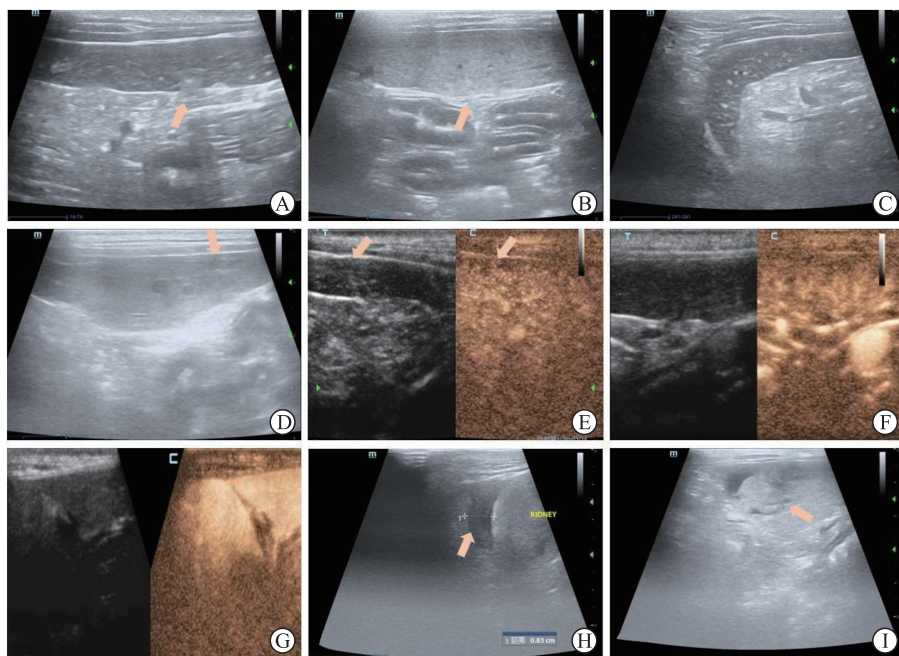


图 5 水下爆炸致伤后比格犬脾脏超声检查及造影结果

A: 脾静脉血栓(箭头所示,犬编号 083);B:脾静脉淤血(箭头所示,犬编号 085);C:脾实质弥漫性瘀斑(犬编号 076);D:被膜下脾实质瘀斑(箭头所示,犬编号 173);E:被膜下局部大范围造影剂缺损(箭头所示,犬编号 083);F:弥漫性造影剂缺损(犬编号 087);G:迟发性脾破裂(脾实质裂伤,犬编号 173);H:迟发性脾破裂、脾周积液(箭头所示,犬编号 087);I:迟发性脾破裂、脾实质裂伤(箭头所示,犬编号 085)。

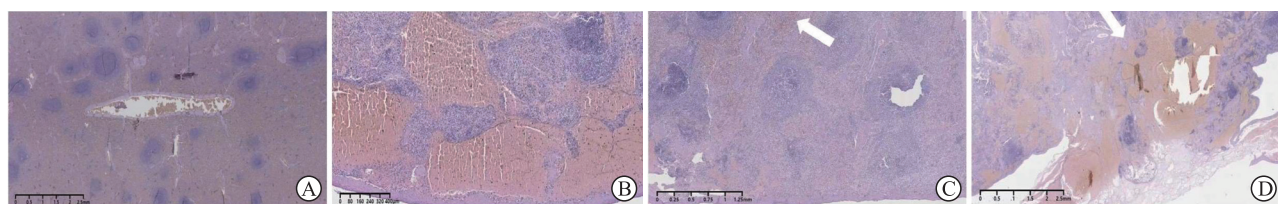


图 6 高空坠落致伤后比格犬脾脏病理学改变

A: 脾脏弥漫出血(犬编号 032, 20×);B: 被膜下血肿(犬编号 094, 40×);C: 脾脏内瘀斑(箭头所示,犬编号 094, 20×);D: 脾门处淤血(箭头所示,犬编号 095, 20×)。苏木精-伊红染色。

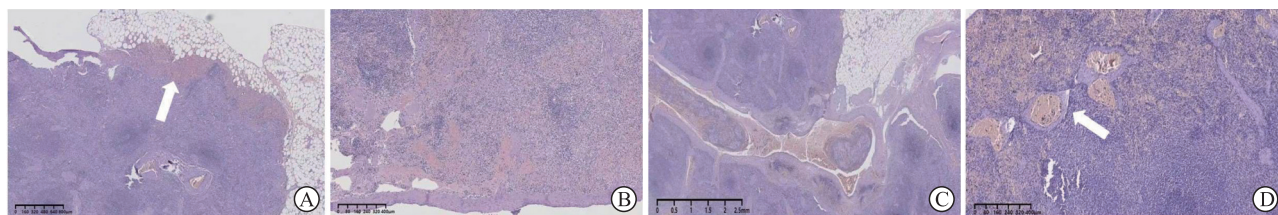


图 7 水下爆炸致伤后比格犬脾脏病理学改变

A: 脾破裂, 血液浸润至脾周脂肪组织(箭头所示,犬编号 085, 20×);B: 被膜下瘀斑(犬编号 085, 20×);C: 脾门静脉内淤血(犬编号 085, 20×);D: 静脉内淤血(箭头所示,犬编号 083, 40×)。苏木精-伊红染色。

3 讨论

冲击波的致伤机制复杂^[14], 被称为“第四种大规模杀伤性武器”^[15]。舰艇冲击伤的救治因地限制需更加精细和有序, 对卫勤保障能力有更高的要求。本实验通过建立比格犬高空坠落冲击和水下爆炸冲击波损伤模型, 应用二维联合造影的多模

态超声手段进行伤情评估, 探讨多模态超声在冲击致脾脏损伤诊断中的应用价值。

一般认为冲击伤分为 4 类, 分别为冲击波直接作用于机体的原发冲击伤、物体飞溅所致的撕裂穿透伤、人员抛掷伤、其他因素(如高温、火球等)引起的损伤^[16-17]。当遭遇水下爆炸时, 不同战位人员发生的冲击伤类型并不相同, 因此脾脏伤情亦

有不同。甲板以上战位人员以第 2 类冲击伤常见, 严格意义上属于一种钝性力伤, 损伤特点为“加速-碰撞刚性物体-减速”, 更易发生严重的实质脏器损伤^[18]。本实验高空坠落模拟结果与以前的研究结论一致, 13 只比格犬中有 8 只当场或延迟发生了脾破裂, 发生率高达 61.5%。当人员位于水下作业时, 由于水的密度大、不易压缩、水下冲击波致伤效应特殊等因素^[19], 主要受损器官为空腔脏器^[20-21], 而实质脏器损伤少见且伤情较轻^[22]。本实验中水下爆炸模拟的比格犬脾脏损伤确实较高空坠落组轻, 但也有 4 只发生了迟发性脾破裂, 因此水下爆炸后实质脏器的损伤亦不可忽视。

阶梯式分级战救是海军卫勤保障的主要救治体系, 其中第一级为现场急救, 核心目的是检伤分类。脾破裂引起的腹腔出血应是水下冲击伤早期救治的重点之一^[23], 因此在舰艇环境下, 脾脏损伤的判断是检伤分类极其重要的一环。但有学者指出, 冲击伤相对于其他创伤具有显著的外轻内重的临床特点^[4], 诊断难度大。为此, 作为唯一可以进入战场一线的可视化装备, 二维超声的诊断效力与卫勤保障力密切相关。本实验探索了高空坠落冲击和水下爆炸冲击致脾损伤的二维超声表现并验证其诊断效力: (1) 4 只实验犬实验后即刻超声检查提示脾破裂、腹腔大量出血, 病理证实诊断明确, 能够指导救治; (2) 3 只实验犬的二维超声表现为脾内大血肿和脾静脉血栓, 与病理结果一致, 而在随访过程中该 3 只实验犬发生了迟发性脾破裂, 提示此类超声表现可能作为脾破裂的间接征象, 应予以重视; (3) 部分出现迟发性脾破裂的实验犬在伤后即刻二维超声检查仅提示脾脏实质回声不均匀、脾静脉回声增高, 伤情判断不明, 提示二维超声存在一定的局限性, 应当结合其他检查手段并密切随访。

随着我国海军战略由近海防御向远海防卫的拓展, 海上卫勤保障的治疗、后送流程往往需要提前调度, 这要求对伤员的伤情检查不能仅停留在准确性上, 更要有一定的预判性。迟发性脾破裂一般定义为外伤发生当时脾脏无破裂征象, 随着时间的推移才发生破裂, 病情隐匿, 进展迅速, 易延误治疗, 其病死率显著高于普通脾破裂^[24]。本实验中伤后即刻仅 4 只比格犬经二维超声检查明确脾破裂, 其余 19 只的二维超声表现均不具备特异性,

难以对其结局进行预判。与之相比, 超声造影具有以下优势: (1) 通过监测血流灌注的顺序和强度, 能够实时观察异常灌注区域, 清晰定位创伤灶的位置和边界; (2) 对微血流变化灵敏性高, 可检出常规超声无法显示的小创伤灶、小出血点; (3) 通过观察微泡溢出, 对活动性出血及出血点的判断更为灵敏和准确; (4) 超声造影剂耐受性良好, 不良反应发生率低, 且注射相对容易, 适合在舰艇救护所等战时环境中使用。因此, 超声造影是评价损伤程度、范围和预判损伤进展的有力手段^[25-26]。本研究将超声造影应用于冲击致脾损伤的伤情评估, 针对致伤后即刻未发生脾破裂的 19 只实验犬, 根据超声造影表现分为 4 型: I 型为造影剂灌注出现局部大范围缺损 (如编号 094、083 比格犬), II 型为造影剂灌注弥漫性缺损 (如编号 095、087 比格犬), III 型表现为脾静脉血栓, 即脾静脉内未见造影剂进入 (如编号 032、083、030 比格犬)。此 3 型实验犬 (共 11 只) 均考虑脾损伤严重, 其中 8 只比格犬在伤后 2 h 内发生了迟发性脾破裂, 提示 I、II、III 型超声造影表现对迟发性脾破裂具有一定的预判价值。IV 型为造影剂灌注分布欠/尚均匀 (如编号 026、019、038、073、075、079、084、092 比格犬), 考虑伤情较轻, 伤后 72 h 内多次随访均未见脾破裂, 实验结束后均存活。

本研究存在一定局限性: (1) 样本量较小; (2) 未对坠落高度、浸没方式、水下爆炸距离及爆炸强度等不同冲击物理量导致的脾脏伤情差异进行多因素多水平的横向研究及深入探索; (3) 未深入探讨超声造影对迟发性脾破裂的预判标准等。近年来, 超声新技术迅猛发展, 日趋精准化、智能化及多模态化。基于超声造影等新技术的多模态超声手段不但有助于海战舰艇冲击致脾损伤的伤情评估, 亦有望拓展延伸至多器官、多系统战创伤的即刻诊断及精准预警, 有助于构建科学、适宜的战创伤超声诊断体系, 从而提升我军的卫勤保障能力。同时, 随着超声设备微型化、远程化与功能集成化发展, 具备超便携性和续航优势的掌上超声设备在军事医疗领域大放异彩, 应用前景广阔。然而, 战时战创伤超声如何快速有序开展、如何制定标准与规范、如何快速建立静脉通路以团注造影剂、掌上超声如何搭载多模态功能模块等问题仍有待进一步解决。

[参考文献]

- [1] 张晏铭,张丹枫,陈吉钢.水下爆炸致水面舰艇人员损伤的特点及研究现状[J].第二军医大学学报,2019,40(5):573-576. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2019.05.0573.
ZHANG Y M, ZHANG D F, CHEN J G. Characteristics and research status of injuries on surface vessels induced by underwater explosion[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2019, 40(5): 573-576. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2019.05.0573.
- [2] 王琦,范军,王斌.闭式蛙人目标强度预报及试验[J].声学技术,2022,41(2):173-179. DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2022.02.004.
- [3] LANCE R M, BASS C R. Underwater blast injury: a review of standards[J]. Diving Hyperb Med, 2015, 45(3): 190-199.
- [4] 周继红,袁丹凤,邱俊.原发冲击伤[J].伤害医学(电子版),2017,6(4):5-8. DOI: 10.3868/j.issn.2095-1566.2017.04.002.
- [5] 蒋雪,罗渝昆.超声诊治肝脾外伤的现状及应用前景[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2021,16(3):334-337,340. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2021.03.030.
- [6] MCKECHNIE P S, KERSLAKE D A, PARKS R W. Time to CT and surgery for HPB trauma in Scotland prior to the introduction of major trauma centres[J]. World J Surg, 2017, 41(7): 1796-1800. DOI: 10.1007/s00268-017-3934-6.
- [7] 朱继领.腹腔镜下射频消融治疗外伤性脾损伤保脾术47例分析[J].中华肝胆外科杂志,2014,20(10):752-754. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-8118.2014.10.017.
- [8] ABU-ZIDAN F M, SHALAK H S, ALHADDAD M A. A diagnostic negative ultrasound finding in blunt abdominal trauma[J]. Turk J Emerg Med, 2018, 18(3): 125-127. DOI: 10.1016/j.tjem.2018.06.003.
- [9] TANG J, LI W, LV F, et al. Comparison of gray-scale contrast-enhanced ultrasonography with contrast-enhanced computed tomography in different grading of blunt hepatic and splenic trauma: an animal experiment[J]. Ultrasound Med Biol, 2009, 35(4): 566-575. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.028.
- [10] 陶乐,黄禾菁.高频超声在军事训练伤诊疗中的应用进展[J].海军军医大学学报,2022,43(10):1194-1200. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20210230.
TAO L, HUANG H J. High-frequency ultrasound in diagnosis and treatment of military training injury: application and progress[J]. Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(10): 1194-1200. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20210230.
- [11] MIELE V, PICCOLO C L, GALLUZZO M, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in blunt abdominal trauma[J]. Br J Radiol, 2016, 89(1061): 20150823. DOI: 10.1259/bjr.20150823.
- [12] JASPERS N, HOLZAPFEL B, KASPER P. Abdominal ultrasound in emergency and critical care medicine[J]. Med Klin Intensivmed Notfmed, 2019, 114(6): 509-518. DOI: 10.1007/s00063-019-0551-1.
- [13] 汪俊,孟利平,伍星星,等.水面浮体结构底部水下爆炸射流试验研究[C]//中国造船工程学会船舶力学学术委员会.2019年船舶结构力学学术会议论文集.中国船舶科学研究中心、昆明海威机电技术研究所,2019:7. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2019.016951.
- [14] 张连阳.爆炸冲击伤的诊断[J].创伤外科杂志,2017,19(2):157-162. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2017.02.026.
- [15] BORN C T. Blast trauma: the fourth weapon of mass destruction[J]. Scand J Surg, 2005, 94(4): 279-285. DOI: 10.1177/145749690509400406.
- [16] MATHEWS Z R, KOYFMAN A. Blast injuries[J]. J Emerg Med, 2015, 49(4): 573-587. DOI: 10.1016/j.jemermed.2015.03.013.
- [17] PLURAD D S. Blast injury[J]. Mil Med, 2011, 176(3): 276-282. DOI: 10.7205/milmed-d-10-00147.
- [18] 夏荣田,张树军,夏守文,等.舰艇冲击伤的一线救治[J].海军医学杂志,2001,22(1):12-13. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0754.2001.01.006.
- [19] 朱佩芳.水下冲击伤的防治[J].人民军医,2006,49(10):560-562. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9736.2006.10.002.
- [20] 陈吉钢.水下爆炸致颅脑损伤的特点及3'-脱氧腺苷的保护作用研究[D].上海:中国人民解放军海军军医大学,2019.
- [21] 潘建光,张雷,文文,等.肺爆震伤大鼠早期血管内皮生长因子、神经菌毛素-1的变化及其与肺损伤程度的相关性[J].解放军医学杂志,2019,44(1):63-69. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2019.01.11.
- [22] 李森,王海燕,龙在云,等.特殊环境冲击伤研究现状与展望[J].中华诊断学电子杂志,2020,8(2):73-77. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-655X.2020.02.001.
- [23] 赵艳,周元国.中国冲击伤研究历史与进展[J].中华创伤杂志,2016,32(2):178-181. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2016.02.019.
- [24] 邱云峰,杜琪威,瞿敏,等.外伤性延迟性脾破裂的诊断与治疗[J].中华消化外科杂志,2014,13(12):943-946. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2014.12.007.
- [25] TAGLIATI C, ARGALIA G, GRAZIANI B, et al. Contrast-enhanced ultrasound in the evaluation of splenic injury healing time and grade[J]. Radiol Med, 2019, 124(3): 163-169. DOI: 10.1007/s11547-018-0954-8.
- [26] TAGLIATI C, ARGALIA G, POLONARA G, et al. Contrast-enhanced ultrasound in delayed splenic vascular injury and active extravasation diagnosis[J]. Radiol Med, 2019, 124(3): 170-175. DOI: 10.1007/s11547-018-0961-9.

[本文编辑] 杨亚红