

文章编号: 1000-6893(1999)增-0S35-04

胸腹部不同部位撞击伤特点及损伤机理

罗新林¹, 庄祥昌², 郝卫亚¹, 孙长祝²

(1. 第四军医大学 空军医学系, 陕西 西安 710032)

(2. 北京航空航天大学 五系, 北京 100083)

CHARACTERISTIC AND MECHANISM OF THE IMPACT INJURY IN THORAX-ABDOMEN DIFFERENT PARTS

LOU Xin-ling¹, ZHUANG Xiang-chang², HAO Wei-ya¹, SUN Chang-zhu²

(1. Department of Aviation Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China)

(2. 5th-Department, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

摘要: 用摆锤式冲击台对 113 只家兔胸、腹不同部位进行了钝性撞击实验。撞击速度 6.7~10.5m/s, 相对压缩量 0.18~0.50。观测到侧胸撞击伤重于正胸撞击, 侧胸撞击易引起升主动脉损伤和肋骨骨折, 还易引起肝脏损伤。上腹撞击损伤重于侧腹撞击, 上腹撞击易引起肝脏损伤。提出胸部撞击要着重于侧胸部防护, 腹部撞击要着重于上腹部防护。提出用冲量 M_1 和冲击功 W_1 分别估计胸部和上腹部撞击损伤程度及其 $D_{E,50}$ 值。

关键词: 撞击伤; 胸腹部; 撞击速度; 相对压缩量

中图分类号: R852.81 **文献标识码:** A

Abstract: Blunt impact was conducted on thorax-abdominal parts of 113 rabbits by using a pendulum impact table. The impact velocity was 6.7~10.5 m/s. And the relative compression amount was 0.18~0.50. Lateral thorax impact caused serious results than frontal thorax impact. Lateral thorax impact often led to ascending aorta damage, rib fracture and liver damage. Upper abdomen impact injury was more serious than that of lateral abdomen impact. And the former often led to liver damage. So particular emphasis should be laid on to protect lateral thorax during thorax impact. And to abdomen impact, upper abdomen protection should be considered firstly. Impact measure (M_1) and impact work (W_1) can be used to estimate degrees of thorax and upper abdomen injury respectively and the value $D_{E,50}$ of impact injury.

Key words: impact injury; thorax-abdomen; impact velocity; relative compression amount

在航空航天、交通及工农业生产安全事故中, 撞击造成的严重损伤最为常见, 并常是致死的主要原因。国外对胸腹部撞击伤进行了许多研究, 并提出了撞击伤严重程度的粘性耐限标准^[1]和撞击严重度标准^[2]。国内对撞击伤的研究还较少。对于胸腹部不同部位在同一撞击条件下撞击伤的研究还未见报道。本课题是研究胸腹部不同部位在设定的撞击条件下受到钝性撞击时, 撞击伤的特点、耐限及损伤规律, 并为防护提出建议。

1 实验设备与方法

(1) 动物及分组 实验动物为第四军医大学实验动物中心提供的纯种新西兰白兔 113 只, 雌雄不拘, 体重 2.1~2.7kg。按撞击部位分为 6 个部位组: 正胸组(冲击头正对胸骨, 其下缘为剑突上端即肋弓角处); 左、右侧腹组(冲击头正对侧胸

壁中部, 其上缘接近肩胛骨, 下缘位于第 8 肋骨左右); 上腹组(冲击头位于左、右肋弓下约 1cm, 剑突下 2cm 处); 左、右侧腹组(冲击头位于侧腹壁中部, 其上缘位于第 10 肋骨处)。按撞击速度 V 和相对压缩量 C (胸腹部撞击压缩位移/胸腹部厚度), 将每个部位组动物随机分为 6 组: V_1C_3 , V_2C_2 , V_2C_3 , V_3C_1 , V_3C_2 , V_3C_3 组。 $V_1=6.7\text{m/s}$; $V_2=8.0\text{m/s}$; $V_3=10.5\text{m/s}$; $C_1=0.18$; $C_2=0.35$; $C_3=0.5$ 。每组 4~5 只兔。每只兔只做一次撞击。

(2) 撞击系统及撞击参数测取 实验在动物撞击装置上进行。该装置由摆锤式冲击台和万能动物夹具台组成。将摆锤提升到不同的高度可获得不同的冲击速度。摆锤下落打到冲击杆上, 对动物实施一次撞击。冲击杆质量为 6kg, 行程 42mm。冲击头直径 6cm。动物夹具台台面可作上下、前后、左右移位, 并可旋转。家兔用 20% 的氨基甲酸乙脂溶液耳缘静脉麻醉后以适当体位固定于夹具台面上, 调整台面空间位置, 使动物撞击部位对准冲击杆。按设定的相对压缩量 C 值和胸部

(或腹部)的厚度,计算出撞击压缩位移D,调整被撞击部位与冲击头之间的距离,可精确获得撞击压缩位移量。撞击速度由加速度传感器(丹麦产,2651型)、磁记录仪(日本产)测量。冲击力F由石英力传感器(无锡产L15型,缝合固定在被冲击部位)、电荷放大器和磁记录器测量。撞击作用时间t由冲击波形宽度获取。胸内压 P_t 、腹内压 P_a 由小差压传感器(宝鸡产,CYG-19型)分别插至食管中段和胃内测取。粘性响应 $C_v = V \cdot C(m/s)$;撞击严重度 $S_1 = C_v / (1 - C)(m/s)$;冲量 $M_1 = F \cdot t(N \cdot ms)$;冲击功 $W_1 = F \cdot D(N \cdot m)$ 。

(3)撞击伤分级 胸腹部撞击后15min由股动脉放血处死动物,解剖胸腹部作病理检查。按国际运输中心的分级标准(AIS)作损伤分级。AIS分6级。1级为轻度损伤;2级为中等程度损伤;3级为重伤;4级为严重损伤;5级为极重伤;6级为致命伤。

2 结果

左、右侧胸撞击实验参数和撞击伤 AIS 分级

见表1和表2。正胸撞击参数和侧胸相近,主要撞击伤为: V_2C_3 组发生4级肺损伤并4级肋骨骨折1例,AIS4级损伤百分比为25%; V_3C_3 组3级纵隔出血1例,1级室间隔出血1例,4级肺损伤2例,其中1例并发4级肋骨骨折,AIS4级损伤率为40%;其余各组中无4级以上损伤,亦无肋骨骨折发生。上腹撞击实验 M_1 、 W_1 值与侧胸撞击很接近,其值大小的排列顺序与侧胸同,其余物理参数与侧胸撞击相同。主要撞击伤为:各实验组均有不同程度的3级以下肺损伤; V_3C_2 组4级肝损伤2例,AIS4级损伤率为40%; V_3C_3 组门静脉破裂腹腔大量积血1例,6级肝损伤2例,AIS4级以上损伤率为75%; V_2C_3 组3级肝损伤1例;其余各组无3级肝损伤。左侧腹撞击: V_3C_3 组(5只兔)2级肝损伤2例,2级脾损伤2例,2级左、右肾损伤各1例。右侧腹撞击, V_3C_3 组(5只兔)2级肝损伤3例,3级左肾损伤1例。侧腹撞击中,因 V_3C_3 组均未发生3级以上的撞击伤,故未再作其它实验组的撞击实验。

表 1 侧胸撞击实验参数 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	V/ $m \cdot s^{-1}$	C	D/mm	t	F/N	M_1 / $N \cdot ms$	W_1 / $N \cdot m$	C_v / $m \cdot s^{-1}$	S_1 / $m \cdot s^{-1}$	P_T /kPa	P_A /kPa
V_1C_3	8	6.7	0.50	37.0±0.3	5.5±0.07	150	831±10	5.4±0.07	3.35	6.7	30.7±10.7	32.4±15.1
V_2C_2	8	8.0	0.35	26.5±3.0	3.4±0.30	200	670±64	5.3±0.60	2.80	4.3	33.1±48.0	30.1±1.60
V_2C_3	10	8.0	0.50	38.5±2.3	4.7±0.4	200	940±85	7.7±0.45	4.0	8.0	41.8±3.9	41.5±11.5
V_3C_1	8	10.5	0.18	14.7±1.8	1.40±0.08	330	464±46	4.8±0.4	1.89	2.3	19.5±3.7	28.6±1.9
V_3C_2	9	10.5	0.35	25.2±2.8	2.42±0.19	330	799±93	8.3±0.9	3.67	5.7	27.9±1.8	38.2±4.8
V_3C_3	10	10.5	0.50	37.4±3.5	3.60±0.35	330	1174±110	12.4±1.2	5.25	10.5	38.1±7.6	44.8±23.4

表 2 侧胸撞击损伤 AIS 分级

组别	例数	肺动脉外 膜下出血 AIS= 2	升主动 脉裂口 AIS= 5	肺损伤 AIS					肝损伤 AIS				肋骨骨折 AIS			发生 AIS≤4 损伤兔数百 分比%
				1	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	
V_1C_3	8			3	1		4 ^S		1			1	3	1	50.0	
V_2C_2	8			4		1						1				
V_2C_3	10			1	1	1	6 [*]		3		1	2	2	3	60.0	
V_3C_1	8			6												
V_3C_2	9			6		1			1	1		1				
V_3C_3	10	1	2 [#]	2		4	2	1	1	1	3	4	2	1	4	80.0

注: * 4例胸腔积血; \$ 肋骨骨折端刺破肺; # 胸腔中等量积血

3 讨论

(1) 各部位撞击伤特点 在本研究撞击参数条件下:正胸撞击引起的肺严重损伤(AIS= 4)、肋骨严重骨折(AIS= 4)、胸骨骨折和纵隔出血发生率都很低,很少发生肝脏损伤,不发生严重胸腹联合伤。这主要与胸廓和纵隔对冲冲击力缓冲作用较大有关。右侧胸撞击,肺严重损伤(AIS \geq 4)发生率高,只发生在 C= 0.5 组中。在 V₁C₃ 撞击中发生的肺严重损伤均系肋骨折断端刺破肺所致。肋骨严重骨折(AIS= 4)发生率较高,也均发生在 C= 0.5 组中。严重肝损伤(AIS \geq 4)见于 V₂C₃ 和 V₃C₃ 组中。严重的胸、腹联合伤(AIS \geq 4)发生率较高,V₂C₃ 组中 1 例,V₃C₃ 组中 4 例。左侧胸撞击,V₃C₃ 组中,大血管(肺动脉和升主动脉)损伤发生率较高,2 只兔升主动脉有裂口,胸腔中等量积血,肝发生极重伤。在 C= 0.5 组中,都引起肋骨严重骨折。左、右侧胸撞击损伤都重于正侧胸撞击。上腹部撞击大多合并轻度肺损伤;V₃C₂ 组 V₃C₃ 组发生严重肝损伤(AIS \geq 4)或门静脉破裂;脾、肾等器官未发生损伤。左、右侧腹撞击,在 V₃C₃ 组中,只发生了 3 级以下脏器损伤;左侧腹撞击中,脾损伤发生率高,右侧腹撞击,肝损伤发生率高;肾损伤发生率较低,且常发生于撞击部位对侧肾脏。上腹部撞击损伤重于侧腹撞击。

(2) 肋骨骨折特点 正胸和左侧胸撞击,相对压缩量 C \leq 0.35 时,不发生肋骨骨折,C= 0.5 时可发生不同程度肋骨骨折;右侧胸撞击,C= 0.18 时,不发生肋骨骨折,C= 0.35 时只发生 2 级肋骨骨折,C= 0.5 时,可发生不同程度肋骨骨折。骨折部位以腋中线最多,其次是腋后线及肋角部骨折。肋骨折断端可刺破肺和肋间血管,造成肺损伤及胸腔积血。可见,胸部钝性撞击时,当 C \leq 0.18 时,不发生肋骨骨折,当 C= 0.35 时,开始出现 2 级(1 根肋骨)肋骨骨折。认为,当相对压缩量 C > 0.18 时,肋骨骨折危险性增大,C= 0.35 是肋骨骨折压缩量的耐限,这和文献报道相一致^[3,4]。

(3) 撞击参量影响

¹ 撞击速度 V V 增大导致撞击力和组织器官的变形率增大,作用于机体的冲击动量、冲量和冲击功也增大。当相对压缩量 C 一定时,胸腹撞击伤随着 V 增大而加重,依次是 V₃C₃ > V₂C₃ > V₁C₃。

² 相对压缩量 C C 的大小决定着组织器官的变形程度和撞击力作用时间,当 V 一定时,胸

腹撞击伤随着 C 的增大而加重,依次是 V₃C₃ > V₃C₂ > V₃C₁。C= 0.35 是肋骨骨折压缩量耐限。

³ 粘性响应 C_v 人体是粘弹性体,损伤程度与 V, C 两个参量有关。国外用粘性响应 C_v 作为撞击损伤程度的标准,称为粘性耐限。本研究显示,用 C_v 指示损伤严重程度和预测胸部撞击严重损伤发生率有一定局限性,见表 1 和表 2。

⁴ 撞击严重度 S₁ Rouhana 等(1985)在家兔撞击实验中,提出用 S₁ 作为腹部损伤标准,用以表示和预测腹部撞击损伤严重程度^[2]。本研究发现,用 S₁ 表示腹部撞击严重程度有一定局限性。如 S₁ 值 V₂C₃(8.6) > V₃C₂(5.7),但严重损伤百分比 V₃C₂ 为 40%,V₂C₃ 为 0。

⁵ 冲量 M₁ 冲量代表作用力和力作用时间的综合效应。冲量既考虑了冲击力大小的生物力学效应,又考虑了力作用时间的生物力学效应。撞击力和撞击速度正相关,力作用时间和相对压缩量 C 正相关。侧胸部撞击时,各组平均 M₁ 值依次为 V₃C₃(1174) > V₂C₃(940) > V₁C₃(831) > V₃C₂(799) > V₂C₂(670) > V₃C₁(464),而机体损伤程度的次序也与此一致,其对应性好于粘性响应 C_v,见表 1、表 2。上腹部撞击损伤程度与 M₁ 的对应性不如胸部好。因此,冲量 M₁ 是指示胸部撞击损伤严重程度和预测严重损伤发生率的一个较好的指标。D_{E,50}(Effective Dose),是指发生 50% AIS \geq 4 的有效撞击量。侧胸撞击产生 D_{E,50}的冲量值 M₁ 为 900N·ms。

⁶ 冲击功 W₁ 冲击功为冲击作用时的冲击能量,代表了冲击力和压缩距离的综合效应。压缩距离和相对压缩量 C 正相关。上腹部撞击时,各组冲击功大小依次为 V₃C₃(13.2) > V₃C₂(8.6) > V₂C₃(7.8) > V₁C₃(5.7),而肝损伤程度的次序也与此相吻合。胸部撞击时,损伤程度与 W₁ 的对应性不如上腹部撞击好。C_v 及 S₁ 与上腹部撞击损伤程度的对应性亦不如 W₁ 好。因此,冲击功 W₁ 是指示上腹部撞击损伤严重程度和预测严重损伤发生率的一个较好的指标。原因可能是,腹壁是软组织,对冲击力的阻挡能力小,能将大部分撞击能量传导给腹内脏器,因而脏器损伤程度与冲击能量大小对应性好,而对反映力作用时间效应的 M₁ 值对应性不太好。上腹部撞击产生 D_{E,50}的冲击功值 W₁ 为 10N·m。本研究中,腹内脏器损伤程度与平均冲击功率相关性不太好,这与文献报道有所不同^[5]。

⁷ 胸、腹内压与脏器损伤程度关系 胸部和

上腹部撞击发生肺、肝及大血管损伤时,胸、腹内压都升到很高水平。但在有的实验动物,胸、腹内压虽升到很高水平,也不发生肺、肝严重损伤。说明,胸腹部撞击时,胸、腹内压升高只是引起胸、腹腔内脏损伤的因素之一。

4 结论

在本实验所设定的撞击速度 V 和相对压缩量 C 的范围内,对胸腹部不同部位进行撞击引起损伤的特点为:

(1) 侧胸撞击引起的损伤重于正胸撞击。

(2) 左侧胸撞击易引起升主动脉损伤。

(3) 肋骨骨折在侧胸撞击中的发生率高于正胸撞击,肋骨骨折常刺破胸膜和肺脏。

(4) 侧胸撞击肝脏损伤较多见,易发生严重胸腹联合伤。侧胸撞击产生 $D_{E,50}$ 的冲量值 M_i 为 $900N \cdot ms$ 。

(5) 上腹撞击易引起肝脏损伤,程度较重,侧腹撞击损伤轻于上腹撞击。上腹撞击产生 $D_{E,50}$ 的冲击功值 W_i 为 $10N \cdot m$ 。

根据撞击引起的损伤特点。在防护上,胸部撞击要着重侧胸防护,腹部撞击要着重上腹部防护。用不同的物理参数对损伤程度进行分析和预测都有一定的局限性。本研究发现,用冲量 M_i 估计胸部撞击损伤程度,其对应性好于其它物理参数;用冲击功 W_i 估计上腹撞击肝脏损伤程度,其对应性也好于其它物理参数。

(麦汉超教授,张立藩教授参加了本研究工作)

参 考 文 献

- [1] Viano D C, Lau V K. Role of impact velocity and chest compression in thoracic injury [J]. Aviat Space Environ Med, 1983, 54(1): 16~21.
- [2] Rouhana S W, Lau I V, Ridella S A. Influence of velocity and forced compression on the severity of abdominal injury in blunt, nonpenetrating lateral impact [J]. J Trauma,

1985, 25: 490~500.

- [3] Neathery R F, Krøell C K, Mertz H J. Prediction of thoracic injury from dummy responses [A]. Proceedings of the Nineteenth Stapp Car Crash Conference [C]. Society of Automotive Engineers No. 751151, Warrendale, 1975. 195~316.
- [4] Kroel C K. Thoracic response to blunt frontal loading [A]. The Human Thorax-Anatomy, Injury, and Biomechanics [C]. Society of Automotive Engineers Publication. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1976. 67.
- [5] 罗进, 玉兰, 李盈忠, 等. 家兔肝脏冲击损伤及其力学参数研究 [J]. 航天医学与医学工程, 1993, 6(3): 173~181.

作者简介:



罗新林 1942年生,教授。从事航空生理学、航空生物动力学教学和科研近30年。对持续性正加速度的影响与防护以及撞击装置系统和胸腹部撞击伤有深入研究。获军队科技进步三等奖三项。



庄祥昌 国际宇航科学院院士,教授。原航天医学研究所副所长。从事航空航天医学工程教学和科研工作40余年。曾获国家科技进步二等奖一项和部、委科技进步二等奖以上数项,并获国家特殊津贴。



郝卫亚 1966年生,第四军医大学博士生,讲师。1991年西北工业大学工程力学系毕业,获硕士学位。从事生物力学,重力生理学及人体循环系统的建模与仿真研究。电话:(029)3374813;E-mail: haow@263.net。



孙长祝 男,湖南隆回人,1935年10月生。1953年入北京航空学院飞机设计专业,1958年毕业留校任教。1959年开始从事航空救生专业教学及科研工作。1986年任副教授,1993年任教授。主持和参加多项航空救生及生物力学科研项目,曾获解放军科技进步二等奖及部级科技进步三等奖;主要著作有《飞行器安全救生》,《骨伤科生物力学》等。