DOI: 10.16016/j.1000-5404.1998.05.020

胸部撞击时胸壁的动力学响应及心脏损伤*

刘宝松** 王正国 翁格文 杨志焕 李晓炎 (第三军医大学附属大坪医院野战外科研究所第四研究室)重庆, 400042

提 要 目的: 探讨不同撞击条件下胸壁的动力学响应过程、心脏病理改变和心律失常的发生特点及可能机制,分析胸壁的粘弹性运动过程及其与伤情间的关系。方法: 用 BIM-Ⅱ型生物撞击机,以准静态和动态撞击方式进行兔胸部正、侧向撞击致伤,观察心脏损伤的病理特点和心律失常的发生情况,分析致伤物理参数和胸壁动力学响应与伤情间的量效关系。结果: 粘性标准相同时,准静态正向胸部撞击时心脏损伤最重,其次是动态正向撞击组,准静态侧向和动态侧向撞击时心脏伤情较轻。心脏病理改变表现为心内膜下出血、心肌挫伤、心肌纤维断裂。心电图改变表现为窦性心动过缓、异位性早搏、室性节律、室颤等,心律失常的发生可能与压缩幅度相关。结论: 心脏损伤与胸部撞击的粘性标准密切相关,心脏损伤机制与心脏侧壁发生高速、过度变形有关。

关键词 撞击伤;粘性标准;心脏;损伤;心律失常
中图法分类号 R642

胸部撞击伤是平时暴力事件,特别是交通事故中的常见伤类。胸部钝性伤患者中约有16%~76%的患者发生心脏挫伤,其中6%的患者心脏挫伤程度严重而危及生命,运动员因胸部受到球体撞击后突发严重心律失常而猝死的病例也屡有报道[1,2]。本研究拟建立准静态和动态两种撞击方式及正、侧向两种撞击条件的动物实验模型,探讨胸壁的动力学响应过程、心脏病理改变和心律失常的发生特点及可能机制,为防护设计提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 动物与致伤

健康大耳白兔64只,体重(2.28±0.42) kg,随机分为4组: 准静态正向撞击组(18只)、准静态侧向撞击组(14只)、动态正向撞击组(18只)、动态侧向撞击组(14只)。动物常规静脉麻醉后采用 BIM-Ⅱ型撞击机撞击致伤,撞击速度(8~16) m/s,2次锤质量1.50 kg,撞击面积78.5 mm²,压缩幅度为撞击轴线上胸部直径的16%~45%。撞击时相为吸气末。准静态方式致伤时动物被固定在致伤架上,动物受到撞击时不能向前移动;动态方式致伤时动物固定于滑车上,受撞击后可随滑车向前自由滑动。正向撞击时致伤部位为心前区;侧向撞击时致伤部位选择在右侧腋中线与第四肋间的交界处。

1.2 观察指标与计算方法

1.2.1 测定实际撞击速度、压缩幅度和撞击能量等物理参数

压缩响应[Compression response, C(t)]:撞击轴线上的瞬时压缩变形量除以该径向上的原始长度所得的商,是表示压缩幅度的时间函数,其最大值即压缩标准(Compression criterion, C_{max})。

粘性响应[Viscous response, VC(t)]:由瞬时变形速率和压缩响应的乘积而得到的时间函数。它包含了组织发生变形的速度和程度,其最大值为粘性标准(Viscous criterion, VC_{max})。

损伤标准(Injury criterion):粘性标准和压缩标准统称为损伤标准。

1.2.2 伤后观察24 h,记录心电图肢体导联的变化 24 h后活杀、尸检,进行大体观察和心脏损伤程度进行评分[3]。将心脏损伤程度按由轻到重的顺序分为6级,分别记为1~6分。于损伤边缘部位取材做光电镜切片观察。

2 结果

2.1 胸部的动力学响应

本研究设定撞击锤与胸部之间组成非闭合式系统,胸部初始运动速度和变形为零。依据心脏损伤严重程度的评分方法,对4组动物的伤情进行判定。图1显示了准静态和动态两种条件下胸部正向撞击时撞击速度和压缩响应与伤情的关系,图中撞击速度 V和压缩响应 C对应点的符号代表该撞击条件下的伤评分值。从图中可以看出,随着撞击速度和压缩响应的升高,损伤评分明显增大,即心脏损伤明显加重;图中越趋近左下角伤情越轻,越趋近右下角伤情越重。图中曲线表示损伤评分为4,即中度以上损伤时所对应的粘性标准。准静态胸部正向撞击条件下,粘性响应大于4.2 m/s时,心脏发生中度以上损伤;动态胸部正向撞击条件下,粘性响应大于8.98 m/s时,心脏发生中度以上损伤。该曲线为倒数曲线,曲线的中段变化较大,而在两端则逐渐形成趋近于 y轴或 x轴的渐近线。

* 国家自然科学基金资助项目, No. 39400135
** 刘宝松,男,32岁,副研究员,博士
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

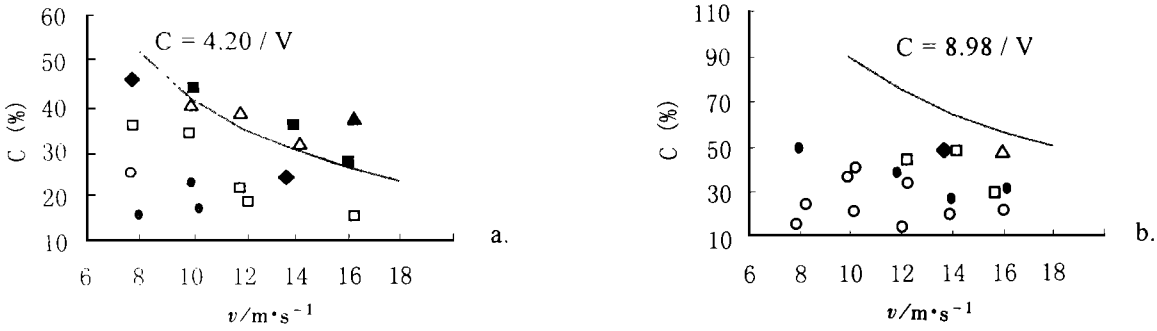


图 1 不同撞击速度和压缩响应对应的伤情评分

a. 准静态正向胸部撞击方式;b. 动态正向胸部撞击方式;评分:○—0,●—1,□—2,◆—3,△—4,■—5,▲—6

Fig 1 The injury score under different impact velocity and compression respo ıse

a. front thoracic impact in static pattern; b. front thoracic impact in movable pattern;
injury score: ○—0,●—1,□—2,◆—3,△—4,■—5,▲—6

采用相关回归分析方法分析粘性标准与心脏损伤评分(IS)间的关系:准静态胸部正向撞击:

$$IS = -1.24 + 1.22(VC_{max}),\ R = 0.89$$

准静态胸部侧向撞击:

$$IS = -1.19 + 0.43(VC_{max}),\ R = 0.66$$

动态胸部正向撞击:

$$IS = -1.39 + 0.61(VC_{max}),\ R = 0.79$$

动态胸部侧向撞击时,心脏损伤评分均接近 0分,不能进行回归分析。从上述相关公式可以看出,当粘性损伤标准相同时,准静态撞击所致的心脏损伤明显重于动态撞击方式,同种撞击方式下胸部正向撞击所致的心脏损伤明显重于胸部侧向撞击。准静态正向撞击组和动态正向撞击组的回归分析结果显示心脏损伤的严重程度与粘性损伤标准密切相关。

2.2 病理检查

依撞击速度和压缩响应的不同,动物的整体伤情和心脏的损伤程度变化较大,心脏损伤轻者表现为心内膜下散在的点状出血;中度及重度损伤分别表现为心内膜下斑点状或条索状出血、大片状出血和心肌挫伤,左心室的损伤多分布在心室前壁乳头肌、瓣膜下部及腱索附着部位,右心室则以室中隔处及肺动脉瓣处为主。极重度损伤则表现为心包填塞、心尖部破裂。

光镜下可见心脏的改变以肌间隙出血为主,部分肌纤维变性和断裂,周围有大量出血和炎性细胞浸润,见图 2 电镜下可见心脏间质有红细胞溢出和破碎的膜性结构,心肌超微结构模糊不清,闰盘两侧细胞收缩不同步,见图 3



图 2 心脏肌间出血,肌断裂 (HE× 100)

Fig 2 Interstitial bleeding, rupture of myocardial fibers (HE× 100)

图 3 心肌闰盘两侧细胞收缩不同步 (TEM× 8000)

Fig 3 Non-synchronous contraction of the cells on both sides of myocardial intercalated disc (TEM× 8000)

2.3 伤后心电图的变化

4组动物中,准静态正向撞击组心律失常的发生率最高且相对较重,其中 4只动物出现室颤、室上性节律和室性三联律,均于伤后 30 s内死亡,致伤时的粘性损伤标准均> 4 m/s 典型

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的心电图变化特征为 P波消失,QRS波增宽呈 rS波形,T波高尖,S-T段与其融合。动态正向撞击组的动物多表现为窦性心动过缓或过速、室性或室上性早搏等较轻的心电图变化。准静态侧向撞击组和动态侧向撞击组动物的心电图无明显异常变化。在准静态正向撞击组中,随着粘性标准的增大,心脏损伤程度明显加重,心律失常也更为严重。

3 讨论

在交通事故中,方向盘所致的胸部正向撞击和车门或扶手所致的侧向撞击均非常多见,本实验观察这两种撞击条件下的心脏损伤情况。结果表明,当撞击速度和压缩响应相同时,胸部正向撞击所致的心脏损伤显著重于侧向撞击;准静态撞击方式下心脏损伤显著重于动态撞击方式。该结果提示交通事故中心脏损伤的防护应以正向撞击防护为主(胸部的整体防护应结合肺等其它脏器损伤),尽可能增大胸部运动的停止距离,使撞击过程转化为动态撞击模式。

造成上述差异的原因可能与能量的吸收和变形幅度有关。胸部是一复杂的粘弹性体,包含 Maxwell模型(弹簧和阻尼器的串联结构)和 Voigt模型(并联结构)两种结构特性[4]。撞击能量主要消耗在克服组织弹性阻力、阻尼力、惯性力上。胸部吸收的能量可分成 3部分:① 以弹性位能的形式储存起来,成为胸部压缩后扩张的基础;② 用于变形阻力,并转化为热能;③ 向动物体提供加速度,使动物向前运动。在准静态撞击方式下,加速度能量转化为弹性位能和热能,胸部变形速度和幅度均显著增大,因而损伤较重。从心脏变形角度分析,胸部正向撞击时,心脏容易在胸骨和脊柱之间受到挤压,变形速度和幅度较大;而侧向撞击时,心脏在两肺之间有较大的缓冲间隙,所受挤压作用较小。

根据预实验测试结果,兔质量较小,胸壁相对较薄,可近似地认为 2次锤的运行距离即为压缩幅度,粘性损伤标准近似地等于撞击速度与压缩幅度的乘积。本实验结果表明,心脏的损伤程度与粘性标准密切相关,随着撞击速度和压缩响应的升高,心脏损伤明显加重。图 1反应了撞击速度和压缩响应与伤情的关系,与中度以上损伤相对应粘性标准构成了一条倒数曲线,曲线的中段变化较大。从理论上分析,曲线的两端逐渐形成趋近于 y轴或 x轴的渐近线,即撞击速度 V趋近 0时,压缩响应 C则需无穷大;而当 C趋近于 0时,V则无穷大。但实际上,当撞击速度或压缩响应很小时,损伤形式已经转化为冲击损伤或挤压损伤,也就是说,当构成粘性标准中的某项参数很小时,另一项参数对伤情的影响程度也显著减弱,粘性损伤的概念已不能解释此时的损伤类型。Viano等[5]在 44例防腐尸体胸、腹部撞击实验中,发现最大粘性响应与伤情间的相关关系优于最大压缩响应与伤情间的关系。

在准静态正向撞击实验中,动物伤后发生不同程度的心律失常,也有报道青年人胸部受到棒球或足球撞击发生猝死的病例[2],这提示胸部撞击所致的急性创伤性心律失常是威胁患者生命的潜在因素之一。关于心律失常发生的确切机制及其与心脏损伤程度间的关系,目前的研究尚不清楚。有研究表明,心律失常与撞击能量和心脏损伤程度间仅存在定性上的相关趋势[6]。本结果表明,随着粘性损伤标准的增大,心脏损伤程度明显加重,心律失常的程度趋于加重。比较不同撞击条件下心律失常的发生率和严重程度可以看出,正向撞击大于侧向撞击,准静态撞击方式大于动态撞击方式。提示心脏的压缩幅度可能是影响心律失常的重要参数。心脏变形的过程实际上也是能量吸收转换的过程,而心律失常发生的原因可能与心脏受压变形或空间结构变化后,心脏周围的有序电磁场受到破坏有关,目前国外已从空间三维构成上研究室颤的发生机制[7]。异位兴奋灶的形成及传导系统的损害可能也参与了心律失常的发生过程。

本实验病理结果表明,心内膜损伤出血区域主要为心室内压力升高时的主要受力部位,心肌挫伤部位主要分布在左室前壁,光镜下观察发现心肌纤维断裂;心脏的损伤程度与粘性标准密切相关。关于心脏损伤的机制有很多推测,根据本实验析,心脏在压缩变形过程中导致心脏内压力瞬时升高,并在心室两侧形成高速、过度扩张变形区域,造成心肌纤维的部分撕裂或心脏的破裂。综上所述,在心脏损伤防护中应通过改变方向盘的伸缩幅度和安全带的弹性模量,增大胸部运动的停止距离,同时注意伤后心律失常的早期诊断。

参考文献

1 Janda D H, Bir C A, Viano D C, *et al*. Blunt chest impacts: assessing the relative risk of fatal cardiac injury from various baseballs. J Trauma, 1998, 44(2): 298

2 Maron B J, Poliac L C, Kaplan J A, *et al*. Blunt impact to the chest leading to sudden death from cardiac arrest during sports activities. N Engl J Med, 1995, 333(6): 337

3 Liu B S, Wang Z G, Yang Z H, *et al*. Pathological study of thoracic impact injury involving a relatively static impact pattern. J Trauma, 1996, 40(3 Suppl): 85

4 Yoganandan N, Morgan R M, Eppinger R H, *et al*. Mechanisms of thoracic injury in frontal impact. J Biomech Eng,

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1996, 118(4): 595
5 Viano D C, Lau I V, Asbury C, *et al*. Biomechanics of the human chest, abdomen, and pelvis in lateral impact. Accid Anal Prev, 1997, (6): 553
6 Michalodimitrakis E N, Tsatsakis A M. Vehicular accidents and cardiac concussion. A traumatic connection. Am J Forensic Med Pathol, 1997, 18(3): 282
7 Francis X, Witkowski L, Patricia A, *et al*. Spatiotemporal evolution of ventricular fibrillation. Nature, 1998, 392(5): 78

(收稿: 1997-09-03;修回: 1998-07-02)
(编辑 仇玉福)

Cardiac injury and dynamic responses of the thoracic wall during thoracic impact in rabbits*

Liu Baosong, Wang Zhengguo, Wong Gewen, Yang Zhihuan, Li Xiaoyan (Research Institute of Field Surgery, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400042)

Abstract **Objective**: To explore the dynamic responses of the thoracic wall, the pathological characteristics of the heart injury, arrhythmia during thoracic impact of various patterns and their possible mechanisms and analyze the relationship between the viscous movement of the thoracic wall and injurious severity. **Methods**: Using type BIM-II impact machine, rabbits were injured by front and lateral impact of static and movable patterns. The characteristics of the heart injury and occurrence of arrhythmia were observed and the relationship between injurious severity and impact parameters and dynamic responses was analyzed. **Results**: Under the same viscous criterion, the heart injury caused by static front thoracic impact was the most severe, which was followed in order that by static and movable lateral impact and that by movable front impact. The heart usually presented miliary, small spots or striped hemorrhage in the endocardium. Under optical microscope, the interstitial hemorrhage and rupture of the myocardial fibers were seen. The changes of ECG included sinus bradycardia, multiple origin premature beat, ventricular rhythm and ventricular fibrillation. **Conclusion**: The severity of heart injury was closely correlated with viscous criterion. The heart injury caused by static front thoracic impact was the most severe and rate of arrhythmia more frequent. The injury under movable and lateral impact was mild.

Key words viscous criterion; heart; impact injury; arrhythmia; rabbit

* This project was supported by the National Natural Science Foundation of China, No. 39400135

(上接414页)

3 讨论

副鼻窦柯、瓦氏位平片是上颌窦病变首选的检查方法,多表现为上颌窦炎。如能发现上颌窦壁骨质破坏则能提示恶性病变,平片对上颌窦前后壁之骨质改变的发现实为困难。因此,X线平片诊断有困难者应行 CT进一步检查。

CT检查是上颌窦淋巴瘤较好的检查方法。在扫描技术上,应采用轴位加冠状位扫描,有利于观察病变侵及的范围。对怀疑颜面部淋巴结有肿大者,可扫描至下颌腺区域。有报道上颌窦淋巴瘤很少转移至颈部淋巴结[1,2],因此不必常规颈部扫描。另外,应合理应用窗技术,可分别对软组织及骨质进行观察,增强扫描对病变的定性及淋巴结转移有价值。

骨质破坏是 CT诊断恶性肿瘤最直接的征象,但上颌窦淋巴瘤骨质破坏较少,而本组5例均有骨质破坏,且以溶骨性破坏为主,部分伴有膨胀及硬化性改变。还需要进一步探讨。

上颌窦淋巴瘤的治疗以放疗加化疗为主[3],CT检查能较好地分期,从而为制订放疗计划提供了有力依据。CT扫描可提供详细的病变范围及程度以便选择功能性鼻窦内窥镜手术适应症。另外,CT检查能较好地追踪其治疗的效果和预后情况,从而指导临床治疗。

关键词 上颌窦;淋巴瘤;放射摄影术
中图法分类号 R816.1

参考文献

1 杨广夫,鱼博浪,王欣璐,等.咽淋巴环外头颈结外淋巴瘤影像诊断.实用放射学杂志,1996, 12(9): 517
2 张保庆,辛 英.上颌窦恶性淋巴瘤2例报告.实用放射学杂志,1997, 13(2): 124
3 Cooper D L, Ginsberg S S. Brief chemotherapy, involved field radiation therapy, and central nervous system prophylaxis for paranasal sinus lymphoma. Cancer, 1992, 69(12): 2888

(收稿: 1998-03-18;修回: 1998-06-08)
(编辑 王 红)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net