

文章编号:1004-7220(2010)04-0253-04

仿真躯干假人在评价救生伞开伞动载中的应用

柳松杨^{1,2}, 成海平², 杨毅², 王致洁², 赵产², 吴铨²,
杨春信¹, 徐宏³, 马坤昌³, 宋柄辉³

(1. 北京航空航天大学, 北京 100083; 2. 空军航空医学研究所, 北京 100142; 3. 航宇救生装备公司, 襄樊 441003)

摘要: 目的 定量研究仿真躯干假人在确定救生伞开伞动载试验中的作用, 为其开发研制提供可靠的试验手段。
方法 仿真躯干假人披挂救生伞进行冲击试验, 用 63.4 kg 冲击块分别以 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 m 高度释放冲击块, 模拟不同开伞载荷, 并测试肩带拉力; 同时与 5 具刚性躯干假人在同样冲击能量下的试验结果进行对比。24 名健康男性被试者佩戴救生伞背带系统, 取站立姿式和坐姿, 参加对比试验。
结果 在同样的冲击能量下, 刚性躯干假人肩带响应的冲击力峰值最大, 其次为人体站姿, 最小为人体坐姿, 各试验组之间有显著性差异 ($P < 0.01$); 在不同模拟开伞载荷条件下仿真躯干假人肩带冲击力峰值分别为 2 795, 3 873, 4 816 和 5 736 N, 与人站姿试验数据 (2 541, 3 042, 3 720 和 4 250 N) 最为接近。
结论 仿真躯干假人因仿真人体黏弹性特征, 其在开伞冲击试验中的测试结果比刚性躯干假人更贴近人体的实际状况, 而这一特性会直接影响到获得的开伞动态载荷, 因此建议在救生伞研发试验中使用仿真躯干假人。

关键词: 救生伞; 开伞冲击力; 躯干假人; 仿真; 动态载荷

中图分类号: R852.33 文献标志码: A

Application of emulational trunk dummy in evaluating the opening shock of life-saving parachute

LIU Song-yang^{1,2}, CHENG Hai-ping², YANG Yi², WANG Zhi-jie², ZHAO Guang², WU Quan², YANG Chun-xin¹, XU Hong³, MA Kun-chang³, SONG Bing-hui³ (1. *Beihang University, Beijing 100083, China*; 2. *Institute of Aviation Medicine, Air Force, Beijing 100142, China*; 3. *Aerospace Life-support Industries Ltd, Xiangfan 441003, China*)

Abstract: Objective To carry out quantitative investigation on application of emulational trunk dummy (ETD) in evaluating the opening shock of life-saving parachute and provide a more reliable test method for further development. **Method** ETD equipped with parachute was tested in the impact experiment, where a 63.4 kg impact block was dropped from the height of 0.20 m, 0.40 m, 0.60 m, 0.80 m respectively to simulate different opening shocks. The opening shocks were deducted by measured forces on harness and acceleration loads at the center of dummies thorax. For comparison, 5 rigid trunk dummies (RTD) were tested under the equivalent impacts. As the contrast test, 24 male healthy subjects were also exposed under such impacts with standing and sitting posture respectively. **Results** Under the same impact, the peak impact value on harness exhibited maximum on RTD, minimum on subjects with sitting posture, and medium on ETD. There were significant differences between each experimental group ($P < 0.01$). With different impact loads, the peak impact value on ETD was 2 795, 3 873, 4 816 and 5 736 N respectively, which was correspondingly close to that of subjects with standing posture (2 541, 3 042, 3 720 and 4 250 N). **Conclusions** The result of opening shock gathered from ETD is closer to that from RTD due to ETD's viscoelasticity, which shall certainly influence the measured opening shock. Therefore,

收稿日期:2010-05-10; 修回日期:2010-08-01

作者简介:柳松杨(1965-),研究方向:航空生物动力学。

通讯作者:柳松杨,高级工程师, Tel:(010)66927136; E-mail:lshybiam@yahoo.com.cn。

ETD is suggested to be used in the development of live-saving parachute.

Key words : Life-saving parachute; Opening shock; Trunk dummy; Simulation modeling; Dynamic loads

救生伞是弹射救生系统的关键装备之一^[1],其开伞动态载荷必须满足人体生理耐限。国家军用标准(GJB)232^[2]《人体脊柱对开伞冲击力的耐受强度》对此进行了严格的要求。救生伞空投试验的目的是测量救生伞在战技指标规定的开伞高度和开伞速度下的开伞动载,并对动载曲线进行生理评定,以此确定救生伞开伞时对人的影响。我国现行救生伞空投试验是在轰-5或轰-6飞机上实施的。将刚性躯干假人披挂救生伞置于飞机弹舱内,与炸弹投放系统连接;当飞机在试验场上空达到规定的高度和速度时,投放刚性躯干假人,救生伞按程序开伞,测量并记录伞肩带拉力和假人胸腔重心处的加速度。美国的救生伞开伞动载试验也用刚性躯干假人空投的方式,但在定型试验时,他们用动态仿真假人空中弹射试验进行测试^[3,4]。俄罗斯专家介绍俄罗斯救生伞开伞动载试验也用刚性躯干假人进行一般试验,但定型试验时用的是柔性假人。我国救生伞空投试验一直应用的是刚性躯干假人。而实际人体是一个复杂的黏弹性系统,其对开伞冲击的动力学响应与刚性材料有较大差别。本研究通过使用仿真躯干假人进行开伞冲击试验,探讨仿真躯干对评价人体开伞冲击力响应的影响,以期获得更准确、可靠的开伞动载测量方法。

1 对象和方法

1.1 试验对象

采用自行研制的仿真躯干假人,立姿设计,内部为钢结构,有模拟的人体骨盆。外部包裹高分子材料,硬度与人体肌肉相当,仿真真实人体皮肤和肌肉组织的黏弹性。躯干、臀部的主要外形尺寸参照第97百分位飞行员的外形尺寸设计。由于仿真躯干假人的质量不能大范围调节,因此,仅在质量100 kg的条件下进行了一组试验。

另取刚性躯干假人作为对照组,其躯干部分皆为刚性材料结构,经配重模拟65、70、75、79和84 kg的体重。试验方法同人的站姿试验。

24名健康男性志愿者被选为人体对照组。年龄18~40岁,体重60~88.5 kg,身高1.680~1.806 m,

按常规佩带救生伞背带系统,取站立姿式和坐姿。

1.2 试验装置

采用自行研制的模拟开伞动载试验装置(见图1)。志愿者或假人佩带救生伞背带系统,其背带的左右肩带与力传感器的下万向轴相连接,力传感器上万向轴与模拟开伞动载试验装置的缆绳相接。刚性躯干假人以上述同样的方法佩带救生伞背带系统,以同样的方式与模拟开伞动载试验装置相连接,同样的方法安放力和压力传感器。为模拟不同的开伞载荷,选用重量为63.4 kg的试验冲击块,滑块与底盘之间的距离分别为0.20、0.40、0.60、0.80 m。通过冲击块释放机构释放冲击块,冲击块沿导杆向下冲击底盘,产生冲击载荷,即模拟开伞动载,导杆上端连接缆绳,缆绳经两个定滑轮转向将模拟开伞动载传递给背带系统,使背带系统肩带上的力传感器获得肩带的拉力。所有记录的信号经放大、采集后进行分析。

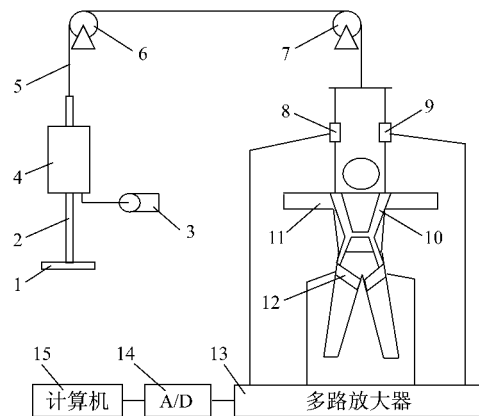


图1 模拟开伞动载试验装置原理图 1.冲击盘;2.导杆;3.释放机构;4.冲击块;5.缆绳;6,7.定滑轮;8,9.力传感器;10.救生伞背带系统;11.被试人或假人;12.压力传感器;13.信号放大器;14.A/D卡;15.计算机

Fig.1 Experimental apparatus of imitable opening shock 1. impact plate; 2. leader; 3. releasing mechanism; 4. impact block; 5. mooring rope; 6, 7. crown block; 8, 9. force transducer; 10. parachute harness; 11. subject or dummy; 12. pressure transducer; 13. amplifiers; 14. A/D board; 15. computer

1.3 试验方法

假人采用站立姿势进行试验,而被试者则采用

站立和坐姿两种姿势。试验时各类假人和被试者分别选用4种不同的开伞动载冲击,记录肩带上的拉力变化。为避免被试者在试验中心理紧张,影响试验结果,试验前演示试验过程,以示试验的安全性,消除被试者的顾虑;试验中遮盖被试者双眼,避免被试者有心理准备造成肌肉过度紧张。释放冲击块进行模拟开伞动载试验的过程全在被试者无心理准备下进行。每人经受2次模拟开伞动载冲击试验。

对试验记录结果进行脱机统计学分析^[5],人和测试假人背带操纵带最大冲击力以均数±标准差

($\bar{x} \pm sd$)表示,数值采用 t 检验,以 $P < 0.05$ 为有统计学显著性意义。

2 结果

表1列举了在同样冲击能量下,记录的坐姿和立姿人和刚性躯干假人肩带冲击力峰值的比较。可见,在同样的冲击能量下,刚性躯干假人肩带响应的冲击力峰值最大,其次为人体站姿,最小为人体坐姿,各试验组之间有显著性差异。仿真躯干假人的测试结果见表2。

表1 同样冲击能量下人和刚性躯干假人肩带冲击力峰值的比较(kN)

Tab.1 Comparison of peak impact value on harness between real people and rigidity trunk dummy under equivalent impacts (kN)

分组	例数 <i>n</i>	冲击块下落高度/m			
		0.20	0.40	0.60	0.80
坐姿	24	1.930 ± 0.238	2.454 ± 0.1820	2.9061 ± 0.2133	3.330 ± 0.2741
站姿	24	2.541 ± 0.783	3.042 ± 0.423	3.720 ± 0.2090	4.250 ± 0.2276
刚性躯干假人	5	3.514 ± 0.241	4.625 ± 0.218	5.544 ± 0.293	6.366 ± 0.408
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表2 同样冲击能量下仿真躯干假人肩带冲击力峰值(kN)

Tab.2 The peak impact value on harness of emulational trunk dummy under equivalent impacts(kN)

分组	冲击块下落高度/m			
	0.20	0.40	0.60	0.80
仿真躯干假人	2.795	3.873	4.816	5.736

与表1的数据比较可以看出,仿真躯干假人肩带冲击力峰值在人和刚性假人之间,与人站姿试验数据比较接近,这也验证了两种假人的差别,即仿真躯干假人较好地模拟了人体黏弹性特征,特别是臀部肌肉的力学特性。但由于没有仿真脊柱,故与人的试验数据相比肩带冲击力峰值还是偏大。

3 讨论

人与刚性躯干假人差异性,主要是因为人体为黏弹性体,其中臀部肌肉和人体脊柱的作用对获取开伞冲击力的响应的影响较大。仿真躯干假人因为安装了模拟的人体骨盆,其应用的结构和材料较好地仿真了人体的黏弹性特征,而且在外形形态上和

尺寸上,参照了第97百分位飞行员的外形尺寸进行设计,因此,仿真躯干假人在开伞动载测试中取得了更接近真实人体的测量结果。

在确定开伞动载的试验中,人体脊柱的生物动力学特性是影响测试结果的另一个重要的因素。因为脊柱承受人体主要的纵向载荷,对其结构,特别是脊柱连接的仿真,对确定人体对来自纵向载荷的力学响应特征具有显而易见的影响^[6-7]。本研究所显现出的仿真躯干假人与真人之间的差别说明了这种影响。

人体受开伞动态载荷冲击时的姿态,也会影响到载荷测试结果。这是因为人体站姿与人体坐姿差异性,来源于裆带与臀部肌肉的接触方式的差异。在坐姿条件下,人体裆带主要将压力传递给臀部肌肉,受力方向与肩带拉力一致;因此,臀部肌肉充分发挥了缓冲作用,这也能解释为何跳伞员离机时身体为坐姿状态。本研究因假人姿态保持的原因,没有做坐姿的比较。但人体两种姿态数据的比较,说明了人体坐姿更利于获得较小的开伞动载冲击。

尽管仿真躯干假人没有做人体脊柱的仿真,但

其对人体肌肉特性与形态的仿真,使得试验的测试结果更接近真实人体的测试结果。下一步研究,应注意完善仿真躯干假人的人体脊柱仿真。另外,试验还提示,现行的利用刚性躯干假人空投的试验方法获取的救生伞开伞动载偏大,建议应采用仿真躯干假人予以替代。

参考文献:

- [1] 刘铁汉. 航空生物动力学[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1989:190.
- [2] GJB232-87. 人体脊柱对开伞冲击力的耐受强度[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部出版,1987:1-4.
- [3] Richard EB, James GW, Foster HR. Investigation and evaluation of a replacement parachute for the SJU-5/A escape system[C]. Proceeding safe 37th annual symposium. Las Vegas, 1998:72-82.
- [4] Dennis DR. Recent advances in parachute technology[M]. Ohio: Aerospace Medical Research Lab, AD-A 134367: 1983:1-28.
- [5] 胡良平. 现代统计学与 SAS 应用[M]. 北京:军事医学科学出版社,2000:27.
- [6] Viano DC, Lau IV. A viscous tolerance criterion for soft tissue injury assessment [J]. Journal of biomechanics, 1988, 21(5): 387-399.
- [7] Brinkley JW, Shaffer JT. Dynamic simulation techniques for the design of escape system: current application and future air force requirements[M]. Ohio: Aerospace Medical Research Lab, AMRL-TR-71-29,1971:71-101.
- [3] Lackner JR, DiZio P. Decreased susceptibility to motion sickness during exposure to visual inversion in microgravity [J]. Aviat Space Environ Med, 1991, 62(3): 206-211.
- [4] Oman CM. Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory [J]. Can J Physiol Pharmacol, 1990, 68(2): 294-303.
- [5] Harm DL, Parker DE. Preflight adaptation training for spatial orientation and space motion sickness [J]. J Clin Pharmacol, 1994, 34(6): 618-627.
- [6] Rine RM, Schubert MC, Balkany TJ. Visual-vestibular habituation and balance training for motion sickness [J]. Phys Ther, 1999, 79(10): 949-957.
- [7] Marotta JJ, Keith GP, Crawford JD. Task-specific sensorimotor adaptation to reversing prisms [J]. J Neurophysiol, 2005, 93(2): 1104-1110.
- [8] Yoshimura H. A historical review of long-term visual-transposition research in Japan [J]. Psychol Res, 1996, 59(1): 16-32.
- [9] Tanaka Y, Miyauchi S, Misaki M, *et al.* Mirror symmetrical transfer of perceptual learning by prism adaptation [J]. Vision Res, 2007, 47(10): 1350-1361.
- [10] Miyauchi S, Egusa H, Amagase M, *et al.* Adaptation to left-right reversed vision rapidly activates ipsilateral visual cortex in humans [J]. J Physiol Paris, 2004, 98(1-3): 207-219.
- [11] Bock O. Adaptation of aimed arm movements to sensorimotor discordance: evidence for direction-independent gain control [J]. Behav Brain Res, 1992, 51(1): 41-50.
- [12] Bock O, Burghoff M. Visuo-motor adaptation: evidence for a distributed amplitude control system [J]. Behav Brain Res, 1997, 89(1-2): 267-273.
- [13] Thaler L, Todd JT. The control parameters used by the CNS to guide the hand depend on the visuo-motor task: evidence from visually guided pointing [J]. Neuroscience, 2009, 159(2): 578-598.

(上接第 252 页)