

基于生理参数的囊式卫生装备人体工效学评价研究

田丰, 杜振杰, 刘长军, 杨健, 李钊, 倪爱娟, 孙晓军

(军事医学科学院卫生装备研究所, 天津 300161)

摘要:目的 探讨背负不同型号背囊对人体行进中生理负荷和生物力学姿态的影响,分析背囊的结构设计是否适合人体生理特点和人体工效学要求。方法 针对4种不同型号背囊,选择10名男性武警某部卫生员作为受试对象,在受试人员携行背囊行进过程中,对血氧饱和度、心率、呼吸频率、氧耗量、躯干倾角、躯体症状等进行测试。结果 综合分析比较各项测试指标,Ⅰ号背囊结构设计没有考虑我国成年人人体尺寸特点,Ⅱ号背囊易造成腰背部受力集中,平衡能力受到影响,Ⅲ号背囊引起的肌体疲劳感较重,Ⅳ号背囊携行结构设计相对符合人体生理特点,适体性相对较好。结论 人体背负背囊行进中生理负荷和生物力学姿态指标的变化与背囊携行结构设计密切相关,人体工效学评价可为背囊携行结构的优化设计提供科学依据。

关键词: 背囊; 生理负荷; 躯干倾角; 人体工效学

中图分类号: TB482.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)03-0066-05

Ergonomics Evaluation Study of Backpack Medical Equipment Based on Physiological Parameters

TIAN Feng, DU Zhen-jie, LIU Chang-jun, YANG Jian, LI Fan, NI Ai-juan, SUN Xiao-jun

(The Institute of Medical Equipment, Academy of Military Medical Science, Tianjin 300161, China)

ABSTRACT: To explore the change of human physiological parameters, fatigue level and loading attitude when traveling with different backpacks, and to further analyze whether the structure design of backpack met the physiological characteristics of human body and human ergonomics requirement. Four types of backpacks were studied and ten male hygienists from a department of armed police were selected as the subjects. The blood oxygen saturation, heart rate, respiratory rate, oxygen consumption, body angle of inclination and bodily symptoms of subjects when traveling with a backpack were tested to get scientific data for analysis. Comprehensive analysis and comparison of the test indexes revealed: the structure design of backpack No. 1 did not consider the body size of adults in China, backpack No. 2 was more likely to concentrate the force on the lower back and impact on equilibrant, backpack No. 3 easily led to fatigue stress of human body, while the carrying structure design of backpack No. 4 relatively well met human physiological characteristics. In conclusion, the change of human physiological parameters, loading attitude and body angle of inclination when traveling with different backpacks is closely related with backpack portable structure, and ergonomics research can provide scientific basis and evaluation standard for optimization design of backpack portable structure.

KEY WORDS: backpack; physiological loads; truck angle; ergonomics

背囊携行结构的设计不仅要考虑外观、容量、环境适应性等因素,更要兼顾人体的生理结构特点。先进的背囊携行结构设计能够减少人员体能消耗,减轻疲劳感,而不合理的结构设计不仅会降低背囊

收稿日期: 2015-07-17

基金项目: 军队“十二五”重大子项目(AWS112005-7)

作者简介: 田丰(1964—),男,博士,军事医学科学院卫生装备研究所研究员、博导,主要研究方向为急救器材与包装工程。

舒适度,还会引发人体腰肩颈背等部位的肌肉骨骼损伤^[1-2]。近年来,标准化测试问卷调查^[3]、负荷条件下模拟行走生理学与生物力学测量分析^[4-8]、肌电信号和人体运动捕捉测量分析^[9-11]等方法被引入背囊人体工效学评价研究中,使背囊携行结构设计从单纯考虑操作使用功能,向更符合人体生理特征的热点方向发展。

文中在卫勤背囊等急救装备相关研究基础上^[12-14],重点针对受试人员生理负荷反应、运动生物力学中躯干倾角变化、人体感知程度进行综合分析,旨在通过人体工效学综合分析评价,为背囊携行结构优化设计提供科学依据。

1 方法

1.1 试验样品

试验样品选用我军和外军具有代表性的4种型号背囊,背囊外形尺寸和携行结构均有各自特色,其基本技术参数见表1。

表1 测试背囊样品基本技术参数

Tab.1 Basic technical parameters of experimental backpack samples

背囊编号	长/cm	宽/cm	厚/cm	背带宽/cm	背带间距/cm	质量/kg
I号	48.0	45.0	30.0	9.0	14.0	9.0
II号	54.0	40.0	23.0	6.8	10.0	9.0
III号	50.0	35.0	15.5	8.5	8.0	9.0
IV号	46.0	32.0	13.5	6.0	7.0	9.0

1.2 测试对象

武警某部卫生员10名,男性,年龄 (21 ± 2) 岁,身高 (169.7 ± 3.9) cm,体重 (65.4 ± 5.1) kg,身体健康。

1.3 测试方式及条件

将10名受试者进行编号,随机分组,每名受试者每天背1种型号背囊进行跑台运动。跑台坡度为5%,试验时间为60 min,跑台速度5.5 km/h。

在跑台运动的0,15,35和60 min时,测量受试者的血氧饱和度、心率、呼吸频率、氧耗量、人体躯干角,运动后受试者填写身体各部位症状感知表。

1.4 数据处理

分析比较4种型号背囊相同指标在运动60 min时的差异,采用方差分析。在无明显差别($P>0.05$)的情

况下,根据数值趋势,采用指标数值分级评估的方法。具体为:将4种型号背囊同一指标具体数值按分值分为4级,规定指标数值偏离静态最大的背囊最不符合人体工效结构设计,得4分;指标数值偏离静态最小的背囊最符合人体功效结构设计,得1分,依此类推。综合分相加总分最小者最符合人体工效学设计原则。

2 结果

2.1 背囊背负行进运动中血氧饱和度变化

受试者在运动过程中动态测量血氧饱和度(0,15,35,60 min)见图1,试验前后,受试者血氧饱和度均明显降低。背负运动60 min后,携行不同背囊受试者的血氧饱和度数值差别增大,血氧饱和度越低反映体力消耗越大,负荷运动60 min时的试验结果显示,I号、III号背囊体力消耗相对较大,II号、IV号背囊相对较小。4种背囊人体工效学较好排序依次为II号、IV号、III号、I号。

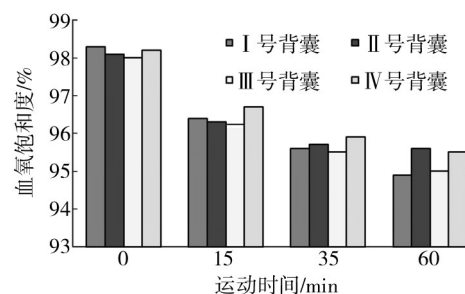


图1 受试人员运动过程中血氧饱和度变化

Fig.1 Variation in blood oxygen saturation of the subjects in motion process

2.2 背囊背负行进运动中心率的变化

受试者在运动过程中动态测量心率(0,15,35,60 min),运动心率直接反映了体力负荷强度的大小,心率越高,表明受试者负荷强度越大。由图2可知,背负运动60 min时,4种型号背囊的运动心率数值均明显上升,数值上有明显差别,从60 min时的测试数据分析得出,I号、IV号背囊体力负荷强度较小,II号、III号背囊相对较大。4种型号背囊人体工效学较好排序依次为I号、IV号、III号、II号。

2.3 背囊背负行进运动中呼吸频率的变化

受试者在运动过程中动态测量呼吸频率(0,15,

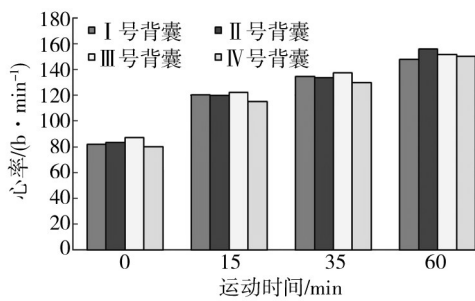


图2 受试人员运动过程中心率变化

Fig.2 Variation in heart rate of the subjects in motion process

35, 60 min), 呼吸频率反映了受试者生理负荷的大小, 呼吸频率越高生理负荷越大。由图3可知, 背负运动60 min时, 4种型号背囊的呼吸频率均有上升, 数值上有明显差别, 试验结果表明, 受试人员生理负荷影响 I号背囊相对较小, II号、III号背囊相对较大。4种型号背囊人体工效学较好排序依次为 I号、IV号、III号、II号。

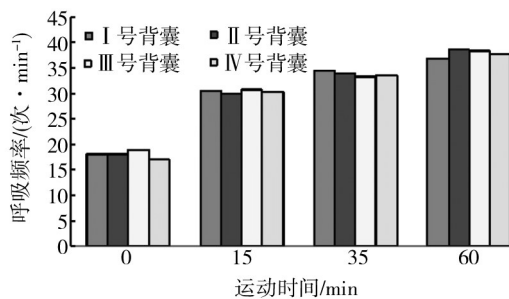


图3 受试人员运动过程中呼吸频率变化

Fig.3 Variation in respiratory rate of the subjects in motion process

2.4 背囊背负行进运动中氧耗量的变化

受试者在运动过程中动态测量氧耗量(0, 15, 35, 60 min), 氧耗量直接反映受试者体力消耗的大小, 氧耗量越高体力消耗越大。由图4可知, 负荷运动60 min时, 4种型号背囊受试者氧耗量均有明显上升, 但数值出现一定差别, 从测试结果分析得出, I号、II号、IV号背囊对受试人员体力消耗影响较小, III号背囊相对较大。4种型号背囊人体工效学较好排序依次为 II号、I号、IV号、III号。

2.5 背囊背负行进运动中躯干倾角(θ)的变化

通过平面定机摄影测量方法, 在跑台旁架设高速数码摄影机, 对受试者负荷背囊跑台行进的全过程进行摄影, 然后对负荷姿态进行摄像解析^[15]。测试过程中分别在 15, 35, 60 min 等3个时间点进行视频帧采

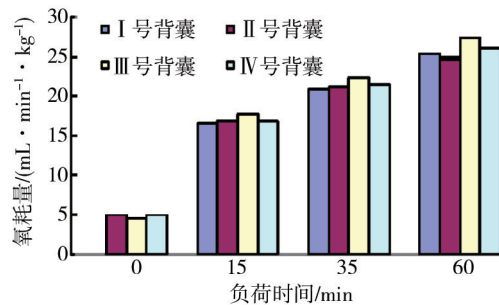


图4 受试人员运动过程中氧耗量变化

Fig.4 Variation in oxygen consumption of the subjects in motion process

集。负荷姿态即躯干倾角是指人体左、右肩关节连线的中点至左右髋关节连线的中点间的连线与地面垂直线间夹角。依据测试结果综合分析, I号、II号、IV号背囊结构设计较III号更符合人体生理特点, 因此选用 I号、II号、IV号背囊进行运动过程中躯干倾角的变化试验, 3种型号背囊测试受试者躯干倾角 θ 值见表2—4。

表2 运动15 min时的 θ 值Tab.2 The truck angle θ value after 15 min of movement ($^{\circ}$)

背囊 型号	受试人员										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	16	18	16	21	25	23	24	22	20	23	20.8 ± 3.22
II	21	21	19	19	25	17	19	18	22	24	20.5 ± 2.59
IV	22	20	24	20	22	20	22	22	15	20	20.7 ± 2.40
$P=0.9699>0.05$ $F=0.03$											

表3 运动35 min时的 θ 值Tab.3 The truck angle θ value after 35 min of movement ($^{\circ}$)

背囊 型号	受试人员										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	19	19	22	26	21	19	20	18	25	23	21.2 ± 2.74
II	21	22	19	18	21	18	21	18	20	18	20.6 ± 2.98
IV	23	24	22	17	23	27	17	20	18	17	20.8 ± 3.52
$P=0.9078>0.05$ $F=0.1$											

针对试验结果进行方差分析, 3种型号背囊测试过程中的 θ 值无显著性差异($P>0.05$)。数值变化趋势反映随负荷运动时间的增加, I号背囊在试验过程中 θ 值最大且呈快速增长趋势, II号背囊在试验过程中 θ 值无明显变化, IV号背囊在35 min后 θ 值稍有增长。相对较小的 θ 值, 人体躯干受力相对均匀, 可以

表4 运动60 min时的θ值

Tab.4 The truck angle θ value after 60 min of movement (°)

背囊 型号	受试人员										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	18	19	19	22	22	22	28	27	26	20	22.3 ± 3.56
II	19	19	20	19	24	24	20	18	23	20	20.6 ± 2.22
IV	21	24	26	16	20	20	14	20	21	20	21.2 ± 2.82
$P=0.4295>0.05$ $F=0.87$											

减轻肩部和腰部受力,缓解负重对人体造成的疲劳感。美国康奈尔大学整体作业快速评估方法研究也得到类似结论,其课题组对受试者各部位头、颈、躯干、上肢和下肢的姿势角度和用力进行测试评估,随着受试者躯干倾角的增大,对腰肌及腰椎的危害程度逐渐增强。

2.6 运动后影响受试者身体各种症状情况分析

受试者携行背囊进行跑台运动,负荷运动60 min后,测试受试人员身体针对各种症状的感知程度。受试者感知背囊适体性越好,囊体携行结构设计越符合人体生理特点,反之较差。由图5可知,以受试者腰背肌肉疲劳感知程度为例,II号背囊相对较差,IV号背囊携行结构设计较符合人体生理特点。

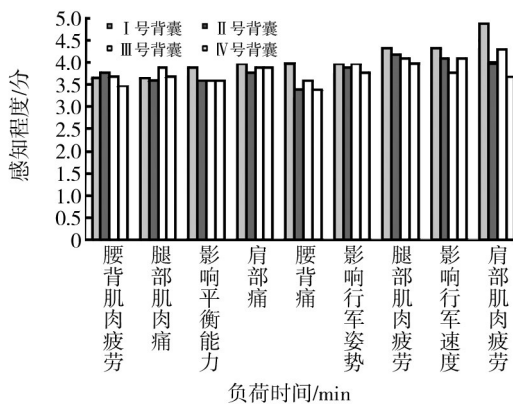


图5 受试人员机体各种症状影响

Fig.5 The effect on body symptoms of subjects

2.7 4种型号背囊人体工效学综合评价

依据指标数值分级评估方法,将以上各测试指标进行综合分析,见表5。综合分值分析表明,4种型号背囊的分值由低到高依次为IV号、II号、I号、III号。结果显示,IV号背囊较符合人体工效学设计,III号背囊最不符合。

表5 4种背囊各测量指标数值分级评估分析

Tab.5 Measured value classification evaluation analysis of four different backpacks

	I号背囊	II号背囊	III号背囊	IV号背囊
血氧饱和度	4	1	3	2
心率	1	4	3	2
呼吸频率	1	4	3	2
氧耗量	2	1	4	3
躯干倾角	4	1	3	2
躯体症状感知程度	4	2	3	1
总和	16	13	19	12

3 结语

针对4种型号背囊的生理负荷反应、躯干倾角和躯体感知程度测试结果,综合分析得出IV号背囊携行结构设计相对符合人体生理特点,适体性较好,III号背囊引起的肌体疲劳感较重。测试数值分析还表明,I号背囊结构设计没有考虑我国成年人人体尺寸特点;II号背囊结构设计易造成受试者腰背部受力集中,平衡能力受到影响,疲劳感较强。

利用平面定机摄影方法,测量受试者跑台行进中的负荷姿态,通过分析人体躯干倾角与腰背部疲劳程度的关系,建立一种物理表征的人体工效学评价试验方法。以背囊背带结构设计为例,I号背囊携行结构是背带加金属携行具形式,其优点是重量分布均匀,腰背部通风较好,但背囊重心距离受试者身体较远,体力消耗较大,受试者躯干倾角θ值呈逐渐增大趋势;II号背囊背带外形设计呈“S”形,在颈部和腋下附体性较好,符合人体的生理特点,测试过程中θ值变化较小;IV号背囊背带较软适体性相对较好,在35 min内θ值基本不变,但之后因受试者汗液将背带浸湿,较软的背带压迫受试人员胸部和腋窝引起不适感,使θ值有所增加。通过研究受试者躯干倾角变化,发现背囊结构设计缺陷,通过改进使其更符合人体生理特点。

受试者背负不同型号背囊进行跑台测试,将生理负荷反应、躯体感知程度及运动生物力学领域中躯干倾角变化研究引入囊式卫生装备携行适体性检测和评估,通过对测试数据的综合分析,为囊式装备携行结构优化设计提供科学依据,也可为相关急救装备研究提供有益借鉴,总之人体工效学对囊式卫生装备研究具有重要的科学意义和现实意义。

参考文献:

- [1] ROY T C, KNAPIK J J, RITLAND B M, et al. Risk Factors for Musculokeletal Injuries for Soldiers Deployed to Afghanistan[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2012, 83(1): 1060—1066.
- [2] PARK H, BRANSON D, PETROVA A, et al. Impact of Ballistic Body Armour and Load Carriage on Walking Patterns and Perceived Comfort[J]. *Ergonomics*, 2013, 56(7): 1167—1179.
- [3] 陈裴然, 黄德寅, 张倩, 等. 手工搬运作业人体工效学评价方法实例应用[J]. *中国工业医学杂志*, 2014, 27(2): 83—86.
CHEN Pei-ran, HUANG De-yin, ZHANG Qian, et al. Application Case of Ergonomics Evaluation Method for Manual Handling Operations[J]. *Chinese Journal of Industrial Medical*, 2014, 27(2): 83—86.
- [4] STEWART A B, ROGER A H. The Effect of Load Distribution within Military Load Carriage Systems on the Kinetics of Human Gait[J]. *Applied Ergonomics*, 2010, 41(4): 585—590.
- [5] JEFFREY M S, CAROLYN B, LEIF H, et al. Effects of Carried Weight on Random Motion and Traditional Measures of Postural Sway[J]. *Applied Ergonomics*, 2006, 37(4): 607—614.
- [6] 唐刚, 王洪生, 张希安, 等. 基于反向动力学的人体肌肉力预测平台[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(35): 6475—6478.
TANG Gang, WANG Hong-sheng, ZHANG Xi-an, et al. Inverse Dynamics-based Platform for Human Muscle Force Estimation[J]. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*, 2010, 14(35): 6475—6478.
- [7] 湛玉红, 郝俊勤. 不同行军速度下单兵适宜负荷量研究[J]. *中华劳动卫生职业病*, 2008, 26(12): 743—744.
CHEN Yu-hong, HAO Jun-qin. Study on Optimum Load Carriage for Soldiers under Different Marching Speed[J]. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2008, 26(12): 743—744.
- [8] 湛玉红, 郑捷文, 李晨明. 不同负荷模拟行走时的生理、生物力学信号分析[J]. *北京生物医学工程*, 2014, 33(6): 603—608.
CHEN Yu-hong, ZHENG Jie-wen, LI Chen-ming. Analysis of Physiological and Biomechanical Signals during Simulated Walking with Different Loads[J]. *Beijing Biomedical Engineering*, 2014, 33(6): 603—608.
- [9] DEEPTI M, MADHU S P, DHURJATI M. Effects of Military Load Carriage on Kinematics of Gait[J]. *Ergonomics*, 2010, 53(6): 728—791.
- [10] SIMPSON K M, MUNRO B J, STEELE J R. Effects of Prolonged Load Carriage on Ground Reaction Forces Lower Limb Kinematics and Spatio-temporal Parameters in Female Recreational Hikers[J]. *Ergonomics*, 2012, 55(3): 316—326.
- [11] 魏高峰, 舒展, 任秋实, 等. 典型携运行步态下卫勤背囊运动捕捉测量实验研究[J]. *中国数字医学*, 2014, 9(1): 75—78.
WEI Gao-feng, SHU Zhan, REN Qiu-shi, et al. The Musculoskeletal Motion Capture Experiment of Military Backpack at Typical Load Carriage Gait Speed[J]. *China Digital Medicine*, 2014, 9(1): 75—78.
- [12] 田丰, 杜振杰, 孙晓军, 等. 人体尺寸和躯体感知与背囊携行结构设计[J]. *医疗卫生装备*, 2003, 24(5): 15—17.
TIAN Feng, DU Zhen-jie, SUN Xiao-jun, et al. Human Body Size and Sense Perception in the Design of the Backpack Portable Structure[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2003, 24(5): 15—17.
- [13] 田丰, 杨荆泉, 杨健, 等. 送风过滤式医用防护头罩微环境对人体生理参数的影响[J]. *医疗卫生装备*, 2004, 25(4): 19—21.
TIAN Feng, YANG Jing-quan, YANG Jian, et al. Effect of the Microenvironment of Powered Air-purifying Medical Protective Hood on the Body's Physiological Parameters[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2004, 25(4): 19—21.
- [14] 田丰, 成国祥, 王政等. 正压送风过滤式医用防护装备的微环境研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2006, 24(3): 151—153.
TIAN Feng, CHENG Gou-xiang, WANG Zheng, et al. Microenvironment of Positive Pressure Air Purifying Medical Protective Equipment[J]. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2006, 24(3): 151—153.
- [15] 孙晓军, 田丰, 高万玉, 等. 躯干倾角与背囊携行结构的人体工效学研究[J]. *人类工效学*, 2004, 10(3): 29—30.
SUN Xiao-jun, TIAN Feng, GAO Wan-yu, et al. Ergonomic Study on Trunk Lean Angle and Structure of Backpack[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2004, 10(3): 29—30.