

生理节律与日常活动对人体疲劳程度的影响 *

王 斌 胡文东[△] 马 进 张利利 许春博 代 静

(第四军医大学航空航天医学系 陕西 西安 710032)

摘要 目的: 研究生理节律和日常活动分别对人体疲劳程度的影响大小。方法: 选取某校 7 名大学生志愿者, 在军训期间对每日军训科目严格限制条件下进行该实验, 以闪光临界融合频率、心率变异性、反应时、静态姿势图 TLX-NASA 量表评分作为指标, 对每天分别在训练前和训练后疲劳程度的大小进行测量, 以这些指标描述训练前后的疲劳程度。结果: 反应时降低(0.60 ± 0.09)、反应正确率提高(0.97 ± 0.03); 闪光临界融合频率升高(40.84 ± 2.14); 心率变异性 TP(3076.60 ± 382.08)降低、心率变异性 SDNN(55.28 ± 16.85)降低, 静态姿势图晃动减少, 中低频率段(0.15 ± 0.01)、前后方向重心变位(7.92 ± 0.63), TLX-NASA 量表评分降低(30.47 ± 10.23)。以上差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 生理节律相对于日常活动对机体的疲劳状态有更大的影响。

关键词 疲劳; 静态姿势图; 生理节律; 闪光临界融合频率; 日常活动

中图分类号: R193 文献标识码: A 文章编号: 1673-6273(2012)11-2091-04

The Effect of Circadian Rhythm and Daily Activity to Fatigue*

WANG Bin, HU Wen-dong[△], MA Jin, ZHANG Li-li, XU Chun-bo, DAI Jing

(Department of aerospace medicine, the fourth military medical university, Xi'an Shanxi, 710032, China)

ABSTRACT Objective: To compare the effect of circadian rhythm and daily life to the status of fatigue. **Methods:** 7 volunteers from the campus were included in this study. In the period of military training, all the quantity of training classes were restricted strictly every-day. We use the following parameter as testing indexes: critical fuse frequency (CFF), heart rate variability (HRV), reaction time(RT), posturography and TLX-NASA assessment. In the analysis, we compared the indexes pre-training and post-training which measured the status of fatigue. **Results:** Compared with the results pre-training, CFF (40.84 ± 2.14) increasing, in the HRV indexes, TP (3076.60 ± 382.08) decreasing, SDNN(55.28 ± 16.85) decreasing, RT(0.60 ± 0.09)decreasing, correct ratio of RT(0.97 ± 0.03)increasing, the sway of posturography decreasing, middle-lower frequency(0.15 ± 0.01)decreasing, sway of anterior-rear direction(7.92 ± 0.63)decreasing, and TLX-NASA assessment (30.47 ± 10.23) decreased. These comparisons had significant difference. **Conclusion:** Circadian rhythm has more effect than daily life to the status of fatigue.

Key words: Fatigue; Posturography; Circadian rhythm; Critical fuse frequency; Daily activity

Chinese Library Classification(CLC): R193 **Document code:** A

Article ID:1673-6273(2012)11-2091-04

前言

现代工作节奏越来越快,常常会有超负荷的工作或者常规的作息规律被打乱,表面看上去增加了工作时间,但是实际上造成人体的疲劳,不仅降低了工作效率,造成时间、人力、物力的极大浪费,而且由疲劳操作导致的事故也屡见不鲜。在这样的情况下,怎样更科学合理的安排工作和休息,因此生理节律和日常活动对人体的疲劳状态的影响成为一个需要研究的问题。本实验采用当前较为客观定量的几种检查方法,闪光临界融合频率、心率变异性、反应时、静态姿势图以及主观评定量表 TLX-NASA 对疲劳的状态进行测量,研究生理节律和日常活动分别对机体状态的影响的大小,以便为科学有效地安排工作提供科学依据,为预防事故提供保障。

1 对象和方法

1.1 对象

* 基金项目: 国家自然科学基金(69879007)

作者简介: 王斌(1986-) 男, 硕士研究生, 研究方向: 生理状态监测, 电话: 13468856974, E-mail: greensky821@126.com

[△]通讯作者: 胡文东, E-mail: huwend@fmmu.edu.cn

(收稿日期: 2012-02-13 接受日期: 2012-03-06)

本研究选取某校 7 名男性学员, 年龄 21 ± 1 岁, 入校体检均合格, 身体健康。

1.2 测试项目及仪器

1.2.1 闪光临界融合频率(Critical Fuse Frequency) 采用华东师范大学科教厂生产的 EP403 亮点闪烁仪进行测量, 测量时被试眼睛贴紧遮光罩, 内有红色闪烁 led 灯, 频率变化范围 7-80Hz, 按照增 - 减 - 减 - 增 - 增 - 减 - 减 - 增的顺序调节灯光的闪烁频率, 当被试感知灯光闪烁临界时(灯光由闪烁到不闪烁时, 或者灯光由不闪烁到闪烁时)记录下该频率值作为结果, 八个结果取算术平均值即得到该次测试的闪光临界融合频率值^[1]。

1.2.2 心率变异性 (Heart Rate Variability) 采用 Choice Electronic 公司的 fk-808 心电模块测量, 当被试静息 30 分钟后, 通过电极记录 5 分钟心电, 数据由计算机自动进行频域分析分别得到总功率(TP), RR 间期标准差(SDNN), 低频功率(LF), 高频功率(HF), 低频功率与高频功率比值(LF/HF)^[2,3]。

1.2.3 静态姿势图(Static Posturography) 采用 Tetrax 公司的静

态姿势图仪,被试站立于压力平台上,左脚跟,左脚掌,右脚跟,右脚分别对应 ABCD 四个平板压力传感器,计算机根据不同传感器上的压力变化计算描记出人体晃动轨迹,测试时采取的姿势为:闭眼,站立于软质垫子上,持续时间约 30 秒。

1.2.4 反应时 测量采用我教研室自行研制的反应时测量仪,分为显示器和应答器,显示器上共有九个红黄绿色 LED 灯,应答器上分别有红黄绿三个按键,显示器每次随机亮起一个灯,被试按相应颜色按键作答即可,计算机记录每次反映时间和错误次数。

1.2.5 TLX-NASA 量表具有六个负荷因素,分别为脑力需求、体力需求、时间需求、业绩需求、努力程度和受挫程度,根据被试在每一个负荷因素上得自评分数,最后加权所得分值即表示脑力负荷程度,该量表能够较好的评价被试的疲劳状况,具有对中对低负荷的变化具有良好的敏感性,评估过程简单,在各种环境具有广泛的应用。

1.3 方法

实验设在军训期间,每日参加日常科目相同、强度相当的军事训练,每日测试两次,分别在早晨训练前和下午训练后进行,时间分别为 6:00 和 18:00,共十天。实验分为两部分,前三天,每天进行测量,使被试熟悉实验流程,并消除学习效应。后七天连续测量,在实验中,首先测定心率变异性,再测定反应时和静态姿势图,最后测定闪光临界融合频率,结果数据作统计分析。所有人按照要求完成实验。

1.4 统计分析

采用 SPSS13.0 统计软件对数据进行统计处理,所有数据均采用均数±标准差形式表示,分析方法采用两因素重复测量方差分析, $P<0.05$ 认为差异有统计学意义。前三天的测量数据由于学习效应的存在,因此不做统计处理,仅对后七天的数据进行统计分析。检验水准 α 值为 0.05。

2 结果

2.1 反应时的比较

表 1 训练前后反应时对比($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of RT between pre-training and post-training

	训练前(Pre-Training)	训练后(Post-training)
反应时(s)		
Reaction Time	0.65± 0.08	0.60± 0.09*
反应正确率		
Correct Rate	0.95± 0.02	0.97± 0.03*

注: *表示与训练前相比 $P<0.05$

Note: *Compared with pre-training group, $P<0.05$

从表中可以看出,在训练后,反应时间缩短,而反应正确率提高,即反应的速度和质量在训练后都有所提高,在训练后的机体处于更佳的生理状态^[12,13]。由此可以推测,早晨的生理节律

低谷期对反应时的影响要大于一天活动的疲劳造成的影响。

2.2 闪光临界融合频率的比较

表 2 训练前后闪光临界融合频率对比($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of CFF between pre-training and post-training

	训练前(Pre-training)	训练后(Post-training)
CFF(Hz)	39.98± 2.32	40.84± 2.14*

注: *表示与训练前相比 $P<0.05$

Note: *Compared with pre-training group, $P<0.05$

从表中可以看出,在训练后闪光临界融合频率有所增加,根据以往文献的研究^[1,14],根据该结果可以推断,被试的疲劳程度在训练后有所缓解,由此可以推断,生理节律低谷期对被试

的疲劳程度影响更大一些。

2.3 HRV 对比

表 3 训练前后 HRV 对比($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of HRV between pre-training and post-training

频域分析指标 (Frequency domain analysis)	训练前(Pre-training)	训练后(Post-training)
TP(ms ²)	4422.3± 487.43	3076.60± 382.08*
Hf(ms ²)	933.77± 1518.75	520.93± 498.93
Lf(ms ²)	1735.51± 1227.08	1305.82± 1043.44
Lf/Hf	2.92± 1.86	3.40± 2.42*

注: *表示与训练前相比 $P<0.05$

Note: *Compared with pre-training group, $P<0.05$

从表中可以看出,经过一天的训练之后,交感神经相对于副交感神经的张力升高,考虑是由于训练期间体力活动交感神经兴奋引起。但是心交感神经和副交感神经的总张力降低,神

经对心脏的调节降低,提示在生理节律对心脏神经活动的影响更大^[3]。

2.4 静态姿势对比

表 4 训练前后静态姿势图对比($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of posturography between pre-training and post-training

	训练前(Pre-training)	训练后(Post-training)
中低频率段 Mid-low fre	0.19± 0.02	0.15± 0.01*
单位面积轨迹长(m/m ²) UAPL	0.31± 0.01	0.31± 0.01
左右方向重心变位(cm) DAX	13.53± 0.94	9.59± 0.77
前后方向重心变位(cm) DAY	10.29± 0.78	7.92± 0.63*

注: *表示与训练前相比 P<0.05

Note: *Compared with pre-training group, P<0.05

从表中可以看出,训练后,根据一些研究的结果,中低频率相对于其他的傅里叶分析的频段对于疲劳状态更加敏感^[4,18],在中低频率段上可以看出训练后的姿势稳定性更好,提示我们训练前的前庭系统和本体系统功能相对较差。左右方向重心变位差异不具有显著性可能是因为测试时,双足采用的姿势是脚掌烧向外分开成约三十度角,因此在左右方向上有更大的支撑面积,而前后方向上重心变位的差异具有统计学意义是因为

在前后方向上的支撑面积较小,重心不稳,在机体处于较差的状态时维持这种平衡的困难更大^[19],因此会出现重心不稳的情况。根据这些指标我们可以推测,相对于疲劳来说生理节律会对人体的前庭本体觉产生更大的影响^[20],因此我们可以推测,晨起之初的疲劳程度实际上要大于一天活动之后。

2.5 TLX-NASA 评分对比

表 5 训练前后 TLX-NASA 评分对比($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of TLX-NASA assessment

	训练前(Pre-training)	训练后(Post-training)
TLX-NASA 评分(分) TLX-NASA assessment(point)	44.34± 12.32	30.47± 10.23*

注: *表示与训练前相比 P<0.05

Note: *Compared with pre-training group, P<0.05

表中可以看出,晨起之后(训练前组)感到的疲劳程度大于一天的训练后的感觉,对于疲劳感受的主观评分 TLX-NASA 评分也印证了以上的客观测试的结果。与以往相关的研究结果一致^[5]。

3 讨论

到目前为止,对于疲劳的定义仍然有所争议,也没有一种方法能搞较准确的测量出疲劳的状态,目前研究比较多的 EEG、ERP 等方法虽然对于检测疲劳有一定的价值^[10,11,16],但现有科学对脑功能认识的局限性,其分析方法和算法众多,虽然在不断的研究和完善当中,但大多研究仍处于实验室阶段。此外,高额的成本,复杂的操作,对环境要求也较高,并不利于普及和推广。

本实验采用被试的自身前后对照,分为训练前和训练后数据分为两组。在训练前组中,测试时间点(6:00)此时处于生理节律的低谷期,人体各种状态都处在逐步恢复过程中,生理节

律的低谷对于机体各项功能的影响是本组的主要影响因素,此时的各种测试指标记过在很大程度上反应出生理节律的影响^[8]。而训练后组中,一天的军事训练表面上看是体力活动,但实际上军训过程中,由于要根据教官口令迅速地做出反应,被试始终保持着高度注意力和警觉性,再加上长时间的单调重复的活动,也会造成一定程度的脑力疲劳,因此军训活动实际上造成的是脑力和体力的混合疲劳状态。而训练后的数据这个测试时间点(18:00)机体状态处于生理节律的中等偏低水平,日常活动是本组的主要影响因素。当我们对比这两组的结果时,实际上是对比了生理节律和日常活动分别对于机体状态的影响^[9]。根据实验的结果,发现生理节律的影响对于人体的疲劳影响更大,客观上使得机体的各项功能如视觉、警觉性、反应速度、平衡功能都会产生明显的下降,对被主观上造成的很强的疲劳感,而这种疲劳感也会影响被试的心理动机,二者叠加造成工作效率的下降。

而就目前的研究来看,疲劳对人体的各个系统功能会产生

的广泛影响,因此本实验试日常的生活中的疲劳(本实验选取的是军训活动具有脑力和体力双重负荷,所导致的复合疲劳状态和日常生活中大多数的人疲劳特点有共同之处),我们试图通过较为简单的方法测量外周系统的功能,以此间接地判断疲劳状态,具有一定应用价值。

人体的生理节律受到下丘脑的神经调控,在不同的时间发放冲动使人产生疲倦或兴奋,形成一日的生理节律,以保证人在工作的时候有足够的精力,并且在工作后能够得到有效及时有效的休息,在高峰期人们的各种机体状态都处在良好的水平,完成各种工作的效率较高,而处在生理节律低谷期时,人体各个器官受到影响,功能会有不同程度的下降,人们会产生疲倦感,此时的工作效率降低^[6,7],提示机体应该进行休息,本身对机体是一种保护,对人的机体状态的恢复有着重要的作用。有些研究表明,违背生理节律,对人体的工作能力也有极其重要的损害和影响^[6]。因此,按照生理节律的规律进行活动和休息对于人体的机体状态的恢复是必要的^[15],而剧烈的日常活动对人的疲劳也有直接影响,人们常常在体力和脑力活动之后,也会产生疲倦的感觉。即使是处在生理节律的高峰期过度的工作也是如此。

参 考 文 献(References)

- [1] 葛胜秋,武国城,徐先慧,等.飞行疲劳对不同年龄民航飞行人员视觉融合的影响[J].中华航空航天医学杂志,2005,16(3):180-183
Ge Sheng-qiu, Wu Guo-cheng, Xu Xian-hui, et al. Effect of flight fatigue on critical flicker frequency in airline aircrew of different age groups [J]. Chinese Journal of Aerospace Medicine, 2005,16(3):180-183
- [2] JCTB Moraes, M freitas, FN Vilani, et al. A QRS complex detection algorithm using electrocardiogram leads[J]. Computer in Cardiology, 2002,29(3):205-208
- [3] Joao L, Azevedo DC, et al. Development of a Matlab Software for analysis of Heart Rate Variability [C].2002 6th International Conference Signal Processing Proceedings, 2002,2:1488-1491
- [4] Yair Morad, Bella Azaria, Isaac Avni, et al. Aosturography as an indicator of fatigue due to sleep deprivation. Posturography to indicate fatigue [R]. Aviation Space and Environmental Medicine,2007,78(9):859-863
- [5] Sally A. Fergusona, Gemma M.Paecha, Charli Sargenta, et al. The influence of circadian time and sleep dose on subjective fatigue ratings[J]. Accident Analysis and Prevention, 2012,45:50-54
- [6] 李砚锋,詹皓,李彤,等.48h睡眠剥夺对正常人双重任务能力和疲劳感的影响[J].中国应用生理学杂志,2005,21(2):174-175
Li Yan-Feng, Zhan Hao, Li Tong, et al. The effect of 48-hour SD to dual-task ability and fatigue [J]. Chinese Journal of Applied Physiology, 2005,21(2):174-175
- [7] Maarten A.S. Boksem, Mattie Tops, Mental fatigue: Costs and benefits [J]. Brain Research Review, 2008: 125-139
- [8] Brief posturographic test as an indicator of fatigue [J]. Psychiatry and clinical Neurosciences, 2006,60(3):340-346
- [9] 曹雪亮,苗丹民,刘练红.脑力疲劳评定方法现状[J].第四军医大学学报,2007,27(4):382-384
Cao Xue-liang, Miao Dan-min, Liu Lian-hong. Review of assessment on mental fatigue [J]. Journal of the Fourth Military Medical University, 2007,27(4):382-384
- [10] Jianping Liu, Chong Zhang, Chongxun Zheng. EEG-based estimation of mental fatigue by using KPCA-HMM and complexity parameters[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2010,5:124-130
- [11] Michael ten Caata, Monique M. Loristb, Eniko Bezdan. High-density EEG coherence analysis using functional units applied to mental fatigue[J]. Journal of Neuroscience Methods,2008, 171:271-278
- [12] Rohit Tyagi, Kaiquan Shen, Shiyun Shao, et al. A novel auditory working-memory vigilance task for mental fatigue assessment [J]. Safety Science,2009,47(7):967-972
- [13] Mathias Basner, Daniel Mollicone, David F Dinges. Validity and sensitivity of a bried psychomotor vigilance test to total and partial sheep deprivation[J]. Acta Astronautica,2011,69(11-12):949-959
- [14] D.J.Hsu, Y.M.Sun, K.H.Chuang, et al. Effect of elevation change on work fatigue and physiological symptom for high-rise building construction workers[J]. Safety Science,2008,46(5):833-843
- [15] Maarten A.S. Boksem, Mattie Tops. Mental fatigue:cost and benefits [J]. Brain Research Reviews, 2008,59(1):125-139
- [16] Kai-Quan Shen, Xiao-Ping Li, Chong-Jin Ong. EEG-based mental fatigue measurement using multi-class support vector machines with confidence estimate [J]. Clinical Neurophysiology, 2008,19 (7):1524-1533
- [17] Yuichiro Kato, Hiroshi Endo, Tomohiro Kizuka. Mental fatigue and impaired response processes: Event-related brain potentials in a Go/NoGo task[J]. International Journal of Psychophysiology, 2009, 7 (2): 204-211
- [18] Xingda Qu, Maury A.Nussbaum, Michael L.Madigan. A balance control model of quiet upright stance based on optimal control strategy [J]. Journal of Biomechanics,2007,40:3590-3597
- [19] C.G.C.Horlings, U.M.kung, B.G.M.van Engelen, et al. Balance control in patients with distal versus proximal muscle [J]. Neuroscience, 2009,164(4):1876-1886
- [20] Noa Avni, Isaac Avni, Erez barenboim, et al. Brief posturographic test as an indicator of fatigue [J]. Psychiatry and Clinical Neurosciences,2006,60:340-346