

视屏显示终端视觉疲劳对脉搏信号的影响

张爱华, 王业泰, 赵治月

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 目的 通过对脉搏信号特征的提取与分析, 寻找诊断与评测 VDT视觉疲劳状态的客观指标。方法 由问卷调查表选定 37例健康被试者, 设计视觉疲劳实验。在 VDT实验前后, 分别采集被试者光电脉搏信号, 并对被试者进行疲劳症状问卷调查和闪光融合频率测定以及体温测量。对脉搏信号进行时域和频域分析, 提取波形高度和功率谱峰值作为特征参量。结果 通过对疲劳症状问卷的统计分析发现, 以 Rechich 提出的判断标准, 视疲劳实验后, 被试者均处于视疲劳状态。闪光融合频率值下降显著 ($P < 0.05$), 同时体温下降显著 ($P < 0.01$)。视疲劳后脉搏信号的波形高度和功率谱峰值均显著降低 ($P < 0.001$)。结论 脉搏信号的波形高度和功率谱峰值能够较客观地反映人体 VDT视疲劳状态, 有望作为视疲劳状态诊断与评测的客观指标。

关键词: 视屏显示终端 (VDT); 视觉疲劳; 脉搏; 波形高度; 功率谱; 闪光融合频率 (CFF)

中图分类号: R779.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-221X(2010)03-0166-04

Effects of visual fatigue induced by VDT on pulse signals

ZHANG Aihua, WANG Yetai, ZHAO Zhiyue

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Objective To search the objective indices for diagnosing and assessing visual fatigue induced by VDT (visual display terminal) through analyzing the pulse wave signals. Methods Thirty-seven healthy volunteers were selected by questionnaire for experiment of visual fatigue induced by VDT. The pulse signals of subjects were examined by photoplethysmography, the visual fatigue was evaluated by the questionnaire meanwhile measured the critical flicker frequency (CFF) and body temperature before and after VDT watching experiment respectively. Results According to Rechich's judging criterion, the data of questionnaire demonstrated that all the subjects were in visual fatigue status after the VDT watching experiment, the values of CFF and body temperature were significantly decreased, and the height of pulse waveform and the peak value of power spectrum were all decreased significantly after VDT experiment ($P < 0.001$). Conclusions The results suggested that the height of pulse waveform and the peak value of power spectrum could be used as the diagnostic indicators of visual fatigue in VDT workers.

Key words: video display terminal (VDT); visual fatigue; pulse waveform height; power spectrum; critical flicker frequency (CFF)

随着科学技术的不断发展, 视屏显示终端 (video display terminal, VDT) 包括计算机终端显示器、阴极射线管、电视机、游戏机等, 现已广泛应用于学习、工作和生活。它给人们带来方便和高效率的同时也产生了一些新的职业卫生问题。VDT作业过久有时会出现头昏、头胀、颈和腰背酸痛、四肢酸麻、食欲减退、便秘和视疲劳, 称为 VDT综合征 (video display terminal syndrome, VDTS), 美国眼科协会 (American Optometric Association) 定义为计算机视觉征候群 (computer vision syndrome, CVS)^[1-4]。视疲劳又称眼疲劳 (eye strain, eye fatigue), 常以患者自觉症状为基础, 包括视物模糊、流泪和眼胀等在内的眼部不适与全身疾病和精神 (心理) 因素交织在一起,

所伴随出现的一系列症状, 统称为眼疲劳综合征^[5]。

VDT对操作者健康的影响已被公认。目前 VDT视觉疲劳的测定仍处于以问卷调查为主的阶段, 应用客观生理信号的研究并不多见。脉搏是心脏的搏动使血液沿动脉血管向外周传播而形成的^[6]。它携带有丰富的人体健康状况信息, 可以很好地反映身体各子系统的生理状态和病理变化, 因此通过对脉搏信号的特征分析有望能客观地反映视觉疲劳状况。为此, 我们设计了视觉疲劳实验, 针对 VDT作业者视觉疲劳前后的脉搏信号进行分析, 以期能为 VDT作业职业防护和视觉疲劳评测提供依据。

1 材料与方法

1.1 对象

以天津康复医学会亚健康专业委员会首次公布的亚健康状态自评表对无疾病志愿者进行健康状况评测, 选出得分低于 50分者, 确定近期处于完全健康状态。排除: (1) 全身疾病 (高血压、甲亢、贫血、

收稿日期: 2009-08-27 修回日期: 2010-01-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30670529)

作者简介: 张爱华 (1964-), 教授, 博士生导师, 研究方向:

生物医学信号检测与处理。

糖尿病、心功能不全); (2) 精神病早期、心理疾病或病史、鼻副鼻窦疾患; (3) 眼部器质性病, 眼底疾患及眼外伤病史; (4) 斜视、屈光不正、青光眼家族史。最后确定测试对象 37 例, 其中男 25 例、女 12 例, 年龄 20~26 (平均 24.06) 岁, 为在校本科生和研究生。

1.2 仪器

采集装置: 采用自主研发的电生理信号采集系统, 由迈瑞 512F 成人指夹血氧传感器、信号检测模块、USB 接口数据采集卡 MP425 和 LabVIEW 数据采集软件构成。闪光融合频率计: 北大青鸟 BD-II-118 型。亮点闪烁频率, 4.0~60.0 Hz; 亮点直径, 2 mm; 亮点颜色, 蓝色; 背景光, 全黑; 亮点闪烁亮黑比 3:1。电脑: 联想开天 M4350, CRT 显示器, 刷新频率 85 Hz, 无屏保, 视屏显示因子及各项参数保持不变。实验者使用同一台电脑。

1.3 方法

1.3.1 实验前指导 实验前一天使受试者了解实验过程、熟悉仪器、实验任务的操作方法及注意事项, 提示受试者要保证休息和睡眠。

1.3.2 实验环境 地点为实验室。平均室温 (23.2 ± 3.2) °C, 紧拉窗帘, 控制、消除眩光, 采用柔和的白色日光灯照明, 使室内照度与亮度均匀稳定。保持安静减少噪音, 保持实验环境的通风, 透光性。时间均选择上午最清醒、效率最高的时间段 8:30—11:30。

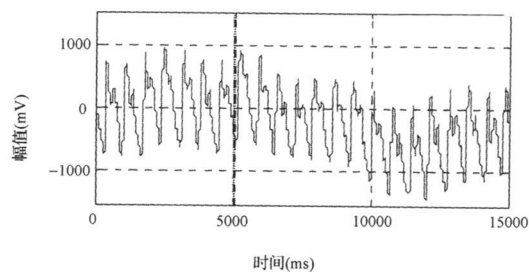
1.3.3 VDT 作业内容 实验前: 问卷测评受试者游戏熟练程度, 前一天的休息状况, 此时清醒度、状态良好者完成疲劳前疲劳症状问卷调查表, 体温测量, 疲劳前闪光融合频率 (critical flicker frequency CFF) 测试。受试者静坐休息, 先采集 VDT 实验前数据大约 15 min。指夹血氧传感器夹在左手手中指。实验中: 视距离 (50 ± 4.2) cm, 显示器上部边缘低于被试者的眼高, 被试者可以按照自己的意愿调整显示器的倾斜角和椅子的高度, 选用自己感觉舒适合理的坐姿。用右手操作鼠标全屏玩电脑游戏祖玛 (初级难度) 约 1.5 h 保持游戏的连续性, 要求受试者避免情绪波动及肢体运动, 保持平静心态。尽量减弱、减少或去除其他因素对采集到的信号的干扰, 完成对数据的实时采集。实验中, 感觉眼累时记录时刻。实验采样频率为 1 000 Hz。实验后: 快速完成疲劳后疲劳症状问卷调查表, 并进行疲劳后 CFF 测试, 体温测量。疲劳症状问卷调查表以现公认的意大利学者 Rechichi^[7] 等提出的视疲劳 10 个主诉症状头痛、流泪、眼刺痛、视物模糊、复视、眼痒、畏光、眨眼、

恶心、眼沉重感为判断标准。当具有其中两个或以上症状时即可判定为视疲劳。另多加了眼胀、眼干、异物感、头晕、眼花、眼疲倦作为参考。视疲劳程度分为无、轻度、次中度、中度、次重度、重度 6 个等级。

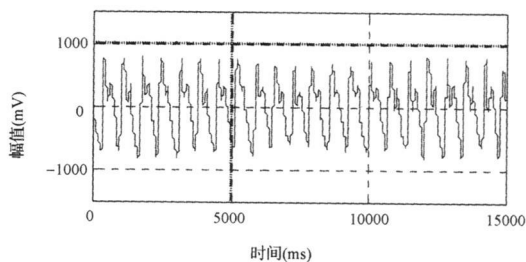
2 脉搏信号分析

2.1 信号预处理

实测脉搏波形如图 1 (a) 所示。由于脉搏信号的频谱主要分布于 0~20 Hz 以内。脉搏波与其他生物医学信号一样, 容易产生基线漂移, 这种基线漂移实际上是一种低频干扰, 它的存在影响波形分析的准确性。因此, 用计算机分析和处理生物医学信号时, 一般要先进行适当的滤波处理, 主要是去除基线漂移和滤除 50 Hz 的工频干扰^[8]。为此设计了巴特沃斯带通滤波器进行滤波去除基线漂移和肌电干扰, 然后通过带阻切比雪夫 II 型滤波器滤除 50 Hz 的工频干扰。脉搏波形的预处理结果如图 1 (b) 所示, 滤波效果令人满意。



(a) 原始信号



(b) 预处理后信号

图 1 脉搏波形信号预处理

2.2 时域特征提取

由于信号无法完全去除基线漂移, 而以波形高度为特征将有效减小基线漂移对所得特征的影响。波形高度由波峰与波谷幅度差获得。如图 2 所示, h 为脉搏波形高度。

统计分析采集到的脉搏波信号发现, 虽然每个脉搏波的波峰值 (或波谷值) 大小并不相同, 但它们总在一个范围内波动, 波动范围基本不超过最大波形高度的 0.3 倍。为更可靠地检测波峰 (或波谷), 以 0.4 倍为参考, 因此可以认为波峰点 (或波谷点) 是

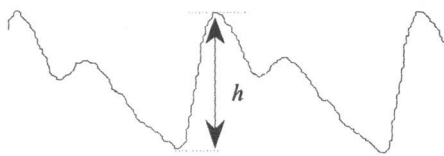


图 2 脉搏波形高度

在整段波形的最大值（或最小值）附近，大于（或小于）其邻域内所有点的点。由于采样频率是 1 000 Hz，通过对大量脉搏波测量数据的分析，把此邻域长度定义为 800 个数据点可以准确识别波峰点（或波谷点）^[9]。假设采集到的脉搏波为数字信号序列 $P [j] \in [0 \sim N]$ ，实际波峰 $P [j]$ 的判别条件为

$$\begin{cases} (\max \{ P [j] \} - P [j]) \leq \Delta \\ P [j] \geq P [j], \in [j - 400, j + 400] \end{cases} \quad (1)$$

式中， $\Delta = (\max \{ P [j] \} - \min \{ P [j] \}) \times 0.4$ j 为波峰点的位置。

波谷点的提取类似，实际波谷的 $P [j]$ 判定条件为

$$\begin{cases} (P [j] - \min \{ P [j] \}) \leq \Delta \\ P [j] \leq P [j], \in [j - 400, j + 400] \end{cases} \quad (2)$$

其中， j 为波谷点的位置。

2.3 功率谱分析

功率谱反映了随机信号各频率成分功率能量分布。为获取视觉疲劳前后脉搏信号能量变化情况，对

被试者脉搏信号进行功率谱分析。

Welch法采用加窗交叠求功率谱，可以有效减小方差和偏差，一般情况下能接近一致估计的要求，因此我们采用 Welch法。其基本原理是：对数据分段时，使每一段有部分重叠，然后对每一段数据用一个合适的窗函数进行平滑处理，最后对各段谱求平均。对信号加不同的窗函数，谱估计的质量是不同的，相对于矩形窗，Hanning窗的主瓣包含更多的能量，因而使功率谱的主瓣较窄，分辨率较高。因此采用 Hanning窗。

3 结果与分析

3.1 疲劳问卷调查表

统计疲劳后的调查问卷，每个人都有不同程度的视疲劳，除眨眼未统计，以 Rechiich的判断标准，均满足视觉疲劳。统计结果见表 1。

3.2 CFF与体温变化

CFF是用来测定视觉疲劳的常用指标之一，一般来说，闪光融合频率值随着疲劳程度的加重而降低。每位受试者的 CFF值与体温变化情况如图 3所示，由此能较明显看出，经过游戏测试，受试者已达到视觉疲劳状态，而且受试者的体温也出现了明显变化。由表 2看出视疲劳后总样本 CFF和温度均明显下降。

表 1 疲劳后症状调查表

	头痛	流泪	眼刺痛	视模糊	复视	眼痒	畏光	恶心	眼沉重	眼胀	眼干	异物感	头晕	眼花	眼疲倦
人数	14	15	16	23	11	12	14	5	25	23	23	15	21	15	33
占总人数比 (%)	37.8	40.5	43.2	62.2	29.7	32.4	37.8	13.5	67.6	62.2	62.2	40.5	56.8	40.5	89.2

表 2 疲劳前后 CFF和温度变化 ($\pm s$)

时间	人数	CFF (Hz)	体温 (°C)
疲劳前	37	35.002 7±2.258 7	36.208 1±0.398 9
疲劳后	37	33.729 7±1.971 6*	35.824 3±0.449 3**

注：疲劳前后比较，* $P < 0.02$ ** $P < 0.01$ 。

3.3 脉搏波形高度

对疲劳前和疲劳后各 5 min的数据 300 000个点分别提取波形高度。经 检验，疲劳前后波形高度差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，见表 3。37位被试者均值比较如图 4 (a)所示。从图 4 (a)可以看出，波形高度是视觉疲劳较为敏感的指标。在实验中，虽然不同受试者的波形高度值差别较大，但同一受试者疲劳后波形高度值明显减小。

分析每位受试者不同状态的数据段所提取的波形高度值与其均值的离散程度。从图 4 (b)可以看出，虽然受试者波形高度值的标准差有升有降，但总体来

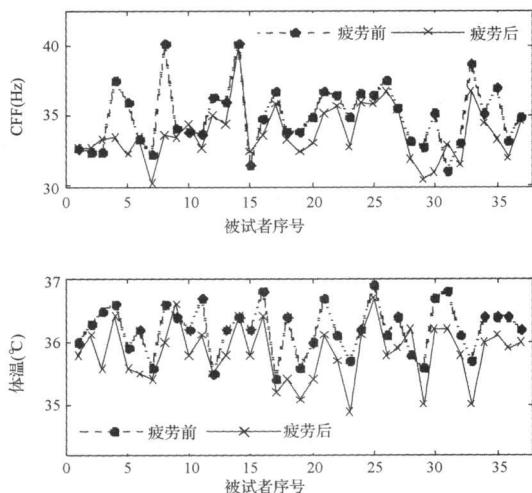
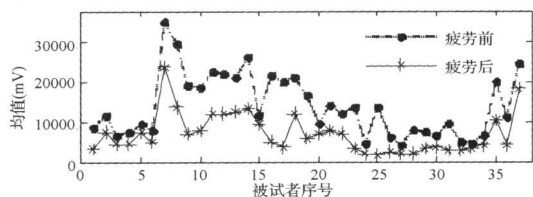
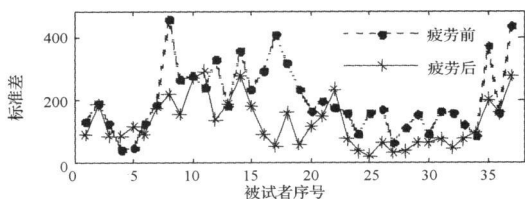


图 3 CFF和温度变化

看绝大部分受试者视疲劳后标准差呈减小趋势。



(a) 高度的均值



(b) 高度的标准差

图 4 37 位受试者疲劳前后波形高度值的变化

3.4 脉搏功率谱峰值

对疲劳前和疲劳后各 5 min 的数据 300 000 个点去除直流分量后分别进行功率谱分析, 功率谱峰值分析结果见表 3 每位受试者的功率谱峰值如图 5。

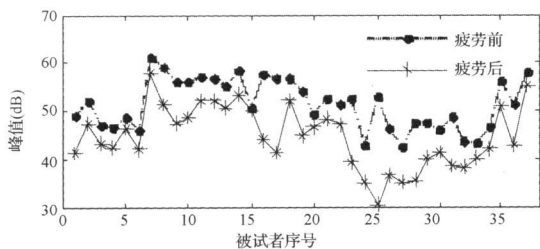


图 5 37 位受试者功率谱峰值的变化

从图 5 可以看出, 功率谱峰值是视觉疲劳较为敏感的指标。在实验中, 虽然不同受试者的功率谱峰值大小差别较大, 但同一受试者不同状态下的功率谱峰值大小有着明显不同, 疲劳后功率谱峰值下降显著。经检验, 疲劳前后功率谱峰值差异有统计学意义 ($P < 0.001$), 见表 3。

表 3 疲劳前后波形高度与功率谱峰值 ($\bar{x} \pm s$)

时间	人数	波形高度	功率谱峰值
疲劳前	37	1 405.30±795.72	691.91±503.60
疲劳后	37	51.65±5.22*	44.86±6.41*

注: 与疲劳前比较, * $P < 0.001$

4 讨论

本研究通过亚健康状态自评表及排除身体疾病和眼病确定完全健康的在校学生受试者 37 例。实验前确保受试者身体诸状态良好, 实验中受试者根据自己意愿选择最佳状态, 并采取措施尽量减轻或去除心理因素、肢体运动、环境及其他因素对采集结果的影响。通过疲劳症状问卷调查表及闪光融合频率计测

试, 表明受试者 VDT 实验后均处于视疲劳状态。采集 37 例受试者疲劳实验前、实验中和疲劳实验后的脉搏信号, 并对受试者疲劳前后共 74 例样本的脉搏信号进行分析。

脉搏波是脉搏信号的主要表现形式, 脉搏波形蕴涵丰富的生理信息, 脉搏幅值可以反映心动周期内动脉血压的脉动变化。研究表明, 虽然不同受试者脉搏信号的波形高度值和功率谱峰值差别较大, 但同一受试者视觉疲劳后脉搏信号的波形高度和功率谱峰值均显著降低, 说明视觉疲劳后脉搏信号的能量降低, 而且波形高度值的标准差也基本呈减弱趋势, 体表温度也有所下降。这与中医脉诊学分析相一致, 中医正是根据人体“能量”(即所谓的“气血”)的亏损、旺盛、分布、失衡等来诊治人体疾病的^[10]。这就为通过脉搏信号客观分析 VDT 视觉疲劳找到了理论依据。上述研究表明, 脉搏信号的波形高度和功率谱峰值能够较客观地反映人体视觉疲劳状态, 有望作为视觉疲劳状态诊断与评测的客观指标。

本文在对脉搏信号进行波形高度和功率谱分析的基础上, 提取了可以有效识别 VDT 视觉疲劳状态的脉搏信号特征量, 为 VDT 视觉疲劳的诊断与评测提供了一种简单方便且客观的检测方法。但由于样本数量有限, 本文结果距临床应用还有一定的距离。此外, 在脉搏信号特征参数提取和分析, 以及视觉疲劳状态识别方法上还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 金晨晖. 电脑屏幕放置位置对电脑视力综合征的影响 [J]. 国际眼科杂志, 2007, 7 (5): 1336-1337.
- [2] 孙静, 余敏斌. 计算机视觉征候群的原因和防治 [J]. 国外医学眼科学分册, 2005, 29 (6): 361-364.
- [3] Yen-Hui Lin, Chih-Yong Chen, Shih-Yi Lu, et al. Visual fatigue during VDT work: Effects of time-based and environment-based conditions [J]. Displays, 2008, 29 (5): 487-492.
- [4] 余惜金, 黄中宁, 黄杜茹, 等. 视屏显示终端对视觉系统影响的研究 [J]. 中国职业医学, 2007, 34 (5): 392-394.
- [5] 陈晓明. 眼科学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 32-33.
- [6] 陈晓. 基于无线通信的脉搏信号采集系统 [J]. 通信技术, 2008, 41 (204): 268-273.
- [7] Rechiichi C, Scullica L. Asthenopia and monitor characteristics [J]. J Fr Ophthalmol, 1990, 13 (8-9): 456-457.
- [8] Chan G S H, Middleton P M, Celler B G, et al. Change in pulse transit time and prejection period during head-up tilt induced progressive central hypovolaemia [J]. Journal of Clinical Monitoring and Computing, 2007, 21: 283-293.
- [9] 李婷, 虞钢. 基于压力波的人体脉搏波传播速度无创检测研究 [J]. 中国生物医学工程学报, 2007, 26 (3): 321-325.
- [10] 张爱华, 豆小玺, 王龙. 脉搏信号功率谱分析对精神疲劳状态的识别 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11 (1): 118-120.