

键盘打字对颈部和上肢肌肉影响的分析研究

卢纯福, 南春丽, 唐智川, 陶文强, 侯艳

(浙江工业大学, 杭州 310014)

摘要: **目的** 分析键盘打字时工作台不同人因参数对颈部和上肢肌肉活动的影响, 进而为长期处于键盘打字状态的用户提供打字建议。**方法** 设计不同人因变量实验(躯干姿势、键盘角度、显示器角度), 对8名健康有经验的日常打字时长在4小时以上的被试进行颈部和上肢肌肉表面肌电(sEMG)和主观评测数据采集。每名被试进行8组20分钟的打字实验。**结果** 对sEMG和主观舒适度数据进行分析, 发现躯干姿势、键盘角度、显示器角度均对颈部和上肢肌肉活动具有影响, 而对主观数据均无影响。站姿且显示器为120°的情况下颈部肌肉活跃程度最低; 和坐姿相比, 站姿时上肢肌肉活动程度相对较弱, 而手臂和手腕在一定支撑的情况下肌肉活动程度较低。**结论** 工作台的不同人因参数能够影响颈部和上肢肌肉的活动水平。该研究能够为长期处于键盘打字状态的用户提供打字建议, 并为人机工作环境的优化设计提供指导方法。

关键词: 颈肩不适; 人机工学; 肌电分析; 打字; 肌肉活动

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)10-0172-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.10.024

The Influence of Keyboard Typing on Neck and Upper Limb Muscles

LU Chun-fu, NAN Chun-li, TANG Zhi-chuan, TAO Wen-qiang, HOU Yan

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

ABSTRACT: This paper analyzes the influence of different human factors on neck and upper limb muscle activity during keyboard typing, and then provides typing suggestions for users who are in keyboard typing state for a long time. Experiments with different human dependent variables (trunk posture, keyboard angle, and display angle) were designed to collect data of neck and upper limb muscle sEMG and subjective evaluation on 8 healthy and experienced subjects who spent more than four hours in daily typing. Each subject was given eight 20-minute typing sessions. By analyzing the data of sEMG and subjective comfort, it was found that posture, keyboard angle, and display angle all had influence on the muscle activity of neck and upper limbs, but had no influence on the subjective data. The activity of neck muscles was the lowest when the subjects were in standing posture and the display was 120°. Compared with sitting, the muscle activity of the upper limbs is relatively weak when standing. The degree of muscle activity in the arms and wrists is lower under certain conditions of support. Different human factors of the table can affect the activity level of neck and upper limb muscles. The research of this paper can provide typing suggestions for users who have been in the state of keyboard typing for a long time and provide guidance for the optimization design of man-machine working environment.

KEY WORDS: neck and shoulder discomfort; ergonomics; EMG; typing; muscle activity

收稿日期: 2021-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(61702454, 61902354); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJC870018); 浙江省属高校基本科研业务费专项资金项目(GB201901006); 浙江省自然科学基金项目(LY20F020028)

作者简介: 卢纯福(1970—), 男, 浙江人, 浙江工业大学教授, 主要研究方向为产品创新设计、产品形态语意、设计管理等。

通信作者: 唐智川(1987—), 男, 浙江人, 博士, 浙江工业大学副教授, 主要研究方向为脑机接口、人工智能+设计、人机交互、人机工程、康复外骨骼机器人、生理信号处理等。

随着电子设备的普及和电脑办公应用的增多,患有颈肩疾病的群体也日益增加。长期处于键盘打字状态是造成人们颈肩、手腕损伤的主要原因^[1]。该状态下颈肩部和上肢向前弯曲,肌肉持续紧张,工作负荷不断增大,从而引起相应部位的疼痛^[2-3]。已有研究发现键盘打字时不同的人因变量对颈部和上肢肌肉影响较大^[1]:马晓红等人发现与坐姿工作状态相比较,站姿可有效降低主观不适,最大限度减少颈肩及上肢的疼痛^[4]; Mitchell 等人对打字状态下键盘角度进行设置,不同的角度可以有效改善手腕疲劳程度^[5]; Van 等人通过调节电脑显示器的不同角度,对坐姿的改善和颈肩部肌肉活动的降低有一定帮助^[6]。可见,不同的躯干姿势、键盘角度、显示器角度会对颈肩部、上肢肌肉造成人因影响。然而,在长时间键盘打字场景中对以上 3 种变量综合考虑评估的研究仍较少。本研究旨在设计不同人因变量实验(躯干姿势、键盘角度、显示器角度),通过表面肌电(Surface electromyography, sEMG)和主观评测数据分析键盘打字时工作台不同人因参数对颈部和上肢肌肉活动的影响,进而为面对显示器久坐的用户提供打字建议,降低肌肉损伤风险,为人机工作环境的优化设计提供指导方法。

1 实验方法

1.1 研究对象

招募在校大学生被试 8 名,年龄 21~25 岁,其中男 4 例、女 4 例,男生平均身高(173.2±3.1) cm,女生平均身高(157.1±3.4) cm。所有被试均未曾患过颈肩腰腿痛及其他骨骼肌肉疾病,实验前 24 小时内均未做剧烈运动,并在实验开始前给予被试者充分的背部颈部拉伸和手部拓展。所有被试均签订知情同意书。

1.2 实验流程

计算机工作台由一个标准电脑桌、一个标准可升降的键盘、一个鼠标和一个 24 英寸可调节角度的显示器组成。被试执行一个 20 分钟的打字任务,工作台的参数(键盘角度和椅子角度)被记录下来。采用角度可调的座椅,保证被试在肘部无支撑的条件下前臂与上臂夹角都为 90°,同时调节显示器角度,使被试者的可平视屏幕 3/4 处,双腿与地面呈 90 度,且打字时保持上半身直立,紧贴座椅靠背^[7]。实验过程中被试不得将他们的上臂放在桌面上,以尽量减少不必要的静态力叠加在手臂肌肉上的可能性;同时主持实验的人会观察受试者打字时的姿势,以确保数据的真实性。为了保证实验过程中的人因条件不受影响,实验开始前,被试者要进行颈肩手腕的活动准备工作,同时浏览熟悉打字内容 3 分钟,并且要求被试平

均每分钟的打字速度不低于 30 个/分钟,忽略其中的打字错误^[8]。为了控制文本的难度,文本选择为中等难易程度的格林童话,从格林童话故事集中随机选取了 5 章进行打字。这些故事在 Fleschkincaid 的评分为 5.1~5.7 分,表明文字内容很容易理解^[9]。

实验选取 6 块与键盘打字相关的颈肩部、手臂肌肉采集 sEMG,分别为:上斜方肌(Upper trapezius, UT),下斜方肌(Lower trapezius, LT),竖脊肌(Erector spinae, ES),前三角肌(Anterior deltoid, AD),桡侧腕长伸肌(Extensor carpi radialis longus, ECRL)和指浅屈肌(Flexor digitorum superficialis, FDS)。选择该 6 块肌肉的原因在于:UT、LT、ES 对维持人体站立姿势和颈部角度有重要作用,与实验中躯干姿势和显示器角度人因变量相关;AD、ECRL、FDS 对肩关节、桡腕关节、肘关节和指关节的屈伸有重要作用,与实验中键盘角度人因变量相关。实验开始前,研究人员用酒精擦拭被试目标肌肉的表面肌肤,减少阻抗以便更好地传输信号。粘贴电极片后,研究人员先采集每块肌肉的最大伸缩力(Maximum voluntary contraction, MVC)。要求被试者在测试过程中均匀用力直至最大并保持 3~5 s,重复 3 次,每次测试后休息 30 s,分别完成 6 块肌肉的 MVC 测量。6 块肌肉 MVC 测试时动作要求来自参考文献^[10]。采集完毕后,被试按照文本的要求进行打字,每组实验持续 20 min,间歇休息 10 min,组间休息时会有研究人员放松肌肉并确认被试的坐姿状态以及电极片的连接状态。受试者在 3 个不同变量的情况下共进行 8 组实验,实验设计见表 1。姬丽静等人提到合理范围内显示器的倾斜角度与人体头部舒适度有着一定的联系,据文中实验部分的数据确定了本文中的显示器角度为 90°和 120°^[11];庞如英等人提到键盘在水平面方向倾斜可有效改善腕部的背屈,根据文中相关结论确认本研究中的键盘角度为 15°^[12]。不同躯干姿势变量下的被试打字实验见图 1(图 1a 为实验七,图 1b 为实验二)。每次实验结束后,被试需填写一份关于操作舒适度的调查问卷,以评判不同的变量条件下被试颈肩、手前臂以及手腕的主观舒适性。

表 1 实验设计
Tab.1 Experimental design

实验设计	躯干姿势	键盘角度	显示器角度	时间/min
实验一	坐姿	0°	90°	20
实验二	坐姿	15°	90°	20
实验三	坐姿	15°	120°	20
实验四	坐姿	0°	120°	20
实验五	站姿	0°	120°	20
实验六	站姿	15°	120°	20
实验七	站姿	15°	90°	20
实验八	站姿	0°	90°	20

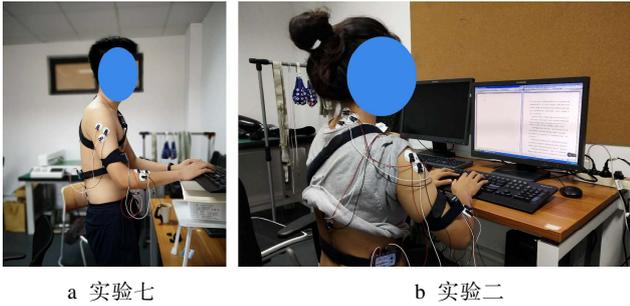


图1 不同躯干姿势变量下的被试打字实验
Fig.1 Two torso positions of subjects

1.3 数据采集

采用 BIOPAC 公司 MP160 多导生理记录仪采集 MVC 测试和打字实验中受试者 6 块肌肉的 sEMG^[13]。带通滤波器设置为 20~500 Hz，陷波滤波器设置为 50 Hz；采样率为 50 Hz。

主观调查问卷采用 7 个等级表示舒适度：7 级表示很舒服，6 级表示舒服，5 级表示较舒服，4 级表示一般舒服，3 级表示不太舒服，2 级表示不舒服，1 级表示很不舒服。被试需根据自身感受情况填写等级。

1.4 数据分析

所有获得的肌电数据采用 Matlab 软件进行数据分析。在每次 20 min 的打字实验中，对于每块肌肉原始 sEMG 的每一分钟最后 5 s 的数据进行平均（共 20 个值），计算获得平均 sEMG 振幅（averaged sEMG, aEMG）：

$$aEMG_i = \frac{\sum_{j=1}^{20} EMG_j^{raw}}{20} \tag{1}$$

其中， $aEMG_i$ 表示第 i 分钟的平均 sEMG 振幅， EMG_j^{raw} 表示第 j 个原始 sEMG 值 aEMG。被标准化为 %MVC 以减少被试个体差异：

$$\%MVC_i = \frac{aEMG_i}{EMG_{max}^{raw}} \times 100\% \tag{2}$$

其中， EMG_{max}^{raw} 为之前 MVC 测试确定的最大肌电振幅。采用线性回归方法进一步比较不同人因条件下的肌肉活动程度。

1.5 统计分析

采用多因素方差分析（MANOVA）分析姿势、键盘高度和显示器角度对肌肉活动程度和主观舒适度的影响；采用 t 检验对不同实验中同一块肌肉的主观舒适度之间的显著性差异进行分析。所有分析均采用 SPSS 软件，置信区间为 95%。

2 实验结果

实验后获得 8 名被试在 8 次打字实验中的 sEMG 数据和主观舒适度数据。其中一名典型被试在 8 组实验中的原始 sEMG 数据见图 2。其中 ECRL 和 FDS 以及 UT 的肌电信号最为强烈，而 ES 和 LT 以及 AD 则变化微弱。

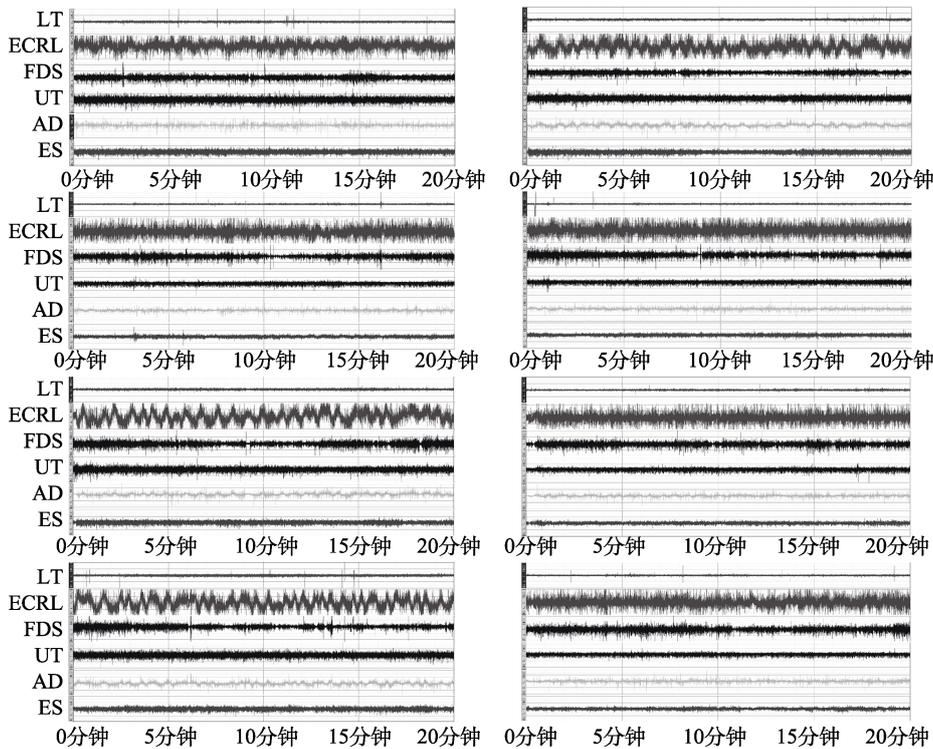


图2 一名典型被试在 8 组实验中的原始 sEMG 数据
Fig.2 Raw sEMG data from a typical subject in eight experiments

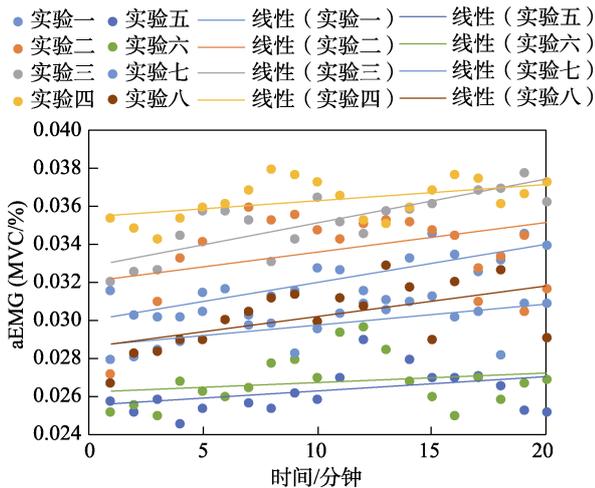


图 3 8 组实验中 UT 的线性回归结果

Fig.3 Linear regression results of UT in eight experiments

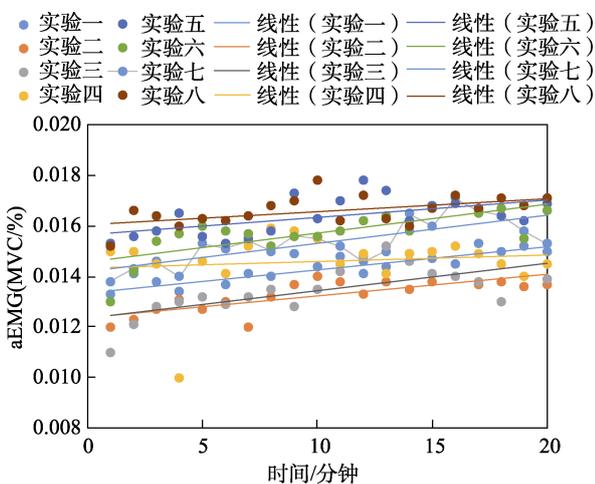


图 4 8 组实验中 ECRL 的线性回归结果

Fig.4 Linear regression results of ECRL in eight experiments

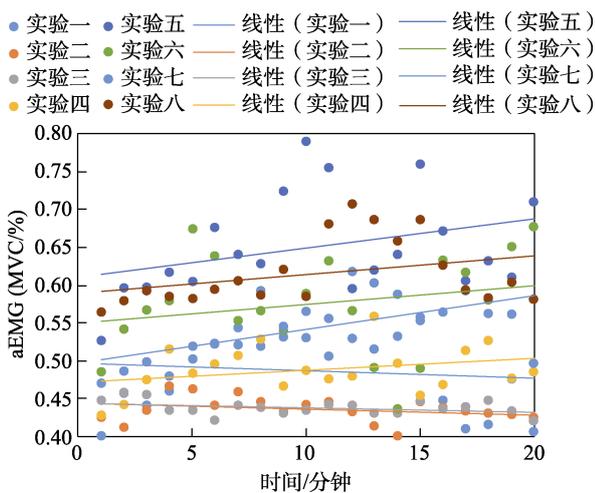


图 5 8 组实验中 FDS 的线性回归结果

Fig.5 Linear regression results of FDS in eight experiments

8 组实验中 UT 的线性回归结果见图 3, 8 组实验中 ECRL 的线性回归结果见图 4, 8 组实验中 FDS 的线性回归结果见图 5。图 3—5 为 8 次实验中平均所

有被试 3 块肌肉肌电数据的线性回归结果。对于颈部肌肉 (如图 3), 发现在站姿且显示器为 120° 的情况下 UT 的肌肉活跃程度最低 (实验 5 和实验 6)。采用 2 (躯干姿势) × 2 (键盘角度) × 2 (显示器角度) 的 MANOVA 分析躯干姿势、键盘角度、显示器角度对 UT 的 aEMG 的影响以及 3 个变量之间的交互作用。其中三者之间无交互作用 ($F=0.472, p>0.05$); 躯干姿势 ($F=16.429, p<0.05$)、键盘角度 ($F=2.945, p<0.05$) 和显示器角度 ($F=5.453, p<0.05$) 均对 UT 的 aEMG 具有显著影响。对于上臂肌肉 (如图 4—5), ECRL 在坐姿、键盘 15° (实验 2 和实验 3) 的时候肌肉活动程度较弱, 而在站姿 (实验 5 和实验 8) 时肌肉活动程度相对较强; 通过 MANOVA 分析, 键盘角度对 ECRL 的 aEMG 具有显著影响 ($F=6.226, p<0.05$)。FDS 在坐姿、键盘 15° (实验 2 和实验 3) 时相对较弱, 而在站姿、键盘为 0° (实验 5 和实验 8) 时肌电信号最强, 说明了手臂和手腕在一定支撑的情况下上臂肌肉活动程度较弱。

8 组实验中不同肌肉的主观舒适度差异值见图 6, 呈现了 8 次实验中平均所有被试 6 块肌肉的主观舒适度值。其中, 各实验中 ECRL 和 FDS 的不适程度均最高 (舒适度值最低), 平均值分别为 2.88 和 2.5。通过 t 检验发现, 不同实验中同一块肌肉的主观舒适度之间均无统计学意义 (所有 $p>0.05$), 表明不同的工作台人因条件对被试颈肩以及手臂肌肉的主观舒适性无明显影响。

3 讨论

本研究探讨了不同的工作台人因条件对打字相关肌肉活动程度和主观舒适性的影响。通过实验发现, 在站姿且显示器为 120° 的情况下 UT 的肌肉活跃程度最低, 且躯干姿势、键盘角度、显示器角度均对 UT 的 aEMG 有影响。可能的原因是坐着的情况下肩膀和颈部的肌肉活动程度更大, 同时肩膀的姿势也与站着时不同, 这也是坐姿工作人群 (如收银员) 经常出现颈肩部疼痛症状的原因^[4,14]。

ECRL 和 FDS 在坐姿、键盘 15° 时肌肉活动程度较弱, 而在站姿时肌肉活动程度相对较强; 且键盘角度对 ECRL 的 aEMG 具有显著影响。说明手臂和手腕在一定支撑的情况下肌电信号较弱。并且通过 ECRL 和 FDS 的肌电和主观数据发现, 肌肉活动程度越强, 肌肉舒适性越低。研究发现用户在长时间使用电脑时, 手腕的放置问题很重要, 如果长时间得不到休息和放松, 将会直接导致手腕肌肉损伤以及手臂疲劳^[15]。

不同的工作台人因条件对被试颈肩以及手臂肌肉的主观舒适性无明显影响。由于主观舒适性受被试心理、生理、环境等多方面的影响, 产生这一结果的原因可能与打字时间过长以及打字状态不标准有关^[16]。

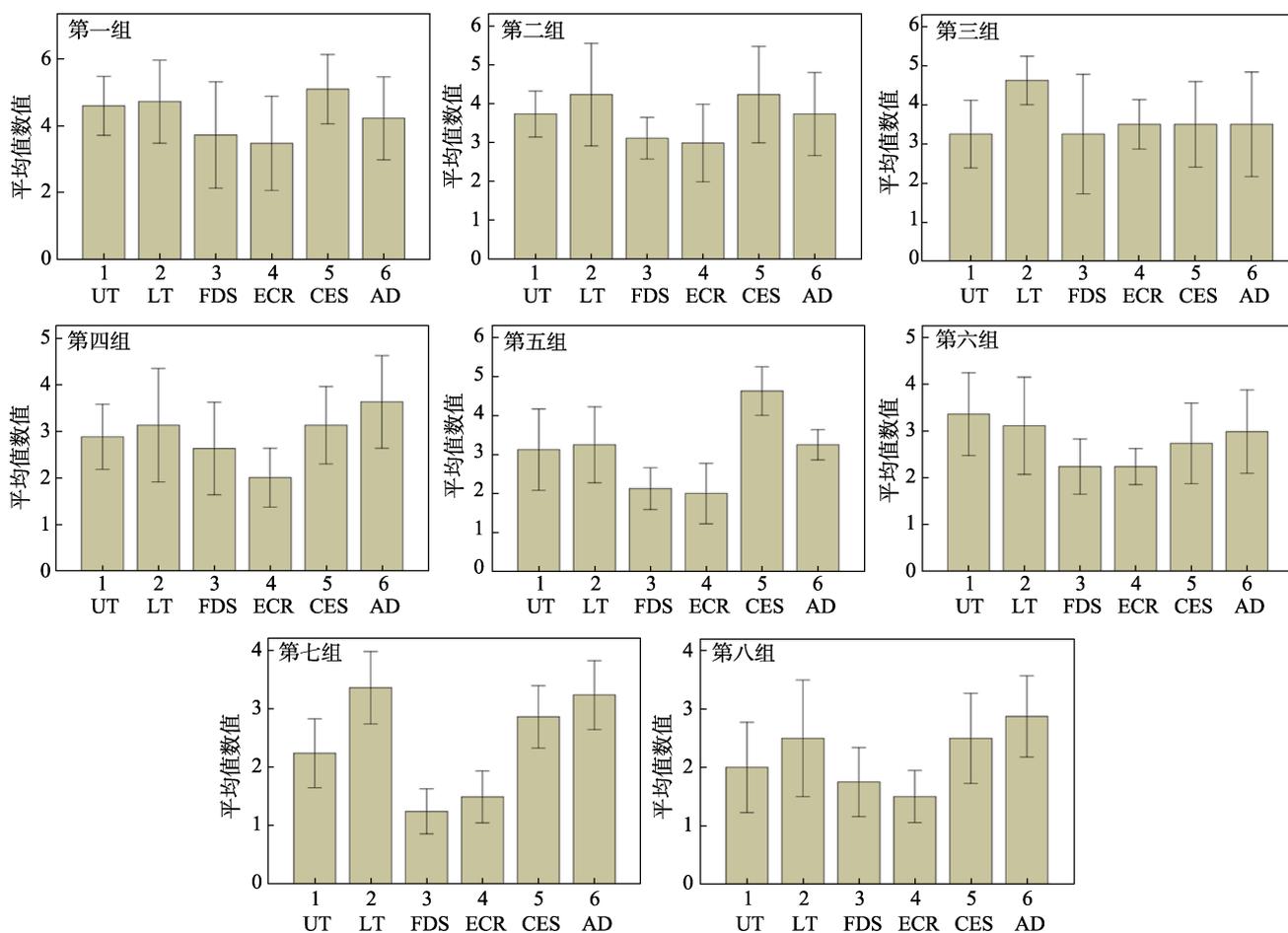


图6 8组实验中不同肌肉的主观舒适度差异值
Fig.6 Subjective comfort of different muscles in eight groups

本研究的实验也存在一定的局限性:被试均为无骨骼肌肉疾病的年轻大学生,而工作台的不同人因条件更有可能影响有相关症状的用户以及其他年龄段群体。未来的研究中将把本文方法应用于更广泛的用户人群进行验证。

4 结语

本文设计了不同人因变量实验,通过 sEMG 和主观评测数据分析键盘打字时工作台不同人因参数对颈部和上肢肌肉活动的影响。结果表明不同的躯干姿势、键盘角度、显示器角度均对颈部和上肢肌肉活动具有一定影响,而对主观舒适度影响较小。键盘和显示器呈较大角度(15°和120°)且避免长时间坐姿的情况下,用户键盘打字将更为舒适。相关结果可以为长期处于键盘打字的用户提供打字建议,降低肌肉损伤风险,为人机工作环境的优化设计提供指导。

参考文献:

[1] 邹伟民. 计算机键盘设计中的人机工程学体现[J]. 电

子技术与软件工程, 2018(24): 124.

ZOU Wei-min. Ergonomics in Computer Keyboard Design[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2018(24): 124.

[2] Larissa M. Fedorowich, Julie N. Côté. Effects of Standing on Typing Task Performance and Upper Limb Discomfort, Vascular and Muscular Indicators[J]. Applied Ergonomics, 2018, 72(3): 121-127.

[3] 杨皓, 胡海华, 刘加海, 等. 不同肘部支撑角度对打字时相关肌肉活动及舒适性的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(11): 879-882.

YANG Gao, HU Hai-hua, LIU Jia-hai, et al. Influence of Elbow Support Height on Muscle Activity and Comfort During Typing[J]. Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 2013, 35(11): 879-882.

[4] 马晓红. 基于人体工程学的可升降办公桌桌面高度研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.

MA Xiao-hong. Research on the Height of Lifting Desk Based on Ergonomics[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.

[5] Woods Mitchell, Babski-Reeves Kari. Effects of Negatively Sloped Keyboard Wedges on Risk Factors for Upper Extremity Work-related Musculoskeletal Disorders and User Performance[J]. Ergonomics, 2005,

- 48(15): 793-808.
- [6] Van Vledder Nicole, Louw Quinette. The Effect of A Workstation Chair and Computer Screen Height Adjustment on Neck and Upper Back Musculoskeletal Pain and Sitting Comfort in Office Workers[J]. *The South African Journal of Physiotherapy*, 2015, 71(1).
- [7] KUO Yi-liang, WANG Pei-san, KO Po-Yen, et al. Immediate Effects of Real-time Postural Biofeedback on Spinal Posture, Muscle Activity, and Perceived Pain Severity in Adults With Neck Pain[J]. *Gait & Posture*. 2019, 67(5), 187-193.
- [8] Laura E. Hughes, Kari Babski-Reeves, Tonya Smith-jackson. Effects of Psychosocial and Individual Factors on Physiological Risk Factors for Upper Extremity Musculoskeletal Disorders While Typing. *Ergonomics*[J]. 2007, 50(2), 261-274.
- [9] Kia Kiana, Sisley Jonathan, Johnson Peter W, et al. Differences in Typing Forces, Muscle Activity, Wrist Posture, Typing Performance, and Self-Reported Comfort Among Conventional and Ultra-low Travel Keyboards[J]. *Applied ergonomics*, 2019, 74(1): 10-16.
- [10] Grace P.Y. Szeto, Keith S.W. Sham. The Effects of Angled Positions of Computer Display Screen on Muscle Activities of the Neck-shoulder Stabilizers[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2007, 38(1): 9-17.
- [11] 姬丽静, 王延琦, 万红, 等. 合理范围内显示器倾斜角度对头部舒适度的影响[J]. *现代制造工程*, 2016(8): 67-70.
- JI Li-jing, WANG Yan-qi, WAN Hong, et al. The influence of Tilt Angle of Display on Head Comfort in The Reasonable Scope[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2016(8): 67-70.
- [12] 庞如英, 赵馨. 基于人机工程学的老年计算机键盘设计研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(4): 211-217.
- PANG Ru-ying, ZHAO Xin. Research on Elderly Computer Keyboard Design Based on Ergonomics[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(4): 211-217.
- [13] TANG Zhi-chuan, SUN Shou-qian, WANG Jian, et al. An Ergonomics Evaluation of the Vibration Backpack Harness System in Walking[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2014, 44(5): 753-760.
- [14] 张丹婷. 基于安全人机工程学的小空间办公桌椅设计[J]. *设计*, 2018(13): 122-123.
- ZHANG Dan-ting. Design of Small Space Office Desk and Chair Based on Safety Ergonomics[J]. *设计*, 2018(13): 122-123.
- [15] 覃群, 陈光霞, 张黎. 基于人机工程学的电脑工作台的设计[J]. *机械*, 2007(4): 37-39.
- QIN Qun, CHEN Guang-xia, ZHANG LI. Design of Computer Workbench Based on Ergonomics[J]. *Mechanical*, 2007(4): 37-39.
- [16] Lassen Christina F, Mikkelsen Sigurd, Kryger Ann I, et al. Risk Factors for Persistent Elbow, Forearm and Hand Pain Among Computer Workers[J]. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 2005, 31(2): 122-131.

(上接第 129 页)

- [10] 焦媛媛, 付轼辉, 刘亚光. 基于扎根理论的产品设计对用户感知的影响机理研究[J]. *管理学报*, 2018, 15(8): 1205-1213.
- JIAO Yuan-yuan, FU Shi-hui, LIU Ya-guang. The Mechanism of Product Design Affecting User Perceptions: A Grounded Research[J]. *Chinese Journal of Management*, 2018, 15(8): 1205-1213.
- [11] STRAUSS A L, CORBIN J M. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*[M]. California: SAGE, 1998.
- [12] 中国智能家居行业研究报告 2018 年[R]. 上海: 上海艾瑞市场咨询有限公司, 2018.
- China Smart Home Industry Research Report 2018[R]. Shanghai: Shanghai Research Market Consulting Co., Ltd., 2018.
- [13] 第一财经商业数据中心. 2018 互联网网民睡眠白皮书 [EB/OL]. (2018-03-21) [2019-12-30]. <https://cbndata.com/report/648/detail?isReading=report&page=1>.
- CBN Data. 2018 Internet Netizens Sleep White Paper [EB/OL]. (2018-03-21) [2019-12-30]. <https://cbndata.com/report/648/detail?isReading=report&page=1>.