

文章编号:1004-7220(2017)05-0469-07

操作鼠标时鼠标和腕部接触压力的 TekScan 测量

张绪树^{1,2}, 郭媛^{1,2}, 安美文¹, 张明²

(1. 太原理工大学 力学学院, 太原 030024; 2. 香港理工大学 生物医学工程跨领域学部, 中国香港)

摘要: **目的** 研究不同鼠标操作时鼠标和腕部与桌面之间接触压力分布特征, 探讨操作鼠标时桌面对鼠标和腕部的影响, 获得导致手及腕部肌肉骨骼不适的生物力学依据。 **方法** 使用激光扫描仪和 TekScan 压力测量系统, 测量不同鼠标操作时鼠标和腕部的接触面积和接触压力。 **结果** 测量得到了鼠标和腕部与桌面的接触压力、接触面积和接触力随时间的变化关系以及接触压力峰值。在单击左、右键和滚动中键时鼠标的接触压力峰值分别为 62.87、33.83、74.66 kPa, 而腕部为击键过程的最小值, 分别为 23.25、11.02、16.26 kPa。 **结论** 在操作鼠标过程中, 由于大、小鱼际以及腕部的尺侧和桡侧区域一直受到持续的压力作用, 重复持续的鼠标操作会导致腕管综合症等肌肉骨骼不适症的发生。

关键词: 肌肉骨骼不适; 鼠标; 接触压力; 接触面积; 腕部

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2017.05.014

Contact pressure measurement of the computer mouse and wrist during mouse operations by TekScan

ZHANG Xu-shu^{1,2}, GUO Yuan^{1,2}, AN Mei-wen¹, ZHANG Ming² (1. *College of Mechanics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China*; 2. *Interdisciplinary Division of Biomedical Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China*)

Abstract: Objective To study the characteristics of mouse-desktop and wrist-desktop contact pressure distributions during different mouse operations, and investigate the influence of desktop on the mouse and wrist during mouse operations, so as to obtain biomechanical references for musculoskeletal disorders of the hand and wrist.

Methods The laser scanner and TekScan pressure measurement system were employed to measure contact area and contact pressure of the mouse and wrist during different mouse operations. **Results** The contact pressure, contact area, and contact force varied with time, and the peak contact pressure of the mouse and wrist with desktop were obtained. The peak contact pressure of the mouse in single clicking of left, right key and scrolling of middle key was 62.87, 33.83, 74.66 kPa, respectively, and for the wrist, the minimum contact pressure appeared in key clicking, being 23.25, 11.02, 16.26 kPa, respectively. **Conclusions** During mouse operations, the thenar, hypothenar as well as the ulnar and radial sides of the wrist are persistently subjected to the continuous pressure, therefore, repetitive and continuous mouse operation can lead to the development of carpal tunnel syndrome of wrist or other MSDs.

Key words: Musculoskeletal disorders (MSDs); Computer mouse; Contact pressure; Contact area; Wrist

收稿日期:2016-12-09; 修回日期:2017-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(11102126,11472185)。

通信作者:安美文,教授, E-mail: meiwen_an@163.com; 张明,教授, E-mail: ming.zhang@polyu.edu.hk。

肌肉骨骼不适(musculoskeletal disorders, MSDs)是指人体关节、韧带、肌肉、神经、肌腱以及支撑四肢、颈部和背部结构的损伤或疼痛。MSDs可由突然用力而导致,例如举起重物,也可由不断重复的同一动作而拉伤,或由反复接触到力、振动或不合适的姿势而引起。MSDs可影响人体许多不同的部位,包括上、下背部、颈部、肩部以及四肢(胳膊、腿、脚和手),具体表现为腕管综合征、外上髁炎、肌腱炎、背部疼痛、颈部紧张综合症以及手和手-臂振动综合症等。MSDs可由物理、工效学、心理、社会以及职业因素之间的相互作用引起,而生物力学的导致原因则为工作时施加给工作对象的力学载荷、载荷持续的时间间隔以及以此载荷执行工作的频率等^[1]。

随着科技和工业现代化的不断进步,操作计算机的工作和上肢相关的肌肉骨骼不适(upper-limb musculoskeletal disorders, ULMSDs)均呈现出不断增长的趋势^[2]。鼠标是实现人与计算机交互的重要输入装置,特别是图形用户界面的操作系统,在键盘的协作下,用户借助鼠标可以顺利地浏览和操作计算机^[3-8]。然而不断、重复性的鼠标操作会产生一些上肢肌肉骨骼不适,例如重复性拉伤(repetitive strain injuries, RSI)、腕管综合症(carpal tunnel syndrome, CTS)等。通过分析美国1986~1993年工人申领补偿金的数据发现,与使用鼠标相关联的上肢累积性外伤不适(cumulative trauma disorders of upper-extremity, CTDUE)有显著性增加,从1988年的0到1993年的超过325 000^[9]。CTDUE申领补偿数据的分析表明,涉及腕部不适占所有的CTDUE补偿的比例为51%,涉及腕部不适占全部鼠标有关的CTDUE不适的比例为46%。RSI占有计算机鼠标不适的比例为64%,而CTS的比例为13%^[9]。欧洲研究也显示,平均1/6的上班族遭受过RSI和某些类型CTS的困扰。近些年,随着互联网时代的来临,越来越多的办公室人员从事电脑操作,如CAD设计和CAE分析等电脑操作人员,也包括大量从事图形或图像处理分析的科研工作者,鼠标得到了更频率的使用,腕部不适的发生率也因此快速增长。轻度不适可以休假调整,而重度不适则可能需要手术干预,更甚者则可能无法用手操作仪器,从而失业。

考虑到腕部不适的严重性,而且报道的鼠标操

作时腕部接触压力研究的文献资料较少^[10],本文通过研究在不同鼠标操作情况下鼠标和腕部与桌面之间接触压力分布的特征,探讨操作鼠标时桌面对鼠标和腕部的影响,获得导致手及腕部肌肉骨骼不适的生物力学依据。研究结果对个性化鼠标设计具有重要的指导意义,也可以为临床诊疗上肢及腕部MSDs提供生物力学依据。

1 对象和方法

1.1 实验对象的选取

选取1名经常使用鼠标的志愿者,身高1.7 m,体重75 kg,掌宽85 mm,腕部(手部与前臂交界线中心)到中指指尖为180 mm,第2掌指关节中心到食指指尖91 mm,第3掌指关节中心到中指指尖102 mm,熟悉实验的相关操作和注意事项,开展不同鼠标操作时鼠标和腕部与扫描仪的接触面积,以及与桌面接触压力的TekScan实验测量。

1.2 鼠标的选取

鼠标为市场上大量销售、通用的无线光电鼠标,长、宽、高分别为100.0、59.5、37.5 mm,含电池质量为80.6 g,不含电池质量为56.2 g。鼠标的操作为最基本、最常使用的操作,具体包括:左键单击、右键单击和中键滚动,以右手操作为主。

1.3 方法

1.3.1 鼠标和腕部接触情况的扫描 首先测量选取鼠标的物理尺寸,记录鼠标的质量;然后在激光扫描仪上操作鼠标,扫描单独鼠标和鼠标在每个操作中两个不同操作状态下鼠标和腕部与扫描仪玻璃板的接触图像,并将图像保存到电脑以供接下来的图像分析和处理;激光扫描仪为HP Photosmart Prem C310多功能一体机,进行彩色图像扫描且扫描分辨率为600 DPI;依据鼠标的不同操作,扫描图像具体分为以下几种操作状态:单独鼠标、左键抬起(食指悬空)、左键按下(食指按住左键)、右键抬起(中指悬空)、右键按下(中指按住右键)、中键抬起(食指悬空)、中键按下(食指按住中键)等;通过对扫描图像的处理和分析,确定鼠标在不同操作情况下鼠标和腕部与扫描仪的接触面积(见图1),计算得到鼠标和腕部的接触面积。

1.3.2 鼠标和腕部接触压力的TekScan测量 使用美国TekScan公司的无线F-Scan Research 7.0足

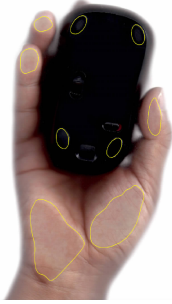


图1 鼠标右键单击(右键抬起)的扫描图像
 Fig.1 Scanning image of the mouse during right clicking
 (clicking up)

底压力测量系统,进行不同鼠标操作时鼠标和腕部与桌面的接触压力测量。该测量系统可以进行接触压力分布的静、动态测量,以二维或三维彩色图像实时显示压力分布的轮廓数据,或显示为二维离散的单个传感单元的压力数据^[11-13],并能够分别对单个传感单元、所选感兴趣区域(region of interest, ROI)、整个传感器区域进行数据显示、分析和处理。采集的压力数据可以表示为随采集时间的变化关系,也可以单帧或多帧数据组成的复合帧,或整个影片为观察区间进行数据统计和分析处理,例如确定接触压力峰值、接触力峰值以及区域接触压力的平均值等参数^[14]。对于每一帧,接触压力峰值是指接触区域内接触压力的最大值;对于整个击键过程,是指整个过程中的接触压力的最大值;接触力是指接触区域内压力传感单元测量的接触压力乘以传感单元的面积得到的力的代数和;接触力峰值是指整个击键过程中接触力的最大值;区域接触压力的平均值是指每一帧区域内所有传感单元测量的接触压力的代数和除以传感单元数目得到的数值。

如图2所示,压力测量实验所用的传感器型号为3000E,传感单元行数为60,列数为21,共计1260个,单个传感单元的面积为 25.8064 mm^2 。连接仪器,将右脚单个传感器连接到控制器;启动软件系统,将软、硬件系统建立无线连接,设置采集时间设为8s,采集频率设为 50 f/s (frame per second);调试仪器,采用Step方法标定传感器,标定后每个传感单元的饱和压力值为 718.807 kPa 。在实验对象了解动作要领并将鼠标放置在平整的桌面上多次练习后,开始鼠标接触压力的实验测量,并要求鼠标操作

人员对每一动作重复测量,并保证有效次数超过3次以上。具体的鼠标操作过程包括:左键单击、右键单击和中键滚动。通过测量和计算分析,得到不同鼠标操作时鼠标和腕部的接触压力、接触面积、接触力、接触压力峰值以及接触力的中心(center of force, COF)等随时间变化的数据,其中接触压力是指在相互接触的物体在单位面积上作用的载荷,而接触力是指互相接触的物体之间的作用力。



图2 TekScan 压力测量传感器
 Fig.2 Transducer of TekScan for pressure measurement

2 结果

2.1 鼠标和腕部接触的扫描结果

通过采用激光扫描仪扫描鼠标和腕部的接触情况,使用图像分析软件 Image-Pro Plus 6.0 (Media Cybernetics 公司,美国)识别接触区域,并计算鼠标和腕部在不同操作状态的接触面积。其中,鼠标的接触面积为鼠标与扫描仪玻璃板之间的最大接触面积,腕部接触面积包括手掌部分大、小鱼际的接触面积(见表1)。计算可得鼠标单独放在桌面上的平均压力为 2.98 kPa 。

表1 不同鼠标操作状态时鼠标和腕部激光扫描的接触面积(单位: mm^2)

Tab.1 Laser scanned contact area of the mouse and wrist during different mouse operations

动作	鼠标	腕部
单独鼠标	270.34	—
左键抬起	275.94	1 571.14
左键按下	279.15	1 873.24
右键抬起	276.86	1 614.03
右键按下	271.64	2 009.68
中键抬起	273.76	2 069.65
中键按下	272.54	2 245.12

2.2 鼠标和腕部接触压力的 TekScan 测量结果

通过对鼠标进行不同操作时鼠标和腕部与桌面的接触压力测量,可以得到整个操作过程中随时间变化的接触压力、接触面积、接触力、接触压力峰值以及 COF 等数据。鼠标击键到底(在鼠标区域达到接触压力峰值时,即鼠标按键被按下且按到底时)以及抬起时,左、右键单击和滚动中键操作时鼠标和腕部的接触压力分布情况如图 3 所示。

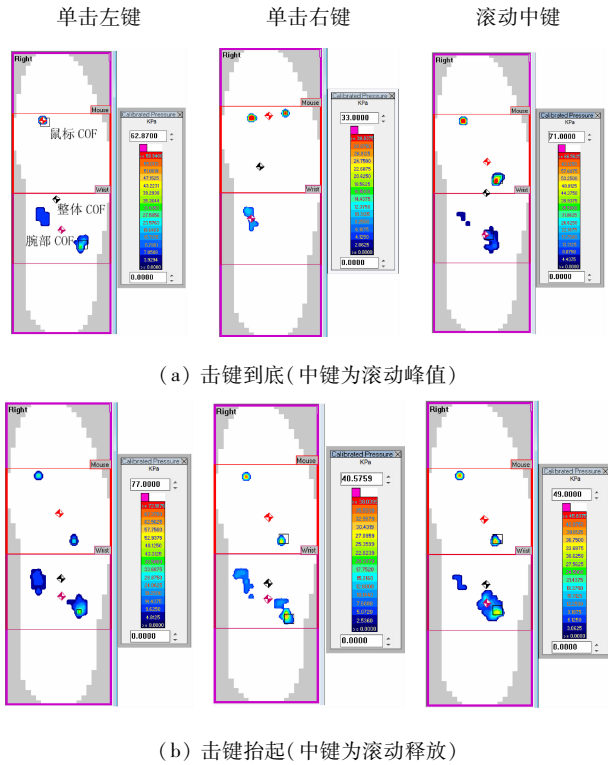


图 3 不同操作时鼠标和腕部接触压力分布图

Fig. 3 Contact pressure distribution of mouse and wrist during different operations (a) Clicking down (down to bottom, scrolling peak for middle key), (b) Clicking up (up to top, scrolling peak for middle key)

在图 3 中,整个传感器的区域分割成 3 个区域。其中,上方红色的区域为鼠标所在的区域,下方深紫色的区域为手腕部所在的区域,以及整个传感器所在的紫色区域。图像上方的黑色方框为鼠标接触区域压力峰值出现的区域,图像下方的黑色方框为腕部接触区域压力峰值出现的区域。像沙漏图标的中心为区域的 COF,一般该图标颜色与区域边界线颜色一致,而整个传感器区域的 COF 图标为黑白色。上方图标为鼠标区域的 COF,中部黑白图标为整个

传感器区域的 COF,下方图标则为腕部区域的 COF。

2.2.1 食指单击鼠标左键过程 食指单击鼠标左键操作过程中,开始时鼠标的接触区域为左上和右下区域,接触压力峰值分别为 26.48、26.92 kPa,且右下区域的接触压力峰值略高于左上;随着食指对鼠标左键施力,右下区域的接触压力峰值迅速减小,左上迅速增加,整个鼠标区域的 COF 从右下迅速向左上移动,并且在施力到卸载的 0.32 s 时间内,只有鼠标左上区域与桌面接触;当单击鼠标左键按键到底时,接触压力峰值出现在此位置,为 62.87 kPa,鼠标区域的 COF 也位于此,之后食指卸载,左键开始回弹,整个鼠标的接触压力峰值逐渐减小,回弹结束时,降低到 28.19 kPa,出现在鼠标右下区域。

在整个过程中,腕部的接触区域均为大鱼际靠近腕侧区域、腕部的桡侧和尺侧区域。腕部 COF 位于大鱼际到尺侧区域对角线的中心,接触压力峰值始终出现在腕部的尺侧区域,开始时为 28.71 kPa。在对左键施力的过程中,尺侧区域的接触面积略有减小,接触压力峰值也开始降低,腕部 COF 开始从对角线中心向大鱼际方向移动。当单击鼠标左键按键到底时,尺侧区域接触面积最小,接触压力峰值也为单击过程中的最小值 23.25 kPa;之后接触面积和接触压力均逐步增大,腕部 COF 开始向尺侧移动;当左键回弹结束后,接触压力峰值达到 30.23 kPa。

2.2.2 中指单击鼠标右键过程 中指单击鼠标右键操作过程中,开始时鼠标的接触区域为左上和右下区域,接触压力峰值分别为 22.00、24.40 kPa,且右下区域的接触压力峰值略高于左上;随着中指对鼠标右键施力,右下区域的接触压力峰值迅速减小,左上区域迅速增加,整个鼠标区域 COF 从右下迅速沿鼠标纵轴线向中键方向移动,并且在施力到卸载的 0.22 s 时间内,鼠标由左上和右下区域与桌面接触变为左上和右上区域,再变为左上和右下区域;当单击鼠标右键按键到底时,接触压力峰值出现在鼠标右上区域,为 33.83 kPa,鼠标区域 COF 则位于鼠标左上和右上区域中心连线的中点,之后中指卸载,右键开始回弹,整个鼠标的接触压力峰值逐渐减小,回弹结束时,降低到 21.96 kPa,出现在鼠标右下区域。

在整个过程中,腕部的接触区域开始为大鱼际靠近腕侧区域、腕部的桡侧和尺侧区域,然后逐渐转

变为只有大鱼际靠近腕侧区域与桌面接触,一直持续到右键按键到底,在中指卸载后又逐渐恢复为大鱼际靠近腕侧区域、腕部的桡侧和尺侧区域与桌面接触,腕部 COF 位于大鱼际到尺侧区域对角线的中心,接触压力峰值始终出现在腕部的尺侧区域,开始时为 22.14 kPa。在对右键施力的过程中,尺侧区域的接触面积显著减小,接触压力峰值也显著降低,腕部 COF 开始从对角线中心向大鱼际方向移动;当单击鼠标右键按键到底时,尺侧区域接触面积最小,接触压力峰值也为单击过程中的最小值 11.02 kPa;之后接触面积和接触压力均逐步增大,腕部 COF 开始向尺侧移动;当右键回弹结束后,接触压力峰值达到 25.37 kPa。

2.2.3 食指滚动鼠标中键过程 食指滚动鼠标中键操作过程中,开始时鼠标的接触区域为左上和右下区域,接触压力峰值分别为 28.72、34.93 kPa,且右下区域的接触压力峰值高于左上;随着食指对鼠标中键施力,右下区域的接触压力峰值迅速增加,左上区域也迅速增加,整个鼠标区域 COF 从右下迅速沿鼠标纵轴线向中键方向移动,并且在施力到卸载的 0.78 s 时间内,鼠标左上和右下区域始终与桌面

接触;当滚动鼠标中键到滚动峰值时,接触压力峰值出现在鼠标右下区域,为 74.66 kPa,鼠标区域 COF 则位于鼠标左上和右下区域中心连线靠近右下区域;之后食指卸载,中键开始回弹,整个鼠标的接触压力峰值逐渐减小;回弹结束时,降低到 34.92 kPa,出现在鼠标右下区域。

在整个过程中,腕部的接触区域开始为大鱼际靠近腕侧区域、腕部的尺侧区域,然后逐渐转变为大鱼际靠近腕侧区域、腕部的尺侧和桡侧区域与桌面接触,一直到中键滚动峰值,在中指卸载后又逐渐变为只有腕部的尺侧区域与桌面接触,腕部 COF 位于腕部尺侧区域,接触压力峰值始终出现在腕部的尺侧区域,开始时接触压力峰值为 22.01 kPa,且位于腕部尺侧区域的左上方区域,在对中键施力的过程中,尺侧区域的接触面积先增大后减小,接触压力峰值逐渐减小,腕部 COF 开始从对角线中心稍微向大鱼际方向移动;当滚动鼠标中键到滚动峰值时,尺侧区域接触面积最小,接触压力峰值也为单击过程中的最小值 16.26 kPa;之后接触面积和接触压力均逐步增大,腕部 COF 开始向尺侧移动;当中键回弹结束后,接触压力峰值达到 25.49 kPa(见图 4)。

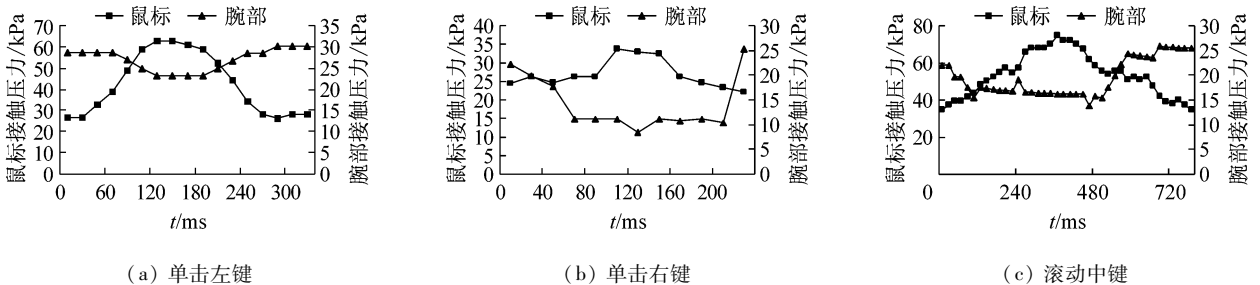


图 4 鼠标操作过程中鼠标和腕部接触压力峰值随时间的变化

Fig. 4 Peak contact pressure of the mouse and wrist varied with time during mouse operations (a) Left key clicking, (b) Right key clicking, (c) Middle key scrolling

鼠标和腕部在不同操作状态下的接触压力峰值、接触面积和接触力见表 3。

3 讨论

使用激光扫描仪和 TekScan 压力测量系统,对不同鼠标操作时鼠标和腕部与扫描仪的接触面积以及与桌面的接触压力进行测量。通过激光扫描仪识别不同鼠标操作状态时鼠标和腕部与桌面的可能接

触区域,通过图像处理软件确定各个接触区域的面积;通过 TekScan 压力测量系统,在鼠标单击左、右键和滚动中键的过程中,获得鼠标和腕部的接触压力、接触面积、接触力、接触压力峰值以及接触力的 COF 等随时间变化的数据,并进行对比分析。

主要研究个体操作鼠标时鼠标和腕部接触压力的分布特征,故未考虑不同个体对实验结果分布的影响;另外,即使是同一款鼠标,因鼠标使用者手部

表3 不同鼠标操作状态时鼠标和腕部的接触压力峰值、接触面积和接触力

Tab. 3 Peak contact pressure, contact area and contact force of the mouse and wrist during different mouse operations

动作	鼠标			腕部		
	接触压力/kPa	接触面积/mm ²	接触力/N	接触压力/kPa	接触面积/mm ²	接触力/N
左键按下	62.87	26	1.62	23.25	439	4.17
左键抬起	28.19	77	1.74	30.23	568	6.30
右键按下	33.83	77	1.80	11.02	206	1.77
右键抬起	21.96	129	1.70	25.37	490	5.21
中键峰值	74.66	129	5.40	16.26	439	4.11
中键释放	34.92	77	1.78	25.49	568	6.34

几何尺寸、手持鼠标位置、操作鼠标姿势、用力方式等因素的差异都会对结果有一定影响,故采用单个对象进行实验,可以避免由于个体差异而引入太多的不可控因素,也更有利于个性化定制鼠标的设计。

由单击左、右键和滚动中键时鼠标和腕部接触压力峰值随时间的变化曲线可知,在开始操作鼠标前鼠标和腕部就有一定的接触面积,原因是鼠标和右手都有一定的质量以及它们的互相作用,故鼠标和腕部与桌面之间存在一定的接触力和接触压力。单击鼠标操作时,鼠标区域的接触位置在开始时均位于左上和右下区域,且右下区域的压力峰值略高于左上,分析原因,右手握住鼠标,中指、无名指、小拇指均位于鼠标纵轴右侧,整个手部也向右下方倾斜,故小鱼际和腕部尺侧区域与桌面有较多接触,而且作用力也较多集中在此处,故接触压力峰值出现在此处。在单击操作过程中接触压力峰值位置发生变化,单击左键时,移动到鼠标左上区域,单击右键时移动到右上区域,滚动中键时仍为右下区域,但仍可发现在单击右键和滚动中键时左上区域的接触压力也逐渐增大,分析原因,此款无线鼠标的电池位于左侧,重心偏左,故单击右键时左上区域也会出现较大的接触压力,而滚动中键时,由于使用食指单击,手部的重心移动到了鼠标纵轴右侧,而且作用力也较多集中在右侧靠下的区域,故接触压力峰值出现在鼠标右下区域。Kang等^[10]研究了腕部豌豆骨附近区域在使用鼠标时的平均接触压力,而本文所测为接触压力峰值,故数据无法直接比较。

目前常用鼠标的外形设计和使用方式使得在手持鼠标时整个手部向右下方倾斜,故接触压力峰值出现在小鱼际靠近腕部的区域和腕部尺侧区域;在单击鼠标操作过程中,腕部区域的接触压力峰值也主要位于小鱼际靠近腕部的区域和腕部尺侧区域,击键时,此处接触压力峰值降低,卸载后又恢复到较高的压力值,故无论在手持鼠标状态还是在操作鼠标的过程中,小鱼际靠近腕部的区域和腕部的尺侧区域一直受到持续的压力作用。而小鱼际部位有尺侧神经浅支和深支通过,重复的持续压力作用会导致神经传导受到阻滞,进而出现尺侧神经控制区域有疼痛、麻木等不适感觉和运动功能障碍,严重者甚至会出现肌肉萎缩,导致腕部尺管综合症;同时,小鱼际部位还有尺动脉通过,重复的持续压力作用会导致手部血液供应不足,产生手部尺侧感觉异常和惧冷的现象,从而导致上肢的血管性疾病^[15]。腕部连接尺侧和桡侧的中间区域是腕管,此处有正中神经通过,若腕部尺侧和桡侧区域受到重复的持续的压力作用,腕管空间将受到挤压,从而压迫正中神经,导致CTS。另外,鼠标不断按压击键或按住鼠标左键并拖动,引起食指或中指的肌肉紧张,长期进行这样的操作,也会引起疼痛,从而影响工作和生活能力。

缓解或降低此类疾病发生的最直接的方法就是减少或降低鼠标使用时或计算机操作时腕部的接触压力:①可以改进鼠标的外形结构设计,使其更符合人体工效学原理,与手掌更贴合;②也可以通过合理使用腕部支撑器具调整手部、前臂以及上肢的姿势,减少鼠标操作时腕部的接触压力;③通过改变现有鼠标通过按压击键的功能,转变为轻点或触摸的方式,可以大大减轻常规鼠标按压按键时肌肉和神经的负担,从而降低肌肉骨骼不适的发病率。

采用Foot-Scan传感器采集数据,只考虑了法向接触力和接触压力,未考虑切向接触力和切向接触压力。由于此款鼠标底部有4个突起的区域,故鼠标与桌面之间的接触面积较小,使得操作鼠标时与鼠标接触的传感单元数目较少,因而测量得到的接触面积也相应较小。又由于采用测量系统默认的测量参数,噪声阈值为3,也使得低于阈值的测量数据全部被过滤,测量的高接触压力数据精度可以保证,低接触压力数据精度比较低。为了保证低接触压力

数据的精度,需要调低传感器的阈值,同时也要调节传感器的灵敏度。由于采用离散的传感单元组成传感器阵列进行测量,对于连续分布的接触压力,只能测量传感单元位置的压力值,而无法测量没有传感单元位置的压力值,测量的接触面积则为所有接触的传感单元面积的总和。对于这种情况,一般通过软件的后处理来弥补,例如插值、平均等手段。另外,该传感器的采样频率最高为 100 f/s,整个采集时间也有限,故将来需要开发一套高速、高分辨率的压力测量系统。

4 结论

鼠标和腕部与桌面的接触面积和接触压力峰值,是评价和判断鼠标是否满足工效学原理的重要参数,也是鼠标操作时是否患上手腕部以及上肢 MSDs 风险的重要因素,故本文研究结果对个性化鼠标的设计具有重要的指导意义,也可以为临床诊疗上肢及腕部 MSDs 提供一定程度的生物力学依据。通过分析,得到的结论如下:

(1) 采用接触压力测量的方法可以确定不同鼠标操作时鼠标和腕部接触压力峰值出现的位置以及其随时间的变化特征,故该方法对研究腕部肌肉骨骼不适有一定的参考意义。

(2) 在操作鼠标过程中,由于大鱼际、小鱼际以及腕部的尺侧和桡侧区域一直受到持续的压力作用,重复持续的鼠标操作会导致 CTS 等肌肉骨骼不适症的发生。

参考文献:

[1] BARRIERA-VIRUET H, SOBEIH TM, DARAISEH N, *et al.* Questionnaires vs observational and direct measurements: A systematic review [J]. *Theor Issue Ergonomics Sci*, 2006, 7(3): 261-284.

[2] WARSTED M, HANVOLD TN, VEIERSTED KB. Computer work and musculoskeletal disorders of the neck and upper extremity: A systematic review [J]. *BMC Musculoskel Dis*, 2010, 11: 79-93.

[3] 刘子慧,陈硕. 鼠标手势的工效学研究进展[J]. *人类工效学*, 2009, 15(1): 53-55.

[4] 王靖雯. 电子竞技选手鼠标操作上肢肌疲劳及其表面肌电变化特征研究[D]. 天津: 天津体育学院硕士学位论文, 2014.

[5] 张腾宇,李立峰,王喜太,等. 基于颞肌表面肌电的鼠标装置研究[J]. *医用生物力学*, 2011, 26(4): 325-328.

ZHANG TY, LI LF, WANG XT, *et al.* Study of the mouse device based on surface EMG signals of the temporalis [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(4): 325-328.

[6] 刘建婷. 长时间使用电脑鼠标时肌肉的疲劳分析[D]. 西安: 西安体育学院硕士学位论文, 2013.

[7] 宋海涛,任中武,邹慧荣,等. 键盘鼠标操作引起尺骨撞击综合征的诊断及原因[J]. *中国实用医药*, 2009, 4(25): 229-231.

[8] SZETO GP, NG J. A comparison of wrist posture and forearm muscle activities while using an alternative keyboard and a standard keyboard [J]. *J Occup Rehabil*, 2000, 10(3): 189-197.

[9] HEDGE A, MUSS TM, BARRERO M. Comparative study of two computer mouse designs [R]. *Technical Report / RP7992*, 1999: 3-8.

[10] KANG JW, KUM DH, YOON JR, *et al.* Contact pressure in the wrist during computer mouse work [J]. *Orthopedics*, 2012, 35(10): 867-871.

[11] 兰民国. TekScan 压力分布测量系统[J]. *测控技术*, 2002, 21(4): 8-9.

[12] 肖学军. TekScan 系统测量腰椎椎骨终板压力及后路固定对腰椎刚度的影响[D]. 广州: 南方医科大学博士学位论文, 2011.

[13] 黄舸舸,张甲,向宗义,等. 利用 TekScan 压力分布测量系统进行轮胎接地分析[J]. *轮胎工业*, 2008, 28(9): 563-565.

[14] 刘新成,陈雁西,俞光荣,等. 糖尿病伴足趾畸形的三维动态足底压力分析[J]. *中国骨与关节外科*, 2009, 2(6): 488-493.

[15] HO CHAM ON, KWOK KELVIN. 周志忠编译. 职业相关性颈部和上肢疾病[J]. *中国康复*, 2012, 27(6): 469-471.