

文章编号:1004-7220(2023)04-0797-07

单手操作手机时常见拇指动作关节角度与接触力测量和分析

王瑞雪¹, 张绪树^{1*}, 郭媛¹, 何栋栋¹, 刘晓杰¹, 张明^{2*}

(1. 太原理工大学 生物医学工程学院, 太原 030024; 2. 香港理工大学 生物医学工程系, 香港 100872)

摘要:目的 研究单手操作手机时拇指的关节角度与接触力,分析拇指关节的关节角度与接触力的生物力学特征以及影响因素,为拇指狭窄性腱鞘炎的预防、康复以及治疗提供生物力学依据。**方法** 使用 Vicon 光学运动捕捉系统和电阻式薄膜力传感器采集大学生志愿者单手操作手机时拇指关节角度和指尖接触力,并对人体参数、关节角度和接触力进行统计学多因素相关性分析。**结果** 通过仪器测量得到单手手机操作时上滑、顺时针转、右点、左点、左滑等动作的关节角度与接触力;统计分析表明,手长、拇指总长对各关节角度均值和最大接触力有显著影响($P < 0.05$),且手长与掌指关节角度均值、最大接触力基本呈负相关。**结论** 减小拇指运动幅度避免拇指过伸或过屈,或减少使用手机的频率,或减少操作手机的作用力,可以一定程度上减少拇指屈肌腱和腱鞘与骨纤维管道的摩擦力以及相互之间的挤压力,从而可以减少拇指狭窄性腱鞘炎的形成。

关键词: 运动捕捉; 关节角度; 接触力; 拇指运动; 单手手机操作

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.04.024

Measurement and Analysis on Joint Angle and Contact Force of Common Thumb Movements During One-Handed Mobile Phone Operation

WANG Ruixue¹, ZHANG Xushu^{1*}, GUO Yuan¹, HE Dongdong¹, LIU Xiaojie¹, ZHANG Ming^{2*}

(1. College of Mechanics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Interdisciplinary Division of Biomedical Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 100872, China)

Abstract: Objective To study the joint angle and contact force of the thumb during one-handed operation on mobile phones, analyze the biomechanical characteristics and influencing factors of the thumb joint angle and contact force, and provide the biomechanical basis for prevention, rehabilitation and treatment of thumb stenosing tenosynovitis. **Methods** Vicon optical motion capture system and resistive thin film force sensor were used to collect the thumb joint angle and fingertip contact force of college volunteers when they operated mobile phones with one hand, and statistical multi-factor correlation analysis on human body parameters, joint angle and contact force was conducted. **Results** The joint angle and contact force of one-handed mobile phone operation, such as sliding up, turning clockwise, right pointing, left pointing and sliding left, were obtained through the instrument measurement. Statistical analysis showed that hand length and thumb length had a significant influence on the

收稿日期:2022-11-16; 修回日期:2022-12-04

基金项目:国家自然科学基金项目(11972243)

通信作者:张绪树,副教授,E-mail: zhangxushu@tyut.edu.cn; 张明,教授,E-mail: ming.zhang@polyu.edu.hk

* 为共同通信作者

average angle and the maximum contact force of each joint ($P < 0.05$), and hand length was basically negatively correlated with the average angle and the maximum contact force of metacarpophalangeal joints. **Conclusions** Reducing the amplitude of thumb movement to avoid thumb hyperextension or flexion, or reducing the frequency of using mobile phones, or reducing the force of operating mobile phones, can reduce the friction between flexor tendon and tendon sheath of thumb and bone fiber duct, as well as the mutual squeezing force to some extent, thus reducing the formation of thumb stenosing tenosynovitis.

Key words: motion capture; joint angle; contact force; thumb movement; one-handed mobile phone operation

根据国家统计局发布的《中华人民共和国 2021 年国民经济和社会发展统计公报》,智能手机在我国非常普及,手机上网人数 10.29 亿人,人们使用手机的频率高、时间长^[1]。当每日使用手机达 8~10 h 时,16.7% 的实验对象产生手部不适症状;玩游戏与使用聊天工具的实验对象出现手部不适症状的比例最高,占比 13.3%^[2]。由于操作手机多以拇指为主,长时间、高频度地使用手机可能会导致使用者患上拇指狭窄性腱鞘炎^[3-4]。拇指狭窄性腱鞘炎主要表现为拇指屈指疼痛、弹响、拇指屈曲不能背伸,拇指掌指关节处压痛。根据研究用户体验和界面的机构 UXmatters 调查发现,49% 的人单手操作手机^[5]。因此,研究单手操作手机时大拇指的运动方式与受力具有重要意义,有利于人们预防由于长期使用手机引起的拇指狭窄性腱鞘炎。

有关手部生物力学的研究工作,主要集中在关节运动学、手指关节接触力,以及相关腱鞘炎等方面。Li 等^[6-7]研究了个体拇指外肌对拇指运动角度与运动方向的影响。任丽月等^[8]通过研究拇指在手机界面上操作的灵活区域以及拇指所做各种手势的灵活程度,来指导触屏手机的界面设计。钟海灵^[9]通过研究单手握持手机拇指离散点击与连续点击发现,手机尺寸越大,错误点击中的动作趋势越明显。朱琦玉等^[10]基于多相机数字图像相关系统研究了 4 种抓取姿态的手部运动变形特征。张绪树等^[11]通过测量操作鼠标时腕部的接触面积和接触压力发现,重复持续的鼠标操作会导致腕管综合征等肌肉骨骼不适症的发生。

鉴于国内外针对拇指狭窄性腱鞘炎的关节角度与接触力方面以及多因素相关性分析文献资料较少,本文在此方面开展了相关的研究。本文使用 Vicon 光学运动捕捉系统和电阻式薄膜力传感器采集单手操作手机时拇指运动轨迹和指尖接触力,得

到操作手机各种动作的关节角度和接触力的变化情况,并结合人体测量数据进行多因素相关性分析,探究拇指关节的关节角度与接触力的生物力学特征以及影响因素。本文研究结果可为拇指狭窄性腱鞘炎的预防、康复以及治疗提供生物力学依据。

1 方法

1.1 实验对象选取

根据国家技术监督局 1996 年发布的成年人手部号型^[12]与爱丁堡利手量表选择 20 名健康右利手受试者,包含男女受试者各 10 名。测量每位受试者的 6 项基本尺寸,包括:手长、手宽、拇指远节指骨长度、拇指近节指骨长度、第 1 掌骨长度和第 2 掌骨长度。所有受试者均无任何视觉障碍、精神疾病及上肢骨骼肌肉外伤。实验前,受试者均被充分告知研究目的、方法和程序,并签署书面知情同意书。

1.2 实验器材准备

1.2.1 手机型号选取 在近年来的手机市场中,华为与 iPhone 的份额一直处于市场前列。本实验选取的手机型号为华为 P40 Pro 和 iPhone 11 Pro。华为 P40 Pro(A 型手机)长 158.2 mm,宽 72.6 mm,厚 8.95 mm,质量 209 g;iPhone 11 Pro(B 型手机)长 144 mm,宽 71.4 mm,厚 8.1 mm,质量 188 g。

1.2.2 摄像头与标志点选取 采用 Vicon 光学运动捕捉系统(Oxford Metrics 公司,英国)^[13]。该 Vicon 系统共 6 台 MX 摄像机,共 6 个直径为 6.5 mm 的反光标志点,采集频率为 100 帧/s^[14]。通过自定义标志点的方法,可以计算获取关节角度。

1.2.3 传感器选取与标定 使用 NI/MCC USB-201 电流模块数据采集器与电阻式薄膜接触力传感器结合采集接触力。由于电流模块数据采集

卡采集到的是电压数据,而该实验需要的是接触力数据,所以需要先对传感器进行标定,使用 Instron 3343 电子万能材料试验机进行传感器的标定[见图 1(a)].采集卡的采集频率为 100 次/s,采集时将传感器粘贴于材料试验机的压头处,每次将材料试验机设置为恒定载荷,同时采集电压数据。将载荷与采集到的接触力采用多项式拟合为载荷-电压曲线[见图 1(b)].其中,载荷-电压曲线拟合方程(y 为载荷, x 为电压)如下:

$$y = 1.762 \times 10^{-17}x^6 - 1.145 \times 10^{-13}x^5 + 2.984 \times 10^{-10}x^4 - 3.994 \times 10^{-7}x^3 + 0.000\ 290\ 9x^2 - 0.111\ 4x + 19.33$$

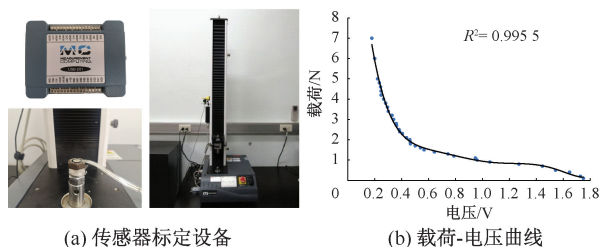


图 1 传感器标定

Fig. 1 Sensor calibration (a) Sensor calibration equipment, (b) Load-voltage curve

1.3 实验动作确定

将标志点或接触力传感器粘贴于受试者手部,将两个手机模型划分为如图 2(a)所示的区域^[15]。实验对象单手操作手机分别进行上滑、左滑、左点、右点、顺时针转,上滑从图 2(a)中点 1 紧贴手机向右上滑动到点 2,顺时针转从点 3 开始紧贴手机顺时针转动 1 圈到点 3 停止,右点在点 4 上方 1 cm 处落下后抬起,左点在点 5 上方 1 cm 处落下后抬起,左滑从点 6 紧贴手机向左滑动到点 7。

1.4 材料与方法

1.4.1 运动学与接触力测量实验 采用 Vicon 光学运动捕捉系统进行受试者坐姿单手操作手机的大拇指运动数据采集, MX T40-S 红外摄像镜头分辨率为 $2\ 352 \times 1\ 728$ 像素^[14],考虑到手指运动范围及幅度较小,故而根据受试者的位置调整摄像机的位置与角度,缩小摄像机的采集范围,定位精度可达到 0.15 mm。MX 摄像机摆放位置如图 2(b)所示,标志点的粘贴位置如图 2(c)所示。采用 NI/MCC USB-201 电流模块数据采集器与电阻式薄膜力传感

器进行受试者坐姿单手操作手机的大拇指接触力数据采集,采集频率为 100 帧/s,力传感器的粘贴位置如图 2(d)所示。



图 2 运动学实验与接触力测量实验

Fig. 2 Kinematics experiment and contact force measurement experiment (a) Mobile phone model partition, (b) Camera position, (c) Location of marker points, (d) Sensor position

实验步骤如下:将椅子与桌子摆放于摄像机采集中心,受试者以受试姿势坐在椅子上,单手操作手机;给实验对象讲明动作要领,自行练习,当受试者熟悉掌握动作要领后,开始运动学或接触力采集,运动学测量实验每次采集受试者重复 5 次所采集动作,每个动作共采集 5 次;接触力测量实验每次采集受试者做 1 次所采集动作,每个动作共采集 10 次;更换手机,重复上述实验步骤,进行运动学采集或接触力采集,保存被试人员运动学与接触力数据。

1.4.2 统计学分析 使用 SPSS 23.0 软件对人体测量数据进行描述性统计分析,绘制受试者手长、手宽及拇指总长的分布直方图,分析受试者手长、手宽及拇指总长的分布特征。

将测量到的受试者 6 项手部基本尺寸与拇指总长(拇指总长为拇指近节指骨、拇指远节指骨与第 1 掌骨长度的总和)作为自变量,每种运动过程的各关节角度均值、各关节角度极差和最大接触力作为因变量,运用 Pearson 双变量进行人体参数与关节角度均值、关节角度极差、最大接触力的相关性分析,显著性标准定为一类误差概率不大于 0.05。

将每种运动过程各关节角度均值和各关节角度极差作为自变量,最大接触力作为因变量,运用 Pearson 双变量进行关节角度均值、关节角度极差与最大接触力的相关性分析,显著性标准定为一类误差概率不大于 0.05。

通过相关性分析,得到对拇指关节角度及接触力有显著性影响的因素,综合给出导致拇指狭窄性腱鞘炎的主要影响因素及预防与治疗建议。

2 结果

2.1 人体数据描述性统计

全国手部基本尺寸与受试者手部基本尺寸对比如图3(a)所示。根据拇指总长的数据将20名受试者(男、女受试者各10名)分为小手形组(S组)与大手形组(L组),每组各10人,将拇指总长较小的10名受试者为S组,拇指总长较大的10名受试者为L组。分组后各组受试者手部基本

尺寸对比如图3(b)所示。受试者平均每天使用手机7.45 h,使用需要频繁操作的手机软件为5.35 h[见图3(c)]。并结合两种型号手机将实验分为4组:A手机-S组、A手机-L组、B手机-S组、B手机-L组。

使用SPSS 23.0对受试者的人体测量数据进行Shapiro-Wilk正态性检验并绘制掌长、掌宽、拇指总长的直方图[见图3(d)~(f)]。结果显示,受试者人体测量数据近似服从正态分布。

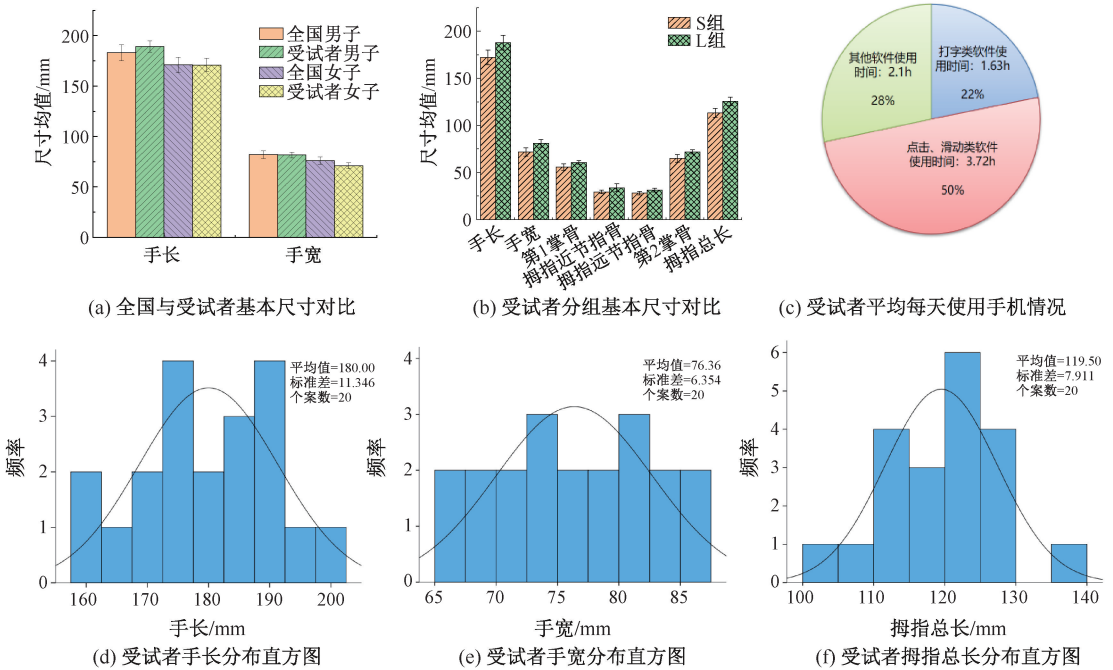


图3 受试者基础数据

Fig. 3 Basic data of subjects (a) Comparison of national basic hand size with that of the subjects, (b) Comparison of basic size of subjects in groups, (c) Average daily use of mobile phones by subjects, (d) Histogram of hand length distributions of the subjects, (e) Histogram of hand width distributions of the subjects, (f) Histogram of thumb total length distributions of the subjects

2.2 运动学与接触力实验结果分析

通过Vicon运动捕捉系统,获得单手操作手机时标志点随时间的变化规律,通过计算获得拇指关节的关节角度变化数据。将受试者大拇指的运动学数据归一至1个完整的运动周期,得到掌指关节、指间关节与掌骨间关节的角度变化曲线。以顺时针转动作为例,分组归一化后各关节角度变化曲线如图4(a)所示。

通过NI/MCC USB-201电流模块数据采集器与电阻式薄膜接触力传感器,获得单手操作手机时接

触力随时间的变化规律。将接触力数据归一至1个完整的运动周期,得到接触力变化曲线。以顺时针转动作为例,分组归一化后接触力变化曲线如图4(b)所示。

对比分组后每组受试者各动作的最大接触力发现,S组受试者除左点外操作B型手机的各动作最大接触力大于操作A型手机的各动作最大接触力,L组受试者操作B型手机的各动作最大接触力小于操作A型手机的各动作最大接触力(见表1)。

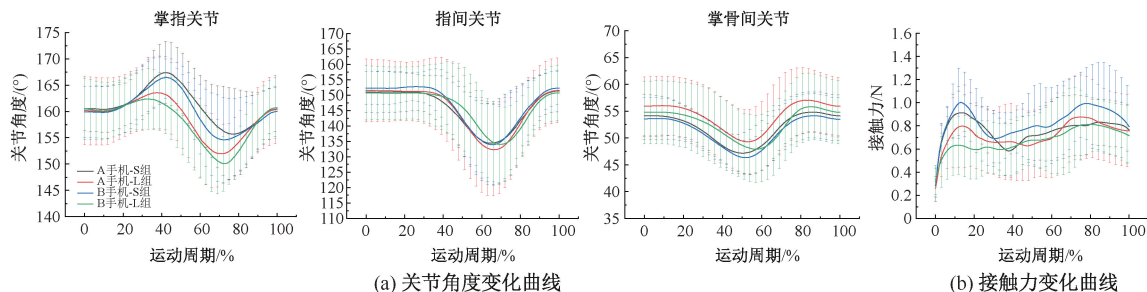


图4 顺时针转运动学与接触力测量实验结果

Fig. 4 Experimental results of clockwise kinematics and contact force measurement (a) Angle curves of each action joint, (b) Contact force curves

表1 各动作最大接触力

Tab. 1 Maximum contact force of each action 单位:N

| 动作 | A手机-S组 | A手机-L组 | B手机-S组 | B手机-L组 |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 上滑 | 1.3±0.6 | 1.1±0.4 | 1.4±0.4 | 0.9±0.2 |
| 顺转 | 1.0±0.2 | 1.0±0.3 | 1.2±0.4 | 0.9±0.2 |
| 右点 | 0.9±0.2 | 1.0±0.3 | 1.0±0.2 | 0.9±0.4 |
| 左点 | 1.2±0.5 | 1.0±0.3 | 1.1±0.2 | 0.9±0.4 |
| 左滑 | 1.1±0.3 | 1.3±0.4 | 1.2±0.5 | 1.2±0.4 |

2.3 相关性分析

2.3.1 人体参数与实验结果相关性 运用 Pearson 双变量进行人体参数与实验结果的相关性分析,并对分析数据进行可视化处理(见图5)。

结果表明:各操作动作的掌指关节角度均值与

人体参数均呈负相关,手长、手宽、第2掌骨及拇指总长对掌指关节角度的影响较为显著。上滑、右点、左点的掌指关节角度极差与各人体参数大多呈负相关,顺时针转、左滑的掌指关节角度极差都与各人体参数均呈正相关($P < 0.05$)。

第1掌骨、拇指总长对两部手机上滑、左滑的指间关节角度均值影响较为显著,且均呈正相关。手宽、拇指远节指骨、第2掌骨对两部手机顺时针转、右点、左点的指间关节角度均值影响较为显著,且呈负相关。各人体参数与A型手机各动作指间关节角度极差的相关性比B型手机更高,且A型手机左点、A型手机左滑的指间关节角度极差与各人体参数均呈负相关,且相关性较高($P < 0.05$)。

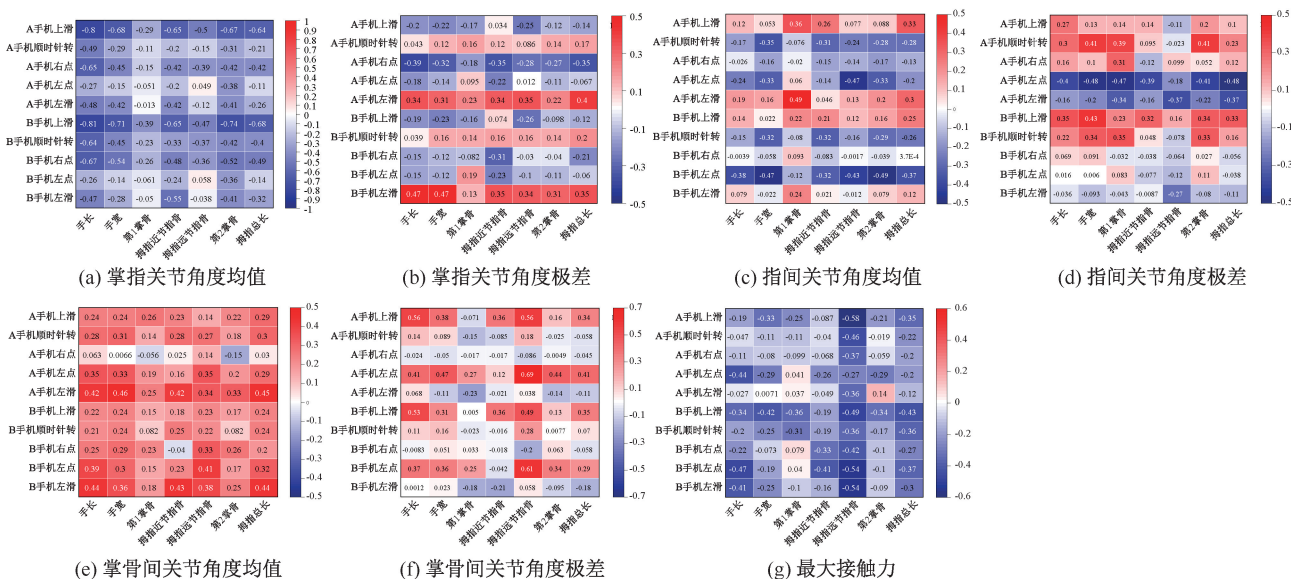


图5 人体参数与关节角度及接触力相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of human body parameters with joint angle and contact force (a) Mean metacarpophalangeal joint angle,

(b) The metacarpophalangeal joint angle is extremely poor, (c) Mean value of interphalangeal joint angle, (d) Angle of interphalangeal joint is extremely poor, (e) Average angle of metacarpal joint, (f) Angle of metacarpal joint is extremely poor, (g) Maximum contact force

注:红色表示人体参数与实验结果呈正相关,蓝色表示人体参数与实验结果呈负相关。

各操作动作的掌骨间关节角度均值与人体参数大多呈正相关。手长、手宽和拇指远节指骨对A型手机上滑、A型手机左点、B型手机上滑、B型手机左点的掌骨间关节角度极差的影响较为显著,且呈正相关($P < 0.05$)。

拇指远节指骨对各操作动作的最大接触力的影响较为显著,且呈负相关。各动作与各人体参数大多呈负相关($P < 0.05$)。

2.3.2 关节角度与接触力相关性 运用 Pearson 双变量进行各动作的关节角度和最大接触力的相关性分析,并对分析数据进行可视化处理(见图6)。

结果表明:各动作的掌指关节角度均值与最大接触力大多呈正相关,A型手机左点、B型手机上滑、B型手机左点和B型手机左滑的掌指关节角度均值与最大接触力的相关性较高。各动作的指间关节角度均值与最大接触力大多呈正相关,B型手机右点的指间关节角度均值与最大接触力的相关性较高。B型手机顺时针转的掌骨间关节角度均值与最大接触力呈正相关,且相关性较高;B型手机右点的掌骨间关节角度均值与最大接触力呈负相关,且相关性较高($P < 0.05$)。

A型手机右点和B型手机上滑的掌指关节角度极差与最大接触力呈正相关,且相关性较高;A型手机顺时针转和B型手机左滑掌指关节角度极差与最大接触力呈负相关,且相关性较高。B型手机顺时针转和B型手机左点的指间关节角度极差与最大接触力呈正相关,且相关性较高。A型手机顺时针转和B型手机顺时针转的掌骨间关节角度极差与最大接触力呈正相关,且相关性较高($P < 0.05$)。

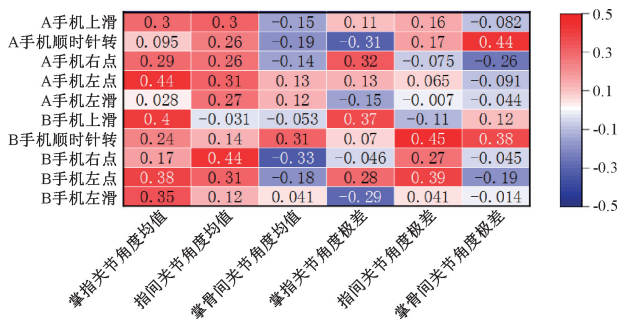


图6 关节角度与接触力相关性

Fig. 6 Correlation between joint angle and contact force

注:红色表示人体参数与实验结果呈正相关,蓝色表示人体参数与实验结果呈负相关。

3 讨论

S组受试者除左点外操作B型手机的各动作最大接触力大于操作A型手机的各动作最大接触力,L组受试者操作B型手机的各动作最大接触力小于操作A型手机的各动作最大接触力。S组在操作A型手机时由于手机尺寸过大,存在大拇指与手机间较难接触、接触力过小的情况。有研究证明,在单手操作手机时,大手用户的手部肌肉最为轻松省力,而中手用户的使用评价优于小手用户和大手用户,手型尺寸显著影响用户对触屏手机的使用,大手用户和中手用户的使用效果优于小手用户^[16]。因此,S组和L组受试者均使用B型手机时更为舒适。

通过对人体参数与各关节角度均值、各关节角度极差和最大接触力的相关性分析可以看出,手长、手宽和拇指总长对各关节角度均值、角度极差和最大接触力有显著影响,且手长、手宽和拇指总长越长,掌指关节角度均值越小,掌骨间关节角度均值越大。拇指远节指骨对最大接触力的影响最为显著,且拇指远节指骨越长,最大接触力越小。各人体参数对最大接触力的影响大多呈负相关,即受试者手越大,各指骨、掌骨越长,最大接触力越小。因此手越大,操作手机时掌指关节处受力越小。

通过对各动作的各关节角度均值、各关节角度极差与最大接触力的相关性分析可以看出,掌指关节角度均值和指间关节角度均值与最大接触力基本呈正相关,即掌指关节角度均值和指间关节角度均值越小,最大接触力就越小。掌骨间关节角度均值与最大接触力基本呈负相关,即掌骨间关节角度均值越大,最大接触力就越小。各动作的各关节角度极差与最大接触力的相关性关系根据动作的不同而不同。

解剖学研究发现,拇长屈肌腱位于两籽骨和籽骨间横韧带构成的一个类似于“指环”的封闭式结构里,在此结构中,拇指过伸或过屈时,易导致拇长屈肌腱与籽骨的摩擦加大而受到损伤^[17]。本文结果表明,受试者手越大,各指骨、掌骨越长,掌指关节角度均值越小、掌骨间关节角度均值越大、最大接触力越小。因此,拇指掌指关节运动幅度越小,拇长屈肌在运动时受到的拉伸或挤压力越小,

拇长屈肌腱和腱鞘与掌指关节处的骨纤维管道摩擦越少,越不容易形成拇指腱鞘炎。

4 结论

使用手机时拇指的关节角度和接触力是引起拇指狭窄性腱鞘炎的主要因素。长时间高频率地单手操作大屏幕手机可能会增加拇长屈肌腱和腱鞘与掌指关节处的骨纤维管道摩擦程度,加快手部肌肉的疲劳程度,容易引发拇指狭窄性腱鞘炎,故本文研究结果可以为拇指狭窄性腱鞘炎的预防与治疗提供生物力学依据。通过分析得到单手操作手机时受试者手越大,各指骨、掌骨越长,掌指关节角度均值越小、掌骨间关节角度均值越大、最大接触力越小。因此,一手持机一手滑动屏幕或小手用户使用小屏幕手机、大手用户使用大屏幕手机可减小拇指运动幅度避免拇指过伸和过屈,或减少使用手机的频率,或减少操作手机的作用力,可以一定程度上减少拇长屈肌腱和腱鞘与骨纤维管道的摩擦力以及相互之间的挤压力,从而可以减少拇指狭窄性腱鞘炎的形成。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国 2021 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2022(3): 9-26.
- [2] 祝深博, 崔兰海, 陈正男, 等. 手机使用方式与时长对“手机病”发病的影响[J]. 保健医学研究与实践, 2016, 13(5): 24-27.
- [3] 吴栓, 林伟锋, 李红燕. 浅谈青少年手机病致手腕痹痛的病因病机及预防保健[J]. 新中医, 2005, 37(1): 85-86.
- [4] 朱文斌, 陈红雁, 李雪芹, 等. 高频超声诊断拇长屈肌腱腱鞘炎[J]. 中华手外科杂志, 2017, 33(2): 112-113.
- [5] PARHI P, KARLSON AK, BEDERSON BB. Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices[C]//Proceedings of Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. Espoo: ACM, 2006.
- [6] LI ZM, JIE T. Coordination of thumb joints during opposition [J]. J Biomech, 2007, 40(3): 502-510.
- [7] LI ZM, JIE T, CHAKAN M, *et al.* Complex, multidimensional thumb movements generated by individual extrinsic muscles [J]. J Orthop Res, 2008, 26(9): 1289-1295.
- [8] 任丽月, 王中宝, 张宇红. 触屏手机中人机工程学的研究[J]. 硅谷, 2012(6): 19-20.
- [9] 钟海灵. 触屏手机屏幕尺寸对用户操作行为及舒适度影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [10] 朱琦玉, 童子祥, 员方, 等. 抓取过程中的手部运动变形特征[J]. 医用生物力学, 2021, 36(3): 423-430.
- [11] ZHU QY, TONG ZX, YUAN F, *et al.* Deformation characteristics of hand movement during grasping [J]. J Med Biomech, 2021, 36(3): 423-430.
- [12] 张绪树, 郭媛, 安美文, 等. 操作鼠标时鼠标和腕部接触压力的 TekScan 测量[J]. 医用生物力学, 2017, 32(5): 469-475.
- [13] ZHANG XS, GUO Y, AN MW, *et al.* Contact pressure measurement of the computer mouse and wrist during mouse operations by TekScan [J]. J Med Biomech, 2017, 32(5): 469-475.
- [14] 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准: 成年人手部型号 GB/T 16252-1996[S]. 1996.
- [15] CARSE B, MEADOWS B, BOWERS R, *et al.* Affordable clinical gait analysis: An assessment of the marker tracking accuracy of a new low-cost optical 3D motion analysis system [J]. Physiotherapy, 2013, 99(4): 347-351.
- [16] 张绪树. 人体上肢肌骨系统生物力学分析及鼠标操作时腕部接触压力研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [17] TRUDEAU MB, YOUNG JG, JINDRICH DL, *et al.* Thumb motor performance varies with thumb and wrist posture during single-handed mobile phone use [J]. J. Biomech, 2012, 45(14): 2349-2354.
- [18] 李宏汀, 宫媛娜, 梁道雷. 大学生手型尺寸分布及其对触屏手机操作绩效影响[J]. 人类工效学, 2014, 20(1): 6-10.
- [19] 汪学松, 邱贵兴, 翁习生, 等. 籽骨与拇长屈肌腱狭窄性腱鞘炎的相关解剖学关系[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(20): 3959-3961.