·康复工程·

基于移动辅具结构设计的握力实验研究*

徐 莉[1] 薛 强[1] 孙英耀[1] 杨 硕[1,2]

摘要

目的:研究肩关节和肘关节屈曲角度对握力的影响,确定最佳施力位置,从而指导移动辅具相关结构设计。

方法:采集32例志愿者在不同手臂姿势下的握力数据,选取4个肩关节屈曲角度(0°、30°、60°、90°)和4个肘关节屈曲角度(0°、30°、60°、90°)进行实验,使用CAMRY-EH101型握力计分别测试13个角度组合下的双侧握力,之后对测量结果进行统计学分析。

结果:优势手握力均大于非优势手握力;肘关节屈曲角度对握力值差异有显著影响,肩关节屈曲角度对握力值差异无显著影响;握力较大的肩关节屈曲角度范围是0°—60°,肘关节屈曲角度范围是0°—30°;握力较小的角度范围是90°肘关节屈曲伴随着肩关节屈曲60°—90°。

结论:在进行移动辅具结构设计时,推荐将使用者的手臂操作姿势保持在肩关节屈曲0°—60°、肘关节屈曲0°—30°范围内;同时,该实验结果也可用于指导使用者在使用移动辅具时的手臂姿势。

关键词 移动辅具;握力;肩关节屈曲角度;肘关节屈曲角度

中图分类号:R496 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2019)-11-1333-06

Grip strength research based on a type of transfer assistant device structure design/XU Li, XUE Qiang, SUN Yingyao, et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(11): 1333—1338

Abstract

Objective: To study the effects of different flexion angles of shoulder and elbow on grip strength, determine the optimal position of shoulder and elbow when applying force, and guide the ergonomic design of assistive ambulatory device.

Method: 32 volunteers participated in the study. Four shoulder flexion angles (0°, 30°, 60°, 90°) and four elbow flexion angles (0°, 30°, 60°, 90°) were selected. The CAMRY-EH101 dynamometer was used to measure the bilateral grip strength under 13 angle combinations, and then the measurement results were analyzed statistically.

Result: The grip strength of the dominant hand is greater than that of the non-dominant hand. The elbow flexion angle had significant effect on the difference of grip strength, while the shoulder flexion angle had no significant effect on grip strength. Grip strength is larger when shoulder flexion angle range is between 0° to 60° and elbow flexion angle range is between 0° to 60°. Grip strength is smaller when shoulder flexion angle range is between 60° to 90° and elbow flexion angle is 90°.

Conclusion: When designing the transfer assistant device, it is recommended to maintain the patient's arm posture in the range of 0°—60° for shoulder flexion and 0°—30° for elbow flexion. Meanwhile, the results can also be used to guide the user's arm posture while using the assistive ambulatory device.

Author's address College of Mechanical Engineering,Tianjin University of Science & Technology,Tianjin,300222

Key word assistive ambulatory device; grip strength; shoulder flexion angle; elbow flexion angle

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.11.012

*基金项目:天津科技大学青年教师创新基金(2017LG05)

1 天津科技大学机械工程学院,天津市,300222; 2 通讯作者

作者简介:徐莉,女,硕士研究生; 收稿日期:2018-09-28

握力是指手部等长收缩的肌肉力量[1]，常通过试验的方法进行研究。握力测量具有测试简单、费用低廉、易统一标准等优点，可用来评估人体机能[2—4]、营养状态[5]、衡量治疗效果[6]、检测患者伤后康复情况[7—8]。另外，国内外学者常使用握力测量结果指导手柄形状及相关结构设计。研究表明，使用者在操作工具时将手、手腕和肘部置于合适的位置，或者使用人机交互合理的产品结构，都可以减少疲劳，降低受伤风险和提高工作效率[9—10]。Lowndes[11]以割草机手柄为研究对象，分析了3种握距、4种位置对握力大小和舒适度的影响，并给出了最佳方案；Tony[12]研究了低频振动工况下，手柄形状对舒适性的影响；Kong[13]研究了手柄形状对握力和手指捏力的影响；Mcdowell[14]分析了手柄尺寸和形状对握力强度的影响；Kuijt[15]使用调查问卷分析了影响手工工具舒适性的因素。

在握力测量实验方面，Kong[16]、Rajendran[17]、Parvatikar[18]等学者各自分析了肩关节屈曲角度、肘关节屈曲角度对握力强度的影响，但他们的研究结果不尽相同，研究时角度取值也比较分散；Hillman[19]研究了站、坐、躺3种姿势对握力大小的影响；Jung[20]的研究证明，让受试者快速用力达到最大握力值大于让其缓慢用力时所得握力值，同时，用视觉反馈以及言语鼓励比不用所得到的握力值要大9.7%和7.7%；Niebuhr[21]的研究表明，每次实验间隔1min有助于消除疲劳；Watanabe[22]的研究表明，在连续测量期间，随着组数增加，握力逐渐下降，然而，在每组测量之后休息1min的间隔测量可以得到恒定值；这些成果均可为本研究的实验设计提供参考。

本文基于移动辅具相关结构设计，通过握力实验研究，探讨易于施力并使操作者感觉舒适的手臂姿势，实验结果将用于指导移动辅具结构设计，也可用于指导使用者在使用移动辅具时的手臂姿势。

1 对象与方法

1.1 实验对象

图1为课题组设计的多功能移动辅具，该移动辅具可以帮助使用者完成坐姿到立姿的转换，实现床与座椅、座椅与坐便器、床与坐便器等不同位置之间的转接任务，也可用于辅助行走和下肢康复训练。在完成坐姿和站姿转换过程中，使用者需抓紧助起臂手柄，如果施力姿势不当，会导致手臂肌肉疲劳、手腕损伤或手部不适。因此，需要了解使用者的最佳手臂操作姿势，使其能够施加较大握力并且感觉舒适。

本研究从移动辅具结构设计和实际使用情况考虑，将手臂姿势用两个角度进行表示：肩关节屈曲角度和肘关节屈曲角度。肩关节屈曲角度定义为上臂与竖直躯干的夹角（图1中S角），肘关节屈曲角度定义为前臂与水平线的夹角（图1中E角）。肩关节屈曲角度影响助起臂离使用者的距离及离地高度，肘关节屈曲角度直接影响助起臂倾斜角度，两者均对助起臂结构设计产生重要影响。因此，本研究拟从人机工程学角度出发，采用实测方式获得最佳肩关节、肘关节屈曲角度组合，进而指导移动辅具结构设计。

图1 助起臂结构及测试角度定义

因移动辅具的主要使用群体为下肢损伤或因疾病等因素而造成下肢功能障碍的患者，其上肢功能与健康人无差别，因此，在本研究中选择无上肢疼痛、脱位、骨折或手术史的志愿者参与本研究。共有32例志愿者参与了本研究，其中男性15例，女性17例，实验前记录每个志愿者的性别、年龄、身高、体重、身体质量指数（BMI）、优势手等信息，见表1。本研究中将写字手定义为优势手，所有志愿者自愿参加本研究。志愿者平均年龄为(24.44±1.27)岁，平均BMI值为21.00±2.66。

1.2 实验方法

实验前向受试者介绍本研究的目的、测试步骤

表1 志愿者基本信息

志愿者	男性(n=15)		女性(n=17)		总计(n=32)	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
年龄(周岁)	24.73	1.44	24.18	1.07	24.44	1.27
体重(kg)	65.50	7.27	51.74	6.15	58.19	9.59
身高(cm)	171.13	4.55	161.71	5.00	166.13	6.71
BMI	22.39	2.58	19.78	2.10	21.00	2.66

和握力计的使用方法。每一次测试前,为受试者调整握力计的手柄间距,将间距控制在每个受试者感觉最舒适的位置。

在实验中,为每个受试者随机分配测试角度。对受试者进行双侧握力测量,分别记录握力计显示的最大读数,每个位置测量两次,取平均值用于分析。测试过程中采取标准化的测试口令并避免视觉反馈及言语激励。在进行本研究时,通过交替测量的方式使每位受试者在两次测量之间的休息时间大于5min,从而消除肌肉疲劳,减少测试误差。

1.3 实验角度

本研究中将肩关节屈曲角度定义为上臂与竖直躯干的夹角,取0°、30°、60°、90°四个角度进行实验,分别命名为S1、S2、S3、S4;将肘关节屈曲角度定义为前臂与水平线的夹角,取0°、30°、60°、90°四个角度进行实验,分别命名为E1、E2、E3、E4。考虑实际使用中个别角度明显不适合发力,所以并未测试所有角度,只测试了以下13个角度组合,如表2所示。

表2 测试角度组合

名称	含义
S1E1	肩关节屈曲角度0°,肘关节屈曲角度0°
S1E2	肩关节屈曲角度0°,肘关节屈曲角度30°
S2E1	肩关节屈曲角度30°,肘关节屈曲角度0°
S2E2	肩关节屈曲角度30°,肘关节屈曲角度30°
S2E3	肩关节屈曲角度30°,肘关节屈曲角度60°
S3E1	肩关节屈曲角度60°,肘关节屈曲角度0°
S3E2	肩关节屈曲角度60°,肘关节屈曲角度30°
S3E3	肩关节屈曲角度60°,肘关节屈曲角度60°
S3E4	肩关节屈曲角度60°,肘关节屈曲角度90°
S4E1	肩关节屈曲角度90°,肘关节屈曲角度0°
S4E2	肩关节屈曲角度90°,肘关节屈曲角度30°
S4E3	肩关节屈曲角度90°,肘关节屈曲角度60°
S4E4	肩关节屈曲角度90°,肘关节屈曲角度90°

1.4 实验设备

因实验目的是指导移动辅具助起臂结构设计,所以受试者的测试姿势采用坐姿,具体要求参照1992年美国手治疗师学会(ASHT)提出的标准化握力测量指南体位:双足自然置于地面,屈膝屈髋90°,肩内收中立位,前臂处于中立位,即伸腕0°—30°,并保持0°—15°尺偏[23]。

搭建握力测量实验台,选择高度可调的三脚架对握力计、肘部固定支架进行支撑,减少重力对测试结果的影响;肘部固定支架由两个木板和角度调节机构组成,通过绑带将木板与手臂固定;角度调节结构可锁死,保证受试者在施加握力时,手臂位置及角度不发生变化。

握力测量采用广东香山衡器集团股份有限公司生产的CAMRY-EH101型握力计,该型握力计最大量程为90kg,分度值为0.1kg,握力计的手柄位置可调节,有5种不同的握距,测试者可以选择最舒适的握距进行实验。握力计采用高精度应变式传感器,手握握力计持续用力,松开后即显示此次测量的最高握力值。

1.5 统计学分析

采用SPSS 23.0统计软件对所有数据进行了统计学处理,握力计所测的握力值为计量资料,采用平均值±标准差的形式进行描述,并进行多元方差分析(MANOVA),利用F检验分析性别、是否优势手、肩关节屈曲角度、肘关节屈曲角度等因素对握力均值差异的影响,$P<0.05$表示差异有显著性意义。

2 结果

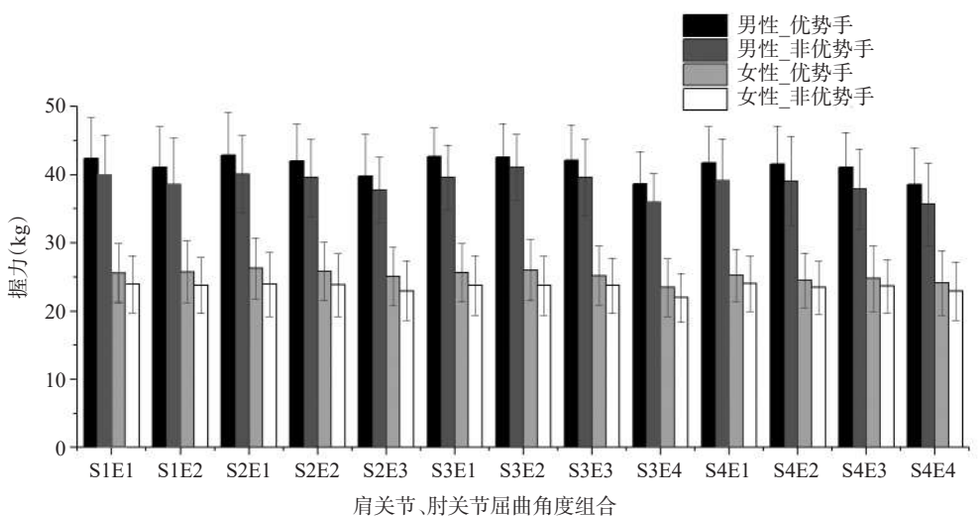
2.1 握力均值实验结果

图2给出了不同性别、不同测试角度下的优势手和非优势手握力均值实验结果。结果显示,在同样的测试角度下,男性和女性、优势手和非优势手都存在着握力差异,男性的握力均值均大于女性握力均值;优势手握力均值均大于非优势手握力均值。

另外,测试角度对握力均值也有影响,对于15例男性受试者,优势手和非优势手获得最大握力均值的位置不同,优势手在S2E1位置获得最大握力均值42.89±6.29kg,非优势手在S3E2位置获得最大握力均值40.10±4.81kg。但是,男性受试者优势手和非优势手获得最小握力均值的位置相同,均为S4E4位置,大小分别为38.55±5.42kg和35.65±6.04kg。

对于17例女性受试者,优势手和非优势手获得最大握力均值的位置也不同,优势手在S2E1位置获

图2　握力实验结果



得最大握力均值26.24±4.49kg，非优势手在S4E1位置获得最大握力均值24.01±4.07kg。对于女性受试者，优势手和非优势手均在S3E4位置获得最小握力均值，分别为23.44±4.62kg和21.98±3.59kg。

综合考虑全部32例受试者，优势手和非优势手均在S2E1位置获得最大握力均值，大小分别为34.04±9.98kg和31.49±9.62kg。优势手在S3E4位置获得最小握力均值30.57±8.91kg，非优势手在S4E4位置获得最小握力均值28.89±8.21kg。

2.2　不同因素对握力的影响分析

多元方差分析结果表明，不同性别对握力值差异有显著的影响（F=1866.454，P=0.000<0.05），优势手与非优势手对握力值差异有显著的影响（F=35.916，P=0.000<0.05），不同的肘关节屈曲角度对握力值差异有显著的影响（F=8.831，P=0.000<0.05）；不同肩关节部屈曲角度对的握力值差异没有显著的影响（F=0.406，P > 0.05），见表3。

进一步分析肩关节屈曲角度和肘关节屈曲角度对握力均值的影响，结果分别见图3—4，从两图中可以看出，肘关节屈曲角度的变化对握力均值的影响大于肩关节屈曲角度的变化对握力均值的影响，这也与表3的多元方差分析结果相同。

表3　握力均值多元方差分析结果

源	F	P
性别	1866.454	0.000
手	35.916	0.000
肩关节屈曲角度	0.406	0.749
肘关节屈曲角度	8.831	0.000

肩关节屈曲角度对握力均值的影响见图3。在任意肘关节屈曲角度下，优势手（图3a）和非优势手（图3b）握力均值随着肩关节屈曲角度的增加呈现先增加后下降的趋势，即当肩关节处于S2或S3位置时，更容易获得较大握力，但该趋势与肘关节屈曲角度变化的影响相比并不明显。

肘关节屈曲角度对握力值的影响见图4，在任意肩关节屈曲角度下，优势手（图4a）和非优势手（图4b）的握力均值随着肘关节屈曲角度的增加都呈现明显的下降趋势；只有在肩关节屈曲角度为S3时例外，但不影响总趋势。

因此，由图3—5可得，肩关节屈曲角度在0°—60°范围、肘关节屈曲角度0°—30°范围内时，能够获得较大握力值，而在肘关节屈曲90°并且肩关节屈曲角度在60°—90°范围时，获得较小的握力值。

3　讨论

在本研究中两性的握力差异明显，在所有的测量位置，男性的握力均值大于女性的握力均值，这与Rajendran[17]和Parvatikar[18]的研究结果一致。此外在全部的受试者中，优势手的握力均大于非优势手的握力，这可能是因为人们惯用优势手来抓握物体，

图3 肩关节屈曲角度对握力均值的影响

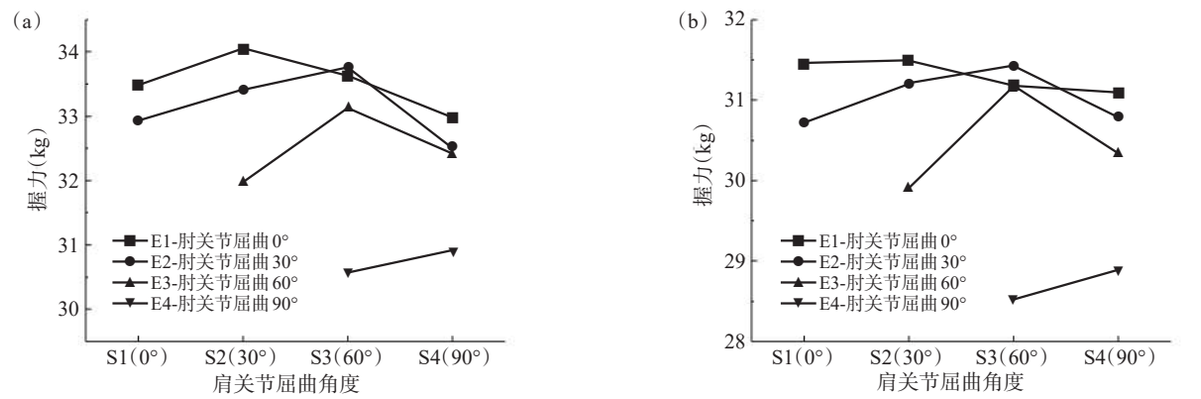
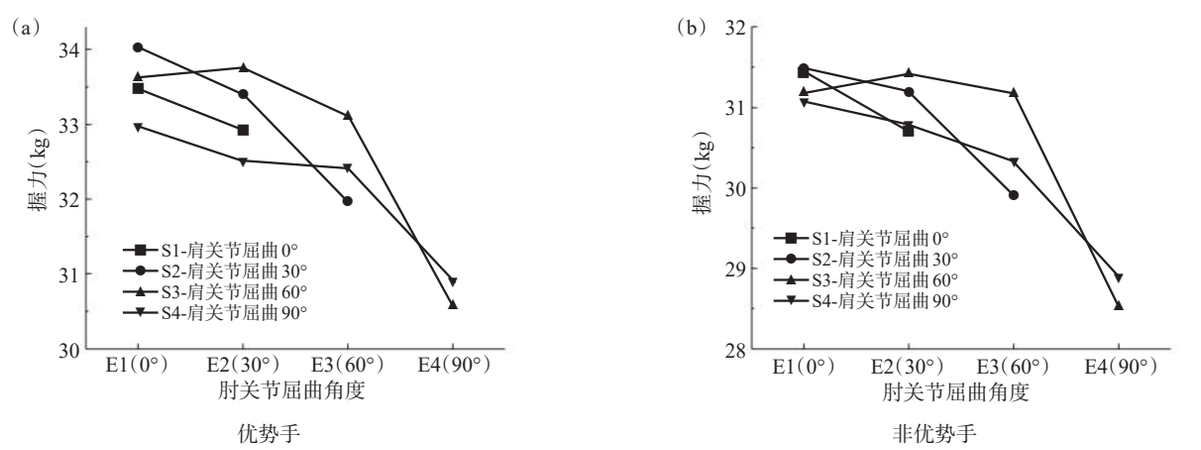


图4 肘关节曲角度对握力均值的影响



而非优势手更多的是协助优势手完成任务[24]。

在本研究中,不同的肘关节屈曲角度对握力值差异有显著的影响,不同肩关节屈曲角度对握力值差异没有显著的影响,这与Kong[16]的研究结果不同,Kong认为肘关节屈曲角度对握力值的影响不显著,而握力值随着肩关节屈曲角度的增加而明显增加,这是因为尺侧屈腕肌(FCU)、桡侧伸腕肌(ECU)、肱二头肌(BB)、前三角肌(AD)、上斜方肌(UT)等上肢肌群的整体肌肉活动随着肩关节屈曲角度增加而明显增加,从而导致肩关节对握力的影响较为明显。但也有文献[25—26]表明肩关节屈曲角度、肘关节屈曲角度均对握力值差异产生显著影响。与以上研究结果不同的原因可能是在实验过程中采用三脚架对握力计、肘部固定支架进行支撑,减少了克服握力计与手臂重力对测试结果的影响,因此在施加握力时,尺侧屈腕肌(FCU)、桡侧伸腕肌(ECU)、肱二头肌(BB)及肱三头肌(TB)的活跃程度不受前臂与肘部重力的影响,因此,肘关节屈曲角度的变化对握力的影响就尤为明显。本研究的测试角度是根据移动辅具的实际使用情况而设定的,选择双手同时进行握力测量,这也可能是导致研究结果存在差异的原因。

本研究结果显示肩关节屈曲0°—60°、肘关节屈曲0°—30°范围内取得较大握力值,较小握力值的角度范围是90°肘关节屈曲伴随着肩关节屈曲60°—90°。如图4所示,在任意肘关节屈曲角度下,双手的握力均值随着肩关节屈曲角度的增加呈现先增加后下降的趋势,这可能是由于人体常随着肩关节角

度的增加，肩部肌肉群的力臂值逐渐减小，而在肩关节屈曲过程中发挥重要作用的前三角肌（AD）的力臂值变化最为显著，且在60°—90°的力臂值最小[27]，从而导致在这一范围内握力较小。如图5所示，在任意肩关节屈曲角度下，双手握力均值随着肘关节屈曲角度增加呈现明显的下降趋势，这可以根据肌肉长度与张力的关系原理来解释，随着肘关节屈曲角度的增加，前臂抬高，屈指浅屈肌处于过度缩短状态并变得活跃不足，从而使握力值降低[28]。

因此，在进行移动辅具结构设计以及使用者在使用移动辅具时，推荐将使用者的手臂操作姿势保持在肩关节屈曲0°—60°、肘关节屈曲0°—30°范围内，在此范围内，使用者更易施加较大的握力，并且舒适度会更高，能够有效避免使用者因频繁施加较大握力而产生肌肉疲劳或骨骼损伤问题。避免将使用者的手臂操作姿势保持在肩关节屈曲大于60°并伴随着肘关节屈曲90°的位置，在此范围内，使用者施加握力较小，且更易产生不适感。

4 结论

本研究以移动辅具结构设计为出发点，搭建握力测量试验台，对32例志愿者分别进行了13个组合角度下的双手握力测量，结果表明：肘关节屈曲角度对握力值差异有显著影响，肩关节屈曲角度对握力值差异无显著影响；握力较大的肩关节屈曲角度范围是0°—60°、肘关节屈曲角度范围是0°—30°；握力较小的角度范围是90°肘关节屈曲伴随着肩关节屈曲60°—90°。因此，在进行移动辅具结构设计及使用者在使用移动辅具时，应推荐将使用者的手臂操作姿势保持在肩关节屈曲0°—60°、肘关节屈曲0°—30°范围内。

参考文献

[1] 肖娜, 徐纳新, 孙会芳, 等. 握力测试影响因素的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(9): 839—842.

[2] 张春华, 朱为模, 范本浩, 等. 上海市老年女性BMI和握力10年变化趋势分析[J]. 中国运动医学杂志, 2014,33(8):764—767.

[3] 杨延砚, 周谋望, 黄东锋. 最大握力和捏力检测用于脑卒中患者上肢功能评定的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2008, (5): 395—397.

[4] Mroszczyk-Mcdonald A, Savage PD, Ades PA. Handgrip strength in cardiac rehabilitation: normative values, interaction with physical function, and response to training[J]. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation & Prevention, 2007, 27(5): 298.

[5] Norman K, Stobäus N, Gonzalez MC, et al. Hand grip strength: outcome predictor and marker of nutritional status [J]. Clinical Nutrition, 2011, 30(2): 135—142.

[6] Sharma P, Rauf A, Matin A, et al. Handgrip strength as an important bed side tool to assess malnutrition in patient with liver disease[J]. Journal of Clinical & Experimental Hepatology, 2017, 7(1): 16—22.

[7] Beloosesky Y, Weiss A, Manasian M, et al. Handgrip strength of the elderly after hip fracture repair correlates with functional outcome[J]. Disability & Rehabilitation, 2010, 32(5): 367—373.

[8] 张力丹, 曹立峰, 高志强, 等. 700例健康人双手握力的测定及分析[J]. 山东医药, 2011, 51(4): 88—90.

[9] Lin JH, Mcgorry RW. Predicting subjective perceptions of powered tool torque reactions[J]. Applied Ergonomics, 2009, 40(1): 47.

[10] Kong YK, Kim DM, Lee KS, et al. Comparison of comfort, discomfort, and continuum ratings of force levels and hand regions during gripping exertions[J]. Applied Ergonomics, 2012, 43(2): 283.

[11] Lowndes BR, Heald EA, Hallbeck MS. Ergonomics and comfort in lawn mower handle positioning: An evaluation of handle geometry[J]. Appl Ergon, 2015, 51: 1—8.

[12] Tony BJA, Alphin MS. Assessment of ergonomically designed handle shapes for low-frequency vibration responses [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L Journal of Materials Design & Applications, 2018: 146442071876696.

[13] Yong-Ku K, Dae-Min K. The relationship between hand anthropometrics, total grip strength and individual finger force for various handle shapes[J]. International Journal of Occupational Safety & Ergonomics, 2015, 21(2): 187.

[14] Mcdowell TW, Wimer BM, Welcome DE, et al. Effects of handle size and shape on measured grip strength[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012, 42(2): 199—205.

[15] Kuijt-Evers LF, Groenesteijn L, De Looze MP, et al. Identifying factors of comfort in using hand tools[J]. Appl Ergon, 2004, 35(5): 453—458.

[16] Kong YK. The effects of co-ordinating postures with shoulder and elbow flexion angles on maximum grip strength and upper-limb muscle activity in standing and sitting postures[J]. International Journal of Occupational Safety & Er-

（下转第1353页）