

文章编号:1004-7220(2012)06-0614-05

中国男性青年人群的操作力测量与分析

柳忠起¹, 周前祥¹, 郑晓慧^{1,2}, 丁松涛²

(1. 北京航空航天大学 生物与医学工程学院, 生物力学与力生物学教育部重点实验室, 北京 100191; 2. 防化研究院 第一研究所, 北京 100191)

摘要: **目的** 建立中国男性青年人群的操作力数据库,为作业环境下的操作力设计提供基础数据。**方法** 在东北、华北、西北、西南、东南、华中、华南7个自然地域采集843名青年男性的人体测量和操作力数据,测量旋力、背力、不同施力方向上(推力、拉力、内扳力、外扳力)的臂力及同一施力方向不同肘部弯曲角度的臂力。对数据进行统计分析,并与国内外相关研究进行对比。**结果** 臂力的4个施力方向上,推力大于拉力,内扳力大于外扳力,推力最大,外扳力最小;在相同的施力方向上,推力和拉力随着肘部角度的增大而显著性增大,内扳力和外扳力随着肘部角度的增大而显著性减小;操作力之间存在着显著的相关性;人体测量参数中,体重和操作力之间有显著的相关性,而人体测量参数与操作力的相关性较弱;与西方国家的数据相比,我国青年人的操作力偏小。**结论** 通过全国范围内的采样,建立了我国男性青年人的操作力数据库,研究结果为人机系统中操作力的设计提供基础数据的支持,也为工效学研究、职业健康工作者以及康复研究人员提供参考。

关键词: 人体测量; 操作力; 臂力; 工效学; 采样

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

Measurement and analysis on operating force from Chinese young males

LIU Zhong-qi¹, ZHOU Qian-xiang¹, ZHENG Xiao-hui^{1,2}, DING Song-tao² (1. Key Laboratory for Biomechanics and Mechanobiology of Ministry of Education, School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; 2. The First Department, Research Institute of Chemical Defense, Beijing 100191, China)

Abstract: Objective To establish the operating force database of Chinese young males and provide basis information for the design of operating force in working place. **Methods** Anthropometric parameters of 843 Chinese young males from northeast, north, northwest, southwest, southeast, central and south China were collected, including the back force, hand twisting force, arm forces in four exerting directions and with various elbow angles. The data were statistically analyzed and compared with related researches in China and abroad. **Results** For arm forces in four exerting directions, the pushing force was greater than the pulling force, and the inward force was greater than the outward force. The pushing force was the largest and the outside outward force was the smallest. With the increase of the elbow angle, the pushing and pulling forces were increased significantly, while the inward and outward forces were decreased significantly. A significant correlation existed among the operating forces. There was significant correlation between the operating force and body weight, while weak correlation was found between the operating forces and anthropometric parameters. Operating forces of Chinese young males were relatively smaller than those of the Westerns. **Conclusions** By sampling on a national scale, the operating force database was established for Chinese young males. This study provides the basic data for the design of operating force in man-machine system and could be also used as reference for ergonomics researchers, occupational health workers and rehabilitation researchers.

Key words: Anthropometry; Operating force; Arm force; Ergonomics; Sampling

收稿日期:2012-03-21; 修回日期:2012-04-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31170895),人因工程国防科技重点实验室开放基金项目(HF2011-K-04),军队科研项目(Z3106)。

通讯作者:周前祥,教授,博士生导师,Tel:(010)82338696;E-mail:zqxg@buaa.edu.cn。

人体测量数据中,操作力是非常重要的基础数据。它是人机界面中控制单元设计、体力作业中任务负荷设计、以及一些特殊人群的选拔和训练的重要依据,在产品或系统设计的早期阶段应用这些数据的益处已经被工效学研究者、职业健康工作者和其他领域的设计人员所认可^[1]。美国早在 20 世纪 50 年代就开展了操作力数据的测量研究工作。Hunsicker^[2]模拟了车辆驾驶员控制操纵杆的动作,测量坐姿时人的手臂在不同施力方向和 5 个肘部弯曲角度的操作力数据,得到第 5、50、95 百分位的操作力数据。为了获得飞行员操纵座舱内驾驶杆的力量数据,Hunsicker^[3]还模拟了飞行员的操纵行为,测量臂力在不同方向和不同肘部弯曲角度时的操作力数据。从已有的操作力研究中可以看出,操作力的影响因素多、测量复杂,没有标准的测量工具和测量方法。即使在工效学研究非常广泛和深入的发达国家,如美国和日本,操作力数据也并不完备^[4]。

我国工效学研究起步较晚,操作力数据的积累也非常少,较大样本的测量工作近乎空白。最早的操作力测量是兵器工业部 201 所杨志贤等^[5]的工作,他们在 20 世纪 90 年代初测量了 126 名装甲兵左右手的推力、拉力、上提力、下压力以及脚蹬力数据,并形成了军用标准。Xiao 等^[6]采集了宁波市的 146 名男性和 47 名女性的握力、手臂的提举力和背力数据,并与国外的数据进行了对比。台湾也有一些研究人员对该地区青年人的操作力数据进行测量和研究^[7]。这些操作力数据都是对特定人群或某一区域人群的采样,而且样本量偏小。

已有的研究数据表明,不同人群、地区和种族的操作力数据存在着差异^[7]。在我国,目前能代表全国范围的操作力数据依然是空白,故希望通过本研究建立一个能代表中国青年人的操作力数据库。在作业场所,背力、旋力、臂力(推力、拉力、内扳力和外扳力)是使用频繁的较为典型的操作力,本文将对这些参数进行测量和分析,希望能为作业场所的力量设计提供基础数据的支持。

1 对象与方法

1.1 受试者

本次操作力的采样工作覆盖了我国东北、华北、西北、华中、东南、西南和华南 7 大自然地域,采集了

843 名男性青年人的操作力数据,年龄 18 ~ 34 岁,平均 22 岁,主要为大学的学生、办公室人员和工厂的工人。他们身体健康,自我陈述没有肌肉伤害和病痛史,全为右利手,同意积极配合测量工作。

对所有受试者进行了人体测量,测量参数包括:身高,体重,上臂长、前臂长、手长和手宽,参数的定义和测量方法参考了 GB 10000-88^[8]和 GB/T 5703-1999^[9]。

1.2 测量设备

操作力的测量设备包括肢体力综合测量仪和电子背力计,如图 1 和图 2。



图 1 肢体力综合测量仪(①-主机,②-手柄,③-座椅,④-支架)

Fig. 1 Body force measurement system



图 2 电子背力计

Fig. 2 Electronic measuring instrument of back force

电子背力计测量背力数据,精度为 0.1 kg。肢体力综合测量系统由北京航空航天大学航空航天人因工程实验室独立研制,可以自动测量和记录手臂的推力、拉力、外扳力、内扳力和旋力等人的操作

力数据,精度为 0.1 N。肢体力综合测量仪主要组成部分包括主机、操作力抓握手柄、座椅和固定支架。主机具有实时显示和自动记录功能;设备的研制充分考虑了人体尺寸的差异,实现了工效学设计。在测量工作前,肢体力综合测量仪和电子背力计在北京市计量检测科学研究院进行了标定。

1.3 测量参数及其定义

臂力测量人体手臂在 4 个不同施力方向的操作力大小,包括向前的推力、向后的拉力、向身体内侧的内扳力和向身体外侧的外扳力。除了 4 个方向的力,还测量了每个方向的 5 个不同肘部弯曲角度的力,包括肘部弯曲 60° 、 90° 、 120° 、 150° 和 180° 。图 3 为受试者肘部弯曲成 120° 时向前的推力的测量。

在测量臂力时,受试者着短裤和短袖坐于肢体

综合测量仪的座椅上,背贴座椅靠背,抬头挺胸,目视前方,右手的前臂保持水平,上臂在肘部与前臂成某一测量角度,右手的虎口正对前方握住手柄。当发出“开始”口令后,受试者开始由小到大向要求的方向发力,在 3 s 时间内将力发挥到最大,并保持 2~3 s,主试可以根据主机显示的力量动态曲线进行监测和控制,保证测量质量。

如图 4 所示,测量旋力时,受试者站立姿态,右手握住肢体力综合测量仪主机上的旋钮,沿顺时针方向用力旋转,直到其发挥出最大力量。如图 5 所示,受试者站立在电子背力计的踏板上,调整铁链的高度与受试者的膝盖平齐。受试者双手握住手柄,手心向后(身体一侧),双腿绷直,双臂伸直向上全力拉手柄,其最大值通过显示器读出。



图 3 肘部弯曲 120° 的推力测量

Fig. 3 Measurement of push force at 120° elbow angle



图 4 立姿旋力测量

Fig. 4 Twist force measurement



图 5 背力测量

Fig. 5 Back force measurement

由于是大样本的测量,在测量时,每个数据只采集一次,主试依靠显示屏上的数据变化曲线和数据的大小进行判断;如果觉得数据可疑,就让受试者重做一次施力动作,重新测量该数据以保证数据的有效性。

本研究中的测量数据在 SPSS 16.0 软件中进行了统计处理。

2 结果

对测量数据进行统计,得到了各个参数的平均值、最小值和最大值、标准差,以及在人机系统设计

时最常用的 3 个百分位数据(第 5、50、95 百分位)。表 1 是 843 名受试者的体重和人体参数统计数据。

本研究中,操作力数据为受试者右手的最大力量值。表 2 是臂力的 4 个方向(拉力、推力、内扳力和外扳力)和 5 个肘部弯曲角度的统计数据。在 4 个方向上存在这样的关系:外扳力 < 内扳力 < 拉力 < 推力,统计分析表明,任意两个方向的比较具有统计学差异性($P < 0.05$)。表 3 为旋力和背力的统计数据。

臂力的 4 个方向上的操作力以及在同一施力方向上不同的肘部弯曲角度之间存在着高度的相关

表1 人体测量参数统计数据

Tab.1 Anthropometric data

参数	平均值	标准差	最小值	最大值	P5	P50	P95
体重/kg	63.6	7.2	50	93	55.4	63.3	75.8
身高/mm	1 706	41	1 577	1 822	1 633	1 702	1 784
上臂长/mm	317	14	274	357	292	314	342
前臂长/mm	239	13	196	273	217	237	262
手长/mm	187	8	165	211	174	186	201
手宽/mm	83	3	72	93	78	84	89

表2 臂力在4个方向和5个肘部弯曲角度上的统计数据

Tab.2 Data of Arm force in five angles of elbow flexion 单位:N

方向	角度/(°)	平均值	标准差	最小值	最大值	P5	P50	P95
拉力	60	238	71	43	593	129	232	361
	90*	254	72	62	536	150	245	381
	120*	258	72	71	599	152	253	384
	150**	269	92	77	803	152	252	447
	180	240	77	73	694	134	230	378
推力	60	278	84	65	801	158	270	434
	90*	303	86	91	573	150	305	437
	120**	337	96	63	614	180	342	489
	150***	358	128	81	802	156	348	580
	180****	434	163	85	947	179	431	715
内扳力	60****	187	49	49	373	110	186	265
	90***	167	43	57	377	98	167	238
	120**	153	46	22	432	85	151	228
	150*	134	46	24	458	71	129	210
	180	110	37	36	480	61	107	168
外扳力	60***	136	36	23	319	85	133	206
	90**	113	29	38	278	72	110	168
	120*	104	26	33	245	66	101	148
	150	96	24	21	205	58	97	135
	180	89	27	26	434	52	87	126

注:*,在同一方向的力中,相同数量的“*”之间,臂力不存在显著性差异,不同数量的“*”(0~4)之间,臂力存在显著性差异,“*”数目越多,力值越大

表3 旋力和背力的统计数据

Tab.3 Data of twist and back force

操作力	平均值	标准差	最小值	最大值	P5	P50	P95
旋力/N	396	95	87	944	255	392	554
背力/kg	126	18	72	188	98	125	156

性。例如,在肘部弯曲角度为180°时,推力、拉力、内扳力和外扳力之间的相关系数 $r > 0.897$;推力的5个肘部弯曲角度之间的相关系数 $r > 0.985$ 。另外,臂力(以肘部弯曲角度为180°的推力为代表)、旋转力和背力之间也存在着高度的相关性,相关系

数 $r > 0.988$ 。

统计结果还发现,体重与所有类型的操作力都存在着明显的相关性, r 的范围为0.237~0.426,而身高、手长、手宽、前臂长、上臂长和操作力数据之间的相关性较弱, r 的范围为0.114~0.187。

本次测量的采样人群来自东北、华北、西北、华中、东南、西南和华南7大自然地域,相应采样人数分别为53、132、193、60、117、82和206人。7个地域的人体测量参数从平均值上对比,东北、华北、西北的受试者的身高、手长和手宽要比华中、华南和西南的要大一些。显著性检验结果表明,西南地区受试者的身高、手长和手宽3项人体测量参数与其他6个地区相比达到了显著性水平($P < 0.05$),其他6个地区的人体参数之间没有明显差异。对7个自然地域的操作力统计对比后没有发现明显的差异。

3 讨论

从表1的统计数据可以看出,和第一次全国人体尺寸测量数据相比(GB10000—88),体重和身高数据有所增大,上臂长、前臂长、手长、手宽数据与GB10000—88相近或略有增大,表明人体特征在20多年中发生了变化,特别是身高变化较大,这与有关研究一致^[10],表明本次测量的采样具有典型性和代表性;同时说明在这种条件下,原本掌握的数据不能适应国人身体发展现状。应对人体数据发生的变化,进行本次测量统计有重要意义,在相关产业发展中有其必要性和紧迫性。

对于臂力的测量,Hunsiker^[2]、杨志贤等^[5]、Chuang等^[4]做过类似的研究,分析了臂力在4个方向和5个肘部弯曲角度上的变化模式,本研究 and Hunsiker的结果一致,而与杨志贤等和Chuang等的结果略有区别。在Hunsiker和本研究中,推力要大于拉力;而杨志贤等和Chuang等的研究中,拉力大于推力,这可能和施力条件有关。Hunsiker和本次测量中,受试者施加推力时后背要靠着座椅的靠背,而杨志贤等和Chuang等测量时没有座椅靠背。有靠背时,受试者可以借助于座椅靠背的支撑充分地发挥背部和腰部肌肉的力量,表现出推力大于拉力的变化模式。在本次研究的补充测量时采集了277人的数据,针对有靠背和无靠背支持下推力的大小进行了对比,发现在肘部角度为90°、120°、150°、180°时,有座椅靠背支持比无靠背支持的推力分别

大19%、38%、49%和99%。在一些典型的驾驶舱室中,如各种汽车、坦克、飞机等,其座椅都是有靠背支撑的,如果操纵力较小,可能座椅靠背对作业人员的操控没有影响,但是当需要较大操纵力时,作业人员可以借助靠背更加稳定地进行操控。在人群采样方面,Hunsiker和Chuang等测量的分别是美国男性大学生和台湾男性大学生的臂力数据,而杨志贤等的数据来源于对装甲兵的测量,故本次测量的数据可以和Hunsiker和Chuang等的数据相比较。比较结果发现,此次测量结果与台湾人的数据比较接近,而明显比美国人的数据小,推力、拉力、内扳力和外扳力的平均值分别比美国人小29%、42%、35%、34%,这可能是由于人种的差异导致。相关研究中也类似的结果,例如肖国兵^[6]的研究发现,我国青年人双臂的抬举力比西方人低43%。

Chuang等^[4]的研究中还测量了背力数据,并分别与美国人(1966年)、英国人(1966年)和日本人(1979年)的数据进行了比较,发现台湾人的背力比美国人和英国人要小很多,而明显地大于日本人,本次背力测量结果和Chuang等的相近。

旋转力测量数据国内外非常少见,此次测量的旋转力数据没有找到可以参照和对比的数据,但是通过将本次测量的臂力和背力与国内外对比,可以认为此次旋转力数据具有一定的可靠性和准确性,对于人机系统中操作力的设计以及其他人员的研究具有一定的参考价值。

操作力的相关性特点可以在某些力量数据缺乏或者难以测得时,利用已测得的数据预测或外推未知数据,减少测量工作量。例如,利用肘部弯曲角度为90°的力量值预测肘部弯曲角度为120°的力量数据或者利用推力数据预测拉力。

4 结论

本文是对我国男性青年人操作力的首次全国范围内的大样本测量,通过对7个自然地域人群的采样和统计分析,可以得出如下结论:

(1)臂力在不同施力方向以及同一方向不同肘部弯曲角度上力量大小有明显差异,4个不同方向的力的大小顺序是推力、拉力、内扳力和外扳力;拉力和推力随着肘部角度的增大而增大,而内扳力和外扳力随着肘部角度的增大而减小。

(2)中国男性青年人的操作力数据明显小于西

方国家。

(3)臂力的不同施力方向以及同一施力方向不同施力角度的操作力之间具有高度的相关性;不同类型的操作力之间也存在着高度的相关性。

(4)我国的不同地区人群的操作力没有明显差异。

操作力数据不仅是人机系统设计的重要基础数据,而且对职业健康领域、国民体能素质衡量,以及专业岗位人员的选拔和训练具有重要的参考意义^[12]。由于影响操作力的因素较多、测量复杂,特别是进行一次全国范围的大样本采集是非常困难的事情,故不可能将所有类型的操作力在本次工作中完成,这有待将来的进一步工作的补充和完善。

参考文献:

- [1] 柳松杨,成海平,杨毅,等. 仿真躯干假人在评价救生伞开伞吨载中的应用[J]. 医用生物力学,2010,25(4):253-256. Liu SY, Cheng HP, Yang Y, et al. Application of emulational trunk dummy in evaluating the opening shock of life-saving parachute [J]. J Med Biomech, 2010, 25(4): 253-256.
- [2] Hunsicker PA. Arm strength at selected degrees of elbow flexion [R]. Technical Report No, WADC-TR-54-548., 1955.
- [3] Hunsicker PA. A study of muscle force and fatigue [R]. 1957, Report No. WADC0TR-57 586.
- [4] Chuang MC, You M, Cai D, et al. Isometric muscle strength of Chinese young males in Taiwan [J]. Ergonomics, 1997, 40(5): 576-590.
- [5] 杨志贤,李惠琴. 中国坦克乘员手操作力和腿蹬力的测量[C]//第一届全国人-机-环境系统工程学术会议论文集. 北京:科学技术出版社,1993:21-24.
- [6] Xiao GB, Lei L. Isometric muscle strength and anthropometric characteristics of a Chinese sample [J]. Int J Ind Ergonomic, 2005, 35(7): 674-679.
- [7] Wu SW, Wu SF. Measuring factors affecting grip strength in a Taiwan Chinese population and a comparison with consolidated norms [J]. Appl Ergon, 2009, 40(4): 811-812.
- [8] 席焕久,陈昭,主编. 人体测量方法[M]. 第2版. 北京:科学出版社,2010.
- [9] GB10000-88. 中国成年人人体测量尺寸[S].
- [10] GB/T5703-1999. 用于技术设计的人体测量基础项目[S].
- [11] 孙林岩. 人因工程[M]. 北京:高等教育出版社,2008:47.
- [12] 牛文鑫,王暘,何艳,等. 模拟跳伞着陆中踝关节防护对下肢肌活动性的影响[J]. 医用生物力学,2010,25(4):239-243. Niu WX, Wang Y, He Y, et al. Effects of ankle stabilizers on electromyographic activities of lower-extremity muscles during simulated half-squat parachute landing [J]. J Med Biomech, 2010, 25(4): 239-243.