

人体静态操作姿势与血流特性关系的实验研究

韩英, 洪军, 王欣, 艾红

(西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 运用多普勒超声测量仪器测量了不同静态操作姿势角度下人体的血流特性, 利用数理统计方法对所得数据进行统计分析, 得出了人体在不同姿势角度下血流特性的变化规律, 并在此基础上绘制出评分曲线. 实验结果表明, 人体在自然姿势角度时血流量最大, 但当人体偏离自然姿势时, 血流量则会越来越小, 并由此引起人体舒适性的变化. 此结果可作为人机工效的评价依据, 使得人们不仅能够判断出人体的舒适区域, 而且能够得到人体的最舒适姿势, 同时也可对仪器设备的设计起到指导性作用.

关键词: 人体静态操作姿势; 血流特性; 多普勒超声测量; 人机工效评价

中图分类号: TB18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)03-0312-04

Experimental Investigation to Relationship Between Static Postures and Blood Flow Characteristics

Han Ying, Hong Jun, Wang Xin, Ai Hong

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Blood flow characteristics are collected according to the principle of Doppler ultrasonic measurement and analyzed statistically to conclude the rule of blood flow in different postures. The experiments indicate that the blood flowrate is crests near the natural point, when people deviate from the natural point, blood flowrate reduces, and the more greatly people deviate from it, the less blood flowrate is. As one of the ergonomic evaluations, this investigation enables to identify the comfort range and the optimum position to guide the equipment designs.

Keywords: human body static operating posture; blood flow characteristics; Doppler ultrasonic measurement; ergonomic evaluation

设备的操作件设计与人体静态操作姿势角度有着密切的关系, 例如, 汽车驾驶舱内的方向盘、操纵杆等的设计都直接决定了人体的静态操作姿势. 目前, 有关人体姿势的准则已有了较为深入的研究, 并已提出了一系列的准则. 1977年, 芬兰的 Ovako Oy 钢铁公司提出了 OWAS 准则^[1], 1981年, 美国国家职业安全卫生研究所(NIOSH)提出了 NIOSH 提升方程^[2-3], McAtamney 和 Corlett^[4]在 1993年提出了 RULA 准则等等, 这些准则都已成为产品设备设计的依据. 但是, 传统人机工效学研究大多以主观

的定性结论、经验规则、几何接触约束为依据, 并很少考虑生物力学的规律. 因此, 应用定量的计算与分析方法, 使设计结果从生物学和生物力学的角度来满足人体的舒适性要求是很有意义的, 这使得人们不仅可以判断出人体的舒适区域, 更能得到人体的最舒适姿势.

1 人体疲劳的生理学机理

人体在静态操作姿势下, 身体长期保持某个姿势, 当局部区域的肌肉受到长时间压迫或者当肌肉

处于强烈的静态收缩状态时,血管因肌肉组织内在压力的压缩,血液流量减小,相对的血液所运载的氧与血糖也会变少,使正常的氧化分解无法进行.这时,主要进行糖的无氧酵解,新陈代谢产生的废弃物(尤其是乳酸)不能由血液及时迅速排出,一旦堆积就会引起肌肉酸痛,导致疲劳.因此,血流特性对人体疲劳的产生有着很大影响.本文确定以血流特性作为研究肌肉疲劳的生物力学指标,主要包括血流速和血流量等特性,这些都是反映血液循环状况的常用生理量.

血流情况对疲劳的影响一直都有人在研究^[5-8],但对于不同姿势角度对人体血流特性是否有影响,若有影响,血流特性随人体姿势角度的不同如何变化等问题,却未见相关的研究报道.本文即以此为出发点,对人体在不同姿势角度下的血流特性的变化情况进行研究,并以此为依据进行人机工效的分析.

2 血流特性实验

为了了解血流特性随不同姿势角度变化的情况,并对其所得到的变化情况进行比较分析,本文设计了客观和主观2个实验.实验参照 RULA 准则中人体的姿势动作,取上肢的6个主要动作进行实验,其中包括上臂侧举、上臂抬升、前臂弯曲、前臂旋转、手腕弯曲和手腕侧屈.

2.1 客观实验

本文采用彩色多普勒超声测量仪测量不同姿势角度下臂部血液的流速和流量,以上臂侧举为例展示整个实验过程.

受试者为5名志愿者,均为男性,身体健康,未经专门训练,无任何骨骼、肌肉疾病,且身体各项指标均在男子第5至第95百分位之间.当他们完成实验所需的动作后,即用多普勒超声测量仪测量他们左右手对应的动脉血流量.实验所得数据既可作为左右手对照,又可用作不同测试对象的数据处理,本文所测得的实验数据被用作不同实验对象的数据处理.

实验所用的设备是美国通用公司生产的超声波诊断装置,型号为 LOGIQ9(见图1).此设备主要运用彩色多普勒超声显像的原理,采用差频回声式显示方式.

实验中,5名受试者按照要求从40°~180°进行上臂侧举动作(由于测量条件的限制,只能测15个角度),受试者站在角度坐标系前,以坐标系中心为旋转中心,按照坐标系上的分度线摆放手臂的位置,以手臂自然下垂为零点位置,并以10°的增量慢慢向体侧举起手臂.受试者每完成一个动作,应保持30s,然后再由实验人员用超声诊断装置测量肱动脉的血流速、血流量及管径等值(见图2),部分测量结果如表1所示,其他实验过程也可以依照类似方法进行.



图1 超声波诊断装置



图2 血流量的测量过程图

表1 客观实验的部分测量结果(上臂侧举)

$\theta/(^{\circ})$	$S/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$D/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$M_n/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$S\cdot D^{-1}$	R_t	d/mm	$Q/\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$
40	89.1	23.1	35.1	3.87	0.742	4.0	252.5
50	78.3	21.1	34.4	3.71	0.731	3.7	188.0
60	82.1	25.3	39.6	3.28	0.695	3.6	228.9
70	86.6	22.6	39.2	3.78	0.736	3.4	234.1
80	65.9	9.12	21.0	3.78	0.736	3.4	99.5
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

注: θ 为测量角度; S 为最大血流速; D 为最小血流速; M_n 为平均血流速; R_t 为血管的阻力系数; d 为血管直径; Q 为血流量.

2.2 主观实验

受试者完成一个动作并保持 30 s 后,再对此动作姿势做主观评价,该主观评价分为 5 个等级,得分为 1~5(见表 2). 在实验中,根据各人的感受可对分值作适当调整,在每个等级之间又可取弱、较弱、中强、较强和强 5 个子等级进行评分,每个等级之间间隔为 0.2,然后由实验人员记录其主观描述,并给出相应的分值. 部分实验数据如表 3 所示.

表 2 主观评价等级表

等级	得分	主观描述
很舒适	1	无劳累感觉,操作力度合适
舒适	2	轻度劳累感,操作力度较合适
一般	3	操作力度中等
不舒适	4	身体感觉劳累,操作力度明显不够
很不舒适	5	全身劳累,从心理上不想再继续

表 3 部分主观评价实验数据(上臂侧举)

$\theta/(^{\circ})$	评价分值							
	01	02	03	04	05	06	07	...
0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	2.0	1.6	...
10	1.5	1.0	1.3	3.0	1.5	3.0	2.0	...
20	1.5	1.5	1.5	3.5	1.8	3.0	2.0	...
30	1.5	1.6	2.0	3.8	2.0	3.0	2.2	...
40	2.0	1.8	2.2	4.0	2.3	3.0	2.2	...
50	2.5	2.0	2.5	4.0	2.6	3.0	3.0	...
60	2.0	1.8	2.2	4.0	2.3	3.0	3.0	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

01~07:实验者的编号.

3 结果与分析

3.1 曲线拟合

采用曲线拟合和归一化的方法对由主客观实验获取的数据进行分析(主要分析角度与血流量之间的关系).

对于不同的受试者,在相同的角度变化范围内,数据变化是不同的,这样就导致不同受试者的实验数据在不同的区间范围内变化,难以进行横向比较. 因此,考虑采用归一化方法来对实验数据进行处理. 归一化方法是指通过求取坐标的比例因子进行纵坐标的伸缩变换,使得随角度变化的数据曲线转换为随角度变化的得分曲线,并将实验数据转换为分值,具体做法如下.

(1)应用多项式拟合函数分别对实验所得到的主客观数据进行多项式拟合,拟合后的目标函数为

$$Y = p_1 x^3 + p_2 x^2 + p_3 x + p_4 \quad (1)$$

式中: x 为已测得的数据; $p_i (i=1,2,3,4)$ 为拟合得到的多项式系数,由软件自动生成.

(2)记录曲线的最低点和最高点数值,应用式(2)或式(3)对数据进行归一化,通过公式把实验数据转化为归一化的值,取值区间在(0,10)之间

$$H = \frac{Y_{\max} - Y}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 10 \quad (2)$$

$$H = \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 10 \quad (3)$$

式中: Y 为多项式拟合后得到的值; H 表示归一化之后的得分值.

(3)根据归一化后的数据绘制分值曲线(上限是 10,下限是 0,区间增量为 1),坐标变换之后,得到单个受试者的归一化得分表. 当完成所有受试者的归一化得分表之后,取其平均值得到最终的主客观实验的分值曲线(见图 3 和图 4).

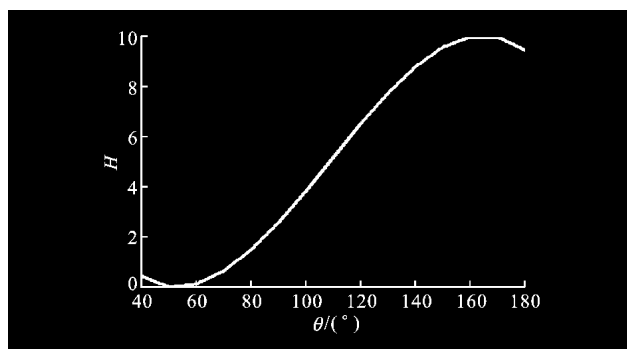


图 3 血流实验上臂侧举得分曲线

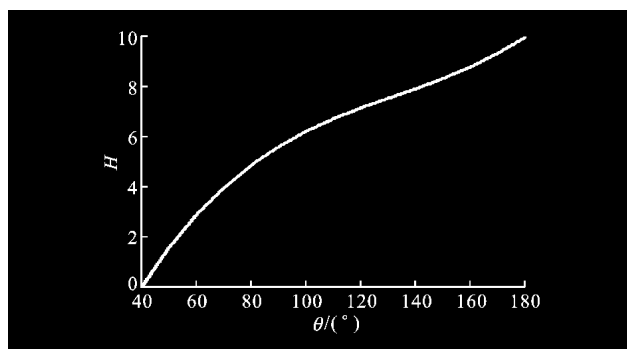


图 4 主观实验上臂侧举得分曲线

3.2 拟合曲线分析比较

实验所得到的分值曲线描述的是血流随角度的变化而导致的人体舒适性的变化情况,分值越高则血流量越低,人体越易感到疲劳而不舒适,反之亦然. 主观实验所得到的评分曲线描述了人体在不同角度下的主观感受,与血流特性实验曲线类似,分值越高则表示人体越不舒适.

文献[9]通过肌肉硬度实验,作出了一系列的分值曲线,图5为其中的一条曲线.从图3、图4和图5的比较中可以看出,3条曲线大体上都呈现上升的趋势,这表示随着上臂侧举角度的增加,人体越来越不舒适.主观实验和肌肉硬度实验得分曲线的最舒适和最不舒适点,分别出现在起始位置和终止位置,但是血流特性实验所得曲线却有2个拐点,分别出现在 $\theta=60^\circ$ 和 $\theta=160^\circ$ 附近.之所以出现这样的差异,可能与实验所测量的数据组有关,由于受到实验设备的限制,血流特性实验只能从 40° 开始测量,因此所测量的数据点比肌肉硬度实验要少.实验表明,测量初始位置与极限位置附近的血流特性不稳定,这也是其中的原因之一.上臂抬升也由于测量数据点比较少而出现了类似的情形,但其余动作,例如手臂弯曲等,由于测量范围比较一致,因此主观实验、血流特性和肌肉硬度实验所得结果的零点与极限点出现的角度大致相同.

实验中的侧举与抬升动作之所以出现差异,有可能是由于所测量的数据点不统一而引起的,正因为存在着这些差异,使得得分曲线的有效性还需在进一步的实践中逐渐得到验证.

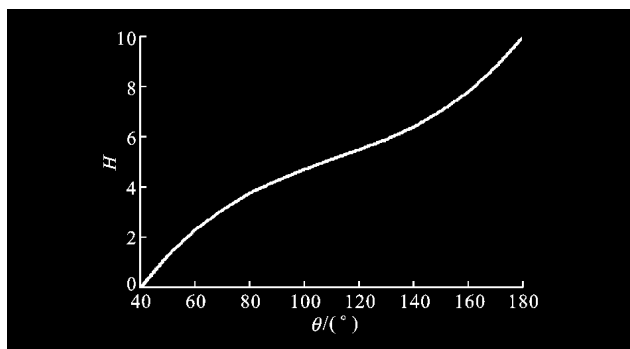


图5 肌肉硬度实验上臂侧举得分曲线

4 结 论

由于肌肉疲劳与血液循环有着密切的关系,因此用血流特性的变化来描述肌肉疲劳的状况,是有一定理论依据的.本文通过对实验所得数据进行分析,得到了血流量随人体姿势角度变化的规律,绘制的血流量随角度变化的连续曲线,很清楚地表示了

不同姿势角度下人体舒适性的变化.本文的实验为定量地进行人机工效评价提供了依据,使得人们可以从一个新的角度对人体的舒适性作出更为精确的评价.然而,由于实验手段不同,得出的结论也不尽相同,因此各实验结果的有效性需在以后的应用实践中逐渐得到验证.

参考文献:

- [1] Heinsalmi P. Method to measure working posture loads at working site (OWAS)[C]// the Ergonomics of Working Postures. London: Taylor & Francis, 1986:100-104.
- [2] Bernard B P. Musculoskeletal disorders and workplace factors:a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back [M]. Cincinnati, USA: Department of Health and Human Services, DHHS (NIOSH) Publication, 1997:97-141.
- [3] Dempsey P G. Usability of the revised NIOSH lifting equation[J]. Ergonomics, 2002, 45(12):817-828.
- [4] McAtamney L, Corlett E N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders[J]. Applied Ergonomics, 1993,24(2): 91-99.
- [5] Barcroft H, Millen J L E. The blood flow through muscle during sustained contraction [J]. J Physiol (Lond), 1939(97):17-31.
- [6] Bystrom E G, Kilbom A. Physiological response in the forearm during and after isometric intermittent hand-grip[J]. J Appl Physiol,1990(60):457-466.
- [7] Cecilie. Muscle activity and blood flux during standardized data-terminal work[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2002(30): 251-264.
- [8] Griffin L. Blood flow in the triceps brachii muscle in humans during sustained submaximal isometric contractions[J]. Eur J Appl Physiol,2001(84): 432-437.
- [9] 提召尧. 基于生物力学的车辆操控人机评价准则研究 [D]. 西安: 西安交通大学先进制造技术研究所, 2006.

(编辑 管咏梅)