

人机学基础 ——人体生物力学特性

制作：孟现柱

mengxz@lcu.edu.cn

<http://rj.lctu.cn/>





教学目标

- 1、了解骨骼的功能、力杠杆、关节的作用、肌肉的力学特性；
- 2、知道手和脚的作用力的特点、人的作业姿势与操纵力的关系以及其对安全生产的影响；

<http://rj.lctu.cn/>



教学的重点、难点

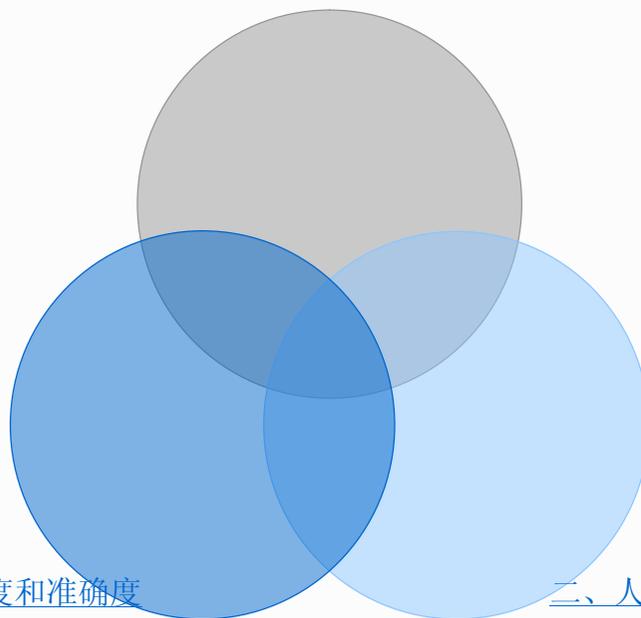
- 1、教学重点：手和脚的作用力的特点、人的作业姿势与操纵力的关系
- 2、教学难点：
- 人机工程学基础：手和脚的作用力的特点、人的作业姿势与操纵力的关系

<http://rj.lctu.cn/>



本章目录

二、人体生物力学的一般知识



三、人体活动的速度和准确度

二、人体各部分的操纵力

<http://rj.lctu.cn/>



一、人体生物力学的一般知识



- 运动系统中的骨骼、关节和肌肉在神经系统支配下，使人体各部分完成一系列的运动。

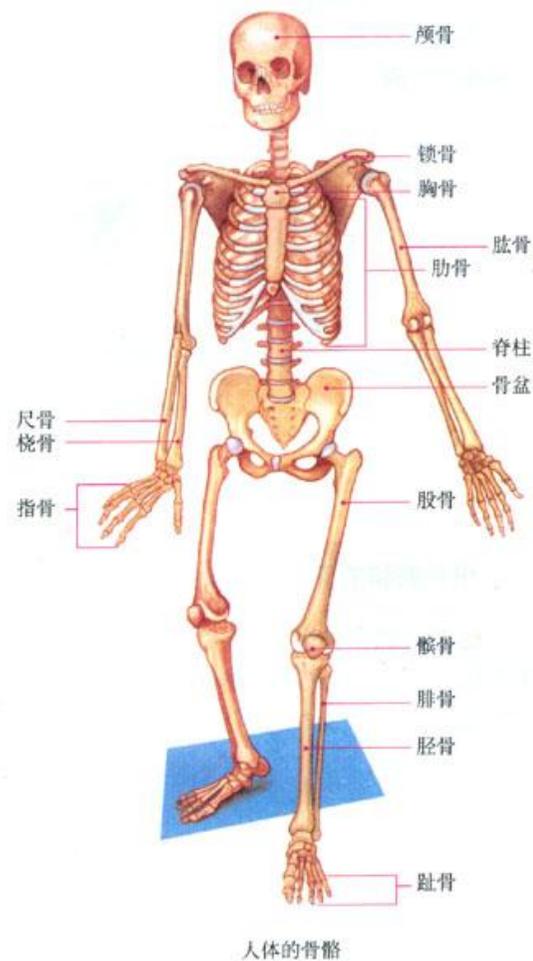
网球运动员主要肌肉群的透视图 <http://rj.lctu.cn/>



(一) 骨骼

1) 人体骨骼全图

- 骨骼由颅骨、躯干骨、四肢骨三部分组成，全身约有206块骨。是人体内部的支撑结构。



<http://rj.lctu.cn/>



(一) 骨骼

2) 人体骨骼特点

- 1、在一定范围内，骨的应力—应变关系服从虎克定律。
- 2、骨的密度比钢小得多，其强度也不如钢的大，但比花岗岩和洋松要高得多，具有强度高、重量轻的特点。
- 3、人体各部位骨的抗压强度最大，抗弯强度次之，抗扭强度最小。这对人体负重、搬运的研究和受力设计具有特别意义。

<http://rj.lctu.cn/>



(一) 骨骼

3) 骨杠杆

- 人体运动中，骨骼在肌肉牵引下绕关节转动，它的原理、结构和功能与杠杆类似，因此叫骨杠杆。在骨杠杆中，关节是支点，肌肉是力源，肌肉与骨的附着点称为力点，作用于骨上的阻力的作用点称为重点（即阻力点）。



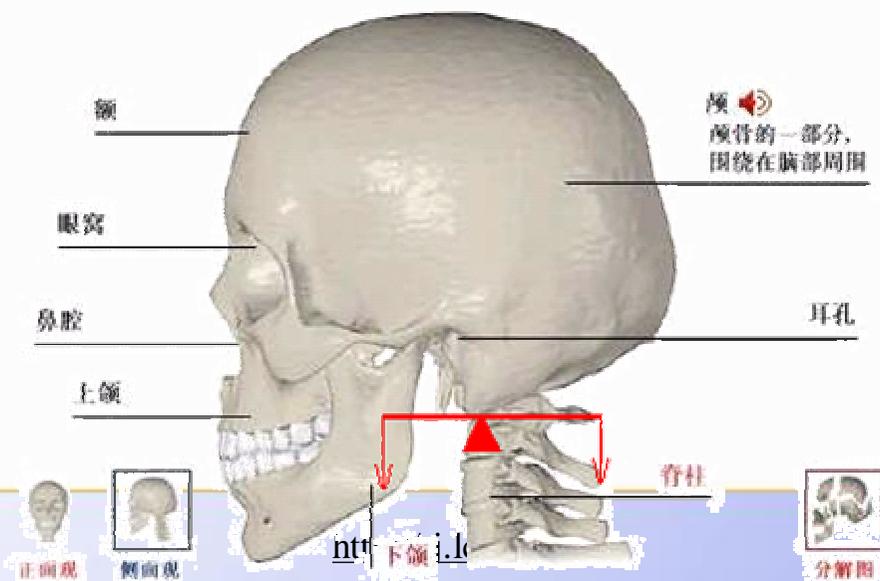
<http://rj.lctu.cn/>



(一) 骨骼

3) 骨杠杆

- 人体活动中主要的骨杠杆形式：
- (1) 平衡骨杠杆。 人体支点位于重点与力点之间，类似天平秤的原理，例如通过寰枕关节调节头的姿势的运动。





(一) 骨骼

3) 骨杠杆

- (2) 速度骨杠杆，力点在重点和支点之间，阻力臂大于力臂，例如手执重物时肘的运动，此类杠杆的运动在人体中较常见。



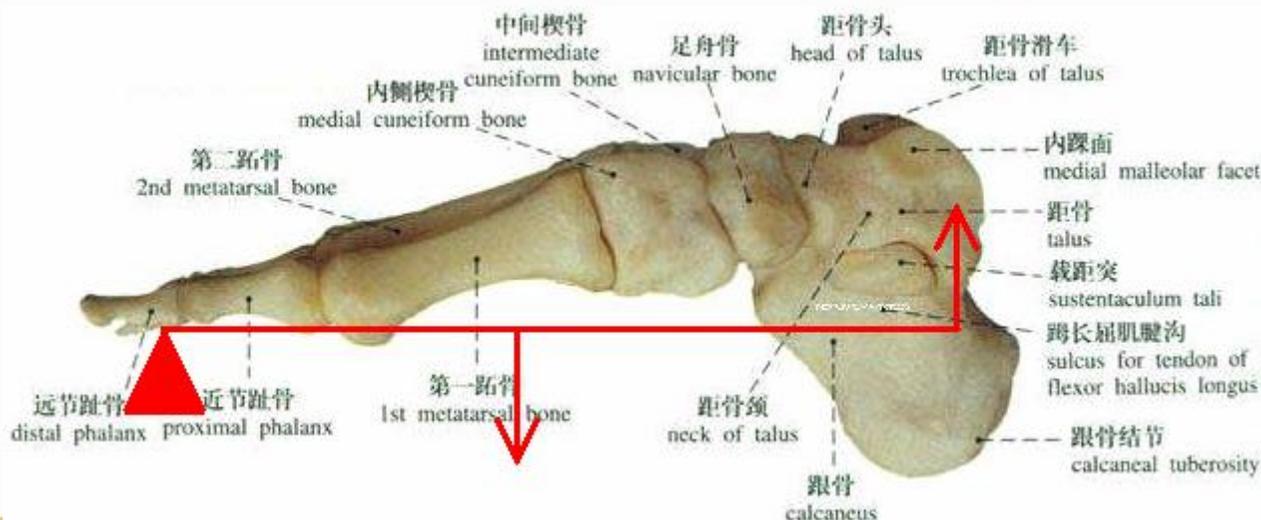
<http://rj.lctu.cn/>



(一) 骨骼

3) 骨杠杆

- (3)省力骨杠杆。此类骨杠杆的重点位于力点与支点之间，例如足跟踩关节的运动。



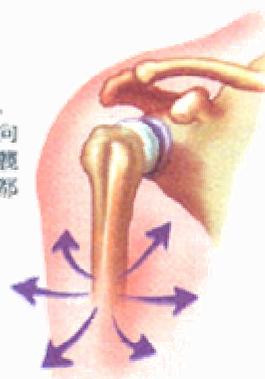
<http://rj.lctu.cn/>



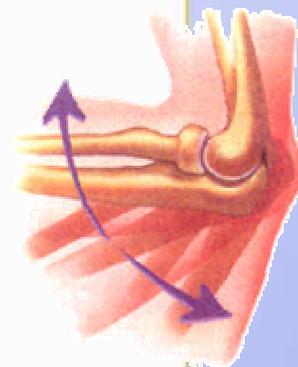
(二) 关节

- 关节起骨间连接且能活动的作用。根据关节的活动范围，关节分为：球窝关节（可一个方向旋转，如肩关节和髋关节），滑车关节（只能向前或向后旋转，肘关节和指关节），微动关节（只能允许平面间或往返的运动，脊椎骨间关节）。

球窝关节
可以旋转，
可以向各个方向
转动和旋转。髋
关节和肩关节都
是球窝关节。



滑车关节：
只能向前
或向后转动。
肘关节和指关
节都是滑车关
节。

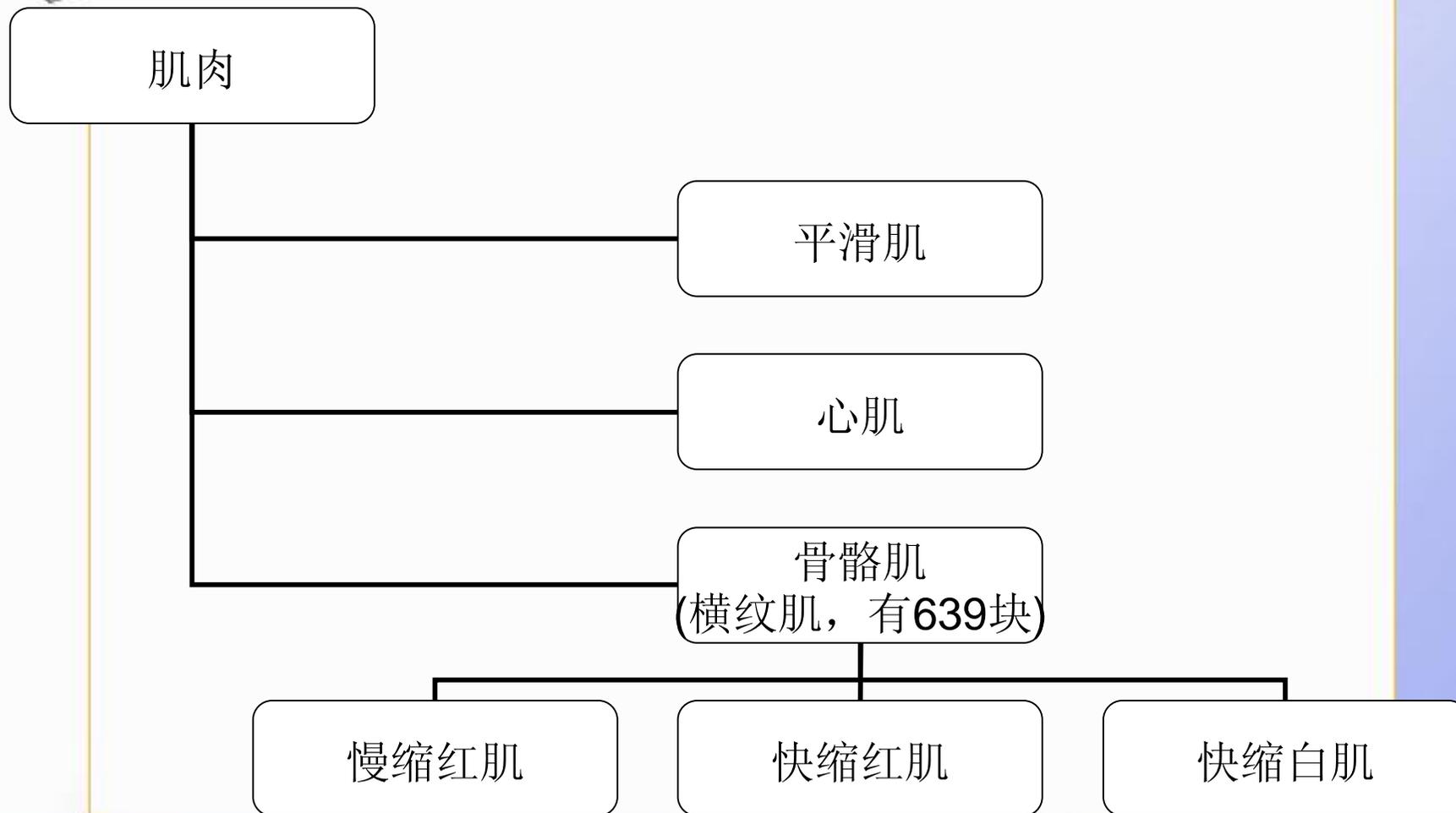


微动关节（平面关节）：
只允许平面间或往返
的运动。脊椎骨间形成有
微动关节，腕骨间关节有
的是微动关节，跗骨间有
微动关节。

<http://rj.lctu.cn/>



(三) 人体肌肉



<http://rj.lctu.cn/>



(三) 人体肌肉

- 肌肉拉伤指肌肉主动强烈的收缩或被动过度的拉长所造成的肌肉细微损伤或部分撕裂或完全断裂。
- 肌肉萎缩指骨骼肌体积的缩小，可由于肌纤维变细或消失，是许多神经肌肉疾病的重要症状和体征。

<http://rj.lctu.cn/>



二、人体各部分的操纵力

(一) 手的操纵力

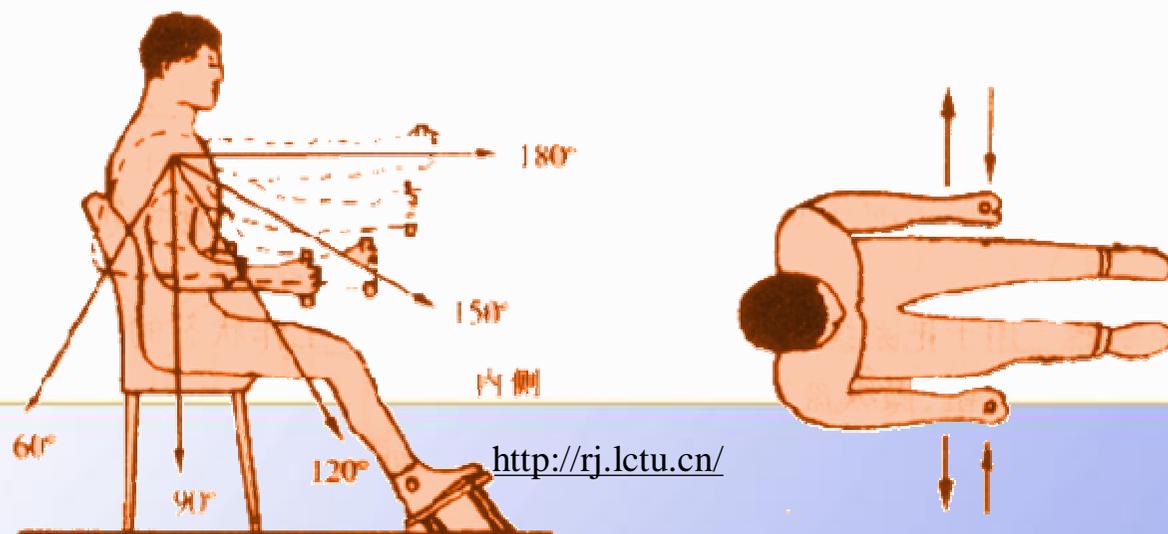
- 手操纵力的大小与人体姿势、着力部位、用力方向和用力方式都有关系。

<http://rj.lctu.cn/>



(一) 手的操纵力

- (1) 坐姿操纵力：左手的力量小于右手；拉力大于推力；手臂处于侧下方时，推、拉力量都较弱；手臂处于正下方时，其向上和向下的力量都较大，且向下的力量大于向上的力量。



不同角度和方向的操纵力数值

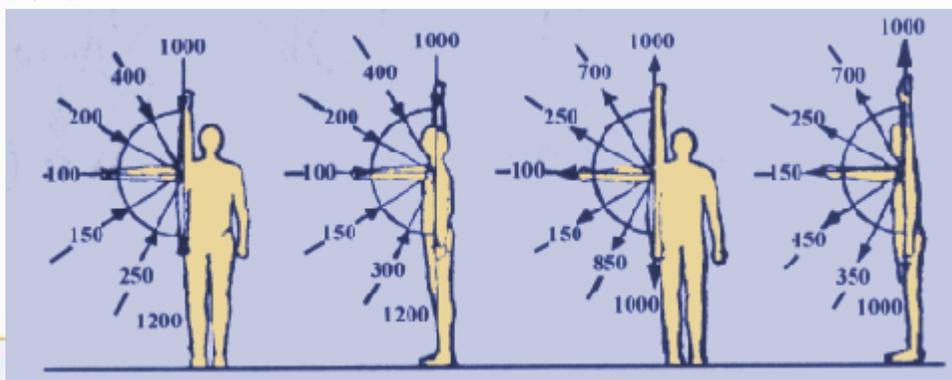


手臂的角度	拉力		推力	
	左手	右手	左手	右手
	向后		向前	
180	230	240	190	230
150	190	250	140	190
120	160	190	120	160
90	150	170	100	160
60	110	120	100	160
	向上		向下	
180	40	60	60	80
150	70	80	80	90
120	80	110	100	120
90	80	90	100	120
60	70	90	80	90
	向内侧		向外侧	
180	60	90	40	60
150	70	90	40	70
120	90	100	50	70
90	70	80	50	70
60	80	90	60	80



(一) 手的操纵力

- (2) 立姿操纵力 立姿时，手臂的最大拉力产生在肩的下方 180° 和肩的上方 0° 的方向上。同样，推力最大的方向是产生在肩的上方 0° 方向上。所以，以推拉形式操纵的控制装置，安装在这两个部位时将得到最大的操纵力。

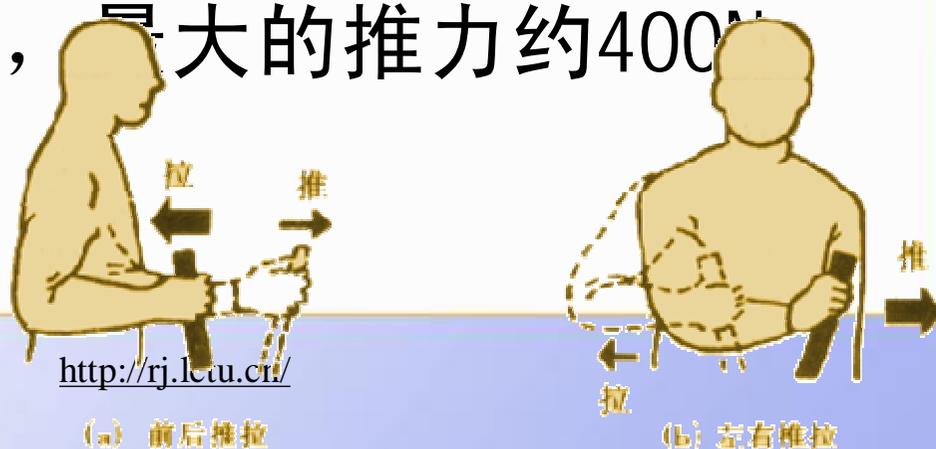


<http://rj.lctu.cn/>



(一) 手的操纵力

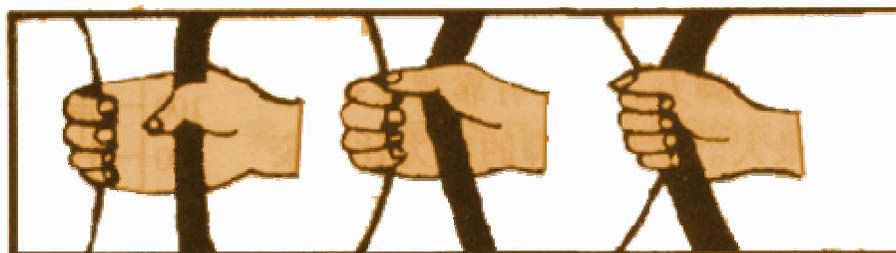
- (3) 拉力和推力 在站姿手臂水平向前自然伸直的情况下，男子平均瞬时拉力为703N，女子平均瞬时拉力为386N。当手作前后运动时，拉力(向后)要比推力(向前)大。瞬时最大拉力可达1100N，连续操作的拉力最大约300N。当手作左右方向运动，则推力大于拉力，最大的推力约400N。





(一) 手的操纵力

- (4)握力 一般人的右手握力约380N，左手握力约350N。但是，一般青年男子右手瞬时最大握力有560N，左手有430N。握力与手的姿势和持续时间有关，当持续一段时间后，握力显著下降，如保持1min后，右手平均握力约280N，左手约250N。

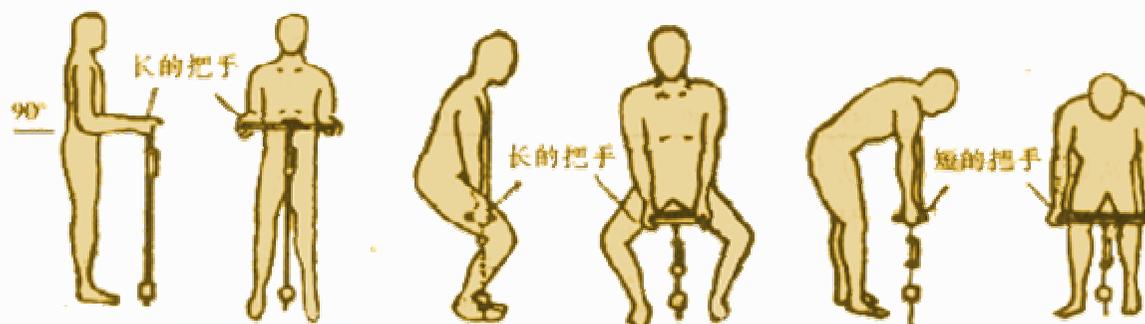


<http://rj.lctu.cn/>



(一) 手的操纵力

- (5) 扭力 双臂作扭转有三种不同操作姿势，直立操作时平均扭力男子为 $389 \pm 130\text{N}$ ，女子为 $204 \pm 80\text{N}$ 。屈身操作时平均扭力男子为 $555 \pm 249\text{N}$ ，女子为 $272 \pm 141\text{N}$ ；弯腰操作时平均扭力男子为 $962 \pm 342\text{N}$ ，女子为 $425 \pm 200\text{N}$ 。



<http://rj.lctu.cn/>



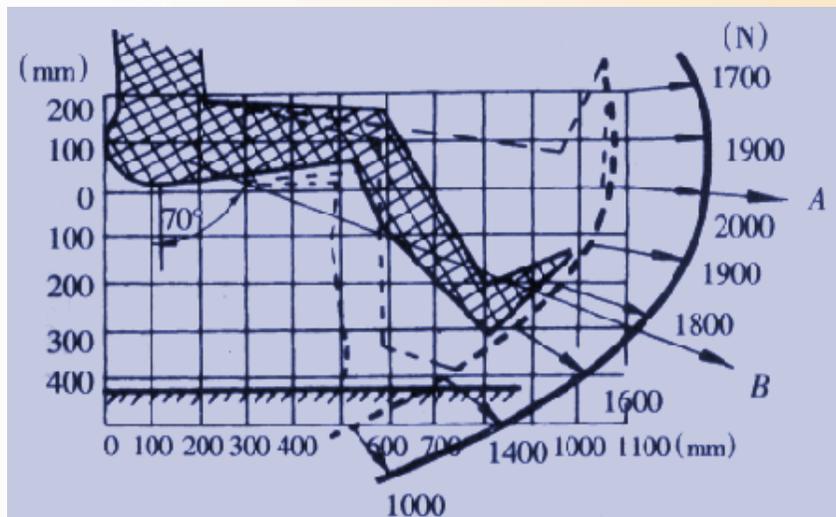
（二）脚的操纵力

- 脚出力的大小，与人的姿势、脚位置和方向有关。
- 下肢伸直时的脚力大于弯曲时的脚力。
- 立姿时脚的出力比坐姿时大。但坐姿有靠背时，脚出力最大。
- 一般坐姿时，右腿最大蹬力平均可达2620N，左腿为2410N。据测定，膝部伸展角度在 130° - 150° 或 160° - 180° 之间时，腿的蹬力为最大。在坐姿的情况下，脚的伸出力大于屈曲力。

<http://rj.lctu.cn/>



脚处于不同位置上的蹬力



脚 别	屈曲力 (N)		伸出力 (N)	
	男	女	男	女
右 脚	338	239	488	351
左 脚	305	213	430	305

<http://rj.lctu.cn/>



(三) 影响人体作用力的因素

- 1、体重
- 体重对操作既有好处也有坏处，应该取其有利的一面，采取相应姿势尽量使体重发挥作用。

<http://rj.lctu.cn/>



(三) 影响人体作用力的因素

- 2、体位
- (1)立位作业——可以改变姿势，活动范围大，操纵力大，立位不易精细工作，不易转换操作，易疲劳，但如果适当走动，可以减轻疲劳。
- (2)坐位操作——可以长时间精细工作，可以手足并用，但不易改变姿势，用力受限，工作范围局限，久坐易疲劳。
- (3)躺位操作——易疲劳。

<http://rj.lctu.cn/>



三、人体活动的速度和准确度

- 在控制装置设计中，不仅考虑人体运动器官的出力大小，还应该考虑人体活动的速度和准确度。即考虑动作速度、动作频率和灵敏度。

<http://rj.lctu.cn/>



1、肢体的动作速度和动作频率

- 动作频率是指在一定时间内动作所重复的次数。
- 动作速度和动作频率首先决定于肌肉收缩的速度。

<http://rj.lctu.cn/>



(1) 动作速度、频率与动作部位的关系

动作部位	动作速度或频率
手的运动 cm.s^{-1}	35
控制操纵杆位移 cm.s^{-1}	8.8~17
手指敲击的最大频率 次 s^{-1}	3~5
旋转把手或驾驶盘 r.s^{-1}	9.42~29.46
身体转动 次 s^{-1}	0.72~1.62
手控制的最大谐振截止频率 Hz	0.8
手的弯曲与伸直 次 s^{-1}	1.0~1.2
脚掌与脚的运动 次 s^{-1}	0.36~0.72

肢体动作速度和动作频率取决于动作部位 <http://www.fineprint.cn/>



(2) 动作速度、频率与运动器官的关系

动作部位		动作特点	最少平均时间 (s/次)
手	抓取	直线的	0.07
		曲线的	0.22
	旋转	克服阻力	0.72
		不克服阻力	0.22
脚	直线的	0.36	
	克服阻力的	0.72	
腿	直线的	0.36	
	脚向侧面的	0.72~1.45	
躯干	弯曲	0.72~1.62	
	倾斜	1.26	

<http://rj.lctu.cn/>



(3) 最大频率与运动器官的关系

动作部位	最大频率 (次/min)
手指	204~406
手	360~430
前臂	190~392
臂	99~344
脚	300~378
腿	330~406

<http://rj.lctu.cn/>



(4) 最大频率与左右手的关系

动作种类	最大频率	
	右手	左手
旋转 (r/s)	4.8	4.0
推压 (次/s)	6.7	5.3
打击 (次/s)	5~14	6.5

<http://rj.lctu.cn/>



(5) 操作速度、频率与操纵机构的关系

- 操作者的操作速度和频率还与操纵机构的形状、大小、以及持续操作时间等因素有关，由表中可看出，手柄长度为60mm时，最大转动频率可达到最高。

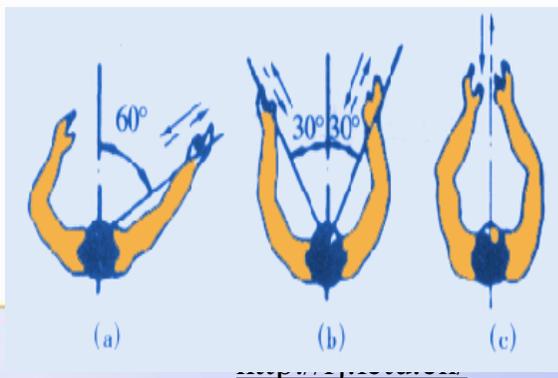
手柄长度 (mm)	最大转动频率 (r/min)
30	26
40	27
60	27.5
100	25.5
140	23.5
240	18.5
580	14

<http://rj.lctu.cn/>



(6) 操作速度、频率与动作轨迹的关系

- 对于动作速度，还取决于动作轨迹。为了获得最佳的**动作速度**和**动作频率**，当一只手操作时，合理轨迹应在水平面内向外 60° 的直线方向；两只手同时操作时，合理轨迹应在水平面内两侧分别约 30° 的直线方向；若用于精确调整，则以沿中轴线方向为好。





2、人体动作的灵活性

- 1、在操纵时产生突然或平稳的改变方向时，圆形轨迹比直线轨迹灵活。
- 2、手向着身体动作比离开身体的动作灵活而准确，向前后往复动作比向左右往复动作的速度大。
- 3、最大动作速度与被移的负载的重量成正比，而达到最大速度所需要的时间与被移动的负载成正比，动作的方向和轨迹应当满足工作动作准确性的要求。
- 4、人体较短部位的动作比较长部位的动作灵活；人体较轻部位的动作比较重部位的动作灵活；人体体积较小部位的动作比较大部位的动作灵活。

<http://rj.lctu.cn/>



3、人体动作设计

- 为了使动作速度、频率、准确性和灵活性很好地结合，人体动作设计应该遵循的10条规律：
 - (1) 劳动时，不论连续动作时间长短，都应在最有利的位置开始和结束。
 - (2) 沿曲线的、直线的或不规则轨迹的动作，都应该让操作者的动作从容不迫。
 - (3) 具有急剧改变方向的动作，应尽量采用流畅而连续的动作。
 - (4) 手在水平内动作比在垂直面内的动作要准确。
 - (5) 工作时的动作次数应尽量减少，频率应降低。

<http://rj.lctu.cn/>



3、人体动作设计

- (6) 重要作业尽可能由一个人的动作完成。
- (7) 最重要和常用的装置或工具应当放在最有利范围之内。
- (8) 操纵者的操纵动作，按适宜的半径作圆周运动比沿直线运动好。
- (9) 从一个操纵位置到另一个操纵位置的动作应当平稳，不允许有跳跃式动作。
- (10) 如果操作者不可避免地按不正确的轨迹动作时，应当考虑改变手的动作，这时采用直线形式的轨迹要灵活些。

<http://rj.lctu.cn/>



作业与思考

- 1、名词解释：力杠杆、关节分类
- 2、简述手和脚的作用力的特点
- 3、简述、人的作业姿势与操纵力的关系



<http://rj.lctu.cn/>



安全人机工程学

制作：孟现柱

mengxz@lcu.edu.cn

<http://rj.lctu.cn/>