

0123745

工业劳动生理学

[英] L. 勃洛哈 著 閻宗林 译

上海科学技术出版社

工业劳动生理学

〔英〕L. 勃洛哈 著

閻宗林 譯

邵循道 校

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书系作者根据他所领导的实验室在十五年中积累的研究成果编写而成。

全书分三篇。第一篇从人体肌肉活动生理学方面的研究,阐述工人在一般劳动过程中所引起的一系列生理机能反应,以及这些反应在研究工业劳动紧张问题和制订合理工作与休息标准中的实际意义。第二篇介绍物理环境和化学环境对个体的影响等对劳动环境的生理研究,和这方面的各种新研究方法。第三篇根据上述研究,提出改善劳动环境条件、减少疲劳、提高工作能力、改进技术劳动措施等方面的建议。

本书可供劳动卫生理论与实际工作者、应用生理学研究人员以及有关工业生产组织部门工作人员参考之用。

PHYSIOLOGY IN INDUSTRY

Lucien Brouha

Pergamon Press, 1960

工 业 劳 动 生 理 学

閻宗林译 邵循道校

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可证出 093 号

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印张 4 20/32 排版字数 122,000

1963年10月第 2 版 1963年10月第 1 次印刷

印数 1—2,000

统一书号 14119·704 定价(十二) 0.66 元

譯者的話

在組織的關懷與支持下，我終於利用業餘時間譯完了此書。翻譯過程中，承蒙我院外文教研組邵循道主任在百忙中熱心地指導和對全部譯文作了詳盡的校改；第一篇又蒙李湧老師作了初校；並承我院衛生學教研組李安伯老師對譯文某些章節就有關業務方面提出了寶貴的意見；還得到其他同志的協助，才能完成這一翻譯工作，在此一併表示深切的謝意！

我衷心地感謝前我院黨委書記李廣濤同志，感謝他對於翻譯此書的熱情關懷和鼓勵。

需要說明的是，原文中有與我國國情不符之處，譯時刪去了。

限于譯者的業務和英語水平，加上這是初次的翻譯嘗試，錯誤之處在所難免，謹希讀者惠予指正。

譯者 1963 年 8 月於西安醫學院

目 录

第一篇 工人	1
第一章 肌肉活动的生理	1
肌肉收缩和给氧	2
体力劳动和心血管机能	5
第二章 若干影响中温下劳动的生理反应因素	12
肌肉活动种类的影响	12
个体因素的影响	16
个体的训练和差异	26
第二篇 环境	37
第一章 物理环境的一般影响	37
第二章 热强度的分析	44
连续劳动的效果	46
重复工作周期的影响	54
衣着和防护装备的影响	64
第三章 化学环境的生理学研究	66
第三篇 工作	83
第一章 各种工作生理要求的衡量	83
心血管紧张的实际分析	86
测力踏板	98
第二章 如何减轻紧张和疲劳：改善工作条件的研究	106
减轻工作负荷	108
减少热负荷	110
合理的休息时间	120
工人工作队的组织问题	125
交替在不同环境中工作	127
汗液损失的补偿问题	130
第三章 工人的选择、安置和管理	138

第一章 肌肉活动的生理

任何工业作业中所牵涉到的外力是可以测出的，但是在制定工作和休息标准时，往往忽略了这些外力对工作的生理消耗和人体效能的关系。因而，所制定的标准并不一定能反映出用最小的力来完成一种操作所需要的时间；更不能反映出操作以后保证适当的生理恢复所需要的时间。

为了确定不同强度肌肉活动的生理效果，人们做过许多实验。已经知道，身体从休息状态转入体力活动状态时，许多生理机能就由“休息水平”（resting level）转为“工作水平”（working level）。心率、血压、心输出量、氧的消耗、肺通气量、二氧化碳的产生、血液和尿的化学组成、体温和出汗率等，都因肌肉活动而发生改变。

测量肌肉活动时上述一种或几种的变化，就有可能确定“工作水平”与“休息水平”之间的差异程度。这样就可估计完成某项工作时所经受的生理紧张。当活动停止时，也有可能去观察这些变化如何回到“休息水平”，从而确定“恢复期”的长短。个体是在恢复期之末才恢复到活动前的生理平衡状态的。为了计算总的生理消耗，人们必须对工作期间和恢复期间的生理反应都考虑进去。因为当机械活动停止时，在身体还没有完全恢复之前，生理活动还继续处在休息水平以上。换言之，从人体的观点着眼，一个完整的“工作周期”（work cycle）应当包括工作的生理消耗，再加上恢复的生理消耗。

“工作水平”的情况可因工作负荷、工作环境及个体体力情况的不同而异。恢复到休息状态的速度，也因同样的因素而不同，并

与工作中所經受到的“紧张”成比例。因此，須要根据恢复过程来估計导致身体疲劳的情况。一个人如果在两个工作周期之間不能恢复到滿意的水平，那末，再做几輪工作时就会出现越来越高的生理反应；而且随着一班又一班的工作，疲劳就会累积起来。如果疲劳不太严重，則在两班之間的休息当中便可完全恢复疲劳，而在下一班上班时，将呈现出“休息水平”的生理反应。但如果到了較严重的生理紧张的程度，那末两班之間的休息就不足以保証完全的恢复，因而会出现几天、几周甚至几个月的累积疲劳。因此，对特殊的工业操作相当精确地計算出生理恢复時間，及其“生理的休息标准”(physiological rest allowance)，是极其重要的。

現在我們来談談肌肉活动中所涉及到的主要生理因素。

肌肉收縮和給氧

供肌肉收縮的“燃料”，通常是在放能过程中氧化的。由于貯存在体内的氧是最小程度的，因此血液循环必須不断供給氧气以保証这些氧化过程。当氧的量足够时，肌肉的收縮就可通过需氧过程(aerobic processes)来完成，而且乳酸产生很少，或者不产生。通过一系列由特殊的酶所控制的中間反应，丙酮酸就被完全氧化成二氧化碳和水。当氧的供給不能滿足需要时，无氧过程(anaerobic processes)能部分地代替需氧过程，并且仍能释放出能量。这时肌肉中形成的乳酸較多，而在血中的浓度也增加了。当工作停止时，氧量又重新变为充足，大部分乳酸便通过肝脏还原成糖原，但其中小部分則以原形随尿排出。

要完成所能达到的最高工作率，不仅取决于肺和循环系統供給肌肉氧气的效率(如氧的最大消耗量)，而且也取决于个体利用无氧代謝的能力(如最大乳酸量的产生)。而无氧过程起作用的程度則取决于体力活动的水平。肌肉的工作按耗氧量的大小可分为三类，即：

輕度 = 0.5~1.0(升氧/分)

中度 = 1.0~2.0(升氧/分)

重度 = 2.0 以上 (升氧/分)

从事轻度劳动的正常人,其氧的供给能够维持肌肉活动需要,而且工作几乎完全是在恒定的耗氧量下通过需氧过程来完成的。肌肉中不会有乳酸蓄积,血液中出现乳酸也很少。这样就达到了一种所谓氧消耗的“稳定状态”,并且这种稳定状态持续于整个肌肉活动期间。

从事中等强度劳动时,只要氧的供给充足,那末在较高的耗氧水平下,也能达到肌肉中消耗过程和恢复过程之间的平衡。如果氧的供给显得不足,肌肉中就会形成乳酸,而且大量充溢入血流之中。即使这样,若不是氧的供给过分不足的话,则仍能保持代谢的稳定状态。劳动强度越大,氧消耗量的“稳定状态”和血中乳酸浓度的水平也就愈高。

在最大强度的劳动时,就不能再达到代谢的稳定状态;此时无氧过程占优势,乳酸不断蓄积,直到工作停止为止。在无氧代谢过程中所负的“氧债”,要在恢复期间偿还。

常常认为:耗氧量维持不变时,其他的生理机能如肺通气量、心率、体温和血压等也处于一种“稳定状态”。其实情况并非如此。例如,在整个劳动过程中,氧的消耗可能维持在一种“稳定状态”,但是为了散热,血液循环的需要可以进行性地增加,这时仍可观察到心率和心输出量不断增加的现象。图 1-1 即说明了这种现象。同样,当耗氧量处于“稳定状态”时,体温调节机制可能不会维持一种热的稳定水平,而体温还会上升。因此,当用所谓“稳定状态”这个术语时,要指明它是指什么样的生理机能或哪些生理机能,这是极其重要的。

“氧债”是指为完成工作所需的无氧过程的程度。虽然在肌肉中发生着无氧代谢过程的一种活动已停止,但在恢复期间,氧的消耗仍然维持在一个较高的水平。氧债的值,就是从活动终止到恢复至休息时的耗氧量水平之间所消耗的高出休息水平的氧量。但是,即使氧债偿还了,耗氧量也恢复到休息水平,这个事实并不必然意味着全部恢复过程已经完成。例如,心率在氧的消耗已恢

复到了休息水平以后，还能长时间的停留在休息水平以上(图 1-1)。

血液和组织的许多复杂的生理化学性质，在输送气体到肺部血液循环方面是很重要的，正如肌肉内氧和二氧化碳进行交换时它们所具有的那种重要性一样。血液输送氧气的的能力，几乎完全取决于红血球内血红蛋白的浓度。要把更多的氧带进组织，只有通过两种途径：增加血流或者增加氧从血液中的解离。氧气由血液弥散到肌肉，以供肌肉产生能量；二氧化碳则从肌肉弥散到血液，然后回到肺部而排出。气体这种运转中的许多重要因素，目前还不清楚；不过，它可能包括：单位肌群的毛细血管循环，肌肉的收缩与舒张对血流的影响，以及使气体进入或离开肌肉时所需要的弥散作用的增减速度等。最后，氧的利用决定于氧从游离分子状态转化为结合于氧化分子中的这种转化过程的速度。在这种转化

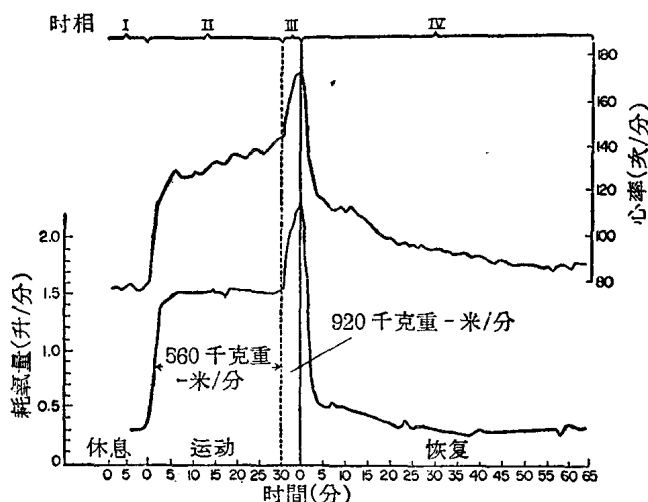


图 1-1 6 个男性受试者在中度的气温和湿度下 (气温为 72°F ，相对湿度为 50%) 运动时，运动对心率和耗氧量的影响。他们的运动是：先以次最大功 (560 千克重-米/分) 踏脚踏车功量计 (bicycle ergometer) 30 分钟，然后用最大功 (920 千克重-米/分) 踏 4 分钟。在较低的负荷下，氧的消耗虽然达到了稳定状态，但是心率继续增加。在做功以后，氧的消耗很快地恢复到休息水平，但大概由于皮肤血流增加的关系，心率甚至在一小时以后还没恢复。

过程中起作用的酶,对氧的亲合力看来是非常高的^[1],以致只要氧的浓度不降低到过低的水平,酶的亲和力的速度是不会变的。至于上述这些过程中,哪一种过程会限制正常个体完成他所能完成的工作量,而不至出现需氧过程转换为无氧过程,现在还没有找到明确的答案。这就说明:肌肉工作期间,氧代谢的所有各个阶段中,在若干起限制作用的因素之间,可能存在着一种微妙的平衡。很可能,在这些因素当中,这种或那种因素之起限制作用,是取决于个体的解剖或生理特点方面的细微差异。

总起来说,肺脏必须能够有效地使动脉血和氧化合;工作着的肌肉必须按其所需的比例,由血液供给氧;而肌肉又必须能有效地利用氧。只要氧的需要能得到满足,那么肌肉的活动就会依靠需氧代谢过程来进行,并且能持续很长的时间。可是如果供给的氧气不足,则肌肉收缩的无氧过程便会限制工作的进行。

体力劳动和心血管机能

心血管系统在输送氧到工作的肌肉方面,具有决定性的作用。心血管系统适应肌肉活动的最主要的现象是心脏出量的增加,即每分钟心脏搏出血液总量的增加。随着每分钟心脏搏动次数(即心率)以及每次心脏搏出血量即心搏出量的增加,心输出量就愈大。心输出量和工作负荷量大小之间的关系(以每分钟的耗氧量表示),见图 1-2 图解所示。耗氧量每增加 10 倍,心输出量就增加大约 5 倍。这种增加,一方面是神经与激素对心率和对心脏本身收缩强度的直接作用所产生的,另一方面也由于周围循环到心脏的回流血量的增多而产生。

心输出量等于心率(每分钟心搏次数)乘以心搏出量(每次心搏所搏出的升数);也等于耗氧量(每分钟的立方厘米数)除以平均动-静脉血含氧量之差(每升的立方厘米数),即:

$$\text{心输出量} = \text{心率} \times \text{心搏出量} = \frac{\text{总耗氧量}}{\text{平均动-静脉血含氧量之差}}$$

因此,总的耗氧量就等于心率乘心搏出量之积,再乘平均动-静

脉血含氧量之差。工作期间这些心血管机能的变化，见图 1-2 所示。

当耗氧量大于 1 升/分时，尽管个体之间存在着明显的差异，但对一定的个体来说，动、静脉血中含氧量之差和心搏出量是相当

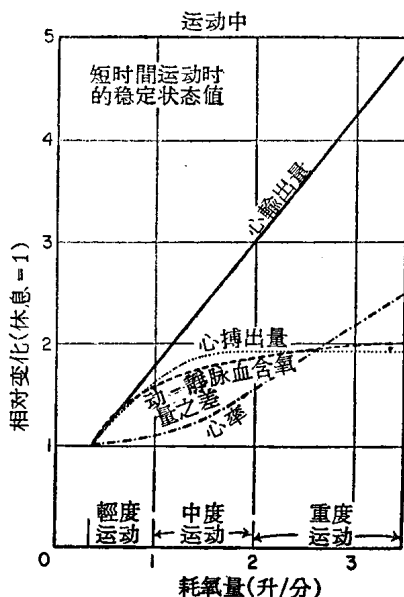


图 1-2 工作强度对于心血管机能相对变化的影响。工作强度以每分钟耗氧量（立升）表示。休息时的值=1。轻度劳动时，心搏出量的改变大部分是由于心输出量的增加；在较重度的劳动时，心搏出量变得相对恒定，而心输出量则与心率成比例。这些相对变化仅在心血管反应到达稳定值之后才发生。

(参考: L. Brouha and E. P. Radford, Jr., in Science and Medicine of Exercise, Harper, New York, 1960.)

恒定的。这种恒定说明，在中温环境下工作时，心率和心输出量或耗氧量间有直接的关系。

运动期间心率和心搏出量的改变，在引起心输出量的增加方面，大约相等。对同一个个体来说，休息时的心搏出量有很大的差异，而且这种差异亦决定于个体的体位；立位差不多要比仰卧位小

30%。一个立位的男性个体每次心搏出量大約为 60~80 立方厘米。由于女性的心脏較小,因此搏出量較低,但其心率比某些耗氧量相等的男性高 20%。在中度或重度劳动时,心搏出量为原来的 2~3 倍,这种心搏出量的增加,在心脏舒张时并不伴有心脏大小的相应增加。X 射綫象方面資料証明,心搏出量的增加,与其說是由于心脏舒张时的大量充盈,不如說是由于心脏每次搏动时更完全的排空。但是應該認識到,这方面仍有爭論,而且这些資料^[2]大多是間接得来的。心搏出量的增加意味着心肌收縮的更加有力,这种心肌收縮力量的增加至少部分地是通过神經和激素对心脏作用为媒介的。

在安靜时,心率很容易变化,这种变化不仅取决于个体的体位,也取决于个体的精神状态。大脑皮层或延髓內的神經冲动能夠引起心率变化到什么样的精确程度,现在还不能确定。在引起心率改变方面,来自心房、大血管和来自肌肉本身的传入的反射刺激,可能也和腎上腺髓质所释放腎上腺素(epinephrine)和去甲腎上腺素(norepinephrine)一样,都有着重要的意义。

肌肉活动一开始,心率就很快地增加(图 1-1)。当心率增加时,属于收縮方面的每个心动周期的分数略有增加,而属于舒张方面的每个心动周期的分数則减少。不过,心脏充盈所需要的舒张間歇的变短,显然不具有生理学的意义,因为现在还没有得到确切的証据能說明:由于重体力劳动产生了很快的搏动速度,从而使心搏出量下降^[3]。让受試者进行高水平的工作时,曾有心率高于 200 次/分的例子,但是在一般情况下进行重体力劳动时,心率只增加到安靜时数值的 2.5 倍左右。

当运动停止时,在数秒钟内心率非常接近运动終末所达到的最大值,随后便进入恢复过程;而心率的情况則由先前的运动和环境情况来决定(见图 1-1)。

肌肉活动可以影响血压和靜脉血向心脏的回流。收縮压和脉搏压随着工作負荷的增加而增加,但舒张压的变化却并不显著(图 1-3)。当耗氧量达到稳定状态时,血压便保持在恒定水平。平均

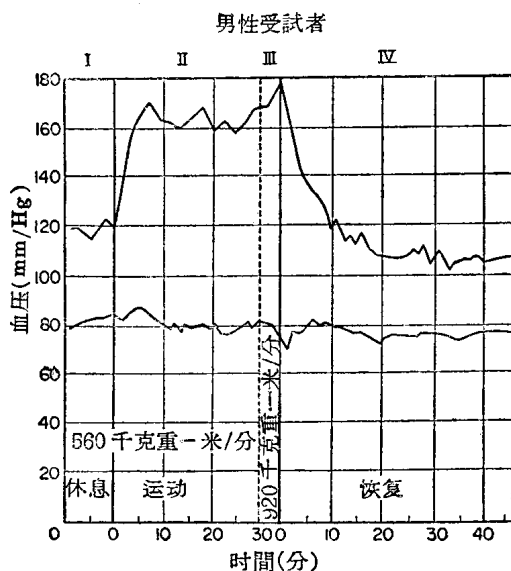


图 1-3 用听診器在肱动脉听声音所測得的收縮压和舒张压的变化 (实验同图 1-1)

动脉压的升高約为收縮压的一半,但在大多数类型的运动中,有理由断言其增加的值不超过 10 或 20 毫米汞柱高。

把运动期間的心率(每分钟心搏次数)和收縮期血压(毫米汞柱)作比較时,我們发现^[4]:收縮压在数值上可以大于心率(第 1 种情况),可以等于心率(第 2 种情况),也可以小于心率(第 3 种情况)。所有这三种情况,是在进行中等强度的运动时,氧消耗量达到稳定状态的許多个体身上观察到的,但是每一个体通常只呈现一种相同的反应(图 1-4)。因此,对于单个个体來說,以进行中等强度运动时的情况作为他的代表。如果让具有第 1 种情况的受試者去担当較重的工作負荷,而在整个試驗中还能維持稳定状态的話,那末他們的心率和收縮压在数值上或者是相等的(第 2 种情况),或者心率仍大于收縮压(即第 3 种情况)。同样,当輕度負荷时表现为第 2 种情况的受試者,一旦負荷量增加,就轉为第 3 种情况。

活动 540 千克重-米/分

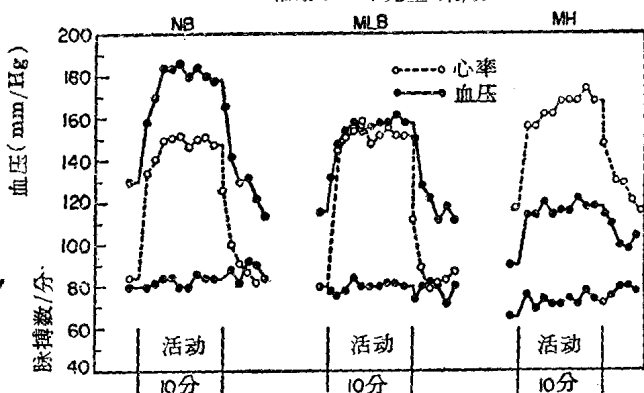


图 1-4 肌肉活动期间,心率和收缩压之间在数值上的三种关系
(NB. MLB. MH 为受试者名字的缩写——译者注)。

在运动后的恢复期间,会出现相反的现象,即受试者由第 3 种情况变为第 1 种情况;当工作负荷更轻时,受试者就更加适应,因而收缩压也就更快地回到在数值上大于心率的情况,即第 1 种情况。看来,当收缩压保持在数值上大于心率的情况时,就能达到心血管系统对肌肉活动的一种有效适应。虽则还需要进一步的研究,但是这些材料可以作为估计心血管系统维持肌肉活动能力的手段。当脉压保持恒定或有所增加时,肌肉的工作就能有效地继续进行;但是,如果连续进行很长时间的紧张活动,脉压便下降。这种下降,可以是由于收缩压下降或舒张压上升的结果,也可以同时兼有这两种原因。当脉压减少到其最大值的一半时,就意味着疲劳已经到来和接近衰竭。

血循环其他部分(如毛细血管和静脉)的较大压力变化乃因部位的不同而异。这些变化在大部分情况下不能测出,仅仅只能从已知的因运动所引起的局部血流动力学的变化方面来推算。

恢复期间动脉压之回到休息时的数值,乃取决于工作强度。在中等强度的劳动或做了较短时间的次最大功之后,收缩压能迅速地下降到运动前的水平,并保持恒定。因为舒张压没有明显的改

变,因此脉压情况亦然(见图 1-3)。但在疲乏活动以后,收缩压就迅速下降到休息水平以下,舒张压可以同样有下降的趋势或保持不变,因而脉压也下降,其下降的值有时可达 15~20 毫米汞柱^[5]。通常在运动后 30~60 分钟,血压就可恢复到休息时的水平。

工作期间血液需要重新分配,以便给活动的肌肉增加血液和满足其他组织代谢的需要。分布到身体不同部分的血液总量如图 1-5 所示。这些数值只是近似值,主要是根据 Bishop^[6] 在中度环境温度下短时间运动所得的资料。流到大脑去的血量保持不变,反映了整个过程中大脑必须维持其氧化代谢的必要性。图中所谓的“其他部分”,主要是指腹部脏器——肾、肝、小肠和脾脏等。在安静的情况下,心脏所排出的血量绝大部分是流向这些器官的;但是随着运动强度的增加,到腹部脏器的血流量比例就减少到只占总量的相对小的分数。尽管心输出量很大,但是心脏冠状循环的血流本身,在这种运动范围内,仅只增加 2~3 倍。冠状循环血流这种显著地微小的变化,反映了心脏象唧筒一样的效力。很显然,在高水平的运动时,到肌肉中去的血流量占心输出量的主要部分。

流到运动的肌肉中去的实际血流量,不仅受着心脏所能增加心输出量能力的限制,和受着需要流向皮肤以散热的血量的限制,同时也受着流入那些参与呼吸运动的肌肉中去的血量之限制。在重体力劳动时,这些肌肉不仅包括膈肌,而且实际上也包括所有躯干部的肌群,因为它们能在肺通气量水平很高时能够辅助呼吸。呼吸肌的血流与氧消耗之间的精确关系尚未查明,而流入呼吸肌的总心输出量的比例更难于断定。图 1-5 中所示的虚线,是根据不同作者^{[7][8]}有关呼吸活动的研究资料所作的粗略估计。应该指出的一个重要点是:与心脏相反,呼吸唧筒所需要的氧和血流量,在高水平的运动时增加非常显著。当耗氧量在每分钟 3 升以上时,呼吸肌所需的血流量是否一定会限制平滑肌休息时所需的血流量,这一点尚无法确定;它可能取决于肌肉活动的类型以及各个个体在呼吸力学方面的差异。

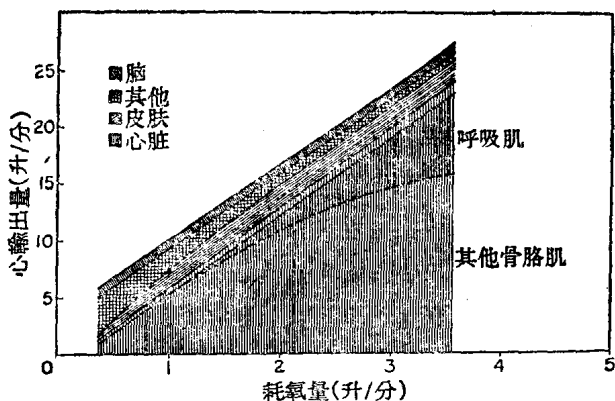


图 1-5 工作强度对于全部心输出量分布到各个区域的影响。工作强度以耗氧量表示。所得数值皆取自常温下短时间运动之后。“其他”是指脏器血流，它随运动由中度到重度而显著减少。实际上总心输出量中所增加的全部血流都流入了肌肉。流入呼吸肌的血流比例是间接求出的，各个个体之间可能有相当的差异。

(参考: L. Brouha and E. P. Radford, Jr., in Science and Medicine of Exercise, Harper, New York, 1960.)

在保証向肌肉提供更多的氧量上，如果血流比率的增加是一种唯一的机制的话，那么很明显，心输出量的到达肌肉的部分就应该与总的耗氧量直接成比例。不过，如上所述，身体还能够从血中摄取较大比例的氧，从而获得更多的氧。动脉血内氧的饱和可以达到其氧饱和能力的 95% 或者更高些。在安静时，回到心脏去的静脉血含氧量大约为 70%。运动时，由于静脉血氧饱和度的下降，动-静脉血中含氧量之差距大约为 2 倍。Donald 等人^[9]在正常人体上发现，在他们的实验条件下，安静时动-静脉血含氧量之差每 100 毫升为 5~6 立方厘米，并不增加到 13 立方厘米以上。来自运动肌肉的静脉血表明，由于运动的加剧，动-静脉血中含氧量之差每 100 毫升中可达 16~17 立方厘米^[10]。运动肌肉从血中摄取氧的程度，是决定个体工作能力方面的一个有意义的因素，尤其在达到最大心输出量的时候。

值得强调的是，只要运动期间血量足以满足需要，心血管系统就能供给肌肉和皮肤以足够的血液。如果有相当量的血流停滞在

血循环的某一地方，則靜脉压便会下降到能够使足够的血量回到心脏所必需的压力水平以下。当皮肤血管因散热而扩张时，供給足够的血量就尤为重要。在这种情况下，大量的血流就轉向皮肤的血管，而靜脉血的回流可能变得不足以維持高心率水平下的巨大心輸出量。

Astrand^[8]发现，在男女两性的总血紅蛋白、血容量和氧最大摄取量之間有着密切的关系。血紅蛋白和氧最大摄取量之間的这种关系，可能取决于下面这个事实：这两个指标能反映个体的一般体积。另一方面，紅血球和血紅蛋白的增加，被认为是使个体习惯于高度肌肉活动的一个重要的“适应”能力。

第二章 若干影响中温下劳动 的生理反应因素

肌肉工作的生理反应，在性质上呈现上述那些类型，但这些反应特点在健康的个体中是不同的，它受活动的类型以及个体的年龄、健康和营养等情况的影响。

肌肉活动种类的影响

在不同种类的肌肉活动中，利用需氧代謝过程和无氧代謝过程的程度是不同的。对于短暫的耗力型活动來說，肌肉无氧收縮的利用达最大强度，結果造成大量的氧債和很高的乳酸浓度。此时心血管系統就不能滿足肌肉所需要的氧，而个体在工作中就要挪用儲备的氧进行无氧代謝过程，待以后再偿还氧債。

对于較长时间的耗力型活动，其需氧代謝强度最大，而且出现次最大的进行性的利用无氧过程的现象。这使个体仅在工作結束时才負最大的氧債。如果过早負上最大氧債，則个体必須減慢工作或者停止工作。

对于那些持續時間長而迫使体力衰竭的劇烈活动來說，在完