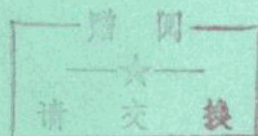


內審資料
注意保存

科学研究论文及技术总结汇编

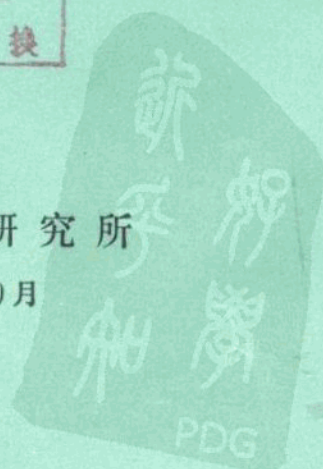
1966—1972 年

第二部份 高山生理



上海生理研究所

1973年10月

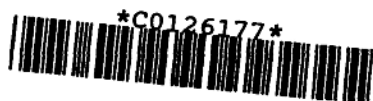


毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

备战、备荒、为人民。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。认识的能动作用，不但表现于从感性的认识到理性的认识之能动的飞跃，更重要的还须表现于从理性的认识到革命的实践这一个飞跃。



前 言

我国高山高原幅员辽阔，海拔三千米以上地区约占全国总面积的六分之一。那里蕴藏着富饶的资源，具有重要的经济地位。祖国西北、西南的高原边疆，还具有重要的国防地位。

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的蓬勃发展，将有越来越多的人进入高原从事国防和生产建设，有些人由于不能充分适应高原低氧环境而发生急、慢性高山适应不全症。因此，为保障在高原地区劳动与战斗的广大工农兵群众的健康，促进高原地区的国防与生产建设，开展高山生理的研究有着重要的意义。

无产阶级文化大革命以来，我所高山生理组的工人、科技人员在毛主席的革命路线指引下，遵循毛主席“备战、备荒、为人民。”的教导，批判了修正主义路线，走与工农兵相结合的道路，到工矿、部队去参加劳动，接受再教育，改造世界观；同时，根据理论联系实际，科研为无产阶级政治服务，为社会主义建设服务的方针，在兄弟单位的支持和协作下，对高山劳动生理、急性低氧对机体的影响、急性高山反应防治药物的研究及红细胞增多型慢性高山适应不全症发病原理探讨等问题开展了一些工作，取得了一些结果；另外还参加了珠穆朗玛峰地区的科学考察，收集了一些科学资料。遵照毛主席关于“人类

总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

的教导，我们将所得到的资料总结成文，按四部分汇编成本册。由于我们对于高原低氧环境对机体的影响的规律性的认识还是很肤浅的、片断的，所以本汇编中的一些认识是否正确，有待于我们今后在实践中进行检验，许多重要的问题，有待进一步深入研究。

我们汇编本册的目的，是为了加强与各兄弟单位之间的学术交流，取得所内外同志们的批评和帮助，推动高山生理研究更好地沿着毛主席的革命路线继续前进。

本汇编中有关高山劳动生理工作的大部分是在三九公司和中国人民解放军建字 02 部队的支持和协作下完成的；有关急性低氧工作是在中国人民解放军后字 236 部队四所和藏字 403 部队主持下进行的；有关慢性低氧工作的大部分是在中国人民解放军藏字 403 部队和 612 部队的主持和协作下，在中国科学院生物化学研究所等单位的合作下开展的；有关珠穆朗玛峰地区生理科学考察工作是与后字 245 部队和藏字 403 部队 56 支队共同完成的。由于汇编时间仓促，大部分文章未能征得协作组其他兄弟单位的意见，肯定会有不少错误和不足之处，请予批评指正。

目 录

一、高山劳动生理

高山劳动生理研究综述	1
高原低氧对脑功能的影响	11
人体高海拔作功的心率变化和劳动能力	20
不同海拔高度和体力活动强度对人血液乳酸量的影响	29
高海拔地区体力活动对动脉血氧饱和度的影响	34
海拔高度对体力活动心电图的影响	38
高海拔地区体力活动后心电图的变化和心率恢复曲线的关系	53
高原地区矿山劳动对心电图的影响	69
关于高原矿区工人食欲减退情况的调查	73
高原地区健康人心电图的K值与 $\frac{Q-T}{T-Q}$ 值	79

二、急性低氧

急性低氧对机体的影响及急性高山反应防治药物的研究综述	80
复方四号中药对急性低氧兔血氧分压和pH影响的观察	84
复方四号中药对家兔在模拟高山条件下颈总动脉血流量和窒息性缺氧时脑存活时间的影响	89
复方四号中药对低氧条件下狗脑血流量的影响	97
复方四号中药对缺氧时狗脑存活时间及脑血流量的影响	107
复方四号中药对于小白鼠心肌细胞色素氧化酶活力及豚鼠肝氧吸收率的影响	120
急性低氧时的脑血流图观察	124
在几个海拔高度上人的肺泡气含量的测定(摘要)	134
从平原进入高原后动脉血氧饱和度改变的观察	136

锻炼的和不锻炼的低地人进入高海拔血液乳酸、丙酮酸和乳酸- 丙酮酸比例.....	139
在低氧条件下家兔红血球2, 3-二磷酸甘油酸含量的观察.....	144
氨非苯对急性低氧条件下家兔脑电图的影响.....	146
提高急性低氧家兔动脉血液氧分压的药物.....	151
适应性锻炼对低氧条件下的脑电图的影响.....	160

三、慢性低氧

红细胞增多型慢性高原适应不全症发病原理的研究综述.....	166
高原红细胞增多症呼吸功能的一些观察.....	170
高原正常人与红细胞增多症病人肺一氧化碳弥散能力的比较.....	179
高原正常人和红细胞增多症病人红细胞中2, 3-二磷酸甘油酸含 量比较.....	184
高原正常人与红细胞增多症病人尿中雄性激素排泄量的比较.....	187
高原正常汉族、藏族及红细胞增多症病人红细胞内碳酸酐酶活 力的比较(摘要).....	189
高原红细胞增多症病人血液中铁蛋白测定(摘要).....	190
高原正常人和高原红细胞增多症病人的血红蛋白类型.....	191
新生牛犊输入血球后的血浆对家兔红细胞生成的抑制作用.....	195
小牛血抽提液的制备及其对机体缺氧的作用.....	199
关于对抗慢性间断低氧所致红细胞过度增加药物的试探.....	202

四、珠穆朗玛峰地区生理科学考察

高原世居民族及低地世居民族 5000 米及 1600 米海拔高度上呼 吸功能、基础代谢率及心电图的比较观察.....	205
---	-----

高山劳动生理研究综述

上海生理研究所高山生理组

根据1965年冶金部在武汉召开的冶金安全会议的委托,1967年中国科学院在西安召开的支援三线建设会议的决定和高原地区矿山工人在劳动中提出的问题,中国科学院生理研究所(即现在的上海生理研究所)与中国科学院心理研究所的有关科技人员,中国人民解放军建字零二部队和三九公司医院的医务人员于1966—1969年曾先后对地处2600—4000米海拔高度矿山地区的高山劳动生理与心理的有关问题进行了研究。有些课题还分别在新疆的吐鲁番(海拔34米),青海的木里(海拔4100米),辽宁的弓长岭矿(海拔负60米)及上海市(海拔接近0米)等地进行了对比测定和调查研究。

高原低氧对机体的影响,是应用生理的一个重要方面。而高海拔环境对于人体劳动能力影响的研究,对于保护工人的健康和建设任务的完成都有一定的意义。为此我们对以下三个方面的问题开展了研究:一、高海拔地区汽车司机的一些生理和心理反应的研究;二、高原低氧对人体劳动能力的影响;三、高原矿山工人食欲减退情况的调查。三个方面共总结为九篇报告编入本集。

一、高海拔地区汽车司机的一些生理和心理反应的研究

《高原低氧对脑功能的影响》一文主要报告了这方面的结果。在两个海拔高度上(3740—4000米;2640—2860米)对移居高原的汽车司机开车前后的感觉机能、记忆和思维、反应时、手脚协同反应及穿桩技术的变化进行了实验观察。结果表明,人在海拔4000米高度上其视觉、听觉机能和驾驶操作活动会遭受某些影响,但影响不明显,有些影响还可设法预防或补偿。司机劳动六小时后,其视觉机能的某些下降主要是疲劳引起,不是海拔高度的影响。在4000米听觉机能是正常的。驾驶六小时后听力下降现象是暂时的,主要是下坡时压力变化快,中耳压力与大气压来不及平衡而致使鼓膜内陷,影响到音波的传导。4000米左右低氧环境对人的短时记忆没有影响。手脚协同的灵活性及学习的动作技巧也未受这一高度的低氧影响。在此高度人的思维能力亦是正常,也不影响人的注意力。一些模拟驾驶动作的实验表明,海拔高度对动作的准确性有一定的影响,但在现场的实际操作动作和反应均很正常。看来3740—4000米高度对动作准确性的某些影响还未达到影响司机正常的实际驾驶操作的程度。由此可以认为,海拔4000米左右的低氧对人的感觉机能和脑功能没有明显的影响。

二、高原低氧对人体劳动能力的影响

人体劳动能力的研究对于劳动强度的判定、劳动等级的划分,劳动制度的制定,工人的合理分工以及工人健康的保障都有一定的实际意义,为了对比不同海拔高度对人体劳动能力的影响,我们从以下四个方面开展了研究:

1. 高原低氧条件下从事体力活动对人体若干生理功能的影响

为了对比不同海拔高度从事体力活动对人体生理功能的影响,我们对17名在海拔2600米居住并参加矿山劳动半年以上身体健康的四川籍青年矿山工人在不同海拔高度(0米,

2600 米, 4000 米) 在自行车功率计上进行 300, 600, 900 公斤米/分的体力活动时的某些生理指标进行了测定。采用的生理指标是肺通气量, 氧耗量, 脉搏, 乳酸, 心电图等。另外还对另一组受测者在海拔 34 米, 1600 米, 2600 米及 4000 米在自行车功率计上进行体力活动时的动脉血氧饱和度, 肺泡气氧分压, 肺通气量及氧耗量等进行了测定。同时还对矿山工人在劳动后的心电图进行了描记。《人体高海拔作功的心率变化和劳动能力》、《不同海拔高度和体力活动强度对人血液乳酸量的影响》、《高海拔地区体力活动对动脉血氧饱和度的影响》、《海拔高度对体力活动心电图的影响》、《高原地区矿山劳动对心电图的影响》、《高海拔地区体力活动后心电图的变化和心率恢复曲线的关系》等六篇报告总结了这些方面的测定结果。

体力活动时心血管系统在输送氧到活动的肌肉方面有着决定的作用, 心血管系统适应体力活动最重要的现象就是心率增快, 心输出量增加。已知体力活动时心输出量和心率的增加和氧耗量的增加有着一定的关系, 因此体力活动时心率的测定可以估计体力活动的强度及受测者对体力活动的适应情况。《人体高海拔作功的心率变化和劳动能力》一文对于受测者在海拔 0 米, 2600 米, 4000 米进行 300, 600, 900 公斤米/分的体力活动时的速率, 体力活动后的恢复心率及恢复时间进行了测定。结果证明, 随着海拔高度的升高, 体力活动负荷的加重, 肌肉活动时的心率增加, 在进行 300 公斤米/分的体力活动时, 在海平的每分心率平均是 111.9 次, 在海拔 2600 米是 118.6 次, 在 4000 米为 134.0 次。当体力活动增强为 600 公斤米/分时, 在海平的每分心率为 135.4 次, 在 2600 米为 145.5 次, 在 4000 米地区为 152.0 次。将体力活动的强度增加为 900 公斤米/分时, 在海平地区心率为每分 145.0 次, 在 2600 米为 164.0 次, 在 4000 米地区为 172.0 次。

随着海拔高度的升高, 体力活动的增强, 体力活动后心率恢复速度明显地变慢, 如在进行 300 公斤米/分的体力活动时, 在海平的心率恢复时间是 8.8 分, 在 2600 米是 13.5 分, 在 4000 米是 27.4 分。在进行 600 公斤米/分的体力活动时, 在海平的心率恢复时间是 18.6 分, 在 2600 米为 23.3 分, 在 4000 米地区为 42.2 分。当体力活动增强为 900 公斤米/分时, 在海平地区心率的恢复时间为 36.4 分, 在 2600 米是 62.8 分, 在 4000 米是 64.0 分。另外, 实验结果还显示, 体力活动中心率增加的绝对数也随海拔高度的升高, 体力活动的加重而增加。

作者对上述实验结果进行了讨论, 认为随着海拔高度的升高吸入气的氧分压降低, 随着体力活动的增强, 机体对氧的需要量增加, 心血管系统为向作功肌肉输送所需的氧量而增加的功能升高, 有趣的是由这些结果可以看出在海平地区和 4000 米地区相比体力活动引起的心率变化约相差一个等级, 因此作者认为在 4000 公尺海拔高度对人体劳动能力的影响, 类似于人们在海平时增加一个劳动等级以后所产生的生理变化。

肌肉收缩的能量主要来源于有氧化过程中。由于体内贮存的氧量很少, 因此当人们进行体力活动时血液循环必须不断地向作功肌肉供给氧气, 以保证氧化过程的进行。当氧的供应充足时, 体力活动就可以通过有氧代谢提供能量而完成, 乳酸的产生就很少, 血内的乳酸含量可以保持在原有的水平上。当氧的供给不能满足体力活动的需要时, 代谢的无氧过程能部分地代替需氧过程, 并释放出能量, 这时在活动的肌肉中形成的乳酸量增加, 血中乳酸的含量也增高, 因此体力活动对血内乳酸含量的影响的研究对于了解人体在低氧条件下体力活动的适应情况以及机体的缺氧状况有一定的意义, 而且还可以为在高原上进行体力活动时劳动强度的判定, 劳动等级的划分和安全界限的制定提供一些生理学的依据。

《不同海拔高度和体力活动强度对人血液乳酸量的影响》一文报告了在海拔 0 米, 2600 米及 4000 米受测者在自行车功率计上进行 600, 900 公斤米/分负荷时的血液乳酸含量的测定结果。实验证明, 在静息状况下, 人血内乳酸的含量在海拔 4000 米和 2600 米就高于 0 米。在进行体力活动时, 随着海拔高度的升高和体力活动负荷的加重, 乳酸的含量明显地增加。如在海平地区进行 600 公斤米/分的体力活动时, 血中乳酸的含量是 3.3 毫克分子/升, 为静息值的 172%, 体力活动为 900 公斤米/分时, 血中的乳酸含量升高为 7.3 毫克分子/升, 为静息对照值的 289%, 是 600 公斤米/分的 169%。在海拔 2600 米, 进行 600 公斤米/分的负荷时, 乳酸在血内的含量为 5.1 毫克分子/升, 是静息值的 155%, 在进行 900 公斤米/分的体力活动时血中乳酸的含量为 10.1 毫克分子/升, 是静息值的 305%, 在 4000 米地区, 600 公斤米/分的体力活动时, 血中乳酸的含量为 7.6 毫克分子/升, 是对照值的 221%, 在 900 公斤米/分的体力活动时血中乳酸含量增加为 11.3 毫克分子/升, 相当于对照值的 328%。由这些数字可以看出随着海拔高度的升高, 体力活动负荷的加重, 血中乳酸的含量升高, 比安静时增加的百分数显著升高。这就说明当人体进行剧烈的体力活动时, 氧的消耗量显著增加, 而高海拔地区, 空气稀薄, 氧分压下降, 虽有呼吸和循环功能的增强, 但远远不能供给机体作功所需要的氧量, 这就表明高原低氧对重体力劳动的影响比对轻体力劳动的影响更大, 因为重体力劳动造成的“氧债”较多, 劳动后偿还“氧债”的时间也相对的延长。同时乳酸含量可以用来衡量疲劳的程度, 这些都是高海拔地区安排劳动时需要考虑到的。

上述心率的测定表明, 在高海拔地区体力活动时心血管的紧张性较之平原有更为显著的加强。而血中乳酸含量的测定又表明这种心血管功能的增强仍不能满足机体在高原地区从事重体力活动时对氧的需要, 于是机体的无氧代谢加强, 同时可能有血氧含量的下降。为了检验这一设想, 我们对不同海拔高度进行各种体力活动时的动脉血氧饱和度进行了测定。《高海拔地区体力活动对动脉血氧饱和度的影响》一文报告了这方面的测定结果。实验证明, 体力活动时, 海拔高度愈高, 负荷强度愈重, 动脉血氧饱和度的下降数值愈大, 在海拔 34 米进行体力活动时动脉血氧饱和度的下降幅度甚小。例如, 在海拔 34 米处从事轻体力活动时, 动脉血氧饱和度平均下降 0.9%, 和静息值无明显差别。在中等体力活动时, 动脉血氧饱和度比对照值下降 1.7%, 当体力活动增强为重度时, 动脉血氧饱和度比对照值下降 3.0%。随着海拔高度的升高, 体力活动所引起的动脉血氧饱和度的降低数值愈来愈显著, 在海拔 4000 米地区进行轻度的体力活动时, 动脉血氧饱和度由静息值的 84.0% 下降至 78.1%, 进行中等体力活动时, 动脉血氧饱和度下降至 76.7%, 将体力活动加重为重度时, 动脉血氧饱和度降低至 72%。这些结果表明, 在平原地区进行体力活动时机体对氧的需要量增加, 为了供给作功肌肉足够的氧量, 机体可以通过增强呼吸、循环功能来提高肺通气量, 肺对氧的弥散量和心脏输出量, 以取得更多的氧量, 从而使动脉血氧饱和度维持在较为稳定的水平上, 而不致使机体产生缺氧症状。在高海拔地区进行重体力活动时, 动脉血氧饱和度的下降变得非常明显, 同时这些受测者在体力活动结束时肺泡气的氧分压也明显升高, 这就暗示, 在高海拔地区进行重体力活动时肺对氧的弥散受到限制, 因此引起动脉血氧饱和度的下降。

在高原低氧条件下, 心脏功能发生一系列的改变。而心脏的活动在输送氧到工作的肌肉方面, 具有重要的作用, 因此了解心脏功能在不同海拔高度进行重体力活动时的反应, 对于判定个体的摄氧能力, 机体对重体力劳动的适应状况方面有着重要的意义, 为此, 我们在海

拔 0 米, 2600 米及 4000 米地区对 17 名受测者在自行车功率计上进行 900 公斤米/分负荷后的心电图进行了测定。《海拔高度对体力活动心电图的影响》一文对这方面的研究进行了报告。结果表明, 在海平地区进行 900 公斤米/分的体力活动后, 心电图表现为在以 R 波占优势的导联中 S-T 段下移, 但未超过 0.05 毫伏; T 波先升高后下降, 但未呈双相或倒置; P 波略升; P-R 段下移; QRS 波群电压略有升高或下降; Q-T 间期缩短; Q-TR 与 Q-T/T-Q 有增大等变化, 但这些变化都未超出正常范围, 属于正常的生理反应。在高原上进行 900 公斤米/分的体力活动后心电图的变化与平原地区显然不同, 根据心电图提示的心肌有无缺血缺氧性变化, 可以把这些心电图分为两个类型。第 I 型与海平地区的正常反应相似, 第 II 型则有明显的心脏缺氧表现; 在以 R 波占优势的导联上, S-T 段呈“缺血”样降低, T 波倒置或呈双相, Q-TR 和 Q-T/T-Q 异常增大等。这就意味着在高原地区进行重体力活动时在某些健康人中可能由于氧的不足, 使心脏的活动能力受到限制, 从而使劳动能力下降。同时这种 II 型心电图的变化似乎还可作为高原地区工人进行重体力活动时的一种安全界限, 即在从事某一重体力活动时如心电图上出现类似 II 型的变化, 就说明该种强度的体力活动对受测者已是一种过强的劳动了, 需调正劳动——休息的节律, 以保证工人的健康和疲劳的恢复。但是心电图在劳动现场的测定往往受到各种条件的限制, 使其不能顺利进行。《高海拔地区体力活动后心电图的变化和心率恢复曲线的关系》一文就是力图通过描记和测量大批受测者在高山地区进行体力活动后的心电图和心率恢复曲线, 分析在高原地区进行体力活动后心电图的变化类型和心率恢复曲线之间的可能联系, 以便寻找一个简易可行的方法, 籍以判定高海拔低氧情况下体力活动的生理紧张性和人体对高海拔地区体力负荷的适应情况。我们的实验结果表明, 在体力活动后, 当受测者的心电图上出现明显的心肌缺血性变化时, S-T 段下降, T 波降低变平或倒置, Q-T 比率增大, 心律紊乱。这些变化和心率的生长有一定的关系, 从我们对海拔 2600 米——2800 米 278 幅体力活动后心电图的变化类型和心率恢复曲线的分析结果来看, 心电图的变化类型和心率恢复曲线有着相应的关系, 例如第 II 型变化的心电图在体力活动后 3 分钟内的心率恢复情况为 131, 108, 102 次, 而第 I 型变化的心电图在体力活动后的心率恢复情况为 118, 99 和 94 次。两种类型的心电图变化的心率恢复曲线有着显著的差异, 它们的 P 值分别为 <0.001 , <0.005 和 0.025 。我们的实验结果还证明, 体力活动后第 II 型心电图的出现和海拔高度及负荷强度有着相应的关系。一般海拔高度愈高, 体力活动的强度愈大, II 型心电图的出现率愈多。当然, 在高原地区体力活动后 II 型心电图的出现并不意味着人们的心脏有着某种病变, 而且这种变化多数可以相当快的恢复。这类心电图的出现, 可能象征着在从事该种重体力活动时心脏有暂时的缺血或缺氧, 而不宜在长时间内连续做该种强度的体力活动, 需适当地调正劳动——休息的节律。为了进一步观察高山矿区的重体力劳动对人体心电图的影响, 我们还在海拔 2990 米的矿井内对 34 名工人在推矿车劳动时进行了心电图测定, 《高原地区矿山劳动对心电图的影响》一文报告了这方面的测定结果。

2. 不同海拔高度最大氧耗量的测定

测定体力活动时的最大氧耗量, 可以比较确切地评价受测者的劳动能力和他们的心、肺功能对于劳动环境的适应情况, 同时也是人们制定劳动制度的重要参考。有些研究者也常用此项指标来评定高山低氧对于人体劳动能力的影响, 但所得结果尚不一致, 国内也无这方面的研究报导。为了对比不同海拔高度对人体劳动能力的影响, 我们对 6 名受测者在海拔

0 米, 2600 米及 4000 米地区进行体力活动时的最大氧耗量进行了测定。体力活动在自行车功率计上进行, 采用逐渐加重负荷的方法。有四个受测者进行了平原和 4000 米的对比观察, 结果见表 1。

表 1 海拔 0 米和 4000 米最大氧耗量的比较

受试编号	0 米		4000 米	
	最大氧耗量 (立升/分, STPD)	最大氧耗量时的负荷 强度(公斤米/分)	最大氧耗量 (立升/分, STPD)	最大氧耗量时的负荷 强度(公斤米/分)
1	2.58	1,200	2.00	900
2	2.46	1,200	2.08	1,000
3	2.74	1,300	1.96	950
4	2.84	1,350	2.33	1,100
平均值	2.65	1,262	2.09	987

由上表可以看出, 在海拔 0 米四个受测者的最大氧耗量平均为 2.65 立升/分, 此时的负荷强度相等于 1262 公斤米/分, 在海拔 4000 米地区他们的最大氧耗量平均值为 2.09 立升/分, 此时的负荷强度相当于 987 公斤米/分, 若将海拔 0 米与海拔 4000 米的最大氧耗量相比, 以海拔 0 米的最大氧耗量为 100, 海拔 4000 米为 78.8%, 最大负荷强度在 4000 米地区为 0 米的 77.6%, 即在 4000 米地区最大耗氧量较海平地区下降 21.2%, 最大负荷强度下降 22.4%, 二者的变化数值很接近。

另外, 我们还在海拔 0 米及 2600 米对六个受测者的最大氧耗量进行了测定, 结果在 2600 米的最大氧耗量比 0 米平均下降 15% 左右。

上述这些结果告诉我们: 同一个体, 海拔高度愈高, 他们的最大氧耗量愈低, 个体所能胜任的最大负荷强度下降。已知最大氧耗量的大小主要取决于受测者的心肺功能, 劳动环境及机体对体力活动的熟练状况等, 特别取决于心脏的输出量, 动静脉氧分压差和肺的弥散能力等。通常认为氧耗量的大小与心脏排血量的多少成直线关系。肌肉收缩要获得足够的氧, 需要经过血液的运送, 劳动时机体对氧的需要量大大增加, 血流量必然增加, 心脏的输出量也相应增加。一般认为到达最大氧耗量的水平时, 氧的吸收率比安静时要增加将近 10 倍, 心脏的排血量增加约 4 倍, 动静脉氧分压差增加约 2 倍。因此机体要获得很高的氧量, 就要增强心肺的功能。当其机能下降时, 在其所承担的负荷还不很大时, 氧的吸收量就达到“极限”, 不能满足体内对于氧的需要而被迫停止肌肉活动, 这就说明在达到最大强度的负荷时, 氧吸收能力下降, 有氧化过程大部分为无氧酵解过程代替, 乳酸的产生较多, 停止运动后需要摄取较多的氧来偿付体力活动中吸氧的不足, 故氧债甚大, 恢复时间也相应地延长。在心肺功能良好者, 当达到较大强度的负荷时, 呼吸功能增强, 肺通气增加, 心血管系统的活动增强, 心率加快, 心排血量增加, 氧的吸收率大大提高, 大部分可以满足肌肉活动的需要, 体内有氧化过程进展加剧, 无氧酵解过程的产物(如乳酸)积累较少, 停止活动后因氧的需要量大部分已在体力活动中得到满足, 故氧债较少, 劳动后的恢复速度也比较快。因此最大氧耗量的测定对人体劳动能力的评价有着重要的意义。一般来说, 一个人的最大氧耗量数值愈大, 劳动能力愈强。高山地区由于氧分压降低, 而从事最大劳动负荷时肺的弥散功能和心脏的排血量的增加都不能满足人体肌肉活动对氧的需要量, 因此最大氧耗量下降, 人体的劳动能力

降低。

最大氧耗量的测定又是制定劳动制度的重要参考资料。通常认为当人们进行的体力活动相当于最大氧耗量的二分之一的强度时,不会有疲劳的积累,可以长时间地从事这种强度的体力活动。我们在海拔 4000 米和 2600 米对 5 名受测者连续作四小时的体力活动中的血中乳酸含量进行了测定,所作负荷为略低于每个受测者自身最大氧耗量的负荷的一半,在体力活动的第 2 及第 4 小时各采一次血样进行分析,结果是在海拔 4000 米 1 人的乳酸稍有增加,2 人不变,在海拔 2600 米高度 1 人略有增加,1 人不变,这点可以说明,当劳动强度在略小于最大氧耗量 1/2 的条件下进行体力活动时,体内主要是动用有氧代谢,乳酸的产生不多,因此机体能较长时间进行该种强度的体力活动而不致产生疲劳的积累。5 名受测者都比较顺利地完成了连续 4 小时的体力活动,这就提示我们在各个海拔高度上选择相当于劳动者最大氧耗量一半的体力活动强度可能是比较合理的。

3. 不同海拔高度劳动心值及氧脉搏的测定

为比较各种海拔高度,不同负荷强度对身体的影响,我们测定了海拔 0 米,2600 米及 4000 米三个高度的负荷时的劳动心值及氧脉搏。

(1) 劳动心值的测定

“劳动心值”是在人体整个负荷时间内超出静息状态心率的心搏总数,也就是为了完成工作而出现的高于休息水平的全部心搏次数。“恢复心值”为负荷停止后一直到心率恢复到安静值的一段时间内超出安静状态心率的心搏总数,也就是从工作结束到恢复至工作以前心率水平这段时间内多于休息水平的全部心搏次数。总心值则为劳动心值和恢复心值之和。一般认为恢复心值(又称心债),是比劳动心值更具敏感的指标,是体力活动及各种条件下生理紧张度较有意义的评价方法。因为完成一项工作的心脏总的负荷应包括工作过程中和恢复过程中心脏的负荷两部分,而恢复过程中心脏的负荷比起工作过程中心脏的负荷来,似乎是一个更为灵敏的指标,而且常常是肌肉活动和环境形成的生理紧张的更为重要的判断标准。另一指标为所做功与心值之比,即高于安静状态的每次心搏所能做的机械功,所得数字可以说明每次心搏产生多少公斤米的机械功。机械功的数值愈高,则劳动效率愈高,我们对 17 名青年工人在海拔 0 米,2600 米及 4000 米高度从事 300 公斤米/分,600 公斤米/分,900 公斤米/分的负荷时的劳动心值,恢复心值及每次心搏所完成的机械功进行了测定,平均结果如下表:

表 2 各海拔高度不同负荷强度时“心值”的测定

海拔高度(米)	300 公斤·米/分				600 公斤·米/分				900 公斤·米/分			
指 标	劳动心值	恢复心值	总心值	与当* 总的心值机械功	劳动心值	恢复心值	总心值	与当* 总的心值机械功	劳动心值	恢复心值	总心值	与当* 总的心值机械功
0	247	53	300	5.00	344	166	510	5.88	367	493	860	5.23
2600	249	85	334	4.49	336	259	595	5.04	425	1002	1427	3.15
4000	260	238	498	3.00	330	606	936	3.20	433	1389	1822	2.47

* 单位: 公斤·米/每次心跳

由上表可以看出海拔高度愈高, 负荷强度愈大, 用于负荷的总心值就愈大, 就中等体力活动和轻体力活动而言, 用于负荷的心值在各海拔高度相差不大, 总心值随海拔高度的升高而增加, 主要是由于恢复心值的差异加大, 在从事重体力活动时, 各海拔高度的劳动心值就有了明显的差异, 特别是恢复心值差异就更显著, 所以, 用于负荷和恢复期的总心值随着海拔高度的升高相应地增加, 而超过静息状态的每次心跳所能完成的机械功在同一负荷强度下, 随海拔高度的升高而减少, 如在进行 900 公斤米/分的负荷时, 在 0 米, 每次心跳所能完成的机械功为 5.23 公斤米, 在 2600 米为 3.15 公斤米, 在 4000 米为 2.47 公斤米。这些数字告诉我们, 海拔高度愈高, 负荷强度愈重, 每次心跳所能完成机械功的下降数值就愈显著。虽然这个随海拔高度升高每次心跳所能完成的机械功下降的情况不能代表整个人体劳动能力下降的情况, 因为人体还可借助于增加心率来完成高海拔地区的机械功, 但也暗示在高海拔地区体力活动时心脏负荷的高于低海拔地区。

(2) 氧脉搏的测定

根据不同海拔高度, 从事不同强度负荷时心脏的活动和耗氧量可以算出一个指标, 用来比较不同海拔高度上对于一定的工作所引起的生理变化。以负荷时的每分心搏数除以每分钟的氧耗量可以得出每次脉搏可以利用的氧气量(以毫升计算)称为“氧脉搏”。通常氧脉搏越大, 人对于劳动的适应就越好。我们的测定结果见表 3。

表 3 各海拔高度不同负荷强度氧脉搏的测定 (毫升/次)

海拔高度(米) \ 负荷强度 (公斤·米/分)	300	600	900
0	9.51	11.12	12.91
2600	8.82	10.32	12.02
4000	8.15	9.91	11.35

由上表可以看出, 负荷强度愈重, 氧脉搏的数值愈大, 说明负荷时随负荷强度的加重, 每一次心跳提供给身体的氧量增加; 同一种负荷随海拔高度的升高氧脉搏的数值下降, 即每次心跳可能提供给组织的氧量减少。

由劳动心值和氧脉搏的测定结果告诉我们, 随着海拔高度的升高, 每次心跳所能提供的氧量和每次心跳所能完成的机械功都随海拔高度的升高而下降, 这就说明随海拔高度的升高人体的劳动效率随之下降; 如果个体每次心跳能给予肌肉以最大的氧量, 而且每次心搏能产生最大公斤米的功, 该个体就能最有效的进行工作。

4. 平原及中等海拔高度(2600 米)矿区工人劳动时某些生理指标的测定。

对海拔 2600 米及平原地区矿井工人在推车、凿岩及刨渣时的某些生理指标进行了测定, 这些指标包括脉率、每分钟肺通气量、氧耗量及能量消耗量等。脉率测定了工人起床前的安静值, 劳动前的静息值和劳动后的即刻值, 有些还测定了劳动后恢复心率, 一般测定三次: 劳动后 30 秒至 1 分钟、1.5 分钟至 2 分钟、2.5 分钟至 3 分钟的恢复脉率。肺通气量的测定是在工人劳动时将呼出气收集于多氏袋, 用流量计测量, 或使呼出气直接通过流量计进行测量。氧耗量及能量消耗量的测定采用多格拉斯-何尔登-二氏的方法, 实验时请受试者按平常的劳动节奏劳动, 收集凿岩工人按机、凿岩、拔机整个过程和推车工人在一次推车中最

后一分钟的呼出气，用何尔登气体分析器分析上述呼出气及劳动场所空气中二氧化碳及氧气的百分容积。计算每分钟的氧耗量，再根据呼出气中二氧化碳和氧气之比，计算受试者在劳动时的呼吸商，据表查出在该呼吸商时每一立升氧气所相当的卡价(仟卡)算出每分钟热能的消耗量。

平原地区测定地点的海拔高度为负 60 米，气压为 770—711 毫米汞柱，空气中的含氧量 为 20.3—20.6%，氧分压为 156.3—158.8 毫米汞柱，当时的气温为 15°—19°C。测定结果见表 4。

表 4 弓长岭矿井内凿岩、推车工人若干生理指标测定

劳动工种	受试人数	通气量 (升/分)	氧耗量 (立升/分)	呼吸商	能(仟卡/小时)	心率(次/分)				
						班前	劳动即刻	恢复心率		
								1分	2分	3分
凿岩	13	15.2	0.65	0.99	181.8	72	98	81	79	79
推车	13	40.1	1.81	0.97	588.5	79	135	97	88	90

由上表可见，推车工人在劳动后平均脉率增至每分钟 135 次，凿岩工人在劳动后心率增至 98 次/分。推车工人在劳动时每分钟的通气量为 40.1 立升，凿岩工人在劳动过程中的每分钟肺通气量平均为 15.2 立升，推车工人每分钟的氧耗量为 1.81 立升，凿岩工人为 0.65 立升，测得推车工在劳动时的呼吸商为 0.9—1.1，根据呼吸商查出氧的卡价为 4.924—5.047 千卡/立升。每分钟能量消耗为 9.641 千卡，每小时的能量消耗为 588.5 千卡。凿岩工人在劳动时的呼吸商为 0.88—1.04，根据呼吸商查出氧的卡价为 4.899—5.047 千卡/立升。每分钟能量消耗为 3.03 千卡，每小时的能量消耗为 181.8 千卡。

在海拔 2600 米矿井内对 32 名工人劳动时的若干生理指标的变化进行了测定，其中推车工人 12 名，刨渣及凿岩工人各 10 名，结果见表 5。推车工人在劳动时的肺通气量平均为每

表 5 2600 米海拔矿区凿岩、推车和刨渣工人劳动时若干生理指标的测定

劳动工种	受试人数	肺通气量 (升/分)	氧耗量 (立升/分)	劳动后即刻心率 (次/分)
凿岩	10	21.6	0.67	111
推车	12	44.5	1.78	151
刨渣	10	42.9	1.68	156

分 44.5 立升，氧耗量每分为 1.78 立升，心率是每分 151 次。凿岩工人在劳动时每分钟的肺通气量为 21.6 立升，每分钟的氧耗量为 0.67 立升，心率为 111 次；刨渣工人每分钟的肺通气量平均为 42.9 立升，氧耗量为 1.68 立升，心率为 156 次。由于两种海拔高度的现场测定人数过少，又非同体比较，故未作统计处理，但可对其结果作一大概的对比(表 6)。

由表 6 可见无论推车工或凿岩工他们的氧耗量在两种海拔高度是相似的；而肺通气量及心率在高原地区都高于平原地区，凿岩工的心率在 2600 米比平原高 13 次/分，推车工人的心率在 2600 米比平原高 16 次/分。

表 6 平原和 2600 米海拔推车、凿岩工人劳动时生理测定结果比较

劳动工种	测定指标 海拔(米)	肺通气量 (BTPS)		氧耗量 (STPD)		心 率 (次/分)	
		-60	2600	-60	2600	-60	2600
推 矿 车		40.1	44.5	1.81	1.78	135	151
凿 岩		15.2	21.6	0.65	0.67	98	111

讨论

根据上述这些生理机能的变化,我们对高山地区的劳动能力及有关的一些问题做了一些初步的分析:

1. 不同海拔地区劳动强度等级的对等关系。

根据不同海拔高度和不同劳动强度所引起的一些生理变化(包括肺通气量,脉搏,乳酸积累等)的数值,我们推算出一个在不同海拔高度上劳动强度等级的对等换算关系,即平原地区重体力活动时所引起的生理变化,相似于海拔 4000 米中等体力活动所引起的变化。如在平原地区重体力活动时每分钟心跳和肺通气量分别为 149 次和 61 升,而在海拔 4000 米中等体力活动时每分钟的心跳和肺通气量分别为 156 次和 66 升,在平原地区重体力活动时血液乳酸的含量为 7.3 毫克分子/升,在海拔 4000 米中等体力活动时血内的乳酸为 7.6 毫克分子/升。由此可以推论,海拔 4000 米的劳动等级和平原地区相比约相差一等,海拔 2600 米的劳动等级界于平原地区与海拔 4000 米之间,和平原相差约半级。也就是说,在不同的海拔高度其劳动等级应有不同的划分。

2. 不同海拔高度的劳动效率的比较。

根据本研究中体力活动时最大氧耗量,劳动心值,劳动时每次心跳所能完成的机械功,以及氧脉搏的测定等数据,我们可以看出,随着海拔高度的升高,人体的最大氧耗量下降,4000 米比 0 米下降约 21%,2600 米比 0 米下降 15%。个体最大氧耗量的数值对于人体劳动能力的评价有着重要的意义。一般说,一个人的最大氧耗量愈大,他的劳动能力也愈大。劳动每次心跳所能“完成”的机械功随海拔高度的升高而下降,即海拔高度愈高,每次心跳所能完成的机械功愈少;体力劳动愈重,其下降的比率愈大。在进行 300 公斤米/分的负荷时,在 4000 米每次心跳所能完成的机械功,相当于平原的 60%;进行 600 公斤米/分的负荷时,在 4000 米相当于 0 米的 54%;当负荷强度为 900 公斤米/分时,在 4000 米相当于 0 米的 47%。氧脉搏也随海拔高度升高而下降,说明负荷时每次心跳可能提供给机体的氧量随海拔高度的升高而下降。如进行 300 公斤米/分的负荷时,每次心跳能供给机体的氧量由海拔 0 米的 9.51 毫升下降为海拔 4000 米的 8.15 毫升。总之,劳动时最大氧耗量与劳动心值相当的机械功,以及氧脉搏的测定都证明随着海拔高度的升高,他们的数值下降,也证明了人体在高海拔地区的劳动效率有所下降,这点可供高海拔地区制定劳动定额,安排劳动量和工时的参考。

3. 强劳动中的生理限度。

多大强度的体力负荷会导致严重影响人体健康呢?回答这个问题,对于保护工人的健康,使在劳动过程中不致由于劳动强度过重而引起意外,具有重要意义。在高原低氧地区劳动,这个问题尤其重要。本实验进行的重体力活动引起的一些生理变化对衡量一个人所承

担的负荷是否已经达到限度具有参考价值。

负荷时,人体心电图和脉搏的变化一般能够比较灵敏和准确地反应身体对负荷强度的耐受情况。在本实验的重体力负荷时,II型心电反应的S-T段下降,T波明显降低或T波倒置是很明显的心肌缺氧标志,而这些变化又和负荷后心率恢复曲线有相应的关系。因此可以借劳动后心率的恢复状况判定每个劳动者所能胜任的劳动强度,此外这个结果还提示我们,在高海拔地区劳动——休息的节律也是一个值得重视的问题,特别是对于重体力劳动更应引起重视。如果能适当的调整劳动和休息的时间,可以在劳动中保持一定的生理变化,并在劳动后保持一定的恢复速度,只要能将劳动和休息的时间安排得恰当,即能在一班劳动中保持在生理的稳定状态,就有可能避免疲劳的发生。

这里需要特别调的是本项研究的实验和测定大部分是在“模拟劳动”的特定实验条件下进行的,因此所得的结果有一定的局限性,它只能供在高海拔地区组织劳动时作参考。因为现场的劳动比“模拟劳动”的因素要复杂得多,诸如劳动现场的温度,湿度、照明、噪音、机械化水平、工人的个体特异性,健康状况,训练程度等都是影响劳动能力的重要因素。

三、高山地区食欲减退的原因分析及应采取的措施。

《关于高原矿区工人食欲减退情况的调查》一文对平原海拔2600米、4000米矿区从事地表、井下作业的工人和科室人员共1082名逐个地进行了食欲和其他健康状况的调查访问,在海拔2600米的矿山657人的调查中食欲下降的发生率为41.7%。在食欲下降者之中无饥饿感或不愿饮食的占43.4%,厌油的为33.5%,对伙食不习惯的为24.0%。根据其发生的普遍性(发生率高)和持续性(持续时间久)以及其到平原地区的可复性,并与平原地区和4000米地区的调查及部分人员同一个体在数次往返于平原与高原的对比分析,我们认为海拔2600米山的食欲下降和高山环境有关,其他类型的高山反应在海拔2600米地区也有发生,例如反甲的发生率为41%,脱发为64.4%,头痛头昏为54.2%,失眠早醒为66%,疲劳为30.8%。

海拔4000米地区的食欲减退发生率较海拔2600米地区为高,其发生率为82.1%,食欲下降的性质和海拔2600米处相似,即食欲减退不是由消化系统等的器质性疾患所造成,海拔4000米地区的其他高山反应也与食欲减退相伴发生,其发生率一般比2600米为高,例如失眠者为66.3%,头痛头昏者为74.3%,反甲者52.5%,疲劳者占66.3%,脱发者为53.5%。

平原矿的食欲减退的发生率显著地低于高原地区,其发生率为12.9%,脱发,反甲及疲劳的发生率也显著低于高山地区,分别为3.7%,0.5%及8.0%。

调查结果表明,海拔高度愈高食欲减退的发生率愈大。高山地区的食欲减退与作业环境,劳动工种,劳动强度,工人的体质及上山时间的长短有密切的关系。井下作业工人的发生率最高为63.4%,地表作业工人30.3%,科室人员为26%。井下工人中食欲下降的发生率随上山时间的增长而增加。上山第三年食欲下降的发生率增加为92%,程度也比较重。地表作业工人和科室人员食欲下降的发生率在上山二至三年间有相对稳定的趋势。

高原低氧对脑功能的影响*

中国科学院心理研究所 上海生理研究所

低氧对人类脑功能(感觉机能、睡眠、意识、思维、学习、记忆和情绪等)的影响,早有零星的科学记载^[1,2,6]。然而,在高原低氧现场,特别是从事高原劳动时,脑功能会遭受一些什么影响,还未见有系统的实验报导。我国高原辽阔,参加高原社会主义建设的人员日增,在高原劳动可能出现哪些生理变化,怎样进行防治,是一个重要的研究任务。上海生理研究所自1965年起对高原低氧生理进行了一定的研究^[3]。本工作是其中的一个方面,从脑功能的角度,在高原现场,对汽车驾驶人员劳动前后的感觉机能、记忆和思维、反应时、手脚协同反应以及驾驶汽车穿桩技术的变化,进行了实验观察。

实验方法

受试对象为男性汽车司机11人(个别实验包括矿山工人和技术员各8人的资料),年龄在24—30岁之间的9人,32岁和45岁的各1人。身体均健康。受试者自平原来高原已有3个月以上的高原适应期。实验场地在某矿区海拔2,640米(室内)和4,000米(帐篷内)两地进行。个别对照实验还在海拔为零米左右地区(吐鲁番或上海)进行。两处实验都是先进行劳动前的对照实验,在随后的实验日再进行开车6小时的劳动实验。劳动实验时受试者驾驶解放牌载重卡车。在整个实验的一个月期间,受试者居住在海拔2,640米工地;当进行海拔4,000米实验时,每日乘车前往。

本实验测试观察的心理和生理指标包括:视觉机能、听觉机能、记忆和思维、反应时和各类动作操作反应等五部分。各部分的测试项目和实验方法将在实验结果中一并介绍。

实验结果

一、视觉机能测验:在11名受试者身上测验了低氧对视觉机能的影响,采用了四种指标,所得结果如下:

(1) 颜色分辨实验:实验时受试者在公路上辨认特制的颜色标志牌。标志牌有红、绿、黄、蓝、白五种颜色,面积为30×20厘米。测验时受试者距离标志牌60米及120米两处进行颜色辨认。每种颜色各显示3次,共15次,按随机次序呈现。所得结果见表1。

由表可见,在海拔2,640米的高原上,除蓝色外,人对其他各色的辨认力没有变化。在海拔4,000米,人对红绿两色的辨认力也是正常的,在短距离(60米)观察条件下,黄、白两色也能相当正确地分辨,只是在较远距离(120米)时,黄、蓝、白三色有辨认不清的现象。

(2) 深度觉实验:使用Dolman式深度仪测定受试者在不同海拔高度劳动前后的深度觉变化情况。每次实验均进行4次测定,计算其平均值。结果见表2。可见,无论在海拔2,640米或4,000米,受试者经一天6小时开车劳动后,深度觉能力(即精细分辨两物体远近

* 本工作于1966年6月由上海生理研究所与中国科学院心理研究所共同完成。