

第一章 高原概论

第一节 我国高原概况

随着社会的发展、科技的进步，高原已成为人类活动的重要地域。据统计，现在全世界居住在高原的人口在 5.2 亿以上。地理学上将海拔 500m 以上地区称高原。我国高原总面积占全国总面积的 33% 计约 310 万 km²。海拔 3 000m 以上高原占全国面积的 1/6 有 6 000 万以上人口居住在不同海拔的高山和高原上，高山和高原人口居世界首位。

高原不仅是我国能源、矿产、药材、畜牧业生产基地 而且也是我国重要的国防前哨和主要少数民族地区。因此，大力开发建设高原，促进中西部地区更快发展，具有重要的政治和经济意义。

一、自然状况

我国高原包括青藏高原、内蒙古高原、云贵高原、黄土高原四大高原。其中青藏高原 号称“世界屋脊”位于北纬 28°~40° 东经 78°~103° 东西长 3 000km 南北宽 1 500km 面积 230 万 km² 海拔平均在 4 500m 上下 除喜马拉雅山 昆仑山中部还有唐古拉山、冈底斯山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山、祁连山等。内蒙古高原东起大兴安岭和苏克斜鲁山 西至马鬃山 南沿长城 北接蒙古人民共和国 包括内蒙古、甘肃、宁夏、黑龙江部分地区 面积达 40 万 km² 海拔在 1 000~1 500m，整个高原地势起伏微缓。中部有阴山横贯的乌兰察布高原；东北部是呼伦贝尔高原 锡林郭勒、乌珠穆沁高原 西部有阿拉善 巴颜淖尔高原)南部为鄂尔多斯高原。云贵高原位于青藏高原的东南部 包括贵州全省、云南东部、广西西北部及川、鄂、湘边境地区 面积约 20 万 km² 海拔在 1 000~2 000m。黄土高原位于内蒙古高原的南部 西起祁连山东端 东至太行山脉 南抵秦岭 包括陕西、山西、甘肃、宁夏等省区的一部分 面积有约 20 万 km² 海拔 800~2 000m。

人类绝大多数生活在海拔 5 000m 以下的地区。实践证明，海拔 3 000m 以上的地区常有高原反应和高原特发病发生，而且随着海拔增高，发病率逐渐增加。一般海拔 5 000m 上下被视为人类居住的最高海拔高度，但随着社会与科学发展，将会提高人类在各种自然环境条件下生存的能力。

二、高原居民

青藏高原是世界海拔最高的高原，平均海拔在 4 500m 以上。我国的高原面积及高原与平原占地面积之比均最大，高原居住人口也最多。高原地区为多民族聚居地区，主要有汉、藏、回、土、蒙古、维吾尔、哈萨克、撒拉、塔吉克等民族。有关考古资料证明 移居生活在高原

最早的也是我国各族人民在公元前3 000~前4 000年新石器时代,最早生息活动的是西部古老民族之一的氏、羌族群。当时羌人活动区域很广,西起黄河源头,东到陇西地区,南至川西,北达新疆鄯善地区。此后,部分羌人与华夏诸族融合,成为汉族的一部分。藏族自称“博”“康巴”或“博巴”,史称为“吐蕃”。新中国成立后统称藏族。原羌族居住的中心在青海、甘肃的河湟一带,后迁居青藏交界的地区。进入青海的吐蕃人同青海高原上的土著民族羌人、吐谷浑人交错杂居,共同过着“逐水草而居”的游牧生活。他们的后代就是如今的藏族。回族早在唐代就在西北地区活动,至元代,回族集体入居河湟流域,至明、清后更不断增加,成为主要民族之一。在青藏高原的蒙古族先祖多居内蒙古呼伦贝尔草原。多数学者认为,土族是吐谷浑族人的后代。撒拉族的先民于元代从中亚的撒马尔罕迁徙而至青藏高原,并与当地藏族、回族、东乡族通婚,相互融合,逐渐形成撒拉族。高原各族人民千百年来在高原生活、劳作,而各族人群由于居住高原环境和居住历史不同,高原适应性又有明显差别,高原疾病的发生与表现症状也不完全相同。世界上目前适应高原历史最长的有两个代表民族,一为我国藏族,一为南美的印地安人。我国藏族的高原生活史更为久远。一系列考古调查和生理学研究证实,藏族是人数最多的高原最佳适应者。还有适应了高原地区的汉、回、蒙古、哈萨克、土、撒拉族等。对以上各民族的生活、劳动作业、生理心理适应特征进行深入地比较研究,将会进一步了解、掌握人类群体适应高原的基本规律。

第二节 高原医学状况

高原医学或称高山医学,是研究机体在高原环境中的生理适应规律以及各型高原病的防治的科学,它属于环境医学和医学生物学的范畴。

高原医学是随着人类征服高原大自然的斗争而逐步发展起来的。早在2 000年前,我国汉武帝时,大将军杜钦已知前往印度要经过青藏高原的大、小“头痛山”,这是世界上对高山病的最早记述。18世纪以后,随着资本主义向世界各高原高山地区的渗透,高原生理和高原病的研究进入萌芽时期。1878年法国学者鲍尔·贝特(Paul Bert)提出了“大气压论”,使人们对高原减压性缺氧的认识产生了飞跃。20世纪以来,航空、航天和深潜医学研究不断深入,又促进了高原医学的发展。高山往往成为国与国间的天然屏障。1962年在喜马拉雅山区发生的中印边界自卫反击战,是世界上最高海拔区的战斗。从平原调来的印军中大量高山病的暴发,引起了许多国家的关注,如美国陆军环境医学研究所为此召开了专门的学术会议,并制定研究对策。目前,世界上有26个国家在从事此项研究,国际高山医学协会已召开过两次世界性高原医学和生理学大会,从学术上推动着高原医学的发展。

我国高原医学研究主要是在解放以后才开展的,在客观上显得尤为重要。我国是世界上高原面积最辽阔的国家,特别是号称“世界屋脊”的青藏高原,占国土面积的1/4,平均海拔4 000m以上,居住人口达1 000多万。我国高原资源丰富,有重要经济价值,又有漫长边防线,具有重要的国防地位。因此,为高原建设者提供医学保障是高原医学研究者的首要任务。高原医学研究的内容主要包括以下几方面。

一、高原生理学

高原是一个特殊环境,大气物理、地球化学、生态结构均与平原不同,除了低氧性缺氧是

主要矛盾外，其他如寒冷、低湿、气象多变、太阳辐射和强紫外线对机体的影响也不容忽视，且机体产生的各种反应是环境因子综合作用的结果。机体对高原的适应是从整体—器官—细胞—分子几个水平上进行的，而且经过调节、适应、顺应等复杂生理过程。高原不同的动物种属存在着不同的生物学适应模式，高原人类的不同群体对低氧适应的生理学机制也不尽相同，阐明这些适应规律将揭开低氧适应之谜。

二、高原疾病学

高原病 (high altitude disease) 是高原低氧环境引起的特发性疾患，各国的分类大同小异。我国经 1995 年全国第 3 次高原医学学术讨论会确定 分为急性轻症高原病、高原肺水肿、高原脑水肿、高原衰退、高原心脏病、高原红细胞增多症、混合型慢性高山病 (Monge 病) 7 个临床型。此外尚有高原视网膜出血、高原蛋白尿、高原水肿、高山猝死等特殊表现。揭示这些病型的发病机制并提出有效防治措施是高原医学研究重点。

三、高原临床医学

高原环境影响和改变了某些疾病发生发展的规律。如在世界多数高原地区发现高血压及冠心病在久居特别是世居人群中发病率低，相反某些类型的先天性心脏病则发病率很高。慢性阻塞性肺疾患在高原不但发病率高，而且进展快，病情重，病死率高。高原易发胃溃疡、胆道疾患、妊娠中毒和镰状细胞贫血危象等。对这些规律的研究有利于阐明环境与疾病间的相互关系，并可对某些疾病采取特殊防治措施。另外，又可利用高原特殊气候对支气管哮喘、动脉粥样硬化、再生障碍性贫血等进行康复治疗。

四、高原卫生学

劳动卫生的任务是划分合理的高原劳动等级，制定高原劳动保健措施，因此必须从生理学、卫生学方面共同着手。营养卫生是从生物能量学的角度解决高原适应问题。近年来每年有数百万计的旅游者到世界各高原高山地区观光游览，其中约 10% 的人发生高原反应甚至重型急性高原病，他们需进行卫生指导和急救监护。当前高山急救医学正在兴起。

由于高原医学的核心是研究缺氧，而缺氧则是普通医学中极带共性的病理生理问题，因此某些理论机制的澄清可作为普通医学的重要借鉴。高原医学与航空航天医学、深潜医学又有密切的关系，它们之间互相渗透，互相促进。

我国高原医学科研有着明显的优势。首先是环境优势，青藏高原是一个得天独厚的巨大天然实验室 其次是群体优势 高原上生活着 10 余个有着不同适应历史的民族，其中藏族被认为已获得最佳高原适应性。在卫生部和中华医学会的重视下，已拟定出一项全国性高原医学科研规划。今后应充分利用优势，加强横向联系，协同攻关，进一步发展我国的高原医学事业。

五、高原疾病的防治任务

高原病是高原低氧环境特发的一组疾病。其中急性高原病发病急骤，常造成进入高原的集体 如工人、军队等 大量减员。重型急性高原病病情危重 威胁生命 抢救不及时会导致死亡。慢性高原病累及多脏器系统，病程迁延，严重影响健康和减损劳动力。我们曾经连

续 8 年(1978~1985)在青藏高原广大地区,按 3 个海拔段 2 261~2 808m,3 050~3 797m,4 068~5 226m)对移居和世居人群进行了大群体(儿童 15 251 人 成人 25 618 人)的流行病学调查结果。急性轻症高原病的发生率平均为 39.5% 急性重症高原病 高原肺水肿、脑水肿 发生率为 0.28%~0.47% 慢性高原病各型患病率平均为 1%~2%。

随着青藏高原的改革开放和资源开发,每年有越来越多的人进入高原,当前青藏高原的总居民数约 1 000 万人,如按慢性高原病的最低人群患病率 1%~2% 估计 患者总数也在 10 万人以上。因此,加强对各型高原病发病机制的研究,采取积极有效的防治措施,将是一项迫切的研究任务。概括起来,主要有以下几个方面。

(一) 易感个体预测

应用科学的测试方法,在进驻或居住高原的群体中,事先预测出对低氧易感的个体,这类人发生高原病的几率极高,从而被认为是不宜进驻者。基本方法是给予一定生理刺激(缺氧、运动等)观察人体的反应,分出对习服好坏的两种类型,找出相关及回归方程,建立判别模式,回到现场验证其敏感性与准确性,肯定预测指标方法的有效性。目前已有血气法动脉血氧饱和度 SaO_2 及肺泡-动脉氧阶差 $AaDO_2$ 的判别图法,心肺功能运动试验前后心率差与血氧饱和度差比值 HRD/SaO_2D 及通气差与血氧饱和度比值 (VED/SaO_2D) 判别式等预测方法。

(二) 生命早期获得适应

机体与高原低氧环境间的对立统一是从受精卵起即发生的,逐步建立起母体-胎儿相统一的“胎盘机制”。小儿出生后,生存于低氧环境之中,故生命早期适应是至关重要的生物期。因不论是器官组织的生长发育,还是细胞分子的生理代谢,都从早期获得和巩固。错过这一宝贵时机,则难以建立起完善的整体适应机制。因此,除了易患小儿高原性心脏病的儿童外,高原移居者的后代其生长发育阶段应在高原度过。

(三) 高原适应性锻炼

人类应主动去适应高原,有机地调动生理能动性,最积极有效的方法就是运动锻炼。高山边防部队的军训效果最具说服力。运动员在中高海拔地区的高原训练并未对心肺功能产生负效应,相反提高了最大有氧能力。上海生理研究所曾设计出“高原呼吸体操”供锻炼使用,旨在提高通气及心泵功能。但应注意循序渐进,在医生指导下选择适合于个人的运动方式及运动量。

(四) 致适应剂的应用

国外利用药物手段防治高原病,主要用利尿剂、肾上腺皮质激素、镇静剂、醋氮酰胺等,但疗效不理想,并易有一定不良反应。我国主要从中藏药中研究出一批具有致适应作用的药物,称致适应剂(adaptogen)。其特点是非特异性的药物作用,使机体能在特殊环境(低氧、严寒、高热等)中加强生理调节,与环境达到新的平衡。主要药物有人参、党参、红景天、唐古特青兰、紫堇、花粉等,可单用或组成合剂。这些药物显示对促进机体的低氧适应、防止高原病发生有较好作用。

(五) 各型高原病的早期防治

从流行病学研究中已找到高原病发病的“危险因素”,如海拔过高、登高速度过快、有过劳、受凉、上呼吸道感染等诱因。年幼或老年,原患有心肺等疾患者最易发病。针对这些因素,可采取相应防治措施。一旦发现可疑病人,应早期诊治,这关系到预后。不论移居或世

居者，对高原适应是有限度的。国际上为什么把高原 high altitude 的上限定为海拔 5 500m，就是因为人类居住超过这一界线，即使有良好的居住条件、丰富的营养，也不免要发生高原衰退，因此对在特高海拔作业的工人或边防战士，应有特殊劳动保护措施。

总之，我们在高原适应的问题上并非束手无策，而是初步探索出了一条科学之路，但距根本解决还只是万里长征的第一步，因此高原病的防治任务还任重而道远。

六、高原卫生保健的主要任务

高原劳动卫生保健主要研究高原特殊环境对人体影响的机制，致病因素及生理、心理、病理改变 发病过程和对劳动能力的影响 以达到预防为主、保护劳动者身心健康、提高劳动者身心素质、为高原开发建设多作贡献的目的。其主要任务如下。

(1) 在高原地区开展对高原特点及预防保健知识的宣传普及，从初中学生至各行业人员，了解高原卫生要求，重视高原自我保健。

(2) 组织各级医护人员认真学习，掌握高原常见病、特发病防治知识，做到在搞好预防基础上 早期发现 早期诊治。

(3) 深入研究高原特殊环境对人体影响的机制、致病因素及生理、生化、心理、病理改变 发病康复过程 针对高原常见病、特发病防治研究 保障人群身体健康。

(4) 调查研究高原环境条件对人体健康生活和劳动能力影响的各种因素和对策，为国家有关部门提供制定有关高原劳动卫生、安全防护措施的科学依据。克服不利因素，充分发挥有利因素，保护劳动者，进一步提高劳动者的劳动能力，更主动积极地适应高原的生活和工作。

七、高原医学展望

高原医学的主体是解决人体在高原这一特殊环境里所出现的医学问题，其核心是阐明机体对低氧的适应机制和提出对各型高原病防治的有效措施。因此，它必须涉及基础、临床、预防、心理、生物等多学科范畴。

低氧适应是一个很受关注的问题，近年来我国高原医学科研工作者通过细胞生物学和分子生物学方法，对高原适应生理的研究证实，在机体低氧适应的氧提取、氧运输和氧利用这 3 个生理环节上，我国藏族世居人群与汉族移居人群间的适应机制存在着差异，移居者主要依靠功能适应 (functional acclimatization) 如用通气增强、心排出量增高、红细胞增多等来弥补缺氧，而世居者呼吸循环功能的增强并不占主导地位，更多地依靠组织适应 (tissue adaptation)，即对氧的利用更经济有效。与另一支同源源于蒙古人种的南美安第斯克丘亚印地安 (quechua indian) 高原世居人群相比 青藏高原藏族人群在低氧下通气敏感钝化不显 肺循环的稳态调节及与体循环的有机匹配，最大有氧能力及低氧耐力等方面均明显优于克丘亚印地安人，显示人类居住高原历史最长的藏族人群具有最佳的生理适应模式，获得了最佳的高原适应性，这是长期对高原自然习服的结果。

此外 应用比较生理学方法对高山土生动物 如美洲驼、驼羊、牦牛、鼠、兔等 和迁居高原动物进行对比研究，也发现前者主要依靠组织适应，以红细胞不增多、肺动脉低压反应及血红蛋白氧亲和力增强为三大标志，认为这是遗传适应 (genetic adaptation) 的特征 是长期自然选择的结果。从对高原环境的生物适应出发，将高山土生动物称为“基因型 (genotype)，

将迁居高原动物称“表现型”(phenotype)。

这样 在整体统一调控下 组织适应极为关键 它是建立在肌红蛋白、血管通道、细胞线粒体功能结构、酶学、有氧与无氧代谢功能系统等一系列组织生理学的细胞分子水平上，因此，高原医学必然步入分子生物学的研究。当前，国际上已开始对高原动物及不同人群进入基因水平的研究，纳入到生命科学的伟大工程之中，这就将为低氧适应机制和高原劳动力受限因素找到答案，同时对高原低氧的各种病理损害（如高原病）机制的认识也有重要意义。

高原医学的最终目标是有效地防治各型高原病，不仅要提高高原劳动能力，更要提高高原人群的生命质量 使之健康、强壮。

我国高原医学已有较好的基础，形成了一支多学科、人数众多的科研队伍，学术上紧密结合青藏高原实际 在国际上独具一格 当前正瞄向国际科学发展前沿 迎接 21 世纪的科学挑战。

（吴天一 胡鸿勤）

第二章 高原世居与移居人群

高原人类群体 (high-altitude human populations) 的研究有重要意义。从生理学上涉及人群低氧习服 - 适应的机制及规律, 从医学上涉及到某些高原病的危险人群, 从生物学角度则涉及人类在极度环境中的进化及遗传适应 (genetic adaptation) 这一本质问题。当前的高原医学研究 往往集生理学、临床学、流行病学、人类学、生物学为一个整体 相互交叉印证 最后获得综合性的理论, 来解决人类高原适应和高原病的防治问题。

第一节 世界高原人群及分布

全世界居住在高山地区的总人数约有 4 亿人, 但大多居住在海拔较低的谷地上 (Ward, 1992)。De Jong(1968) 估测全世界居住于海拔 3 000m 以上的总人数为 1 300 万 ~ 1 400 万。据笔者 1998 年 5 月在第三次世界高原医学及生理学大会 (松本, 日本) 上收集到的资料估算, 全世界现有 1 780 万人居住在海拔 3 000m 以上。

世界上高原人群分布甚广 包括亚洲、非洲、北美洲和南美洲的许多高山和高原地区 在欧洲 阿尔卑斯山区 和大洋洲 (巴布亚、新几内亚) 也有少数高山居民。但世界上最大的两支人类群体一是南美安第斯山的印地安人, 另一为我国青藏高原 (包括喜马拉雅山区) 的世居及移居人群。

据考南美安第斯印地安人 (Andean Indians) 原系亚洲居民, 于 4 万 ~ 10 万年前的更新世晚期 越过当时冰封连接亚 - 美洲的白令海峡 (MacNeish, 1971) 他们首先来到北美洲 然后有相当数量的一支人群到达南美洲, 其中又有一些强悍的群体到达了安第斯山, 首先比较集中在海拔 3 812m 水草丰美的喀喀湖地区, 发展了安第斯文化。并于公元 10 世纪前后在秘鲁建立了“印加帝国”, 为人类历史谱写了光辉的一页。安第斯印地安人定居高原的年代距今 1 万 ~ 1.5 万年 (Winslow, 1987), 但 Moore 认为是 8 000 年 (Moore, 1992)。15 世纪初至 16 世纪, 西班牙人逐渐入侵拉丁美洲及安第斯, 使群体结构发生变化。西班牙人入侵时安第斯印地安人总数为 450 万 ~ 750 万。1980 年统计有 1 000 万至 1 700 万人居住在海拔 2 500m 以上 (Winslow, 1987)。据 1993 年秘鲁政府的统计, 居住在海拔 1 501 ~ 2 000m 的人数为 563 427 人, 海拔 2 001 ~ 3 000m 为 3 233 798 人 (占全国人口的 14.67%), 海拔 3 001 ~ 4 000m 为 4 031 872 人 (占全国人口的 18.29%), 4 001 ~ 5 000m 为 216 303 人 (占全国人口的 0.98%) (Gonzales GF, 1998) 可见占总人口 19.27% 的人居住在海拔 3 000m 以上 是世界上高原人口比率最大的国家。

安第斯印地安人可分为两大支系, 即克丘亚印地安 (Quechua Indians) 和阿依玛拉印地安人 (Aymara Indians)。Quechua 主要居住在安第斯中部的秘鲁, 部分居住在厄瓜多尔、阿根廷北部、玻利维亚和智利。Aymara 主要居住于玻利维亚, 少数也散居在上述安第斯山国。目

前对这两支印地安人已作了大量的高原生理学及医学研究。

15世纪后西班牙人入侵安第斯，并与当地人产生了许多混血后代，西班牙语称 *Mistizo*，在 500 多年的历史长河中，长期的混杂使种族的血统谱系很难查清，所以在高原生理和高原医学研究时，从人类学观点很难找到一个理想的高原移居群体，以和世居群体对照研究，这是南美高原群体研究中的一个不足。

北美的高原定居居民主要在加拿大育空地区 (Yukon area) 和美国科罗拉多州 (Colorado) 科罗拉多的最高居民点为利德维尔镇 (Leadville) 海拔 3 100m 居民数仅 8 000人，他们居住高原的历史约 1 个多世纪。

东非高原的埃塞俄比亚、坦桑尼亚和肯尼亚等有大量中度高原居民，如埃塞俄比亚全国总人口的约 50% 即 2 600万人居住在海拔 2 000m 或以上。这里是天然的“高原训练”基地，全世界的最著名长跑健将几乎均出于此地。肯尼亚的卡彭古里亚高原被誉为“长跑之乡”。肯尼亚维多利亚湖畔海拔 1 500~2 000m 的 Kalenjin 族和 Kipsigis 族具有股骨较长的体格优势和长期高原上奔跑的获得性训练效果，在长跑竞赛中几乎天下无敌手 (BBC, 1975; 吴天一, 1986)。

中亚的天山和帕米尔高原居住着吉尔吉斯人、哈萨克人和塔吉克人，大都为牧人，多数放牧于海拔 3 000~3 500m。

在亚洲的喀喇昆仑山 (Mt. Karakoram)、兴都库什山脉 (Shindukush mountains) 和喜马拉雅东麓居住着阿富汗人、巴基斯坦人、查谟和克什米尔 (Azad Jammu and Kashmir) 人。近年来已开始重视对这些群体的高原医学研究 (Gen M, Muhammad SQ, 1998)。

第二节 我国的高原世居和移居人群

一、青藏高原世居藏族

占国土陆地面积 26% (250万 km²) 号称世界屋脊的青藏高原上的本土居民就是藏族。由于历史上曾建立过吐蕃王国，故国际上习称他们为 Tibetan。关于藏族的起源有许多学说，有人认为藏族源于西羌，有人认为藏族源于印度释迦王系，也有人提出藏族源于雅鲁藏布江流域的古代居民，即藏族祖先起源于西藏本土。近经中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的科研人员通过对西藏林芝地区发现的新石器时代人骨的研究分析，认为是属于中国北部的晚期智人，结合人类学研究，藏族无疑属于蒙古人种的东亚类型。

关于藏族在青藏高原上生存发展的历史，也有不同的论证。西方学者多数引证意大利人类学家 Morpurgo (1976) 提出的即 50 万年。美国人类生理学家 Moore (1992) 认为根据古生物学考证喜马拉雅地区 (包括西藏) 人类最早存在于 25 000年前。根据中国科学院青藏高原综合科学考察队于 70 年代在青藏高原的藏北羌塘、阿里那曲和可可西里等地区采集到多种古人类打制石器，有形制稍大的石片石器，有制作精制的刮削器和尖状器，可能属于旧石器时代的遗存，由此推论几万年前青藏高原就有了人类活动，他们就是藏族的祖先。总之，我国青藏高原世居藏族在世界高原人群中是历史最长居住海拔最高的群体，这一点在认识藏族低氧适应特点是至关重要的。

藏族根据生活地域、方言和某些习俗又分为几个支系，博巴 (Boba 或 Bod-pa) 在西藏绝

大部分地区。康巴 (Kangba 或 Khampa) 在青海玉树、西藏昌都、四川甘孜、云南迪庆等地。安多 (Anduo) 在青海大部地区、甘南、西藏那曲、四川阿坝等地。生活在西藏樟木和尼泊尔的舍巴或谢尔巴人 (Sherpa) 人类学家认为系藏族的一个支系 Gupta 等,1985 或起源于藏族的一个亚群 Dickinson,1979)。Sherpa 即藏语“东方来的人”原系藏族的一支游牧部落后越过山口来到尼泊尔 (Houston,1979)。国外对 Sherpa 人的生理研究作了不少工作,并与藏族等同起来。此外,生活在西藏措那、墨脱一带的门巴族 (Monba)(藏语门隅地区人)和生活在洛隅、墨脱、米林一带的珞巴族 (Lhoba)(藏语洛隅地区人)和藏族在种族、文化、宗教上有着密切联系。

总之,藏族是一个完整的高原群体,由于历史上青藏高原地理环境的封闭性和藏族婚俗的对外隔离性,使这一群体形成显著的遗传学隔离 (extreme genetic isolation) 这对研究高原遗传适应提供了最理想的条件。近年国内有人把藏族按地域分为西藏藏族、青海藏族等,这从人类学、民族学和生理学上看都是很不妥当的。

藏族的总人口数据全国第四次人口普查 (1990) 为 459 万。其中居住在海拔 2 001 ~ 3 000m 占人群总数的 25.8%,3 001 ~ 4 000m 占 51.3%,4 001 ~ 5 000m 占 20%,5 000m 以上占 1.02%。除了藏族牧民夏季及冬季牧场有季节性迁移 (其高差约 200 ~ 500m) 以外,藏族为高原持续固定居民,而不像尼泊尔 Sherpa 人居住于喜马拉雅峡谷地带,经常有上下移动性居住。国外学者 Winslow 等认为藏族所以没有红细胞增多、肺动脉高压等是由于他们劳动点高,居住地低,并常向低地移动有关,这种说法纯系臆测而不是事实。

二、青藏高原其他世居民族

(一) 回族

回族主要分布于青海省和西藏拉萨。据历史记载,在唐代与宋代,青藏高原已有回族先民活动。元代蒙古军西征大批迁军来的“西域亲军”中有大批伊斯兰属民族入居河湟谷地屯聚牧养,以后随地入社,进行垦植,统称回族。明、清后又有不少回族迁入青海。故回族在青藏高原定居的历史 500 ~ 700 年。1990 年全国第四次人口普查时青海回族总数为 638 847 人。主要居住在西宁、平安、湟中、大通、门源、祁连、民和、乐都、循化、化隆、贵德和拉萨,大部在海拔 2 000 ~ 3 000m,其散居者几乎遍及青藏各地。

(二) 撒拉族

撒拉族的族源,有过不同说法。经过近若干年来的研究,已取得了比较一致的结论,即是元代蒙古军西征时集体迁军东来,其中一支源于中亚撒马尔罕,远祖名撒鲁尔,属西突厥乌古斯汗部,由其中阿干汗之子尕勒莽率本族 170 户集体东迁,经河西走廊,到过宁夏,东行到秦州,又折向西行经洮州、甘南州而到今循化县的。初来时人数约 1 000 人,这是形成撒拉族的基础和主体。经过长期发展,通过与周围藏族、回族通婚增加新鲜血液,以及河州回族不断迁入,而扩大民族主体。笔者 1993 年曾去今乌兹别克斯坦塔什干、撒马尔罕考察,从民俗、语言、体格外形、心理、信仰等均证明撒拉族与当地中亚人有历史密切相关性。但他们在青藏高原 700 年的历史中,又吸收了汉族、藏族、回族等的文化。

全国第四次人口普查 1990 撒拉族在青海为 77 003 人,主要居住循化和化隆甘都,另有 4 000 余人居住于甘肃省积石山保安族东乡族撒拉族自治县。撒拉族语言属阿尔泰语系突厥语族乌古斯语组,全民信仰伊斯兰教。撒拉族是一个勤劳、勇敢、强悍、智慧的民族。尽管

他们生活的地区在海拔1 870~2 500m 但其高原适应性则较好 青藏干线等的公路修筑、江河源头的采金场地 他们都无所不在,一些海拔3 000~4 000m 甚至更高的艰巨工程,撒拉人都能顽强攻克。这是值得加以研究的。

(三) 蒙古族

蒙古族是在祖国北方草原上发展形成的。南宋开禧二年(公元 1206 铁木真被尊上成吉思汗后,即开始向邻境扩张。公元 1225 年成吉思汗西征东返,于 1227 年 3 月分兵攻破洮州、河州及西夏的西宁州。6 月西夏亡。蒙古军攻占西宁州后,即有大批迁民散布于青海柴达木及青海湖环湖地区。蒙哥汗三年(公元 1253 年)蒙哥继大汗位 命其弟忽必烈率部出征。次年秋 忽必烈率大军从临洮南下 其达吾尔部在卓格浪地区(今甘肃玛曲、四川若尔盖和青海河南一带)设立驿站和马场,以后一部分留居下来,成为今青海省黄南州河南县蒙古人中最早移居该地的部落。这一蒙古人群因处藏族包围中,故漫长的历史使他们在言语、习俗上受藏族影响很大。

1990 年第四次人口普查青海有蒙古族 71 515 人,主要聚居在海西蒙古族藏族自治州和河南蒙古族自治县,在海北祁连、海南共和、果洛玛沁等也有散居者。历史上原来生活在海拔 1 000~1 500m 内蒙古高原的蒙古族 迁居青藏高原后海拔上了一个台阶 多数在 3 000~3 500m,放牧在祁连山和昆仑山的牧人更高达 4 000m 以上 在经过了近 780 年后 其群体低氧适应性已发生了较大变化,这应是人类生理学上值得关注的问题。

(四) 土族

土族族源尚无定论。一说是吐谷浑后裔,在河湟地区繁衍而成土族先民。元、明时期吸收了部分蒙古人,发展形成土族。另一说是元代蒙古将军格日力特率部进驻互助地区,后留居下来并与当地霍尔人融合形成土族。总之,土族血缘上与蒙古族关系密切,他们自称“察汗蒙古尔(即白蒙古)或‘蒙古勒’其语言属古蒙古语喀拉沁语系。信仰藏传佛教。

1990 年 聚居青海的土族共 162 865 人。主要分布在青海东部的互助土族自治县、大通、民和、乐都和黄河以南的同仁。甘肃的天祝、永登亦有 3 万余土族。土族主要从事农业,流动性不大 长期适应于海拔 2 000~2 500m 高度。

(五) 哈萨克族

1935~1936 年间,不堪盛世才残酷镇压的部分哈萨克人,从原居地新疆阿尔泰和巴里坤一带 海拔 600~1 000m 大批迁居青海海西柴达木、青海湖环湖地区及海南共和等地 过着流落的游牧生活。解放后被妥善安置于格尔木的阿尔顿曲克区,但放牧于昆仑山中。另一部分哈萨克人定居于当金山下的甘肃阿克赛,放牧于阿尔金山区。由于他们的高原健康问题突出 笔者受甘肃、青海省政府委派 率队于 1981~1982 年先后在昆仑山和阿尔金山对哈萨克牧民进行了近一年高原生理和高原病调查。尽管他们从第一代起在青藏高原居住近 50 年已至第三甚至第四代人,但由于他们生活的地区海拔甚高(3 600~4 500m) 高山气候严酷,劳动强度很大,故各型高原病发生率甚高,如高原性心脏病人群患病率成人 1.50%,小儿 2.95% 高于汉、蒙古及藏族 吴天一,1983)。在高山环境中新生儿出生率低而婴幼儿死亡率高。后青海哈萨克终因思念故土等原因(也包括高原不适应因素)经中央批准迁回新疆。这是历史上所发生的一个平原群体,迁入并定居于青藏高原,在高海拔的山区从事牧业强劳动,所出现的高原适应问题是应引以为戒的。

三、关于世居及移居汉族群体

以遗传学理论为基础,我们把平原人移居高原并持续居住高原繁衍至第三代以后,即从第四代起定为“世居者”(native),三代及以前为“移居者(immigrant)。据此,青藏高原汉族与其他民族不同,由于历史原因可分为世居和移居两部分。

(一)世居汉族

青藏高原世居汉族主要在青海省,西藏等其他藏区较少。汉族从内地迁入青藏高原,前后分三个阶段。第一阶段开始于西汉武帝时(公元前140~前88年)历东汉、三国、通过在河湟驻军、屯垦、修城、浚渠对古代青海东部的农业开发作出了贡献。但在历史长河中,早期汉族移民与西部古老民族氏(音di)、羌和吐谷浑等有广泛混血,种族谱系已不清。第二阶段是隋唐时期(公元581~907年)又有成批汉族迁入,但以后或东迁,或在吐蕃统治下大部藏化。第三阶段是最具有历史和现实意义的,起始于明洪武三至六年(公元1371~1374年),有大批汉族从江淮一带移来,后来又有汉族不断迁入河湟谷地和西宁。看来在民间广泛流传的明代由南京珠玑巷迁来的传说还是有根据的。

这些青海本地汉族人,在海拔2000~2500m部分迁移海西2800~3000m,适应了半个多世纪,已表现出较好的低氧适应能力。在文化传统上既保持了汉文化,但在习俗、饮食和语言结构上又受到藏族等一定的影响。在高原研究中是应与移居汉族相区分的。

(二)移居汉族

移居汉族指新中国成立后从祖国内地平原地区移居青藏高原者,最集中于青海省和西藏拉萨、日喀则等地。青海省1949年解放初期全省人口总数1483282人,少数民族占52%,故汉族约71万人,当时主要为世居汉族。50年代后期曾有大批汉族移居青海,包括农村、公社、整个工厂、科技人员,前来支援高原建设。从六七十年代至80年代中期还不断有平原汉族迁入。1985年后迁入减少,迁出增多,并有大批离退休干部、工人返回平原故乡。1990年全国第四次人口普查时,青海总人口为4456946人,比1949年增加了2973664人,50年代净增人口增加了2倍多,平均每年增加7.34万人。少数民族占42.1%。从1950~1985年迁入青海总人口数为122.3万人,扣除此间迁出人口63.4万人,净迁入58.9万人。加上迁入青海人口的自然增长数,粗计从内地移居青海的平原汉族约80万人,约占青海总人口的18%。整个青藏高原的移居汉族约100万人,约占青藏高原总人口的10%。

移居汉族大多聚集于青海西宁和东部海拔2200~3000m地区,但也散布在整个青藏高原。由于适应历史仅40年左右,目前为第三代,故只处于习服水平,所出现的高原适应问题较突出,各型高原病的发病率也较高,是一个应加关注的人群。

第三节 高原群体研究的方向

低氧适应是高原医学和生理学的核心。对这一问题的研究从宏观上即是研究高原某一物种或群体,从微观上通过细胞生物学从分子水平上研究氧的利用过程。两者的结合即可获得一个整体的概念。

经过多年的研究初步证实,在机体低氧适应的氧提取、氧运输和氧利用这3个环节上,青藏高原藏族世居人群与汉族移居人群间的适应机制存在着差异,移居者主要依靠功能适

应 (Functional acclimatization) 如以通气增强、心排出量增高、红细胞增多等来弥补缺氧。而世居者呼吸循环功能的增强并不占主导地位，而更多地依靠组织适应 (Tissue adaptation) 即对氧的利用更经济有效。与另一支同源于蒙古人种的南美安第斯 Quechua 印地安高原世居人群相比，青藏高原藏族人群在低氧下通气敏感钝化不显，肺循环的稳态调节及与体循环的有机匹配，最大有氧能力及低氧耐力等均优于 Quechua 印地安人，显示人类居住高原历史最长的藏族人群具有最佳的生理适应模式，获得了最佳的高原适应性 (吴天一, 1983; 1998) 这是长期对高原自然习服的结果。

另外需要提及的是，高原另一个生物种群——高山土生动物 (indigenous mountain species) 如美洲驼、驼羊、牦牛、鼠、兔等和迁居高原动物进行对比研究，也发现前者主要依靠组织适应以红细胞不增多、肺动脉低氧反应钝化、无肺动脉高压及血红蛋白氧亲和力增强 (P50左移) 为三大标志，认为这是遗传适应的特征，是长期自然选择的结果。从对高原环境的生物适应特征出发，将高山土生动物称为“基因型”(genotype) 动物，将迁居平原动物称为“表现型”(phenotype) 动物。这些高原生物学理论对我们研究高原人类群体的适应问题有极大借鉴意义。

最后应指出，青藏高原有上述不同适应历史的各个人类群体，为我们研究医学生物学提供了得天独厚的条件，这是全世界任何其他高原和高山地区所不具备的。目前高原生理研究正和生物适应结合起来，一项基因水平的研究正在高原人类群体和高山土生动物中展开，这将为揭开“高原适应之谜”打下更坚实的基础。

(吴天一)

第三章 高原自然环境及对人体的影响

高原地区由于海拔增高,大气压下降,根据 Dalton 定律,其中的氧分压也随之下降。此外,根据垂直定律,随着海拔增高,气温呈递减性下降。因此,把高原地区也常称为高寒地带。同时,高原紫外线强烈,相对湿度下降,气候变化大,这些因素也都综合地作用于机体。但在低气压(低氧)、低温、低湿、太阳辐射强等诸多因素中,低气压是对机体影响的决定性因素。

低气压(low barometric pressure)系指大气压力减低。低气压对人体(包括生物)的影响主要有二,即压力过低引起的压力效应和大气氧分压减低引起的低氧效应,后者具有更重要的生理和临床意义。

人类处于低气压环境有若干种情况:①航空航天(aviation and space station)。乘坐飞行器或载人航天飞行器进入低气压空间。低压舱(low pressure chamber)或称减压舱(decompression chamber)。是模拟高空低气压环境的实验设备,用于研究低气压与缺氧对机体的影响及其防护,也可用于对飞行员、航天员进行高空生理适应、低氧耐力检查和医学鉴定,目前也用于对运动员进行模拟“高原”训练,以提高耐力性等项目的成绩。高原和高山(high altitude and mountain)。这是最广泛、最现实的情况。“高原”一词从医学生物学的角度而言,系指能激发机体产生生物学效应的环境和高度。一般来说,海拔1 500m是产生缺氧的起始高度,而海拔3 000m以上则低氧效应更加明显,高原病也常易发生。

世界上有许多高山和高原,海拔3 000m以上地区约占地球陆地面积的11%。有人统计,全世界常住高原的总人口数为1.5亿,住在海拔3 000m以上的总人数为2 500万(De Jong, 1970)。随着旅游业的发展,每年有大量人群到世界各高山或高原地区观光、滑雪或登山,如美国的粗略估计每年即有近百万人,其中约10%可能发生明显的高原反应。

我国是世界上高原面积最辽阔的国家,特别是号称“世界屋脊”的青藏高原,海拔最高,平均在4 000m以上,面积最大,约占国土总面积的1/4,人口在1 000万以上,而且正在不断增长。我国高原物资丰富,有重要的经济价值,又有漫长的国防线,有重要的军事地位,高原经济建设正在不断发展。但这一特殊低气压环境对人类的影响将成为一个突出的问题,其核心是要解决人体的低氧性适应和各型高原病的防治。我们于1987年在青藏高原海拔2 261~5 226m广大地区对15 251名儿童和25 618名成人的调查发现,高原病是高原地区最常见的疾患,急性高原病的总患病率为40.25%,慢性高原病的总患病率为9.16%。可见其防治刻不容缓。当然高原低气压还会影响到生命规律、劳动效率和健康水平等一系列问题,故本章将高原低气压作为讨论的重点。

第一节 大气的结构与成分

大气即空气,是人类赖以生存的重要外界环境因素之一。它包围在地球表面,并随地球

的转动而流动，其厚度在两极为 2 800km 在赤道处为 4 200km,95%的空气集中在地球表面 12km 高的范围以内，越向外围空气越稀薄。这一厚层的气体，称之为大气层。

大气结构按其高度及温度特征，可分为 5 层 基层、对流层、同温层、电离层和大气外层。基层是围绕地球的最低层，其高度在海拔 2 000m 以下。对流层又称变温层 (layer of temperature changes) 因其上下空气经常发生对流而得名 高度自海拔 2 000 ~ 12 000m 此层约占大气总量的 79%。基层、对流层与人类的生存关系最直接。大气是数种气体的物理混合，其主要化学成分是氧和氮，氧占 20.95% 氮占 78.09% 二氧化碳占 0.027 2% 此外尚有微量的氢、氦、氩、氪、氙、臭氧等其他气体。所有上述气体 以不变的比例存在于接近地面的空气中。

第二节 大气压

一、基本概念

空气因有质量所以也有重量，受地心吸力的作用对地面任何物体都有压力，这种由大气重量所产生的压强，称为大气压强或大气压力，简称大气压 (atmospheric pressure, P_B)。换言之，大气压是由空气分子密度所决定的。也就是大气压是与一定面积上面的空气柱重量相等的空气压力。

在海平面，大气对每平方厘米面积施加的平均压力等于 1.033kg 它也相当于 760mmHg 的重量。国际上把位于海平面上，温度为 0 时 水银气压计内的水银柱高度为 760mm 时的标准大气压力定为一个大气压。

尚可用其他单位面积上所受重量的数值来度量大气压力，文献中较常用的是：

$$\begin{aligned} 760\text{mmHg} &= 29.9\text{inch Hg (英寸汞柱)} \\ &= 14.71\text{lb/sq inch (磅 / 平方英寸)} \\ &= 1\,033.3\text{g/sq cm (克 / 平方厘米)} \\ &= 1\,013.25\text{millibars (毫巴)} \\ &= 101.33\text{kPa (千帕斯卡)} \\ &= 1P_B \end{aligned}$$

医学上测量大气压力的单位惯用千帕 (kPa) 或毫米汞柱 (mmHg) 气象上则常用毫巴 (mb) 来表示。

大气压力是均等地向各个方向散布的。海平面上一切物体包括人体在内，均受到每平方厘米 1.033kg 压力 以成人体表面积约 2m² 计 则周身所受压力达 20 000kg 所幸流体压力系从各方面平等加压，因此我们并没有什么感觉。

二、低气压

由于大气压力是取决于空气的重量 所以 离地面越远 即高度越高 大气顶端到该高度的厚度就越薄，因而从该高度以上空气柱的重量就越轻。同时，从地面向上，大气密度逐渐由稠变稀 即高度越高 大气密度或质量越小 压力就越低。

因国际上是以海平面的位置来定标准大气压的，地面上任一地点高出海平面的垂直高

度 称海拔高度。故海拔高度越高 大气压越低 海拔 2 000m 以上 已形成对人体产生生理应激的低气压 表 3-1)。

表 3-1 海拔高度与大气压及氧分压 (mmHg)的关系

海 拔 高 度		大 气 压		大 气 氧 分 压
/m	/ft	总的压力	减去水气压 47mmHg(BTPS)	(干气体)
0	0	760	713	159
1 000	3 281	674	627	141
2 000	6 562	596	549	125
3 000	9 843	526	479	110
4 000	13 123	462	415	97
5 000	16 404	405	358	85
6 000	19 685	354	307	74
7 000	22 966	308	261	65
8 000	26 247	264	217	56
9 000	29 528	230	183	48
10 000	32 808	198	151	41

注 1ft(英寸)=0.3048m, 1mmHg=0.133kPa

第三节 低压性缺氧

按道尔顿定律 (Dalton law) 在混合气体中每一种气体的压力 不但与它单独占有同一空间时所产生的压力相等, 而且大气各化学成分如氧、氮等气体在空气中占有的比例是固定不变的, 不因海拔高低而变化。氧气在大气中构成的那部分压力称氧分压 (partial pressure of oxygen, $P_B O_2$ 或 PO_2)。 $P_B O_2 = P_B \times 21\%$; 在海平面 $P_B O_2 = 760 \times 0.21 = 21.23kPa$ (159.6mmHg) 在海拔3 000m $P_B O_2 = 526 \times 0.21 = 14.70kPa$ (110.5mmHg)。

海拔越高, 空气越稀薄, 大气压下降, 氧在大气中构成的那部分压力也相应按比例减低, 称为氧分压下降 表 3-1)。

大气氧分压减低时, 机体吸入气氧分压下降, 肺泡气氧分压降低, 致动脉血氧分压及动脉血氧饱和度随之下下降, 引起低氧血症, 机体将会出现缺氧, 由这一原因引起的缺氧称低压性缺氧 (hypobaric hypoxia)。人类处于低压性缺氧最现实最重要的就是高原环境, 当然在航空航天及人造低压舱等特殊条件下, 也可发生低压性缺氧。

第四节 低压缺氧对人体的不良影响

低压缺氧对机体的不良影响可分为对生命过程、劳动过程和疾病过程 3 个方面。

一、对生命过程的不良影响

低压缺氧对生物的影响是从受精卵生命开始的瞬间即开始的, 随后影响整个生命过程。

(一) 对胎盘与胎儿发育的影响

高原低氧环境下胎儿的发育受到影响, 与平原相比, 高原胎盘重量较大, 胎儿体重较轻,

胎盘重量与新生儿体重的比值即胎盘指数 (placental coefficient) 增大。平原地区 胎盘指数的上下限值为 0.10~0.18(Little, 1960) 如超越此限 将可出现围生期疾患。而高原地区 胎盘指数增大。Sobrevilla(1971) 在秘鲁对比了利马 海拔 150m 和赛罗·德·派斯科 海拔 4 330m) 的新生儿重各为 $3\ 482 \pm 136$ g 及 $2\ 990 \pm 139$ g (均值 \pm 标准差) 差异显著 ($P < 0.01$) 胎盘重各为 515 ± 34 g 及 522 ± 18 g ($P > 0.05$) 而胎盘指数各为 0.139 ± 0.006 及 0.175 ± 0.002 , 有非常显著的差异 ($P < 0.001$)。Kruger(1970)对比了利马 118 名孕妇与雷欧·巴拉嘎 海拔 4 600m) 48 名孕妇 结果新生儿重各为 3 742g 及 2 917g 高原比平原轻 16%。胎盘重量各为 500g 及 560g 高原比平原重 12%。胎盘指数为 0.144 及 0.192。

根据 БОРЗБИФ(1979)在前苏联天山地区的观察,从海拔 2 500m 起新生儿体重已较平原为低。而在青藏高原的西宁(海拔 2 261m), 4 404 例正常分娩足月新生儿平均体重为 2 924g, 比我国平原地区平均值低 300g, 差异极显著。格尔木 海拔 2 800m) 1 330 例汉族移民所分娩足月男婴的平均体重为 $(2\ 927 \pm 480)$ g 女婴均重为 $(2\ 893 \pm 450)$ g 比我国海平城市上海男婴均值 $(3\ 300 \pm 360)$ g、女婴平均值 $(3\ 230 \pm 360)$ g 都小得多。

高原胎盘功能亦受影响,表现为孕妇血、尿、脐带及羊水中雌三醇较平原值均有所减低。

新生儿出生体重是衡量胎儿发育的一个重要指标,高原新生儿的低体重也将影响到以后的发育过程。

(二) 对儿童和青少年生长发育的影响

高原低压缺氧环境对儿童和青少年的生长发育也有明显的影响。这在东非高原、南美秘鲁及亚洲尼泊尔地区都得到证实。根据对我国青藏高原的较大规模的调查,与我国 9 城市有代表性的平原的有关测定值相比 高原儿童生长发育较差 身高较矮 体重较轻, 7~16 岁各年龄组平均值比平原组均低 1~2 龄 这种变化从海拔 2 261m 起开始显示出来 且随海拔升高而更加明显,即缺氧程度愈严重,对生长发育的影响愈明显。

除高原儿童的身高、体重、坐高、胸围值低于平原同龄儿童外,其骨骼和牙齿的发育也明显迟缓。儿童智能发育与平原标准相比也有差距。与生长迟缓一致的是高原青少年的青春期发育也较晚,第二性征的发育和女孩月经初潮年龄与平原青少年相比,晚 2~3 年。

(三) 对衰老和寿命的影响

一些平原人移居高原后往往出现衰退现象,表现出精力和体力明显下降。在青藏高原对高原人肾上腺皮质等内分泌功能、免疫自稳功能、记忆能力和皮肤老化现象进行研究,结果表明,部分高原人有早衰现象,衰老现象较平原人提前出现 5~10 年。

高原人的寿命,由于移居人口内返等流动,因此人口平均寿命不易准确计算。对全国第三次人口普查资料进行分析表明,在移居人口占半数的青海高原,人口平均寿命比全国平均寿命低 10 岁,并随海拔增高而降低。大约海拔每升高 100m 平均寿命减少 0.2 岁。用老年系数 (old coefficient) 比较我国平原人的平均值与青藏高原人的平均值亦可看出,60 岁以上的人口比 平原与高原为 16:18;65 岁以上的人口比为 20:30。但已获充分适应的藏族则有許多长寿老人,60 岁以上人口比为 10:14。

二、对劳动过程的不良影响

机体在低压缺氧条件下劳动能力受到明显的影响。这对高原劳动卫生和劳动保护等有很重要的实际意义。劳动时肌肉收缩需要足够的氧,氧需经血液运送。肌肉作功增强,需氧

量显著增加，血流量和心排出量也必须增加。一般认为，当达到最大耗氧量 (VO_{2max}) 时 氧的吸收率比安静时要增加近 10 倍 心排出量增加约 4 倍 动、静脉氧分压差增加约 2 倍。因此 机体要获得足够的氧 就必须增强心肺功能。

在高原低氧条件下，从事最大劳动负荷时肺的弥散功能和心排出量均不能满足肌肉活动对氧的需要量。当其所承担的负荷还不很大时，氧的摄取已达极限，因此耗氧量受到限制而降低，劳动能力也受到影响。

通常判断体力劳动强度是以能量消耗及耗氧量作为指标。人们早已证明，高原上各种活动时的耗热量都超过平原，即使睡眠时也不例外，在海拔 3 962m 耗热量为 17 932.6kJ/d 而相同劳动状态下在平原为 13 614.7kJ/d(Nishith, 1964)。

关于耗氧量 据 Billings 等 (1971) 观测，生活在海拔 3 800m 处的人 按海平面处 50% 及 67% 最大能力劳动 30 分钟时的耗氧量为 2.2L/min，在高原要维持相同的耗氧量只有减少一些劳动量。如果超过这一劳动量，则耗氧量减少，劳动能力下降，体内氧债增多。

上海生理研究所 (1973) 在海拔 2 600m 及 4 000m 让 5 名受试者连续进行 4 小时体力活动，当负荷量为略低于每个受试者自身最大耗氧量的 50% 时 在体力活动第 2 和第 4 小时各采血测血乳酸含量，结果在海拔 2 600m 及 4 000m 都仅有 1 人血乳酸稍增 其余不变 且 5 名受试者都较顺利地连续 4 小时劳动。这说明高原上只有选择相当于劳动者耗氧量一半的体力活动强度才比较合理。

Maher 等 1975 观察了 8 名平原人在海拔 4 300m 处第 1 天及第 11 天从事最大耗氧量为 40% 及 75% 的劳动时，发现在高原上由于最大耗氧量自 (3.73 ± 0.15) L/min，下降至 (2.71 ± 0.12) L/min 减少了 27%，故如要达到与海平面处相等的相对劳动负荷，就必须减轻劳动绝对负荷量 轻劳动 (最大耗氧量的 45%) 由 625kg/min 减为 425kg/min 中劳动 (最大耗氧量的 75%) 由 1 063kg/min 减为 794kg/min。

因此 如果不考虑高原低气压、低氧这一特定环境 仍机械地执行平原劳动强度标准 势必超过负荷 引起缺氧和过劳 如心电图可出现 S-T 段呈“缺血型”下降且 $> 0.05mV$ ，T 波倒置或双相 Q-TR 和 Q-T/T-Q 异常增大等心肌缺血的表现，甚至诱发各型高原病。

此外，高原劳动时通气量增加，且随海拔增高而递增，最大呼吸能力也随海拔高度而递增 在海拔 3 050m、5 185m 及 8 235m 处分别增加 12.2%、24.2% 及 36%。有人指出 运动通气量的增加，抵消了最大呼吸能力按比例增加对劳动效率的有利作用，在海拔 4 000m 运动通气量比平原增加 32% 最大呼吸能力增加 15% (Gupta 等, 1972)。通气显著增强的另一弊端是通气耗氧量急剧升高，这在低氧条件下对氧的利用是极不经济的，而且这可能是一个限制高原劳动力的因素 (Kreuzer, 1966; Ward, 1975)。

通气量增高可引起呼吸性碱中毒，使氧离曲线左移而易致高原病。矿工在高原上由于过度通气，故吸入的矽尘比平原从事同样强度劳动所吸入的矽尘要多，故容易发生矽肺。

三、低压缺氧所致疾病及对其他疾病的不良影响

低压缺氧环境可引起航空病、高原 (山) 病 也可影响到若干疾病的发生、发展过程。

(一) 航空病 (air sickness)

亦称飞行员病 (aviator disease)。在早期航空时代，乘坐非密闭座舱的飞机极易发生。当今随着飞行器增压装置和供氧系统的不断完善，急性高空缺氧的发生已明显减少，但下列情