



珠穆朗瑪峰
科學考察報告

(1975)

高山生理

科學出版社

珠穆朗玛峰 科学考察报告

(1975)

高山生理

中国科学院青藏高原综合科学考察队珠穆朗玛峰科学考察分队
中国登山队

科学出版社

内 容 简 介

《珠穆朗玛峰科学考察报告》是中国科学院青藏高原综合科学考察队和中国登山队共同组织的珠穆朗玛峰科学考察分队,于1975年随同登山活动再次对珠峰北坡进行综合考察的总结。按地质、气象与环境、高山生理等专册出版。

高山生理专册内容包括:攀登珠穆朗玛峰时高山生理科学考察综述、无线电遥测的心电图,高海拔对人体二氧化碳通气反应性的影响,高原适应良好与适应不良人体的肺动脉压力间接推测,攀登珠峰过程中“心泵功能测验”的表现、心电图追踪观察,攀登8200米特高海拔后心尖搏动图的变化,健康人体在平原及高海拔的脑电图,珠峰考察中应用的心电遥测仪以及对减压舱内登山运动员候选者习服性表现及生理评价。

本书可供高山科学工作者、大学生物系师生、有关科研单位的科学工作者参考。

珠穆朗玛峰科学考察报告

(1975)

高 山 生 理

中国科学院青藏高原综合科学考察队 珠穆朗玛峰科学考察分队
中 国 登 山 队

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年4月第一版	开本: 787×1092 1/16
1980年4月第一次印刷	印张: 16 1/4
精1—1,230	插页: 精3 平2
印数: 平1—1,250	字数: 370,000

统一书号: 13031·1138

本社书号: 1594·13—10

定价: 精装本 4.20 元
平装本 2.80 元

前 言

中国登山队九名运动员于一九七五年五月二十七日胜利地从北坡再次登上了地球之巅——珠穆朗玛峰，又一次创造了人类征服大自然的光辉业绩，为世界登山史谱写了新的篇章。与此同时，中国科学院青藏高原综合科学考察队珠穆朗玛峰分队（简称珠峰科考分队）在登山队党委的直接领导下，在登山运动员、人民解放军和藏族人民的密切配合下，对珠穆朗玛峰地区进行了比较深入的综合科学考察，获得了丰富的珠峰特高海拔地区多种学科的第一手资料，为探索珠峰大自然的奥秘，为我国科学研究事业，作出了新的贡献。

雄伟的珠穆朗玛峰是我国和友好邻邦尼泊尔的界峰。它傲然屹立在喜马拉雅山浩瀚如海的群峰之中，崛起世界第一高峰。这个地区由于新第三纪以来，地壳的强烈上升运动，地形陡峻，冰川纵横，气象万变，具有十分独特的自然条件。对于珠峰地区的登山活动和科学考察，具有重大的意义。

解放以来，我国曾多次组织了对珠峰地区的综合科学考察，取得了丰硕的成果。这次对珠峰的科考活动，是以往历次科学考察的继续和深入。考察的学科有地质、高山生理、大气物理等，还进行了环境背景值（本底）和天然水体中氢氧同位素分布的研究。考察的范围主要是珠峰北坡直至顶峰的特高海拔地带。

珠峰科考分队由中国科学院自然资源综合考察组，地质研究所，大气物理研究所，上海生理研究所，中国人民解放军第四医院，第四军医大学以及南京气象学院等七个单位二十四名同志组成。分队于一九七五年五月底按预定计划胜利地完成了野外考察任务。随即进入了对资料、样品的分析、鉴定、研究、总结工作。参加室内总结工作的除了上述前六个单位外，还有中国科学院南京地质古生物研究所、植物研究所、古脊椎动物与古人类研究所、贵阳地球化学研究所、地理研究所、化学研究所、环境化学研究所、原子能研究所，中央气象局研究所，云南省气象局，中国地质科学院，北京大学，清华大学。

本《报告》按地质、气象与环境、高山生理三个专题分册出版。

《地质》专册由中国科学院地质研究所主持编写。该册反映了在珠峰北坡、绒布曲两侧，约三百多平方公里范围内地质调查的情况和认识。在这次地质科学考察中，英雄的登山运动员作出了卓越的贡献。他们在珠峰峰体系统地采集了岩石标本。测量了地层的产状，获得了珠峰峰体迄今为止最丰富的地质资料。古生物地层方面，在靠近珠峰的前进沟等处发现了奥陶纪的腕足类、三叶虫、海百合茎等化石，结合地质填图和地质剖面对比，对确定峰顶石灰岩层的时代，提供了有力的证据。在曲布、曲宗一带发现了冰海相沉积及伴生的斯切潘诺夫贝动物群与舌羊齿植物群，证明冈瓦纳沉积相一直延伸到喜马拉雅北坡。在曲布三叠系底部，还发现了稀有和珍贵的中国旋齿鲨化石。对大面积分布的变质岩进一步做了系统的研究，恢复了原岩、划分了沉积岩建造，还划分了七个矿物变质带，讨论了基底和盖层的变质相。对中级变质岩系顶部的白云母花岗片麻岩的成因，提出了正变质岩的新认识。在构造地质方面，对组成珠峰北坡叠瓦构造的三个主要逆掩断层带的产状、特点、性质和成因作了描述，并探讨了喜马拉雅山隆起的方式。考察中，还进行了构造岩组构特征的研究，这在我国境内部分喜马拉雅的地质研究中是首次尝试，其结果与一般地

质构造分析相一致。

《气象与环境》专册由大气物理研究所和中央气象局研究所等单位主持编写。该册包括两个部分。第一部分阐述了珠穆朗玛峰北坡冰川风的高空气象特征及其形成原因;发现了珠峰北坡背风坡常有强烈的下沉气流(约2—10米/秒),山谷中因超绝热大气温度层结形成显著的上升气流(最大达7米/秒),偏西南气流经珠峰西侧山口绕流后往往产生沿顺时针方向的涡旋气流;首次分析了北坡的中小尺度天气系统活动规律,及其对该区高空风和冰川风的影响;再论了珠峰及邻近山地对于大气运动的作用。这对山地气象学和高原气象学都有一定的贡献。此外,对从北坡和南坡攀登珠峰的气象条件进行了对比分析,并对攀登珠峰的天气预报规律给出了历史经验总结,这对于登山者和探险家们具有实用意义。第二部分介绍了对这次登山科考中采集的大量冰、雪、水、生物、土壤样品,进行各种金属、非金属元素、阴离子、氢氧同位素测定的一些方法和得出的初步分析结论。第一次提出了对珠峰地区大气环境本底状况的初步认识。对世界上第一批由海拔三千六百米到珠峰峰顶的大气环境本底样品进行的各种分析测定,推进了我国超痕量分析方法的研究;测得的大量数据,为珠峰地区环境背景值(本底)的建立提供了初步依据,对研究污染物通过大气进行长距离迁移运动的规律积累了重要资料。阐述了对低纬度副热带高山气候影响下形成的天然水体中氢氧同位素的表生地球化学过程和特征。用质谱计法测定的七千米至顶峰冰雪样品中绝对氘含量,准确度达到国际水平。用电解浓缩配合液体闪烁计数,测定了一部分冰雪水和河水的氚浓度,这在我国都是首次。

《高山生理》专册由上海生理研究所主持编写。该册阐述了一九七五年登山过程中,成功地运用我国自行设计制造的远距离、耐低温、重量轻的无线电心电图遥测仪,对运动员在海拔七千米至顶峰之间六个不同高度进行的心电图记录,这在世界登山史上还是首次。从这些心电图上未见有心肌缺氧的指征,它说明我国登山运动员有优良的身体素质和对低氧的适应能力。同时遥测心电图的成功,还显示了我国在生理功能无线电遥测技术上达到了新的水平。对登山运动员进入高原前,在五千米以上及返回平原后不同时间的心血管、呼吸和脑功能的若干方面进行了较为系统的测定。分析了海拔高度对人体生理功能的影响进行了高原世居者与低地世居者在不同海拔高度上生理功能的比较,以及这些生理功能的变化与人体对低氧适应能力关系,提高了对人体低氧适应性规律的认识。另外,在登山前使用低压舱抽气减压模拟高海拔的方法,为一部分候选运动员进行了急性低氧适应能力的评价,作为选拔登山队员的参考。用这种方法作较大规模的系统的登山能力的评价工作,在国内是首次。运动员在舱内表现了程度不同的低氧适应能力。经过与他们在登山时的实际能力作比较,初步看出两者大体一致。这就为选拔新登山运动员提供了一种可能的方法。

全部《报告》是在中国科学院领导下,由自然资源综合考察组负责组织编写,并成立了编辑组。在编写过程中,得到了有关单位的关心和大力帮助,在此我们均致以诚挚的谢意!在考察期间还得到了登山队医务组、气象组、测绘分队等兄弟组、队的大力协助。在此,我们表示衷心的感谢!由于考察时间短和水平有限,错误和不足的地方一定难免,请读者批评指正。

编 辑 组 1977年7月27日

目 录

前言	i
攀登珠穆朗玛峰时高山生理科学考察综述	1
攀登珠穆朗玛峰时无线电遥测的心电图	29
高海拔对人体二氧化碳通气反应性的影响	42
高原适应良好与适应不良人体的肺动脉压力间接推测	56
攀登珠穆朗玛峰过程中“心泵功能测验”的表现与登高能力的关系	68
攀登珠穆朗玛峰过程中的心电图追踪观察	84
攀登 8,200 米以上特高海拔后心尖搏动图的变化	118
健康人体在平原及高海拔的脑电图	123
珠穆朗玛峰高山生理科学考察中应用的心电遥测仪	166
减压舱内登山运动员候选者的习服性表现及生理评价	175
分篇 I 在减压舱内低氧下预示个体对高山习服能力的生理学方法的探讨	175
分篇 II 急性减压低氧时的通气功能	180
分篇 III 急性减压低氧时的气体交换与血液酸碱状态	187
分篇 IV 应用“心泵功能测验”评价急性低氧习服性	195
分篇 V 以负荷心率测定的方法评价急性低氧习服能力	208
分篇 VI 急性低氧适应能力在心电图上的表现	216
分篇 VII 急性减压低氧条件下登山运动员心血管功能及其与低氧适应能力关系的评定	224
分篇 VIII 减压舱内急性低氧对人体脑电图的影响	238
分篇 IX 减压低氧条件下的肺弥散能力	254

攀登珠穆朗玛峰时高山 生理科学考察综述*

石 中 瑗

(中国科学院上海生理研究所)

在党中央、毛主席的亲切关怀和全国人民的大力支援下,我国登山队一名女运动员和八名男运动员,于1975年5月27日再一次从北坡登上了珠穆朗玛峰,把祖国的五星红旗又一次插上地球之巅,创造了人类征服大自然的光辉业绩,为伟大的社会主义祖国争了光。

在攀登珠穆朗玛峰的活动中,我们又一次对珠穆朗玛峰及附近地区进行了一次综合性的科学考察。

珠穆朗玛峰位于我国的西南边界和友好邻邦尼泊尔的交界处,是世界第一高峰。由于其举世无双的高度和独特的自然特点,对人类的活动和周围的自然环境有着重大的影响,因此珠峰地区高山生理和高山医学的科学考察受到许多国家的重视。近五十年来,西方学者曾在珠峰南坡组织过多次高山生理的考察活动。但是在解放前,珠峰地区从来没有我国生理学工作者的足迹。1960年,我国登山队第一次攀登珠穆朗玛峰时,医务工作者曾结合登山活动进行了高山医学和高山生理的考察。1966—1968年,对珠穆朗玛峰进行的大规模多学科的综合考察中,我国的生理学工作者第一次在这个地区进行了高山生理科学考察,积累了极为珍贵的资料^[1,2]。

在此次中国登山队再次攀登珠穆朗玛峰的平原准备阶段、在高山地区活动时、完成登顶任务返回平原后的恢复过程中,我们对部分登山队员、科考队员、测绘队员及其他工作人员在不同海拔高度,不同时期的生理状况进行了较为系统的考察。主要目的是:①对登山队员攀登至特高海拔处的心电图进行记录,即运用无线电遥测现代新技术发射、接受和记录登山运动员在海拔7,000米以上直至顶峰的心电图。这一考察具有重要的理论和实际意义。它还对了解人体在特高海拔处生理功能的变化和低氧适应能力有重要的科学价值,同时对登山运动员在特高海拔严重低氧条件下的医学监护及对其登山能力的了解,也是极为重要的。因为在特高海拔高度,严重低氧可能引起人体生理功能的明显变化;甚至产生损害性的影响,因此这一工作的成功可为了解人体征服特高海拔的能力,提供极为有价值的生理学资料。②通过对人体在平原,初上海拔5,000米,攀登至更高海拔处,直至珠穆朗玛峰顶,返500米,或在5,000米活动一个月以上,返回平原的途中(海拔3,700

* 本文根据中国科学院珠穆朗玛峰科学考察分队高山生理组的科学考察成果综述而成。高山生理组由中国科学院上海生理研究所石中瑗,宁学寒,黄彭国,朱受成,赵德铭;中国人民解放军陆军第四医院杨生岳,王燕;第四军医大学董兆申等八同志组成。另外,上海生理研究所周兆年,钱森申及曹培良,谢培国于1974年和1975年分别在5000米的大本营工作过。科考分队的朗一环,姚建华,万培德,李炳奎,张鸣九,梁国文等同志对高山生理考察以多方面的协助,谨此致谢。

米), 及返回平原后三个月内生理功能的变化进行连续观察, 并对这些变化进行不同海拔高度不同时间的自身比较。高原世居者和低地世居者的对比分析, 并且将受测者的生理功能的变化和对低氧适应能力、登山能力、高山反应的出现及表现程度等结合分析, 有助于对人体适应高原能力的了解, 为登山运动员的选拔, 医务监护及完成登山任务后的休整提供生理学依据。③ 在高原现场验证“减压舱内登山运动员候选者的低氧习服性表现及其生理学评价”的研究结果, 即把人体在低压舱内急性减压低氧时的习服性表现和实际登山时的适应性表现, 进行对比分析, 观察二者的相互关系, 探索选拔登山运动员的方法。

这次科考中选用的生理指标包括呼吸、心血管及脑功能多方面的项目, 并对受测者到高原及返回平原后的自我感觉, 高山反应的症状进行询问和登记。

平原对照值在北京(海拔 50 米)及重庆(海拔 300 米)进行。在到珠峰地区的途中, 进行了中间高度(拉萨, 海拔 3,700 米)个别项目的测定。在海拔 5,000 米的最初两周及在完成特高海拔的攀登返回 5,000 米时进行了两次较为全面的测定。返回平原后于北京郊区休整时, 进行了三个月的追踪观察。

参加受测的是部分登山队员、科考队员、测绘队员及其他工作人员。高原世居者多来自西藏拉萨和日喀则地区, 生长在海拔 3,500—4,500 米的藏族运动员。低地世居者多系世居平原的汉族, 也有少数其他民族。多数队员有过多次的登山史, 少数第一次参加登山活动。

本文将对此次科考成果中一些带有共同性的问题进行讨论:

一、登山活动中高海拔适应能力及登山能力的预测

能不能在平原地区, 或者较低的高海拔处, 对人体到高原后或者上升到更高的海拔处的适应能力及登山活动中的攀登能力, 从生理学上作出预先的评价? 解决这个问题对于登山运动员的选拔、组织登山力量、合理组织训练及适应性行军、预计登山高度等, 都有着重要的实际意义。

人类的大多数居住于平原, 在长期的进化过程中, 习服了正常的大气压力(约 760 毫米汞柱)。当平原人到达高山地区后, 为了有效的工作和生活, 人体必须克服由寒冷、强烈的太阳辐射, 瞬时的气候变化及低氧等因素对机体的不利作用, 而取得对新的环境的习服。因此, 由平原到达高原后, 必须对高山环境进行生理学上的新的适应。如果能在平原或较低海拔处, 用生理功能的测定来预测对高海拔的适应能力及登山能力, 还有助于对高山适应原理及高山病发病原理的了解。

(一) 用“心泵功能测验”对登山运动员低氧适应能力和登山能力作出前瞻性估计的可能性

在海拔 7,000—8,000 米以上进行剧烈的体力活动, 必然要求登山运动员有良好的低氧适应能力和较强的体力活动能力。为了对登山运动员的低氧适应能力和体力活动能力作出生理学上的评价, 为其以后的攀登高度做出前瞻性估计, 在由平原初达海拔 5,000 米

的两周内,将“心泵功能测验”结果与以后的登山能力和低氧适应能力进行比较,分析二者之间存在的关系。在进行分析时,我们把在这次登山活动中攀登到海拔8,200米以上者列为甲组,并且认为他们是属于登山能力和低氧适应能力较强的一组;把主要攀登至6,500米以下的登山队员列为乙组,并且认为他们是登山能力和低氧适应能力较差的一组。

1. 初达海拔5,000米时心脏活动“变力效应-变时效应”的分析

由平原到高原后,在低氧的作用下,心脏功能可能发生变力效应或变时效应的增强,经对上述两组人员的对比分析,发现在以后的实际登山活动中,攀登高山及低氧适应能力为优的甲组,以正性变力效应占优势。而攀登高山及低氧适应能力较差的乙组,以正性变时效应为主要表现。说明前组的心血管功能为优,而后组的功能为差。提示可用初到5,000米的“变力效应-变时效应”为指标,对以后的登山能力作出初步的估计。

2. 初达海拔5,000米时“左室负荷指数变化率”

在初达海拔5,000米的低氧条件下,结合体力活动,可以以“左室负荷指数变化率”为纵座标,以体力负荷后的第三分钟恢复心率为横座标作图,划分出心室功能的“优良储备区”和“低劣储备区”。然后把每个队员的测定结果标在图上。落在“低劣储备区”的队员,他们的心室功能在低氧条件下进行同等的体力负荷时,动员程度高,恢复速度慢。在以后的实际登山中,几乎都是只能攀登至6,500米以下的队员,而以后攀登至8,200米以上者,多落在心室功能的“优良储备区”。将两组队员在不同储备区的出现率进行比较,有着十分显著的差别($P<0.005$)。

3. 初达海拔5,000米时的“搏血力指数变化率”

以体力负荷后第三分钟的“搏血力指数变化率”为纵座标,以第三分钟的恢复心率为横座标作图,可以分出心泵功能的“优良储备区”和“低劣储备区”。前者表现为正性变力效应和正性变时效应都处在较低的动员水平,而后者是两种效应都处在较高的动员水平。在以后的登山活动中,攀登至6,500米以下的队员,在“低劣储备区”的出现率,明显的高于以后登上海拔8,200米以上的队员。后一组队员多分布在“优良储备区”。

综合上述三方面的分析,凡在初到海拔5,000米低氧条件下,静息状态时,表现为正性变时效应优势者,在体力负荷后的“左室负荷指数变化率图”上和“搏血力指数变化率图”上落在“低劣储备区”者都称为“阳性反应”,根据阳性反应的出现,可以把心泵功能的测验结果分成五级:

I级:良好反应,在三份图上都未出现“阳性反应”。

II级:较好反应;在三份图上虽未出现“阳性反应”,但在负荷后的两份图上落在“正性变时效应”优势区。

III级:欠佳反应;在三份图上出现一次“阳性反应”。

IV级:不良反应;在三份图上出现二次“阳性反应”。

V级:低下反应;在三份图上都出现“阳性反应”。

用上述分级方法对三十九名登山运动员的“心泵功能测验”进行分析,可见如下的

结果。

(1) 在“心泵功能测验”后两个月的实际登山中,攀登至海拔 8,200 米以上高度的 15 名登山队员中,有 12 名属于 I 级—良好反应组。有二名属于 II 级—较好反应组,仅一名属于 III 级—欠佳反应组。这名属于 III 级反应的登山队员,虽经两个月的低氧训练及适应性行军,心泵功能有所改善。不过在攀登至海拔 8,200 米时,曾发生过晕厥。返回 5,000 米时心电图上有 T 波倒置等低氧性变化,说明其心脏功能的储备能力欠佳。

(2) 攀登至海拔 6,500 米以下的 11 名登山队员,有七人属于 IV 级和 V 级反应,有四人属于 III 级反应,而无人属于良好反应及较好反应组。

上述这些结果提示我们:在登山活动中,初达海拔 5,000 米及与其相似的高度时,对登山运动员的选拔可以用“心泵功能测验”作为指标,初步预计以后的攀登高度。若预计某一运动员需攀登至海拔 8,000 米以上高度时,以 I 级反应者为选,属于 IV 级及 V 级反应者,其攀登能力多在 6,500 米以下,而登上 8,000 米以上的可能性较小。在低氧条件下结合一定量的体力活动,以“心泵功能测验”为指标对登山运动员的低氧适应性及登山能力进行预测是有其生理学基础的。体力负荷时心泵功能出现正性变力效应和正性变时效应的增强,以供给做功肌肉以足够的氧;环境低氧时,血液氧含量下降,心脏也发生正性变力效应和正性变时效应,为低氧的机体运输较多的氧气,以供机体利用。在高海拔地区,与体力活动能力下降最密切相关的是人体最大摄氧量下降,而一定强度的体力活动的需氧量不为海拔高度的升高而下降。相反,还可能有某种程度的升高,因为有些器官(如肺)活动加强,需氧量加大,因此同样强度负荷时的氧耗量,所占最大摄氧量的比例就相应增大,其氧不足额也可能增加。因此,心血管功能总是处在比低海拔处为高的动员状态,其储备能力较海平地区下降。优良的低氧适应能力和体力活动能力,一定伴有较高的最大摄氧能力,而较高的最大摄氧能力,必然要具有优良的心血管储备能力。就这样,在低氧环境中,由体力负荷所揭示的心血管功能储备能力和其以后的攀登能力与低氧适应能力之间就发生了密不可分的联系。但值得注意的是,在高原上,优良的心血管储备能力,是在长期的体育锻炼和适应中逐渐获得的。一般的情况下,非短时间内会发生重大的变化,因此,可以用心泵功能储备能力的优劣,估计近期内的适应能力和登山能力。但另一方面,对高山环境的适应是一个动态的发展过程,在不同的条件下可以发生不同的变化,同时人体生理功能的变化受着体内外许多因素的影响。因此不可能以一时一地的功能状态,作出适应能力和攀登能力的绝对预测。前人的工作也证明:对有攀登喜马拉雅山经历的运动员,在低压舱内模拟高海拔,进行低氧适应性的研究,实验前曾在高山地区逗留过五个月,在舱内经过三天后,其生理功能及适应能力都发生了变化。例如:在低压舱内,连续三天进行低氧性训练,每天在海拔 6,000 米逗留五小时,8,000 米逗留一小时,在 6,000 米高度三天后与初达海拔 6,000 米时相比,出现通气功能增加,动脉血氧分压升高,二氧化碳分压下降,心率下降。心电图的表现是,第一天有明显的缺氧性变化,到第二天时就变为可疑反应,至第三天时就表现为阴性反应。在海拔 8,000 米训练时,于第三天通气功能增加,动脉血氧分压升高,二氧化碳分压下降,心率减慢。心电图的变化是,第一天出现非常明显的缺氧反应,第二天是明显反应,至第三天时表现为可疑反应。由此看来,通过对低氧的适应,最初出现的缺氧性变化(如心电图提示的心肌缺氧),可以逐步消失,而对机体

适应低氧有利的生理功能可以加强,如呼吸功能加强、摄氧能力升高,动脉血氧分压升高,二氧化碳分压下降等。这些结果提示,随着在低氧条件下逗留时间的延长和适应过程的发展,生理功能也发生着相应的变化,但这种变化又可能向着两个方向发展,一为对机体有利的方向——习服过程的建立;另一为对机体有害的方向——适应不良的出现。同时,用生理功能的测定,预测登山队员适应能力和登山能力时,还应考虑到其他一些复杂的因素。

(二) 脑电图的变化对适应能力与登山能力的预测

大脑对于缺氧有较高的敏感性^[3,4],而且低氧条件下许多神经症状的出现,和大脑功能的变化存在着相应的关系,因此,有人用平原时脑电图的类型和急性低氧时脑电图的变化,预计登山运动员的登高能力和适应性的表现。

我们注意到,在低压舱急性低氧时,候选登山运动员慢波的出现程度和以后登山高度及适应能力似有一定的相互关系。如95号登山运动员,在急性低压舱低氧时,于海拔7,500米高度,直至七小时时仍以 α 波为主,在此次登山活动中,曾攀登至海拔8,600米,适应状况良好。而另一队员(35号)在低压舱内相当于海拔7,500米的一小时,在各导联内呈现以弥散性的 θ 波和 δ 波占优势,原有的 α 波几乎消失,意识功能明显障碍,不能辨认手表的时间,连自己的名字也写错等。在这次登山中,只登至7,600米的高度,且出现过一定程度的高山反应,适应能力较上述运动员为差。

吴永生等^[4]的工作证明,低压舱急性减压低氧时,人体脑电图的变化与登山活动中的适应能力有着密切的关系,因此作者认为,可以把急性低氧时的脑电图变化,作为选拔登山运动员的指标,他们根据其在1960年时攀登珠峰的登山成绩和登山过程中出现的高山反应症状,将低压舱内受测的队员之低氧适应能力分为三级。第一级为适应能力特佳,在间断用氧时能胜利地攀登到海拔8,500米以上的高度,第二级为适应能力良好,在间断用氧时可攀登至海拔8,100—8,500米的高度,第三级为适应能力中等,不用氧攀登至7,000—7,600米的高度,但因高山反应严重不能继续攀登,或使用很多的氧气方能登至8,100米的高度。对这些受测者在低压舱模拟7,000米及8,000米的脑电图进行分析,结果表明,慢波出现的程度和以后的登山能力有一定的关系,即脑电图的改变与高山适应能力有着一致的关系,这说明急性减压低氧时,脑电图的改变,特别是慢波指数的多少,可以做为预选运动员,预测高山适应能力的重要指标。在低压舱急性减压低氧,相当于7,000米高度开始出现大量慢波者,在实际登山时,均只能登至海拔7,000米以上,而在低压舱相当于8,000米出现大量慢波者,均能攀登至海拔8,000米以上。

还有资料认为,在高山环境下,脑电图的改变有很大的个体差异性。但出现的高山反应症状和脑电图的变化之间似乎有一种相互关系,即头痛的严重程度与 β -节律成份的增加有一定的相关性。在海平地区,以 β 波为主导频率或有高度 β 活动的成员进入高山环境后,发生最明显的头痛症状。有些人在高山地区头痛表现最重时,脑电图上的 β 活动最多。因此,可以认为,用 β 活动的出现或其成份的增加,来预测急性低氧条件下高山适应不良症状的出现及程度的轻重有一定的可能性。但从我们这次在海平地区和高山地区记录的脑电图的分类情况来看,还未能发现以 β 波为主的脑电图类型,与高山反应症状和低

氧适应能力之间的关系,例如,有些受测者在海平地区是以 β 波为优势的脑电图,到海拔5,000米两周内记录的脑电图,以 β 波为主者人数更多,但均未看到 β 波的出现和成份增多与高山反应的出现,低氧适应能力和攀登能力之间有何直接的相互关系,出现以 β 波为主的脑电图的人,有的两次登上海拔8,600米以上的高度,有的登上了顶峰,因此未能提示,用 β 节律的出现作为预测低氧适应能力的可能性,对此一问题值得进一步研究。

(三) 二氧化碳通气反应性表现对高海拔低氧适应能力与登山能力的预测

人体由平原进入高原后,肺通气功能的逐渐增加,是促使人体适应高原低氧环境的重要表现,这种通气功能的增加很可能与在低氧环境下移居人对低氧及二氧化碳刺激的通气反应增强有关。同时又有人认为,某些高山病的发生或到高原后体力活动能力的下降,可能与人体对低氧及二氧化碳刺激的通气反应减弱有关。还有学者认为,在高海拔地区经过一段时间后,由于呼吸敏感性下降而使由平原到高原后进行体力活动的人,劳动能力下降,甚至不能继续进行体力劳动。他们提出,如能用呼吸敏感性作为指标,预测到高山后的适应能力,将是有意義的。在这次考察中,我们于海拔300米处,攀登至海拔5,000米的一至二周内,在海拔5,000米以上活动一至二个半月后返回5,000米以及返回平原(海拔50米)的三个月内,对部分登山队员及科学考察队员的二氧化碳通气反应进行了测定,并盼望用此方法,来预测平原人到高海拔地区的低氧适应性表现,即预测他们到高海拔地区后的登山能力高山反应的出现及其表现程度之间的关系。考察结果表明在到达海拔5,000米的最初10天和下返平原一个月的二氧化碳通气反应的大小与他们在高山地区的适应性表现和高山反应症状的出现之间有着一定的相关性,即在此次登山活动中登山能力在8,200米以上的一组队员和在登山过程中未出现明显高山反应的一组队员的二氧化碳通气反应的截距分别小于登山能力在6,500米以下的一组队员和在高山地区出现明显反应的一组队员,说明前者对二氧化碳的敏感性较后者为高,这表明有可能应用二氧化碳通气反应性来预测低地世居者到高原后的低氧适应性表现及登山能力,对此问题值得进一步研究。

二、攀登特高海拔高度时,登山运动员的医务监护

登山活动中,运动员经常活动在海拔5,000米以上的高度,特别当其在海拔7,000—8,000米以上地区,进行剧烈而持久的体力活动时,严重的低氧程度和繁重的体力活动可能引起非常明显的生理功能变化,并有可能给人体的一些功能造成某种损害^[1],这依赖于许多因素,诸如个体的身体素质、攀登高度、负荷强度、气象条件等。但更重要的是,取决于个人对极度低氧的耐受能力和低氧适应程度。在较低海拔处,某些生理功能的测定,虽然有可能对攀登高度及适应能力做出大体的预先估量,但极度低氧对人体的影响,还是难以预知的。过去登山史上也曾出现过因心、脑、肺等重要器官遭受严重损害,而发生死亡的例子,因此,登山中的医务监护是攀登至特高海拔处应该引起特别重视的。通过这次低

压舱急性减压实验和特高海拔高度,特别是体力负荷后心电图的记录,结合临床表现,我们认为攀登至特高海拔处严重低氧条件下如能用无线电遥测仪对队员的脑电图和心电图进行间断的记录,对健康监护是极为重要的。

脑电图是反映大脑功能状态的一个客观指标。随着低氧程度的逐渐加重,脑电图发生一定程度的变化,这些变化往往和人体的行为及意识有一定的关系。最初,当脑电图上出现 α 节律的加快或抑制,出现以 β 波为特征的脑电图,或出现低振幅的 θ 波及 δ 波,此时可能出现疲乏、头脑发热、头晕、呕吐、眼前发花。当脑电图上出现少量单个或者短组的高振幅的 θ 波时,可能出现书写笔迹的破坏,记忆的破坏和精细活动的协调障碍。在脑电图上出现高振幅的慢波活动,即以高振幅的 θ 波及 δ 波占优势时,可能出现明显的意识障碍,出现痉挛,注意集中的破坏,演算能力下降,持续时间延长时,可能出现意识丧失。我们在低压舱急性低氧时脑电图的研究结果证明,低氧时脑电图上弥漫性慢波的出现与人体意识和行为的障碍相伴随,说明大量慢波的存在是脑功能明显不正常的一个客观指标。在脑电图上以 θ 波和 δ 波占优势时,给与声、光刺激和语言的命令,可以出现慢波暂时的消失, α 波的暂时出现,一般状态的暂时改善和脑力活动的暂时恢复,对外界刺激不发生反应的脑电图说明意识深度的破坏,并可能有神经原发放的减少。通常在急性低氧条件下,升高至海拔6,000—7,000米时,即可出现脑电图的明显变化及意识的障碍,在实际的登山活动中,于特高海拔处也可能出现人体意识的障碍。国内外都有到高山后出现幻觉的例子,如有一队员,在海拔8,000米以上出现幻觉,面前出现一庙宇。还有一队员,在一次由海拔7,600米向8,200米运送物资到达目的地时,不意识到要把物资放下,而原封不动地背回原出发地,这说明,他在特高海拔极度低氧下,还保持着相当大的体力活动能力,而脑功能已经蒙受了某种明显的障碍。还有一女运动员,在海拔6,000米就出现了幻觉,下返至海拔5,000米时,为其记录的脑电图上还见有明显的成组慢波出现,过度通气时慢波成份明显加多。

以上这些现象充分说明,低氧时可以出现脑电图的一系列变化,而这种变化又和脑功能的障碍有一定的关系,因此有可能用脑电图作为指标,判断低氧时脑功能受损的程度和作为健康监护的手段。用脑电图作为登山中运动员健康监护时,要特别注意慢波的出现,如脑电图上出现大量成组或弥漫性的高振幅 θ 波及 δ 波时,应停止继续攀登或供氧下送。

心血管功能和攀登能力及低氧适应能力有着非常密切的关系,我们的研究表明,低氧时心电图的变化似乎有一较规律的过程,最易出现的变化是心率加快,心电轴右移及复极过程的变化,但是心率加快可因对低氧的习服而减少,甚至恢复到上山前的海平对照水平,也未看出心电轴右移和登高能力及适应能力之间有明显的联系。Penaloza^[6]的工作证明,在海拔地区人体心电图的变化有一个发展阶段:额面QRS电轴向右偏移,肢体导联及右胸前导联的T波振幅升高,P波振幅升高,形态变尖等,并暗示这些变化和肺动脉的压力升高有关。我们对登山队员在特高海拔处遥测记录的心电图也见有部分队员有明显的心电轴右偏,T波及P波的明显升高等变化,但这些变化都没有影响他们的登高能力,而且都登上了海拔8,600米及顶峰,返回海拔5,000米及平原后这些变化能较快的恢复,Milledge^[1]认为这是由于在低氧情况下,肺动脉压力升高,红血球增多,血液粘度增大而引

起右心室做功加强及右心室高压所致。

在心电图用于特高海拔处登山队员的健康监护时,复极化过程的变化是值得最为重视的,特别当以R波为主的导联内出现T波平坦、双相,倒置及S—T段的异常偏移时,应该引起特别的注意。我们的研究证明,在高山地区,出现这类变化的登山队员,一般都伴有适应不良的症状出现。例如有一队员在特高海拔攀登时,出现较为明显的高山反应症状,经检查心电图,发现其左胸导联的T波均呈现倒置或双相,大流量吸氧三小时,图形也无改善,继续间断吸氧10小时,仍未见明显好转,经下送至海拔4,000米以下,住医院治疗后,才逐渐恢复。因此心电图上出现类似T波倒置、S—T段下降等提示心肌缺氧性明显变化时,应停止继续向上攀登,并给予人工供氧,或在供氧条件下送往低地。以上的研究还说明,在特高海拔极度低氧下,人体的一些主要器官的功能,可能蒙受某种损害性的变化,特别是与生命活动特别相关的大脑和心脏等器官的功能更应引起人们的特别注意,但在有些人可能表现为以大脑的损害为主,而心脏的活动还看不出损害性的变化。在另外一些人,则可能以心脏的变化为主,而大脑的活动还未出现明显的变化。因此如能用心电图和脑电图同时遥测记录,进行医务监护,对于保证登山中运动员的安全是非常必要的,如这次登山活动中,于1975年5月5日牺牲的革命烈士、登山队副政委邬宗岳同志,在其牺牲的当日上午8时,我们为他在海拔8,200米的高度记录的无线电遥测心电图,除呈现心率较快(每分钟96次),出现 SS_3S_3 症,提示肺动脉压力升高,右心负荷较重外,未见有明显的心肌缺氧性表现,但当时的脑功能的变化就无法而知,因此如能二者同时记录对医务监护将是一大帮助。

三、九名登顶队员生理功能的特点

我国登山队,在完成这次攀登珠穆朗玛峰的任务中,有九名队员(八名高原世居者和一名低地世居者),在同一时间内同时由北坡登上珠穆朗玛峰顶,这在世界登山史上还是首次。更值得注意的是,他们在此次登山活动中,在很少用氧的情况下,都曾两次登到8,200米以上的特高海拔高度。有的过去就有多次登山史,女队员潘多还两次创造过女子登高世界记录。因此可以认为他们对高海拔低氧环境有着很强的适应能力,对他们的生理功能进行连续测定,追踪观察,分析其特点,具有重要意义。可以提示我们,这些登顶队员在生理功能上是怎样习服严重低氧的。

(一) 登顶队员的心电图特征

1. 传导过程始终未出现明显的异常变化,静息心率普遍偏低

上山前他们在海拔50米的平均心率为62次/分。初上海拔5,000米大本营二周内平均心率为64次/分,与海平对照值相似,最低者只有48次/分,最高者为75次/分。登顶后返回大本营的当日,平均心率为67.6次/分。最高者为77次/分,下返海拔3,700米时,心率的均值为60次/分,和海平对照值在同一水平。返回平原后一个月末,他们的平均心率是58次/分,比上山前的对照水平还低,最低者46次/分,最高者68次/分。由此

可见,不管在平原,或者在高海拔地区,甚至在攀登顶峰后,他们的心率都处在较低的水平。说明他们的心脏储备功能是十分优异的。

44号运动员在登顶前一个月左右的一次适应性行军时,曾登上海拔8,200米,返回大本营的心电图呈现游走性节律,登顶后返回大本营时,再未出现此种情况,在其他队员,均未见有明显的传导异常和严重的异位搏动。

P—R间期,在登山前,登顶后返回大本营、以及回到平原地区后,其平均值都是0.15秒,多数人未见有明显的变动,只有一名运动员,在平原地区,P—R间期为0.20秒,到达5,000米后,因心率加速而缩短为0.17秒,登顶后仍为0.17秒,返回3,700米及平原地区后,又延长为0.20秒。

2. 除极化过程受低氧的影响不明显

与登山前比较,心房的除极和复极过程没有明显的变化。胸前导联和肢体导联P波的振幅和时间都保持稳定($P > 0.05$),在 V_1 导联中未曾出现双相P波,P—R段也无移位。心室的除极过程有不剧烈的变化,在登顶前多次描记的心电图,额面QRS平均电轴向右或向左偏移的范围都在30度之内。登顶之后,返回大本营的心电轴与登山前对比,有两名队员未发生变化,六名队员右移了16—41度,一名队员左移了16度,九名队员的平均值为74.8度,与登山前的平均值比较,向右偏移了14.5度。由高海拔地区返回平原后一个月末,平均为70.1度,第二个月末平均为73.1度,到第三个月时均值为62.3度,接近登山前的平原对照水平。另外QRS波幅和时间的改变都较小,Q波无明显变化。

3. 复极化过程的变化

最突出的变化,是 $Q-T_R$ 在登顶后明显增大,登顶后返回5,000米时,九名队员除一人为0.98外,其他八人都等于或大于1.08,平均为1.09,而在登山前的平原对照值为0.89,最低者是0.75,最高者为0.94,与登顶后相比,差异显著($P < 0.001$)。下达海拔3,700米时已减为1.06,返回内地一个月为0.96,仍较登山前为高($P < 0.05$),到第三个月时下降为0.92,与上山前的海平对照相比,已无明显差异($P > 0.05$)。

登顶后T波振幅的下降比较明显,以 V_1 导联最为突出,如在登山前的海平对照值是0.20毫伏,登顶后在5,000米为0.17毫伏,经统计处理有显著差异。下达海拔3,700米时,已有所回升。返回平原一个月末上升为0.19毫伏,第三个月末为0.29毫伏,与对照值相比,差别已不显著($P > 0.05$)。从T波的形态来看,登山前在海平地区, V_1 导联的T波仅有二人倒置,登顶后在5,000米有八人倒置,一人直立。返回平原后一个月末有二人倒置,七人直立,与上山前一样。

标III与aVF导联的T波在登顶后也都有下降,但在返回平原后第一个月末都恢复到登山前的水平。标II导联的T波平原对照值为0.41毫伏,登顶后下至海拔5,000米时为0.32毫伏,到平原第三个月末,恢复到0.42毫伏,与上山前的对照值相似。只有一名登顶队员在第三个月末,尚未恢复到登山前的平原对照水平,由0.52毫伏下降为0.16毫伏,二者相比减少了0.35毫伏。在标II和 V_1 导联内未见出现T波平坦,双相和倒置的现象,S—T段也未明显降低。只有一名登顶队员在登顶后, V_1 导联的S—T段升高0.12毫伏。

还有一名队员,在 aVF 导联内的 T 波在登山前于海平地区和登顶后返回 5,000 米时都是直立型,但在返回平原地区(50 米)的第三个月末变为双相,也是该运动员,标 III 导联的 T 波在登山前平原情况下的直立型,到达海拔 5,000 米后变为双相,登顶后返回 5,000 米时仍为双相,返回平原后第一个月末是平坦,第二个月末倒置,第三个月末才恢复至登山前的直立型,其额面电轴始终左偏。

九名登顶队员在平原地区,海拔 5,000 米,完成登顶任务后返回 5,000 米及平原地区后,不管在静息条件下,或在体力负荷时,均未出现以心肌缺氧为特征的第 II 型反应的心电图。又一次说明他们的心脏功能十分优越。

(二) “心泵功能测验”

在低压舱内急性减压条件下和攀登珠穆朗玛峰的实际登山活动中,都发现人体对低氧的适应能力和登山能力与“心泵功能测验”结果的优劣有一定的关系。作为对严重低氧适应能力特佳,而又有特强攀登能力的登顶队员,在“心泵功能测验”的结果上有什么特点呢?从对到海拔 5,000 米并活动在 5,000—8,848 米的五名登顶队员“心泵功能测验”结果来看,他们在“变力效应-变时效应”图上的分布,都落在左上象限,说明他们到达高海拔地区后,正性变时效应消退,而变力效应维持在一个与低地值相似的水平,这表明他们心脏功能的储备甚为优良。这可能与其良好的低氧适应能力和较强的攀登能力相联系。而与其相对的是有许多适氧能力及登山能力较差的队员,都落在右下象限,表明他们以正性变时效应占优势,并出现负性变力效应,出现这种反应者,在此次登山活动中其攀登能力很少有超过 6,500 米的高度。

(三) 二氧化碳通气反应的测定

登顶队员对高山极度低氧具有特别好的适应能力,他们的通气反应对二氧化碳敏感性具有什么特点,与其他个体相比有无差异,是我们所关心的问题。我们在海拔 5,000 米及返回平原后,比较了九名登顶队员与因出现明显高山反应而不能继续攀登,逗留在大本营工作的另一组受测者(八人)的二氧化碳通气反应性,其结果显示,在海拔 5,000 米上,登顶队员二氧化碳反应曲线的斜率,明显地高于对照组,差别显著($P < 0.05$)。登顶队员的截距则略低于对照组,但无统计学差异。返回海拔 50 米后,六名登顶队员二氧化碳通气反应的斜率和截距均与对照组相接近,无明显的统计学差异。若将两组队员的平原值与海拔 5,000 米的高原值,进行自身比较,则可以看出,在海拔 5,000 米上,登顶队员二氧化碳通气反应曲线的斜率,比平原值增加了 132%,而对照组的斜率仅增加了 40%。这就表明,登顶队员在海拔 5,000 米上,斜率的增加明显大于海平对照值,提示登顶队员对二氧化碳的通气敏感性,在高原地区明显升高,可能是其具有良好的低氧适应能力和特佳的攀登能力的原因之一。不过要说明的是,登顶队员在海拔 5,000 米的测定值,是在完成特高海拔的攀登,返回 5,000 米时进行的,这种特高海拔的攀登,也可能是促使其二氧化碳通气敏感性的斜率增高的因素。

(四) 脑电图记录

在海平地区,以枕叶为例,除43号运动员是以 β 节律为主。41号运动员为混合节律,脑电图上分不出优势频率外,其他七名队员都是以 α 波为优势节律。到达海拔5,000米的两周内,显示有频率加快和振幅轻度下降,但脑电图的类型基本无变化。在第一次攀登海拔8,200米以上的高度返回5,000米后,脑电图的类型与平原地区和初上5,000米时相似。在完成登顶后,经过五天行军下返至5,000米,当日记录的脑电图,有四名队员出现慢波,表现为成组及单个的每秒5—7次/秒的 θ 波。回至平原一个月后,有三人的脑电图上出现慢波,两个月后只有两人的脑电图有较多的慢波成份,另一人的慢波消退,至第三个月时,脑电图的特征基本与上月相似。至第四个月时,脑电图特征基本恢复到上山前的对照水平。

登顶队员 α 节律的频率,以枕叶为例,平原对照值为9.91次/秒,到达5,000米两周内在10.20次/秒,登顶后返回5,000米时为10.40次/秒,与平原地区相比, α 节律的频率加快,回到海拔50米后,第一个月内 α 节律的平均频率为10.18次/秒,第二个月内为9.93次/秒,第三个月时为9.88次/秒,从第二个月开始, α 波的频率基本上恢复到上山前的平原对照水平。

α 波频率的分布,在平原地区,以每秒10次者所占比例最大,登顶后在海拔5,000米仍以每秒10次者占比例最高,返回平原后第一个月内,以每秒11次者所占比例最高,在第二个月和第三个月,都是以每秒10次者所占比例最大。

α 节律的振幅,以枕叶为例,在平原地区平均为23.7微伏,登顶后返回大本营时平均为14.8微伏,比上山前明显下降,返回平原后第一个月为17.0微伏,较登顶后在5,000米的测定值稍有回升,第二个月为18.5微伏,至第三个月时,其均值为24.1微伏,逐渐恢复到上山前平原对照水平。

由上述结果来看,攀登世界最高峰后的人体的脑电图,在频率,振幅和节律的分布方面与平原对比都发生了一定的变化,但这些变化是可以恢复的,回到平原后在三至四个月内,基本上可以恢复到登山前的对照水平,以频率的恢复较快,而振幅相对地为慢。

四、高原世居者与低地世居者生理功能的比较

目前已公认,世居高原的民族比世居平原的民族对低氧环境有更强大,更完全的适应能力。也就是说,世世代代生活在高原的人,在长期的进化过程中所形成的高山习服比平原移居的人为优。然而生长在平原的人到达高原后能不能取得同高原生长的人同样的对低氧环境的习服程度呢?回答这一具有巨大实际意义的极为重要问题的迫切性愈来愈明显了。因为我国是一个多高山,多高原的国家,海拔3,000米以上的地区,约占我国面积的六分之一。随着我国社会主义革命和社会主义建设的蓬勃发展,将有愈来愈多的人由平原到高原,因此开展对此一课题的研究,其重大的实际意义是显而易见的。但是对此一问题的回答却是十分困难的,必须经过长期而系统的观察才能提供有用的线索和得出确