

高原与人

〔美〕 John B. West 编
Sukhamay Lahiri
梁 兵 译

民族出版社

9.5

高原与人

〔美〕 John B. West 编
Sukhamay Lahiri

梁 兵 译
蔡 青 赵 岚 校
蔡英年 邓希贤 审

民族出版社

65740

(京) 新登字154号

本书根据WAVERLY PRESS 1984年《HIGH ALTITUDE AND
MAN》(J.B.West et al.) 译出

高 原 与 人

梁 兵 译

*

民族出版社出版 各地新华书店经销

民族印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 8 字数: 190千

1992年8月第1版

1992年8月北京第1次印刷

印数: 0001-1,000册

ISBN7—105—01495—4/R·33

(汉4)

定价: 2.65元

出版说明

本书汇集了近二十篇由美、英、加、中等国科学家所撰写的科学研究报告。这些报告大都取材于研究人员对高原地区世居者、旅居者以及登山运动员的直接测定结果，因而为高原生理学、运动生理学、环境医学等有关学科的研究提供了极为珍贵难得的资料。

我国是个多高原国家，有蒙古高原、云贵高原和“世界屋脊”青藏高原，在那里世代居住着我国众多的少数民族。今天我们出版此书汉译本，就是希望科学家的劳动成果能够促进我国不同学科的发展并最终造福于我国高原地区各族人民。相信她会给人们以启迪与借鉴。

本书出版得到西藏自治区卫生厅科教处、妇幼保健处及西藏自治区人民医院的大力协助，在此一并表示谢意。

民族出版社

1991.10

原著前言

高原人体生理学的研究已有多年的历史。习服的广泛特征长期以来吸引着众多的生理学家和医生们。他们把高原习服看成人类适应恶劣生存环境的最好例证。这门学科有其固有的科学重要性，无须论证人们对它的兴趣。

然而，人们对高原人体生理学兴趣的发展只见于最近几年。原因有几方面。最富戏剧性的是 1978 年两位登山者在无须补氧情况下登上了珠穆朗玛峰。这一壮举在许多生理学家看来是不可能的，并由此激发了人们对极高海拔生理学的极大兴趣。另一原因是如何改善人类在高海拔地区的健康水平和体能状况日益受到人们的关注。世界上有大量人口祖祖辈辈生活在海拔 3,000 米以上的高原地区，近年来也有大批人口移居这些地区。随着高原地区的工业化发展，那里的劳动力变得具有重要的经济意义。此外，军队也关心如何在那种环境下最大限度地发挥每位指战员的战斗能力。对在高原的研究还可为研究严重缺氧对人体的影响提供极为珍贵的资料，而严重缺氧与心肺疾病的病理生理学有着密切的关系。

本书汇集了美国生理学会发起的人在高原学术研讨会的主要资料。该研讨会包括的专题有：人在极高高原、高原睡眠与呼吸、世居高原人生理学。美国 1981 年秋珠穆朗玛峰医学研究考察对本次会议的召开起了一定的促进作用。虽然研讨会并不仅仅限于这次考察的结果，但大量的论文毕竟衍生于此。为此，我们对该次考察的背景作了一个简要的介绍。

编 者

美国珠穆朗玛峰医学研究考察简介

John B. West

(美国加利福尼亚大学医学系生理专业)

该书不少章节报告了 1981 年美国对珠穆朗玛峰进行医学研究考察期间所做的工作。本文旨在对这次不寻常的考察背景作一简要介绍。

以往对高原进行的多次考察为我们掌握高山生理学知识积累了大量的资料。最令人难忘的是：1911 年对派克斯峰的国际考察，提出了引起人们争议的氧气分泌假说；1921—1922 年 Barcroft 对秘鲁 Cerro de Pasco 进行的考察，首次注意到高原世居人具有良好的适应性；1935 年国际高原考察队在智利安第斯山脉的 Aucanquilcha 的研究为高原血液生化知识奠定了基础；1960—1961 年喜马拉雅山科学登山考察队首次获得人在 6,000 米以上高原的测定数据。

1981 年美国对珠穆朗玛峰的医学研究考察的主要目的，是获取人在极高海拔处的生理学资料，其中包括 8,000 米以上海拔处各参值的首次测定。为了达到这一目的，对考察队员的组织作了不同寻常的安排。首先，由 6 名有经验的喜马拉雅山登山队员组成登山小队，队长为 John P. Evans。其次，有 6 位“登山科学家”，他们都是健壮的登山队员，同时又都是对高山生理学感兴趣的医生们。他们的任务是在极高海拔处收集数据。最后是由八位生理学家组成的第三小组。他们分别在海拔为 6,300 米的 2 号营

地实验室和 5,400 米的大本营实验室进行工作。这次考察还得到了 42 位高原夏尔巴人的支持。

图 1 显示了在通往珠穆朗玛峰的南坡上所设立的四个生理学测定场所。通过 Khumbu 冰川，就可到达大本营。大本营的实验室是一间牢固的预制小屋，九、十两月可在那里进行许多项目的研究。从大本营往上，是陡峭险峻的 Khumber 冰布，通向高处相对较平坦的峡谷——西 Cwm。那里便是主实验室营地，海拔为 6,300 米。该实验室为铝架结构，覆以玻璃纤维毡，并配有胶合地板。上述实验室均由丙烷取暖器保温，并由太阳能面板和汽油发动机供电。

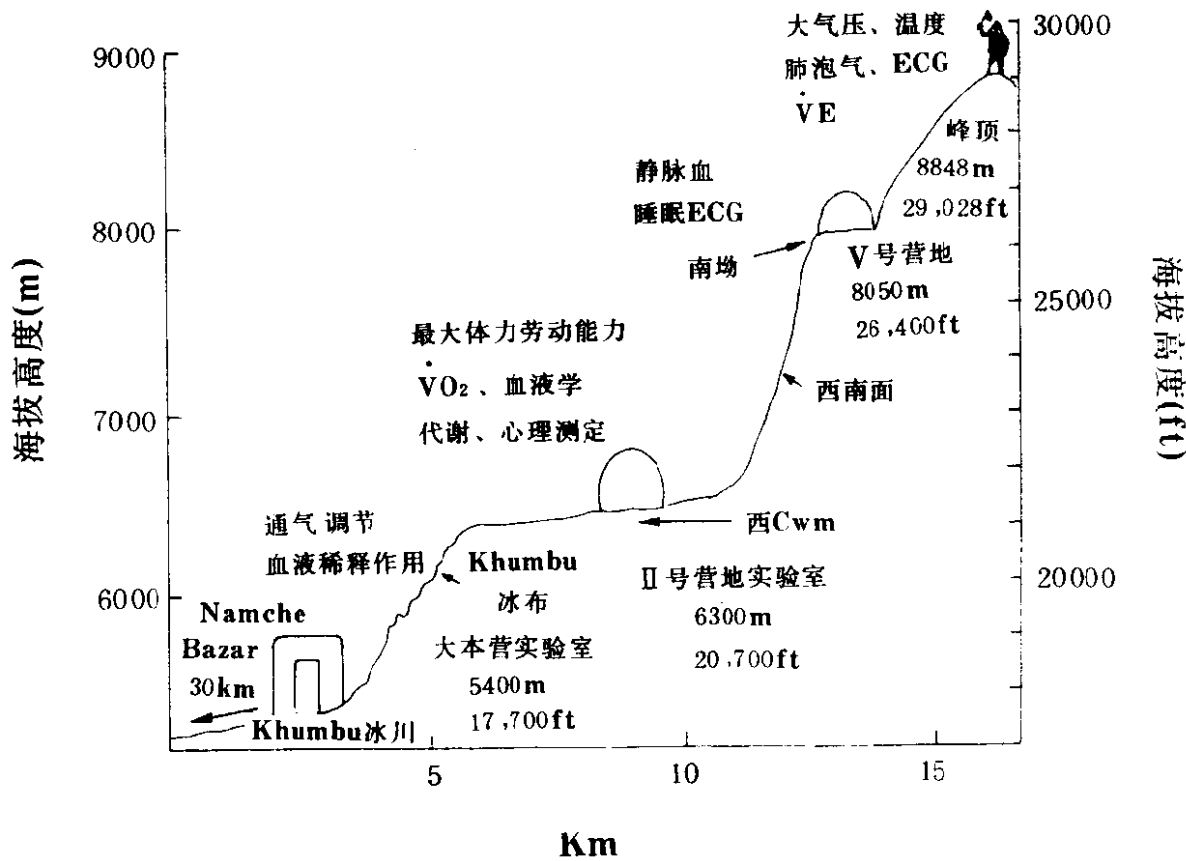


图 1. 1981 年美国珠穆朗玛峰医学研究考察计划 指示在山上进行现场测定的四个场所。

西 Cwm 外是一堵峭壁，由此通向一平坦的地域——南坳。最大的 5 号营地实验室就设在该处，其海拔高度为 8,050 米。登山队员在向峰顶进军前先在那里装备仪器，抽取静脉血，并做睡眠心电图测定。

这次考察科研计划中主要的部分是在峰顶进行各项测定。特别幸运的是，有三名美国人和两名夏尔巴人胜利到达了峰顶。两名美国医学博士，Christopher Pizzo 和 Peter Hackett，真可谓名符其实的“登山科学家”。他们在登山途中做了各项测定。Pizzo 在峰顶成功地测定了大气压和温度，并采集了多个肺泡气样本。

总之，这次考察成功地完成了一项内容广泛的科研计划。Christopher Kopczynski，Christopher Pizzo 以及 Peter Hackett 是登上珠峰峰顶的第九、第十和第十一位美国人。他们的夏尔巴同伴是 Sungdare 和 Young Tensing。最后每位登山勇士都安全地返回了家乡。

我们希望本书是这次考察进行的某些（虽然并非全部）生理学研究的有价值的记录。

这次考察是由美国登山运动俱乐部、美国生理学会以及探险者俱乐部发起的。后者还承担了本专著出版的全部费用。

目 录

原著前言	1
美国珠穆朗玛峰医学研究考察简介	2

●人在极高高原

第一章 人在珠穆朗玛峰峰顶	1
第二章 平原和高原的低氧通气反应和运动通气	19
第三章 极高海拔的人脑功能	33
第四章 高原代谢和内分泌变化	41
第五章 肾素—醛固酮系统	50
第六章 极高海拔的红细胞功能	64

●高原睡眠与呼吸

第七章 高原睡眠和周期性呼吸 ——夏尔巴人与旅居者的比较	79
第八章 正常人睡眠通气调节	99
第九章 低氧与脑血流	111
第十章 低氧和低碳酸对睡眠周期性呼吸的影响	126
第十一章 高原反复性呼吸暂停机理	141
第十二章 习服对高原睡眠低氧血症的影响	155

●世居高原人生理学

第十三章 安第斯山和喜马拉雅山高原世居者的呼吸调节	162
第十四章 高原红细胞增多症	181
第十五章 通气功能与高原习服 ——西藏研究	193
第十六章 世居高原人的通气	200

参考文献	216
------------	-----

第 一 章

人在珠穆朗玛峰峰顶

John B. West

(美国加利福尼亚大学医学系生理专业)

珠穆朗玛峰的大气压

肺泡气成分

动脉氧分压

酸碱度

最大活动

长期以来，生理学家和医生们就对极高海拔人体生理学具有浓厚的兴趣，因为这种特殊环境对人体组织的充分供氧造成了各种问题。例如，正常人在高海拔地区活动时首先遇到的问题是呼吸问题。

大量攀登高山的活动促使人们转变了对严重低氧的看法。例如，1909 年 Abruzzi 公爵登上了喀喇昆仑山脉海拔为 7,500 米的地方 (9)，Douglas 及其同事认为，在这种条件下，没有氧气的主动分泌就不可能维持足够的血氧水平 (7)。1911 年国际派克斯峰考察队 (7) 通过测定进一步加强了这种想法。Barcroft 等 (1) 于 1921 — 1922 年对秘鲁塞罗德帕斯科 (Cerro de Pasco) 考察后和 1935 年国际高原考察队对智利安第斯山考察 (6) 后，却在一定程度上否定了上述观点。

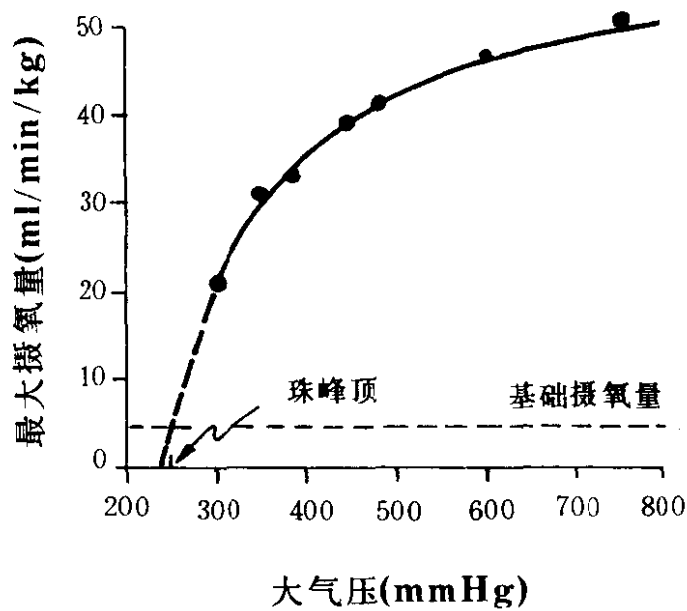


图 1. 习服者在不同大气压下的最大氧耗量 在峰顶的最大摄氧量预测值与基础氧需要量非常接近 [引自 West & Wagner (31)，略有修改；数据引自 Pugh 等 (20)]

1978 年 Messner (15) 和 Habeler (12) 不用补氧就登上珠穆朗玛峰 (8, 848 米) 的壮举重新引起了人们对极高海拔严重低氧对正常人体影响的关注。例如，Puph 等 (20) 在不同气压下测定了

高原习服者的最大氧摄取量（图 1）。把图 1 中曲线外推至珠穆朗玛峰峰顶的气压值（大约为 250mmHg）时可以看出，在此高度上维持基础代谢就需要几乎所有可利用的氧（31）。因而在这一世界最高海拔处呼吸的空气正好接近人类的临界需氧值。正是大自然这种巧妙的安排，才使人类有可能到达地球之巅。

1981 年美国对珠穆朗玛峰进行医学研究考察（27）的主要目的之一，是为了收集极高海拔地区生理学的补充资料。在此之前，我们曾进行过理论上的研究（31），以便找出最为重要的变化因素。研究使我们清楚地知道了在这种特殊环境下最大氧摄取量对大气压和过度通气水平最为敏感。通过测定混合静脉血的氧分压还惊奇地发现，呼吸性碱中毒能明显加强氧气向组织的转运，其原因是氧离曲线左移促进了肺毛细血管内氧的负载（2）。但 Dejours（5）所独立进行的另一理论性研究的结果则与此稍有不同。

珠穆朗玛峰的大气压

了解珠穆朗玛峰的气压具有重要意义。为此，我们费尽心思准确地测定了包括峰顶在内的几个不同海拔高度处的气压值（30）。在 5,400 米的登山大本营，测定使用专门缩小了量程便于测定低下压力的 Fortin 水银气压计。后者安置在温暖的实验室中，每天上午记下读数。大本营以上高地的多数测定也是用专门为这次考察设计的小型手提式气压表。压力传感器为一块一面暴露于真空，另一面暴露于大气的晶体，具有数字输出性能，精确度较高，并经大本营的水银气压计校正。大本营以上高地的少数测定使用了精确度很高的空盒气压计。

图 2 反映了这次测定的某些结果。大本营（5,400 米）平均气压为 400.4mmHg ($n=35$, $SD=2.7$)，5 号营地（8,050 米）降至 283.6mmHg ($n=6$, $SD=1.5$)，珠峰峰顶为 253.0mmHg。上述三个地点的海拔高度都经准确测得，三个海拔高度的气压都明显地

高于国际民航组织 (ICAO) 颁布的标准大气压 (13) 数值 (图 2)。例如, 按 ICAO 标准大气压手册, 8,848 米处大气压仅为 236mmHg, 比我们的测定结果低 17mmHg。ICAO 标准大气压手册一直被生理学家和医生们广泛采用, 并以此预测在高原上的有害影响, 同时它也被广泛地用于校正低压舱。因此, 该差异的发现具有重要意义。过去也有人注意到在高山测得的气压大于 ICAO 标准大气压手册的预测值 (18)。

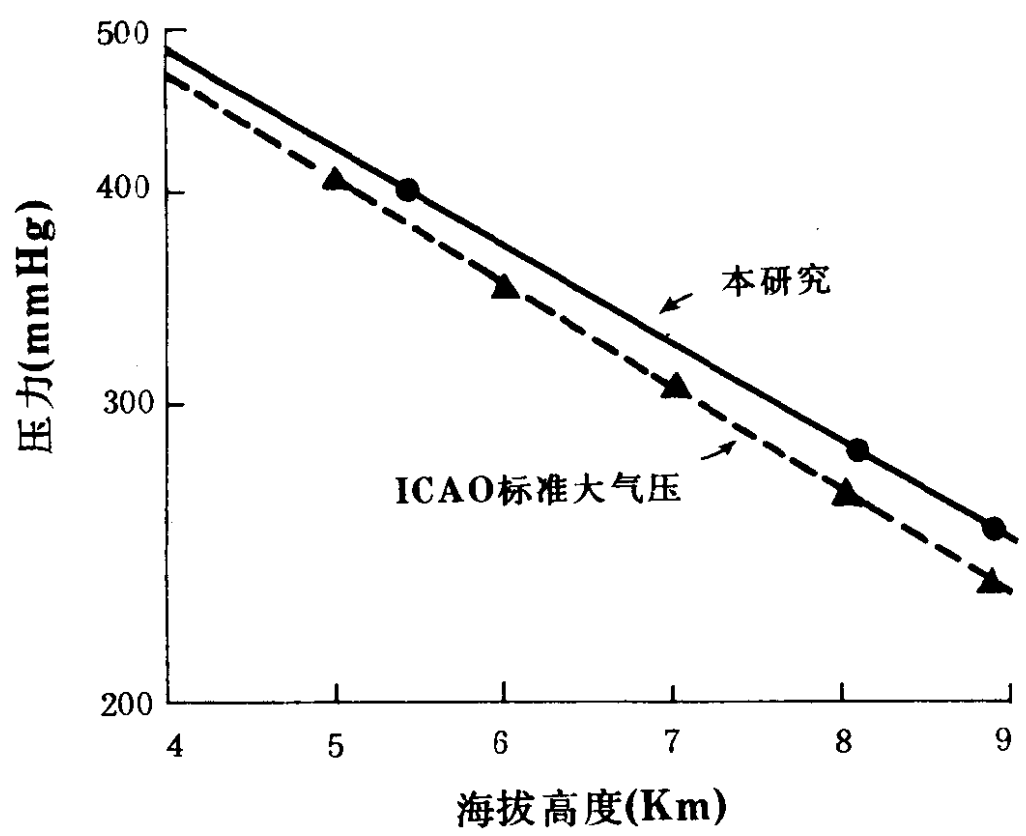


图 2. 1981 年美国珠穆朗玛峰医学研究考察队在不同海拔高度处所测得的大气压实测值比国际民航组织 (ICAO) 标准大气压 (13) 预测值明显为高 [引自 West 等 (30)]。

图 3 显示了在高山测定的气压值显著高于标准大气压手册预测值的原因。虽然地球表面和 24km 高空的气压基本上与纬度无关, 但在 4—16km 范围内的气压则与纬度明显有关。这是因为赤

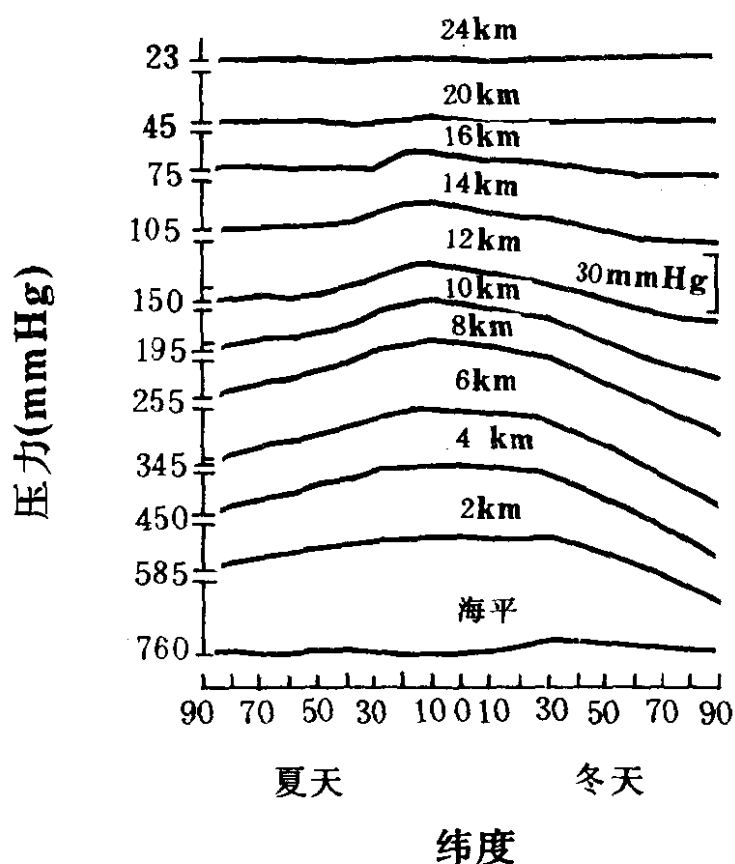


图 3. 赤道附近不同海拔处的大气压均有所增加（夏天、冬天）。垂直刻度：随右边刻度而向上增高的压力；左面数字：两极不同海拔的大气压 [引自 Brunt (3)，略有修改]。

道上空的平流层含有大量很冷的空气（而最冷的空气在大气层），这些冷空气乃是由辐射和对流等复杂因素所引起（3）。如果珠穆朗玛峰峰顶的大气压不是由于赤道隆起带而增加，那么就不可能有充足的可利用氧来维持人类的基础代谢（31）。因此，这种气候特征使人类有可能靠呼吸空气而到达地球的最高点。

肺泡气成份

为了在这些极高海拔处获取肺部气体交换的资料，我们特地设计了一种自动肺泡取样器。取样时，受测者经橡皮接口做最大

呼气直到肺中仅存余气量，然后屏住呼吸一秒种左右。当拉杆时，预先抽空的小型铝质容器活瓣即被打开，便可装入最后呼出的气体。放松拉杆时，容器活瓣关闭，软片旋转，把另一取样容器带到指定位置。通过上述过程，检测对象勿需经过复杂的操作程序即可取得六个肺泡气体样本（14）。

在 8,000 米以上高地共收集了 34 个有效的肺泡气体样本（29）。5 号营地（海拔 8,050 米）二氧化碳分压（ PCO_2 ）平均为 11.0mmHg（ $n=27$ ， $SD=2.0$ ），海拔 8,400 米处降到 8.0mmHg（ $n=3$ ）。在峰顶收集到的四个可用样本的均值为 7.5mmHg。这些低得令人惊讶的数值表明了登顶成功者在上述高地具有极度通气过度的特点。

图 4 显示了本次考察获得的 PCO_2 平均值及以往在大气压低于 350mmHg 的高原考察时取得的数值。从中可以看到，随着大气压的下降，肺泡 PCO_2 呈近乎线性的降低，说明我们的结果与以往的测定一致。然而，我们在峰顶所取的样本受到了呼吸交换比率（respiratory exchange ratio, R）增高（平均 1.48）的影响。其原因虽不清楚，但有关数据表明，进行此项测定的 Pizzo 本人并非处于稳定状态下工作。据他报告，在那种情形下取样本是相当困难的。从他本人在峰顶通过微型口述磁带录音机作的录音可表明他当时呼吸非常困难。同时，在短时间内他还要完成一个庞大的工作计划。而在 8,400 米高地上取到的样本则是令人满意的，平均 R 值为 0.75。由于另一登山者 Hackett 两次从峰顶返回，Pizzo 需要在那等他好几个钟头，因而有充足的时间取样。鉴于在 8,400 米处 PCO_2 平均值仅为 8.0mmHg，我们可以确信，峰顶的 PCO_2 应比该值更低。

另外必须指出，Pizzo 在登峰途中补充了氧气，使他吸入的氧分压（ PO_2 ）增加到 70mmHg。尽管在肺泡气取样前要取掉吸氧面罩至少 10 分钟，但结果仍可能受到影响。如果吸入氧有任何增加，都可能在一定程度上降低通气反应。所以我们认为，在峰顶不用

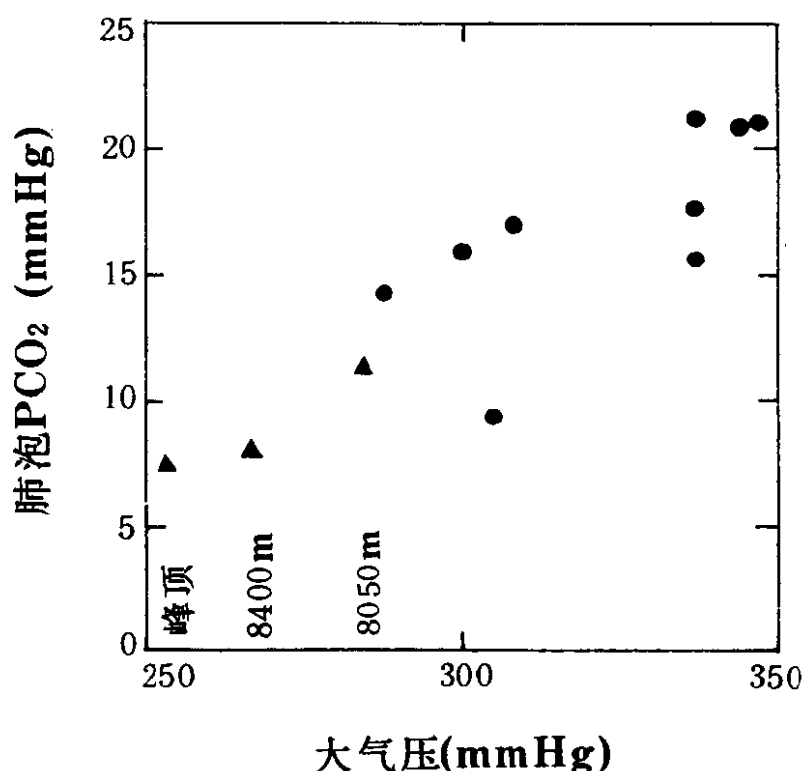


图 4. 不同大气压下的肺泡二氧化碳分压 (PCO₂) [引自 West 等 (29)]。

△考察时测定的均值

●已往调查结果 (大气压 < 350 mmHg)

氧气的登山者其肺泡 PCO₂ 不会高于 7.5 mmHg, 只可能低于此值。

图 5 以氧分压为横座标、二氧化碳分压为纵座标作图, 显示了肺泡气的构成。在本次考察中所得样本的均值以“△”表示, 以往研究人员在高原习服者中得到的数据则以“●”表示。这些数据出自不同作者 (10、11、18、25), 均以 Rahn 和 Otis 法 (21) 作成图。图中显示了他们所作的最适曲线。而我们的数据和该曲线的伸延部份大体上吻合。

由图 5 可以看出, 曲线到达最大海拔高度 (最低的 PCO₂ 值) 时, 呈现近乎垂直的斜度。这是一个很有意义的特点。它意味着, 对越来越低的大气压, 机体通过增强通气而使肺泡 PO₂ 保持在 35 mmHg。这样, 虽然 PCO₂ 随海拔高度增加不断下降, 但肺泡 PO₂

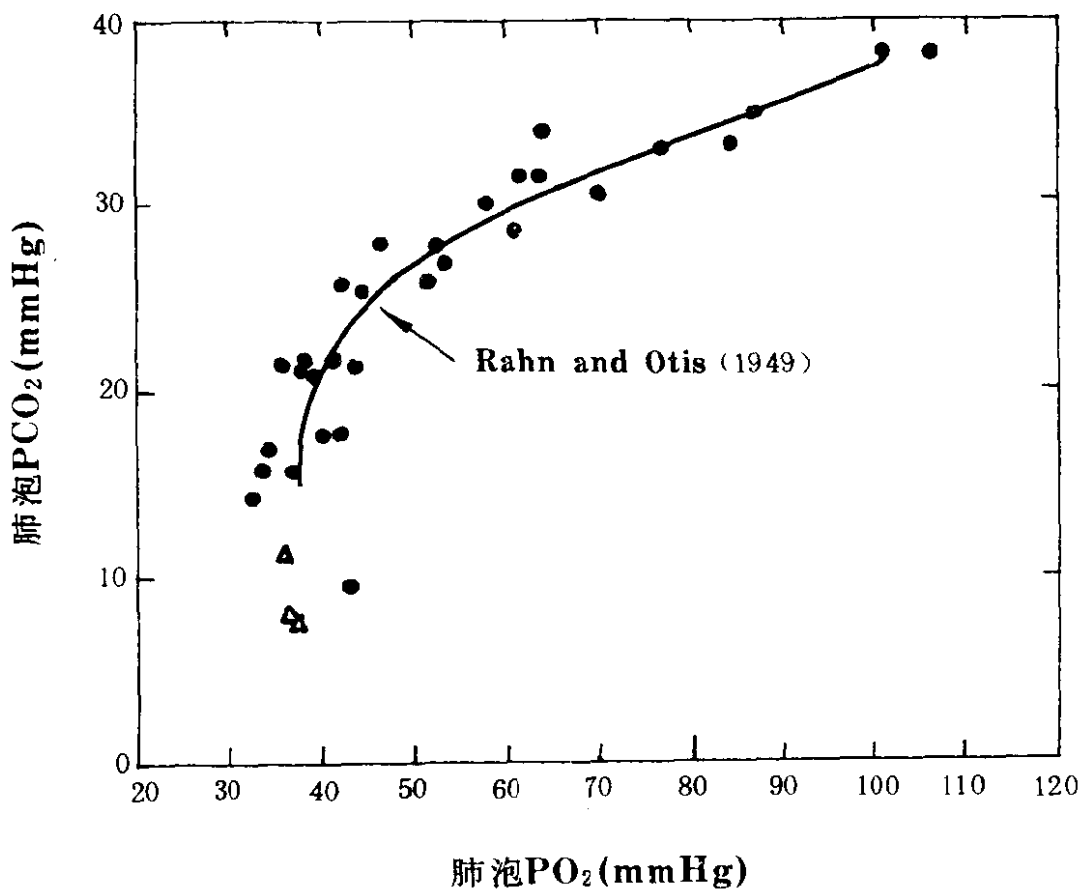


图 5. 高原习服者的肺泡气成分

在极高海拔处，显著的通气过度使肺泡 PO_2 维持在 35mmHg 左右 [引自 West 等 (29)]。

△考察时测定的均值

●以往调查结果

仍保持在一恒定值上。可能并非所有的人都能以如此程度的通气增强来对海拔高度的增加作出反应，但是也要知道并非每一个人都能到达珠穆朗玛峰峰顶。通气过度反应与登顶能力这两者之间可能是有联系的。