

## 登山時における疲労の研究

## 〔VI〕高地条件が生理的機能におよぼす影響

金沢大学医学部衛生学講座(主任 石崎有信教授)

林 勝 次

(昭和47年9月6日受付)

高地条件に対する馴化について生理的機能の面を中心に実験的に調査するとともに、高地馴化の低地における持続の状態を究明する目的をもって本研究を企図したものである。

高地馴化が明瞭に現われる高度は、標高2,000m以上とされているので、本研究は標高2,600mの剣沢に14日間滞在し、その間尿のpHと蛋白、ヘモグロビン量の変動を観察するとともに Harvard step test を実施し、その際の酸素消費量を測定、下山後にはさらに5週間にわたって測定を継続した。

## 被験者ならびに実験方法

被験者は富山大学山岳部員4名、富山大学体育専攻生2名の健康な男子の計6名である。高地における実験的観察の諸条件および方法はつぎの通りである。

場所：立山剣沢、標高2,600m、気圧750mb

日時：1967年8月16日～8月29日。

なお、実験中の平均気温16.5°C、平均相対湿度53%。

体重測定：朝食前に毎日測定。

尿検査：尿蛋白はスルフォサリチル酸法により、またpHは午前7時から8時の間に2回目に排泄した尿と、午後5時から6時の間に夕食前の尿とについてpHメーターを用いて測定した。

血球ヘモグロビン量：ザリー法により測定したが、採血は毎朝6時30分から7時の間に行なった。

Harvard step test (H.S.T.): 高さ50cmの台を用い、運動終了後1～1.5分、2～2.5分、4～4.5分の3回の30秒間脈拍数を計測する slow form によって評点を求めた。時刻は午前10時から午後4時の間に行ない、呼吸ガスをダグラス・バッグに採取して酸素消費量を測定した。分析は労研式小型ガス分析器によって行ない、同一検体につき5回の分析を実施してその平

均値をとった。運動終了後の回復経過は、脈拍・呼吸数が安静時の値にもどるまで連続採気した。

安静代謝のO<sub>2</sub>消費量は step test 実施直前に採気装置を着装した状態で椅座させ、脈拍数と呼吸数が一定するのを待って5分間採気し分析した。H.S.T.中のO<sub>2</sub>摂取量はテストを実施した5分間に摂取されたO<sub>2</sub>量であり、H.S.T.のO<sub>2</sub>需要量はテスト後安静に回復するまでのO<sub>2</sub>摂取量をテスト開始時からのものと総計した値である。H.S.T.によるO<sub>2</sub>負債量は、従ってO<sub>2</sub>需要量からテスト中のO<sub>2</sub>摂取量を差引いた値である。

## 実験成績

## I. 高地における体重の変化

表1に示されるように、入山中の体重の変化をみると、A、C、E、Fの4名は入山してから体重の増加をみ、4日目(Fは3日目)に一たん減少し、その後増加の傾向を示し、B、Dは減少の傾向をみせずに増加している。最初に測定の入山2日目に比較して、最後の測定の13日目は0.2～1.4kg増加している。途中の6日目に被験者総員減少しているのは、5日目の登山行動が長次郎谷から剣岳本峰という長い距離を行動したためと思われる。

## II. 尿のpHの逐日変化

尿のpHの検査成績は表2のごとく、その値の変動は小さい。しかし6例の平均値でみると、逐日的変化が朝の値に現われている。入山直後は5.4であるのが、2週間の入山期間の終り頃は5.7となっている。また1日のうちでも朝と夕によって差があるらしく、各個人別に12回の測定の平均値を求めてみると、わずかの差ではあるが、全例において夕方の尿のpHは朝の値よりも大である。6例について全例同一方向の差がみられることは、この差は有意であると判断できる<sup>1)</sup>。

Studies on the Fatigue in Mountain Climbing〔VI〕Influence of Physical Movement on the Heights upon Physiological Function. Katsuji Hayashi, Department of Hygiene (Director : Prof. A. Ishizaki), School of Medicine, Kanazawa University.

表1 入山中の逐日の体重の変化

測定日 被検者	入山	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	2	目											
A	70.5	71.0	70.5	71.8	71.5	71.5	71.2	71.2	71.3	71.2	71.2	71.0	
B	56.2	57.0	57.0	58.0	57.2	57.2	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.1	57.1
C	60.2	60.0	58.8	60.2	60.2	60.1	60.2	60.2	60.2	60.2	60.1	60.2	60.2
D	58.6	58.6	60.0	60.0	59.0	59.5	59.6	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
E	56.0	56.2	56.0	57.0	55.5	56.5	56.6	56.6	56.6	56.5	56.6	56.6	56.5
F	58.5	58.3	59.6	59.8	59.0	59.2	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.5	59.5

表2 入山中の尿pHの逐日的変化

測定日 被検者	入出	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	平均	朝夕の差
		2	目												
A	朝	5.4	5.4	5.6	6.4	6.0	5.6	6.0	6.8	5.6	5.8	6.0	5.8	5.87	+0.06
	夕	5.6	6.0	6.0	5.6	*5.6	5.6	5.6	*6.0	6.6	6.8	5.8	6.0	5.93	
B	朝	5.4	5.4	5.6	5.8	5.8	5.6	5.4	5.6	5.6	6.0	5.8	5.8	5.65	+0.10
	夕	5.6	5.4	5.4	5.6	5.2	5.8	6.0	6.0	6.0	6.2	6.0	5.8	5.75	
C	朝	5.4	5.4	5.4	5.6	5.8	6.0	6.4	5.8	5.6	5.8	5.6	5.8	5.72	+0.46
	夕	6.0	5.6	6.4	6.0	*6.2	6.4	6.6	*6.4	6.0	6.2	6.2	6.2	6.18	
D	朝	5.4	5.4	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.6	5.4	5.6	5.6	5.6	5.60	+0.10
	夕	5.6	5.4	5.4	5.4	5.2	5.6	5.2	5.8	6.2	6.0	6.0	6.2	5.70	
E	朝	5.4	5.6	5.4	5.6	5.6	5.4	5.6	5.6	5.4	5.6	5.8	5.8	5.57	+0.16
	夕	6.0	5.6	6.4	6.0	*6.0	5.6	5.4	*5.4	5.4	5.8	5.6	5.6	5.73	
F	朝	5.4	5.4	5.8	5.4	5.8	5.4	5.6	5.4	5.4	5.6	5.4	5.4	5.50	+0.35
	夕	6.2	*6.0	5.4	5.4	*6.4	6.6	5.8	5.6	5.8	5.8	5.6	5.6	5.85	
平均	朝	5.40	5.43	5.57	5.73	5.80	5.63	5.80	5.80	5.50	5.73	5.70	5.70		
	夕	5.83	5.67	5.83	5.67	5.83	5.93	5.77	5.87	6.00	6.13	5.87	5.90		

\*印は尿中の蛋白検出を示す。

また入山2日目と3日目の朝の尿のpH平均値と、入山12日目と13日目の朝の尿のpH平均値の差を各個人別にみると、F例が0である以外5例とも末期の方のpH値は大きい。これもまた有意の差と考えることができる。平均値でみるとこの傾向は入山第5日目から現われているといえるようである。

### Ⅲ. 尿蛋白の検査成績

尿に蛋白が証明されたものは6例中4例である。ただし量はきわめて少量であり、翌朝には陰性になっていた。F例の入山2日目夕方の尿に陽性であったのを

例外として、いずれも激しい行動を実施した5日目、8日目の夕方の尿に蛋白がみられるものであって、強度の運動の影響として現われたものであろう。

### Ⅳ. ヘモグロビン量(ザリー値)

ヘモグロビンの変動は、表3及び4にみられるように、入山中急激に増加し入山前の平地における値は80~86であったものが、入山4日目で全例100を超えている。最高値は平地の値に対して26~50%の増加である。そして下山後、漸減するが、5週間後でもなお高地に行く前の値より大きい。

表3 ヘモグロビン量の入山中の変化

被検者 測定日	A	B (ザ ー リ ー 値)	C	D	E	F
入山前平地	80	82	86	82	86	84
入山2日目	98	88	98	90	96	92
3	110	96	108	98	106	104
4	118	106	116	106	106	104
5	100	100	120	110	110	100
6	102	102	124	106	110	102
7	108	104	120	106	108	104
8	108	110	120	108	108	104
9	114	112	124	108	108	102
10	116	108	120	112	108	104
11	118	110	120	114	106	106
12	108	112	120	108	110	106
13	120	112	120	108	108	106
最高値の 増加率(%)	50	37	44	39	28	26

表4 ヘモグロビン量の下山後の変化

被検者 測定日	A	B (ザ ー リ ー 値)	C	D	E	F
下山前日	120	112	120	108	108	106
平地2日目	112	106	110	108	100	102
4	110	106	110	100	98	102
6	112	106	104	96	96	100
10	106	104	104	98	98	100
13	106	96	102	94	96	98
20	98	94	100	96	96	94
27	100	94	98	94	94	96
34	98	92	96	94	96	94
45	96	90	94	94	94	92

V. Harvard step test の評点の変化

H.S.T.の評点の入山前、入山中及び下山後の変化は図1に示した通りである。入山前の評点は被験者EとFは80点台であるが、それ以外の4名は90点以上で全例体力優秀ないしは佳良のランクに入るものであ

て、5分間のテストに耐えられないものは1名もなかった。

入山2日目の評点は全員入山前日よりも低下を示している。登行による疲労と高地順応がまだ成立していないためと思われる。A及びCの2例以外は入山後動

図1 H. S. T. の評点の変化

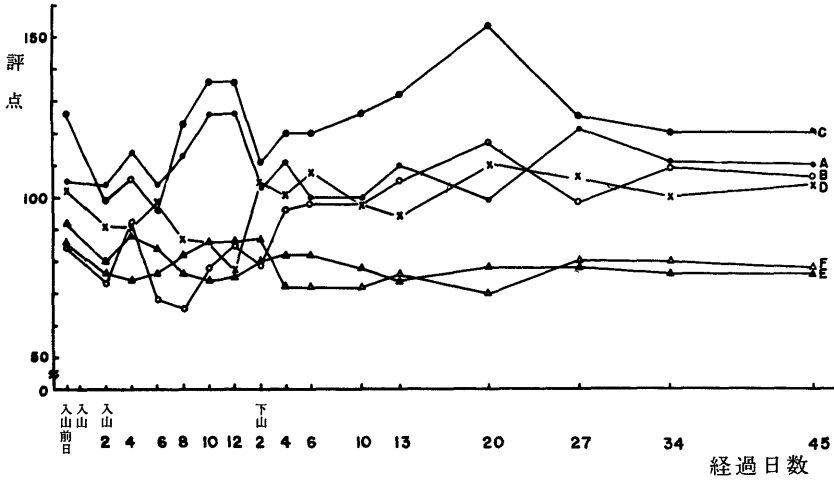
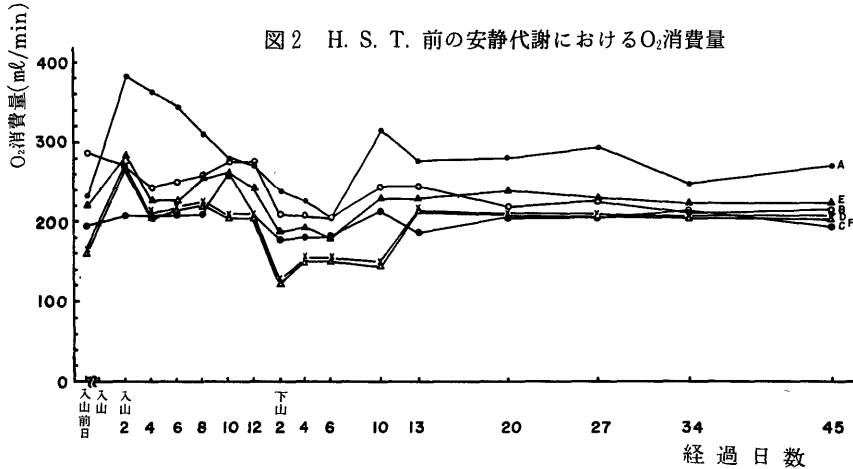


図2 H. S. T. 前の安静代謝におけるO<sub>2</sub>消費量



揺はあるが、大体同じ評点に止まっているのに、AとCは合宿の最終期の10日目及び12日目の評点がいちじるしく上昇している。この2名はヘモグロビン量をもっとも上昇した例であって、ザリー値が120に達しているものであった。

下山後の評点は2日目まで全員ほとんど入山前日と同じ値にもどっている。その後C例だけが特別に強い変動を示しているが、他の例はあまり変動はなかった。

VI. H.S.T.に伴う酸素消費量の変化

テスト直前の安静代謝時のO<sub>2</sub>消費量の変化は図2に示したとおりである。入山前に比較して、入山2日目は1例を除き他の5例はいずれも上昇している。ことにA例にいちじるしい上昇がみられた。つぎの測定日の4日目には低下し、入山前の値にもどり、入山中は

わずかづゝの上昇のみられる例もあった。

下山後2日目では、急に低下して入山前の値より低い値を示し、その低値は10日間つゞいてまた上昇してもとの入山前の値に復帰している。

H.S.T.を行なっている5分間に摂取したO<sub>2</sub>量の変化は図3に示した。入山後4日目あるいは6日目にいちじるしい低下が現われ、その後上昇して入山期間の末期である10日目あるいは12日目には入山前の値にもどる傾向がみられた。

下山後は一時低下がみられるが、これも安静時のO<sub>2</sub>消費量と同じく、約10日で入山前の値にもどっている。

H.S.T.に伴うO<sub>2</sub>需要の総量の変化は図4に示したが、安静時代謝とテスト中のO<sub>2</sub>摂取量の双方の変化を

図3 H. S. T. 中のO<sub>2</sub>摂取量

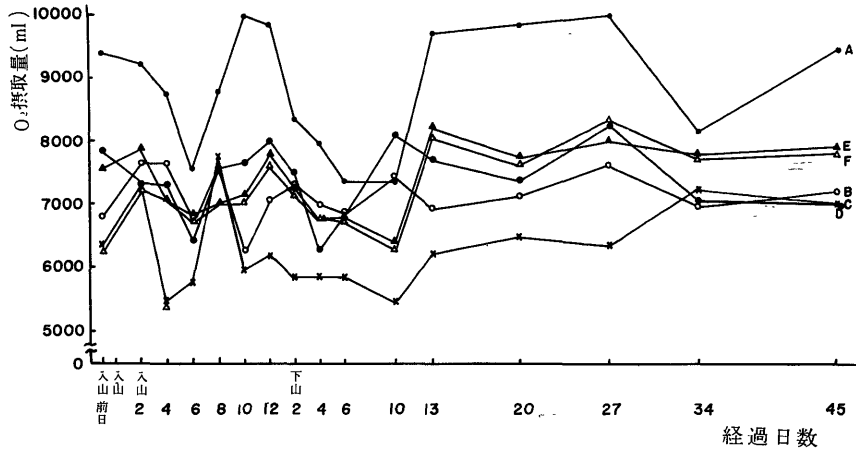


図4 H. S. T. 中のO<sub>2</sub>需要量

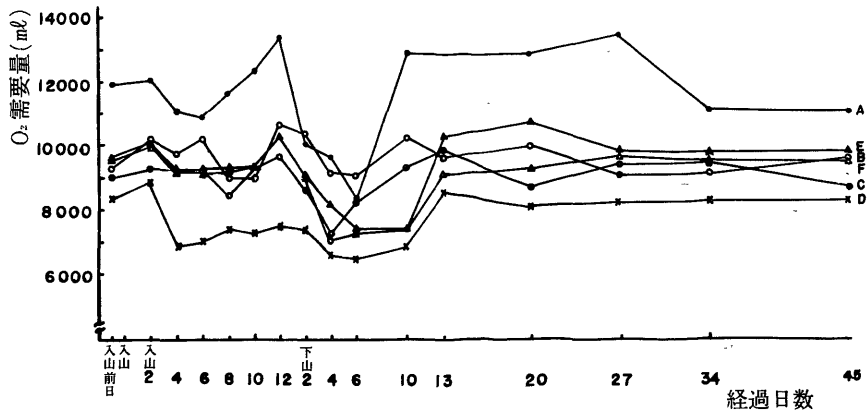
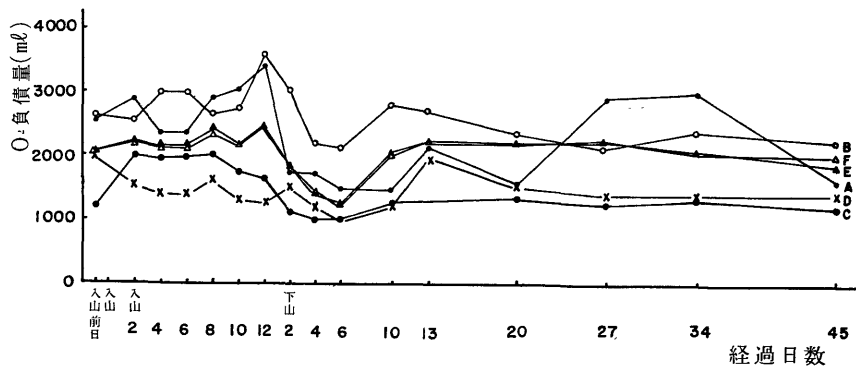


図5 H. S. T. 中のO<sub>2</sub>負債量



組み合せた様相であって、入山第2日には入山前より少しく上昇し、その後は低下するが12日目の値は入山前よりも高いものが多い。

下山後はほぼ10日の間低値を示しているが、その後は入山前の値にもどっている。

5分間のH.S.T.によって生ずる酸素負債量は、その変化を図5に示したが、入山中の変化は入山前に比較して上昇するものもあり、低下するものもあって、一定の傾向は認めがたい。

下山直後の低下は全例にみられた。なおテスト評点の高かった被験者Aは安静時の $O_2$ 消費量もテスト中の $O_2$ 摂取量もとくに高値を示したが、 $O_2$ 負債量について他の被験者といちじるしく異なる値は示さなかった。また同じくテスト評点の高かった被験者Cは、全般的にみてもっとも低い $O_2$ 負債量を示した1人である。

## 考 察

実験を行なった場所は標高2,600m、気圧は750mmBであって、平地に比較して25%気圧は低い。したがって当然酸素の絶対量は少なく、その影響がとくに強度の運動を负荷した場合に現われるはずである。

### 1. 体重の変化について

被験者はいずれも健康な青年男子であるので、2週間の高地における訓練は重大な負担ではなく、体重はわずかながら増加の傾向を示した。ただしこの増加は、激しい登山活動も行なわれたのであるから、脂肪の貯溜とは考えられず、あるいは筋肉組織の増大も考えられないことはないが、むしろ酸素欠乏状態に対応しての血液量の増加によるものではないかと推定される。4,000~6,000mの高地に長期滞在すると、主として赤血球の増加が原因で血液量は25%増加するとされている<sup>2)</sup>。

2,600mの高地に2週間の滞在ではその作用はそれ程大きくはなからうが、血液量の増加があったものと推定される。

### 2. 尿のpHの変化について

尿のpHの検査成績は全例弱酸性の正常値の範囲内ではあったが、わずかではあるが変動があった。朝よりも夕方の値はアルカリの方向に傾き、また入山直後にくらべて入山5日目からはアルカリ方向に傾いている。

高地の低圧条件下での呼吸機能に与える影響は酸素欠乏よりも $CO_2$ の欠乏が問題であって、高山病の発生もこれが主な要因とされているのである<sup>3)4)</sup>。呼吸による $CO_2$ の損失によって血液はアルカローシスに傾くのであるが、尿のpHがアルカリ側に移動したのはこ

れに対する適応現象とみることができよう<sup>5)</sup>。

### 3. 尿中の蛋白について

6例の被験者のうち4例に、激しい登山活動のあとの尿にのみ蛋白が証明された。これは一過性であって、翌朝の尿には検出されず、また反復性があって同じ被験者に繰り返し現われる傾向が認められた。以上の諸点からいわゆる運動性蛋白尿<sup>6)</sup>に過ぎないと判断される。この種の蛋白尿の出現は、腎虚血による糸球体毛細管基底膜の蛋白透過性の亢進を想定する考えもあるが<sup>7)</sup>、多量の発汗による水分損失のため尿がいちじるしく濃厚になることも蛋白が陽性に出やすくなる一因でないかと思われる。

蛋白の証明された4例のうち、AとCはH.S.T.においてとくに優れた点数を示したものであり、EとFはもっとも点数の低い方であった。したがって運動機能の強弱と運動性蛋白尿の出現とはとくに関連は考えられないようである。

### 4. ヘモグロビン量の変化について

高地馴化の現象について、もっとも早期にまた明らかに現われるのは赤血球の増加、したがってヘモグロビンの増加であるとされている<sup>8)</sup>。今回の観察においても入山2日目にすでにザリー値は入山前よりも明らかに上昇していた。高田ら<sup>9)</sup>は乗鞍岳(2,740m)において行なった観察では、初期においてヘモグロビン値の低下をみた例も少なくないとしているが、著者の観察ではそのような例はなかった。増加したヘモグロビン量は下山後も相当長く保持されるようで、漸減はするが5週間を経た後もまた入山前よりも高い値であった。

### 5. H.S.T.の変化について

このテストの意義は簡単な動作であってとくに熟練を要せず、相当重激な作業負荷であるために体力の強弱をみるのによいとされている<sup>10)</sup>。しかしこの種のstep testの意義については批判もあり<sup>11)</sup>、最大能力をみるには適当でないといわれている。今回の観察においても高地馴化の影響を明瞭には現わすことのできなかったのは、運動量がまだ小さく、極限には遠かったためとも考えられる。

H.S.T.の評点は入山直後は低下し、2週間の高地生活の間そのままの点数の続くものもあるが、ヘモグロビン量の増加の著明であった被験者は2週間の末頃には入山前よりも高い点数を示すようになった。

下山後4週間は入山前にくらべて高いものも低いものもあって動揺を示すが、5週以後には全例ほぼ入山前に等しい評点にもどるようである。

### 6. H.S.T.に伴う酸素消費量について

テスト直前の安静代謝も、H.S.T.の途中の $O_2$ 摂取量も、テストに要した $O_2$ の総需要量も、いずれも一部に例外的な動きはあるが、ほぼ同一の傾向の変動を示した。すなわち、入山2日目はわずかに上昇し、4日目、6日目の値は低下し、8日目以後はまた上昇して入山前のレベルにもどり、下山2日目は急激に低下し、その低下は下山後10日目頃まで続き、13日目以後は入山前の値にもどっている。

H.S.T.に伴う $O_2$ 消費量は被験者個人によって各種の動揺を示すが、下山直後の低下は全例に明らかにみられる。

安静時の $O_2$ 消費量が4日目から低下を示したことは、脈拍数がこの時期から安定することや、ヘモグロビン量もすでにかなり上昇している点と一致して、一応の高地順応が成立していることを示している。しかしテスト中の $O_2$ 摂取量がまだいちじるしく低下しているものもあることは、5分間のH.S.T.のような強い運動はまだ順化が充分でないために逐行はかなり困難であることを現わしている。

下山直後にはすべての $O_2$ 消費量に明らかに低下がみられたことは、2週間の高地生活において少ない $O_2$ 消費量によって運動を逐行できる能力が被験者の全例にできていたことを示している。ただしこの能力の持続期間は10日程度のものであって、2週間よりは短かいとしなければならない。ヘモグロビンの増量が5週後になっても残っていたこととは一致しない。高地トレーニングが持久性スポーツ種目に有利であるとされているが、<sup>12)~14)</sup>平地へ降りてからの持続期間は2週間よりも短い期間と考えられる。

#### 総 括

標高2,600mの高地に2週間滞在した間の体重、尿のpHと蛋白、血液のヘモグロビン量を測定し、またHarvard step testを実施し、その時の酸素消費の状況を計測し、下山後も5週間にわたって追跡調査を行なって、高地馴化の生理的機能に及ぼす影響を観察した。

2週間に体重はわずかながら増加し、尿のpHは酸度がわずかではあるが低下した。また夕方の尿は朝の尿に比較して酸度が低かった。6例の被験者のうち、4例に激しい登山活動を行なった日には尿蛋白が陽性となった。

ヘモグロビン量は入山2日目から増量し、最高値は入山前の値に対して26~50%の増加であった。下山後は次第に低下するが、5週後においても入山前の値より高かった。

H.S.T.の評点は入山後低下したが、ヘモグロビンの上昇のいちじるしいものは10日目から入山前よりも高い評点を示した。

H.S.T.中の $O_2$ 摂取量は4日目、6日目頃にいちじるしく低下するものがあり、馴化の充分でない時期には強い運動の困難であることを示したが、下山直後の $O_2$ 消費量が安静時についても、テスト中についても少なくなっていたことは、2週間の高地滞在によって $O_2$ 消費に関する能率が向上したことを現わしている。しかしこの傾向の持続期間は10日程度にすぎなかった。

細筆するにあたり、終始懇篤なるご指導、またご校閲を賜りました石崎有信教授に衷心謝意を表します。また有益なる御助言をいただいた金沢大学がん研究所越村三郎教授に深謝します。

実験に献身的な協力をいただいた富山大学山岳部長有沢一男教授に感謝します。

#### 文 献

- 1) 石崎有信：医学研究のための統計法，159頁，東京，医歯薬出版，(1955).
- 2) Korner, P. I. Physiol. Rev., **39**, 687 (1959).
- 3) 杉本良一：自然，**13**, 62 (1958).
- 4) 本林富士郎：医学のあゆみ，**64**, 608 (1968).
- 5) Astrand, P. & Rodahl, K. : Textbook of Work physiology, p. 576, New-York, McGraw-Hill Book Co. (1970).
- 6) 木下康民・平沢由平：蛋白尿とその臨床，15頁，東京，金原出版，(1968).
- 7) 山川邦夫・佐藤 強・赤松孝之・岩淵 博・住吉右光・大野丞二・山口三郎・山口昭士・青木克至：臨内小，**16**, 1119 (1961)
- 8) 猪飼道夫：呼吸と循，**15**, 577 (1967).
- 9) 高田茂・井関敏之・武田 正・梅原千治・塩田憲三：日内会誌，**42**, 703 (1953).
- 10) 桐原葆見：疲労判定のための機能検査法，213頁，東京，日本産業衛生協会出版，(1957).
- 11) Taylor, C. L. : Ann. Rev. Physiol., **7**, 599 (1945).
- 12) 杉本良一：医学のあゆみ，**46**, 368 (1963).
- 13) 猪飼道夫：医学のあゆみ，**64**, 551 (1968).
- 14) Das, S. K. and Saha, H. : Ind. Jour. Med. Res., **55**, 579 (1967).

## A b s t r a c t

In order to investigate the problem how physical movement on the heights would influence upon physiological function in human beings, some experiments were made for the period of 2 weeks on six subjects, who were staying on a land about 2290 meters above sea level ; i. e., change in body weight, pH and protein in the urine and the amount of hemoglobin in the blood were measured on the one hand, and oxygen uptake was examined in the actual state by Harvard Step Test (H. S. T.) on the other.

The results obtained were summarized as follows :

1) Body weight in each was observed slightly to increase throughout the experimental period.

2) The urine was tested to sparingly decrease in acidity, indicating that there was a little difference in pH according to the times of the day the tests were made. After an intensive exercise in climbing activity, protein in the urine was temporarily detected in 4 subjects.

3) The amount of hemoglobin began to increase on the second day after the subjects came up to the heights.

When it reached the peak, the increase was 26-50%.

As they left the heights the hemoglobin content was seen to decrease gradually.

The merit mark of H. S. T. began to fall step by step after ones came up to the test place, and it seems to be, at least, variable in relation to hemoglobin content in the blood.

4) The amount of oxygen consumption in the subjects submitted to H. S. T. was found to remarkably decrease, excepting a few case. Moreover, just after they leaving the heights, it was not so great even in loading as well as resting state in all cases.

---