

高地トレーニングと脱馴化防止に 関する研究報告

財団法人 日本体育協会
東京オリンピック選手強化対策本部
スポーツ科学研究委員会

概 要

昭和38年1月末から2月始めまでの2週間にわたり、立川航空医学実験隊の低圧室を借用して、自衛隊体育学校の学生4名および東京教育大学学生2名計6名を被検者とし、毎日4000m相当の低圧環境に2時間おいて、その間30分間ずつ2回自転車エルゴメーターを毎分50回のピッチでペダルをふませる運動負荷を行なわせるという低圧トレーニングを実施した。その結果低圧馴化の示標と見られる赤血球造生の亢進は、低圧トレーニング2週間ではほぼ安定し、ハーバード・ステップ・テスト(H. S. T.)とトレッドミルによる走行テストで全身的持久力、循環機能の持久性を検討したところ著しい向上が見られ、また最大酸素摂取量、最大酸素負債、最大換気量も著明な増加を示し、持久性の増大には予想以上の効果をもたらすことが証明された。ただ低圧トレーニングを中止して2週間目には、項目により多少の相違はあるが、低圧トレーニングの効果の大半は消失し、いわゆる脱馴化の状態になることがわかった。これら実験結果の詳細については Olympia 17号¹⁾に掲載した。

高地に永く住みついた人々は、平地に住むものより大きな持久力をもつこと²⁾、1時的にでも高地に完全に馴化させたものは、平地帰還後最大運動の持続時間が延長すること³⁾、そのほか高地の運動選手を平地につれてきて、各種運動の記録をそれぞれ高地と平地で比較してみると、フィールド種目では殆んど差異が認められないが、トラック種目中とくに長距離の記録が平地で著しくよくなっていること⁴⁾が報告されている。また逆に高地メキシコ・シティ(海拔2,280m)で開かれた汎米陸上競技大会での結果は興味深い。すなわち400mで45秒5(ルイス・ジョーンズ)、3段跳に16m56(ダ・シルバ)と当時の世界記録が生れたのに反し、長距離種目はいずれも極めて低調な記録しか得られず、しかも長距離の優勝者はいずれも大会2週間前から同地において練習し、高地馴化したもののみであったことである。この結果は高地で十分の酸素を摂取できない状態では、長時間にわたる持久運動の能力は著しく低下する

が、短時間に自己の保有するエネルギー源を爆発的に利用し得る種目に対しては殆んど影響を与えないことを示すものである。

以上述べたようなことから、高地に馴化させながらトレーニングを行なえば、平地で持久力增加の効果を十分發揮させ好記録が得られるだろうという予想は容易につくが、現在まで3,000~4,000mの高地で一流の長距離選手を組織的にトレーニングさせたという記録も研究も見当らない。ただわが国では選手強化対策本部の方針で菅平(1,200m)や霧ヶ峯(1,500m)での高地トレーニングが実施されたり、別府マラソンの選手が九重山で合宿訓練をしたことはあるが、実際の高地トレーニングと称するには余りにも高度が低いうらみがある。猪飼、朝比奈の霧ヶ峯におけるトレーニング効果の報告⁵⁾によれば赤血球およびHbの増加傾向、最大酸素債と柔軟度の増加が認められたといふ。

低圧室を用いる低圧トレーニングは、季節の如何を問わず行ないうる利点はあるが、1)低圧にさらす時間が限定されること、2)低圧室内で行ないうるトレーニングとしての運動負荷に大きな制限を受ける欠点がある。

これに対して高地トレーニングは季節的制約を受けることが大きく、その上3,000m級の山上で、疾走訓練に適当な場所があり、交通、宿泊、測定、計測などが容易に行ない得る山は、乗鞍岳をおいて他に求めることは出来ないと考え、今回の高地トレーニングを乗鞍岳で実施することにした。

幸い日本陸上競技連盟の理解ある後援と、順天堂大学体育学部の帖佐講師の熱心な協力によって、同学駅伝選手20名を乗鞍の信州側にある位ヶ原山荘(2,350m)に合宿させ、乗鞍山荘の近くにある鶴ヶ池(2,740m)周辺と陸上自衛隊が建設中であった信州側自動車道路(Ca 2,500m)をトレーニングコースとして、後に示す日程表のような高地トレーニングを実施した。

なお今回の実験では、乗鞍における高地トレーニング実験の前、7月26日から31日まで、霧ヶ峯において準備トレーニングが行なわれ、8月1日

から乗鞍における本実験が始まられている。また8月15日津田沼の順天堂大学に帰ってから2回目のテスト（高地より帰還後約2週間）で、前回の低圧実験と同様高地馴化による効果がかなり消滅していることが判ったので、ここに新たに脱馴化防止の実験を企図して見た。方法の詳細は実験方法の項に述べる。

実験方法と実験の分担

1) 高地トレーニングと脱馴化防止実験のスケジュールと期日は第1表に示す通りである。

2) 測定項目とその分担

研究班の構成と測定項目の分担は低圧トレーニング実験の場合と殆んど変りはないが、航空医学実験隊の人事移動により構成メンバーに多少の変動が見られたので、今回の構成メンバーを次に記す。

(アイウエオ順)

朝比奈一男、阿久津邦男、青木純一郎、秋山明

子、猪飼道夫、池上晴夫、小川新吉、勝田茂、杉本良一、高瀬巖、中西光雄、中川功哉、橋本捕介、春山国広、古谷守、横堀栄、寄金義紀

A) 高地トレーニング期間中の被検者身体状況

の管理

(分担一航空医学実験隊：池上、高瀬)

B) 呼吸機能の測定

(分担一慈大：杉本・阿久津、教育大スポーツ研：小川・勝田、順天堂大：青木)

C) 血液の測定

(分担一東邦大：朝比奈・中川)

D) 体力測定・筋力・全身持久力の測定

(分担一東大：猪飼、体協スポーツ研：中西、寄金)

E) 被検者

順天堂大学体育学部駅伝選手20名中から6名のものを選び被検者とした。その氏名、一般体力測定結果は第2表に示す。

第1表 高地トレーニングと脱馴化防止実験のスケジュール一覧

実験条件	実験前の平地テスト	霧ヶ峯における準備トレーニング	乗鞍における高地トレーニング	実験後の平地第1回テスト	同第2回テスト	脱馴化防止実験	脱馴化防止実験中止後約2月半後のテスト
実験期日	7月24, 25日	7月26日～31日	8月1日～13日	8月16, 17日	8月27, 28日	8月26日～9月27日	12月11, 12日

第2表 一般体力測定結果一覧

	体 重 kg	身 長 cm	座 高 cm	胸 围 cm	下腿围		皮 脂 厚 mm	垂 直 跳 cm	サス イテ ドプ 回数	全身反応時		体 前 屈 cm	肺 活 量 cc	血 压 mmHg	
					右 cm	左 cm				開動 始作 msec	筋收 縮 msec				
① 沢 木	前	59.0	166.5	88.5	91.0	37.2	37.5	4.5	52.0	33	183.4	201.4	1.5	4,800	130/60
	後	58.5	166.4	88.6	91.0	37.0	37.3	4.5	51.0	33	179.0	171.0	10.5	4,720	110/60
	2週後	58.8	167.0	88.8	90.0	37.0	37.5	4.5	50.0	35	221.0	164.0	7.5	4,700	125/60
② 松 波	前	54.0	166.0	86.3	88.0	34.0	34.0	4.0	48.0	36	177.0	187.0	12.0	4,800	120/70
	後	51.8	166.0	86.4	86.5	33.5	33.5	4.0	49.0	41	185.2	198.4	14.0	4,580	110/70
	2週後	53.0	166.0	86.7	86.5	33.5	33.6	4.0	47.0	37	210.0	200.0	14.5	4,800	107/65
③ 細 川	前	60.0	166.0	90.0	90.0	34.0	34.0	4.5	53.0	29	181.8	189.8	21.5	4,500	130/60
	後	59.0	166.3	90.0	89.5	34.0	34.0	4.5	54.0	33	200.0	262.3	23.0	4,480	120/70
	2週後	59.6	166.0	89.8	89.0	34.0	34.0	4.5	53.0	32	246.0	266.0	21.0	4,620	125/60
④ 大 塚	前	56.5	164.0	88.0	85.7	36.4	35.5	5.5	44.0	31	201.6	203.0	15.5	4,480	120/55
	後	53.5	163.9	87.5	83.8	36.2	35.0	4.0	44.0	34	198.2	195.0	14.5	4,720	115/55
	2週後	54.0	164.2	88.0	83.5	36.0	34.5	5.0	45.0	33	252.0	171.0	14.0	4,660	110/60
⑤ 草 賀	前	54.5	168.6	91.3	84.3	34.1	33.2	5.0	51.0	35	161.3	254.6	15.0	4,400	135/65
	後	53.0	168.4	91.2	83.0	33.3	33.0	4.5	48.0	36	205.2	196.6	14.0	4,300	125/65
	2週後	53.0	168.9	91.0	83.5	33.5	33.0	6.0	47.0	35	225.0	183.0	12.5	4,520	115/65
⑥ 吉 田	前	54.0	164.0	87.3	86.0	33.4	34.2	9.0	49.0	33	179.0	185.0	11.5	4,060	115/50
	後	52.0	164.2	86.5	85.0	32.7	33.0	5.5	48.0	34	149.6	201.6	15.5	4,000	110/50
	2週後	52.0	164.0	85.5	85.5	33.0	33.2	4.5	47.0	32	212.0	195.0	10.0	4,220	115/60

4) 高地トレーニング実施期間中の日課

6名の被検者は他の選手らとともに位ヶ原山荘に起居し、ほぼ一定の日課に従って生活した。第3表にその生活日程表を示す。

第3表 高地トレーニング実験実施期間の生活日程表

5:30	起床（安静臥位で脈博数測定）
6:00～7:00	朝食前の練習（自動車道での往復約30分疾走訓練4～5km）
7:30	朝 食
8:30	フリッカーチ値、体重測定、自覺的疲労および前夜の睡眠状態調査
10:00	鶴ヶ池の本練習に出発 位ヶ原山荘より鶴ヶ池まで1時間～1時間20分 本練習——持続走またはインターバル走15～20km
13:00	昼 食（鶴ヶ池近くの中日山荘）
15:00	帰 宿
16:00	フリッカーチ値および体重の測定と自覺的疲労調査
18:00	入浴、夕食
20:00	フリッカーチ値測定
21:00	就 寢

ただし合宿の中間日に当る8月7日は、トレーニングを休み、平湯温泉まで入湯に出かけたが、この間の往復山行は約20kmであった。また10日から12日までは、雨天のため練習量は平日に比して少なかった。13日は午前中に下山して、午後松本市の市営グランドで練習した。なお本格的トレーニングを行なった鶴ヶ池周辺は砂地もあるが、必ずしも平坦でなく走路としては相当条件の悪いものであり、最大酸素摂取量や負債量の測定にはバス道を利用した。とくに山荘から練習場に至る道路は相当急峻なガラ場であり、この往復がかなりの運動量になったと思われる。

トレーニング期間中の食餌は1日平均3,760Calであり、蛋白質は103gであったが、カロリーの大半は主食に頼ったため、動物性蛋白質は43%と低く、生野菜、果実類は当事者の努力にも拘らずかなり不足していた。

5) 脱馴化防止の実験の実施

後に述べる実験成績の項からも判るように、高地トレーニングを終って平地にもどってから約2週間を経過すると、項目の種類により多少の相違

はあるが、大体において高地馴化の効果はかなり消滅し、実験実施前の状態にもどっていることが判ったので、この脱馴化を防止または復活させる意味で、1週間に1回は立川航空医学実験隊の低圧室に行き、4,000m相当の低圧に2時間曝露させ、帖佐コーチの指導により、その間30分ずつ2回自転車エルゴメーターをあませたり（8月26日）、45分間自転車のペダリング、45分のジョギングを行なったり（9月3日）、或いは自転車エルゴメーターを5分間全力ペタリングさせて5分間休ませることを反覆したり（9月10日）して低圧トレーニングを行なうとともに、更に1週間1回は酸素含量13.5～14%の混合ガス（大体3,500mの酸素分圧に相当する）をダグラスパックにつめ、この低酸素気を呼吸させながら、15分間走って、15分間休ませることを2時間反覆するトレーニングを実施させた。第4表はこの脱馴化防止実験を実

第4表 脱馴化防止実験実施状況

被 検 者	実 験 条 件	低 圧 室	低 酸 素 氣	低 圧 室	低 酸 素 氣	低 圧 室	低 酸 素 氣	低 酸 素 氣	低 酸 素 氣
沢木	○	○	○	○	○	○	○	○	○
波松	○	○	○	○	○	○	/	○	○
細川	○	/	/	/	○	○	/	○	○
大塚	○	○	/	○	○	○	○	○	○
草薙	/	○	/	○	○	○	○	○	/
吉田	/	○	/	○	○	○	○	○	/

（○印は実施、/は行なわなかったもの）

施した状況を示したもので、津田沼から立川まで通って低圧トレーニングを行なうのは、時間的に大変だったので、9月の新学期が始まってからは、もっぱら低酸素気の吸入トレーニングだけに切りかえ、9月末からは各種の競技会が始まったので、これらの実験も中止せざるを得なくなつた。このような状態が続いておよそ2カ月半を経過した12月11、12日に、とくに血液と呼吸機能の測定ならびに全身持久力のテストを行ない、今後の実験のあり方についての参考資料を求めた。

実験結果と考察

[I] 高地トレーニング実施期間中の栄養、睡眠、疲労、脉拍、心電図に関する所見

(1) 体重の変化

練習スケジュールの関係で毎日朝食30分後、(8:00) および本練習終了後(16:00)に測定した。また登山前(7月24, 25)および帰京後(8月16, 17, 28日)にも測定して対照とした。結果を第1図に示す。これによると登山直後には平均1.2kgの減少を示したが、これは乗鞍登山前の霧ヶ峰における合宿中に減少したものと考えられる。乗鞍滞在中の第1週目は一定のレベルを保っているので、この間は摂取カロリーの均衡がとれていたものと考えられる。第2週目になると徐々に体重が増加している。これはこの期間雨天のために練習量が少かったためと、食餌が改善されたためと思われる。

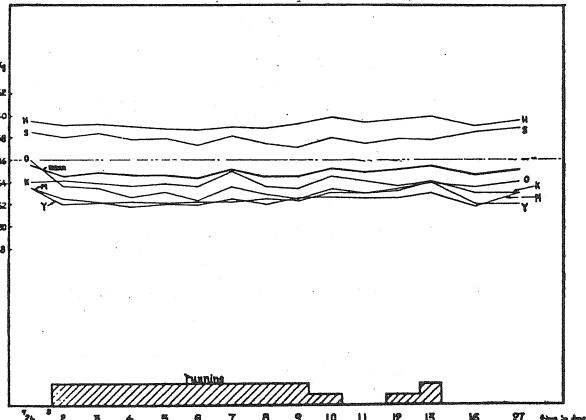
(2) 自覚的疲労症状

日本産業衛生協会で定めた自覚的疲労症状調査表を用いて、毎日8:00と16:00の2回調査した。訴えの頻度は一般に低かった。(第2図)しかし、詳細に検討すると、身体的症状のうちで“体のどこかが痛い”とする訴えが前半に割合多かった。これは足場の悪いことが大きく関係したためと思われる。また“ねむい”“だるい”等の訴えがやはり前半に多いのは低酸素の影響によるものと考えられる。しかし、これも後半には少なくなっている。以上のようにこの程度の高地トレーニングでは、自覚的疲労症状は一般に少く、一旦増加することはあっても再び減少する傾向を示しているので、疲労の蓄積は問題にしなくてもよいことが明らかとなった。

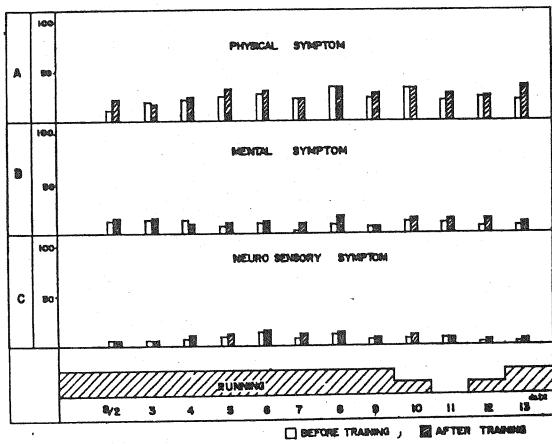
(3) 睡眠調査の結果

ねつき、眠りの深さ、夢の有無、起床時の気分について毎日アンケートをとった(第3図)。これ

第1図



第2図



によると睡眠は概して普通である。前半に起床時の気分が悪いとするものが若干みられるが、後半には絶無となり、睡眠状態も2週間目には改善されることがわかった。

(4) 安静時の脉拍数

毎朝起床直前に安静臥位時の脉拍数を測定した。18名の平均値を第4図に示す。これによる

と、第1週目は53前後を上下しているが、第2週目に減少し始め合宿の終りには50前後になった。これは高地に登ったために増加していた脉拍数が、第2週目から馴化の結果減少し始めたことを示すものと考えられる。

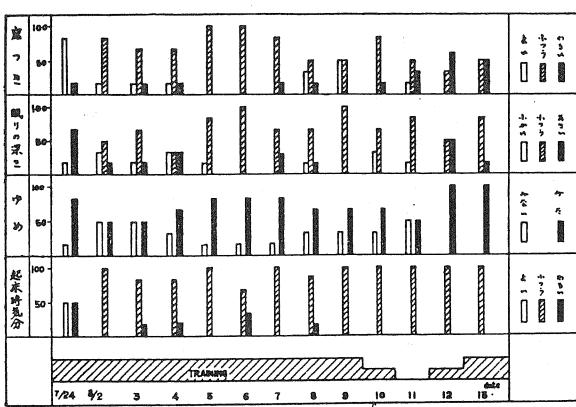
(5) フリッカーチ

セクター式フリッカーチを用いて毎日 8:00 16:00, 20:00 に測定した(第5図)。出発前の値を 100 として % で示してある。これによると登山直後には 5~12% 低下しているが、次第に回復して 2 週目の終りには大体 100 にもどっている。すなわち、今回の高地トレーニングでは疲労の蓄積は認められず、馴化の結果と考えられる所見が得られた。

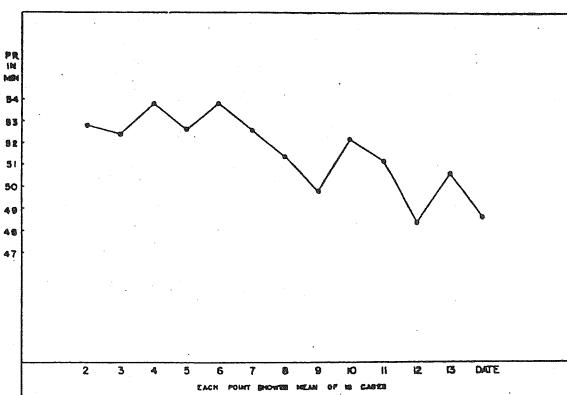
(6) ステップテスト実施中の心拍数の変化

ハーバードテストの際に、心電計を用いて運動中および回復時の心拍数を測定した。結果の1例を第6図に示す。図からわかるように、運動中の心拍数は登山直後に最大となり、滞在中に次第に減少する傾向が認められる。この傾向は下山後も続いて登山前値より低くなり、下山後2週間に最低を示すが、4週後にはこの傾向がとまり、再び増加し始める。しかし下山6週後においてもなお登山前値よりは低い。この値は下山後3カ月経過した現在でも完全には元に復していない、これには高地馴化の他に、下山後の訓練効果等も関係していると思われる。

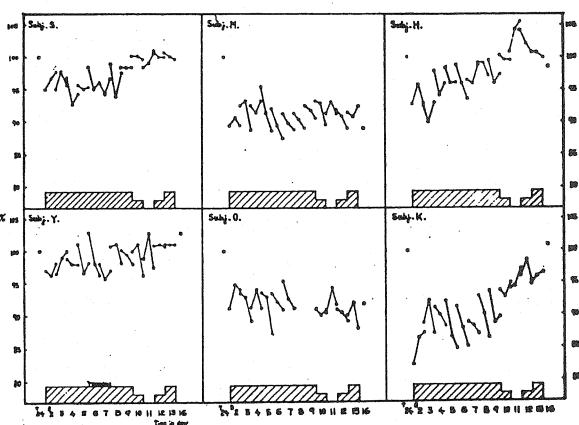
第3図



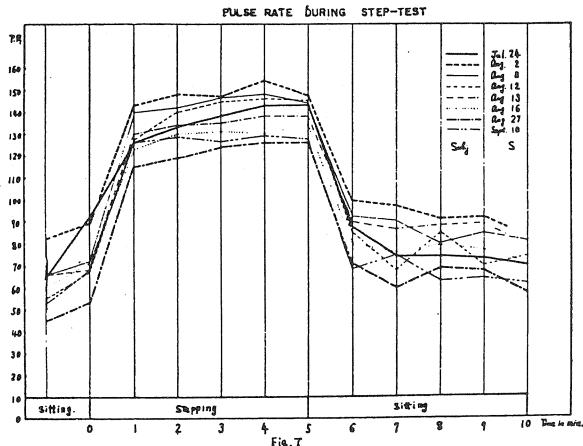
第4図



第5図



第6図

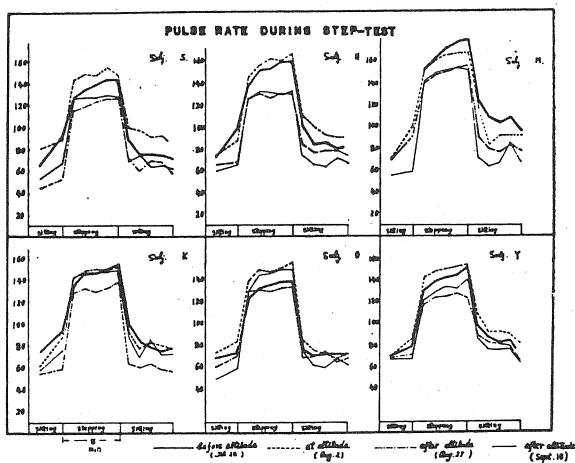


運動前後の心拍数の経日の変化も運動中のそれに準ずる。なお以上のような変化は6例に例外なく認められたので第7図にその大略を示す。またステップ・テスト中の最高心拍数の経日の変化をみると第8図の通りである。以上のように、運動時の心拍数から馴化の経過をみると2週間の高地トレーニングでかなりの馴化がえられ、またその効果は下山後6週間経た後でも残っていたので、今回行なった脱馴化防止方法は十分有効であったと考えられる。

(7) 心電図所見

ステップ・テストおよび回復時における心電図を連続記録した。誘導は胸骨上端と心尖部からの双極誘導で、第II誘導に近いものである。STは運動中低下し、運動後に徐々に回復するが、この低下の度合には高地の影響もまた馴化の影響も有意の差が認められなかった。T波は第9図にみられるように、運動開始後急に低下して30秒後には最低値を示し、時には陰性相を示す例もある。しかし、急激に元に復してその後は一定値を保つ。運動を停止するとT波は高くなり、徐々にもとにもどる。運動開始時のT波の低下度は、登山直後に著明であったが、下山後には登山前よりも軽度になっていた。しかし下山後4週で再び登

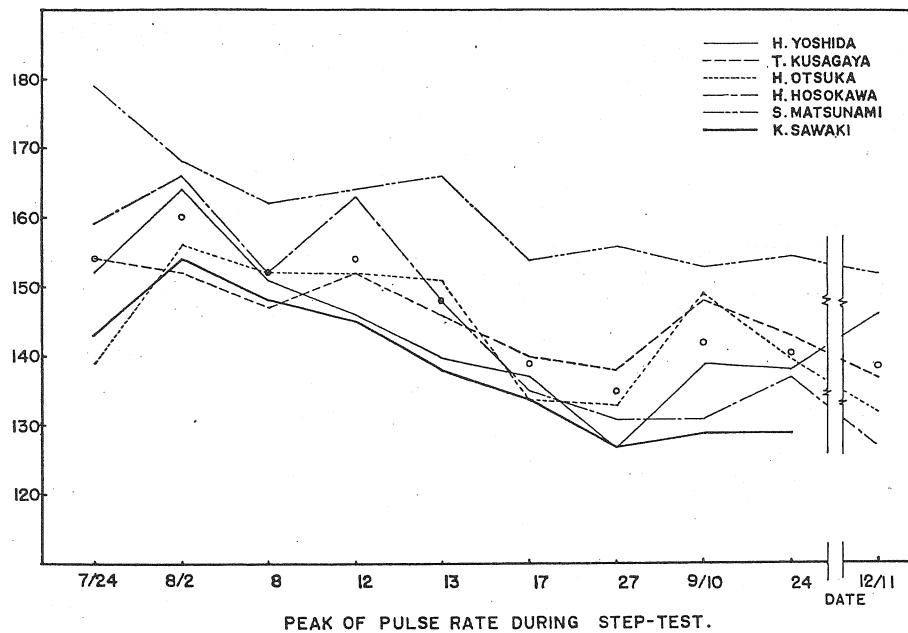
第7図



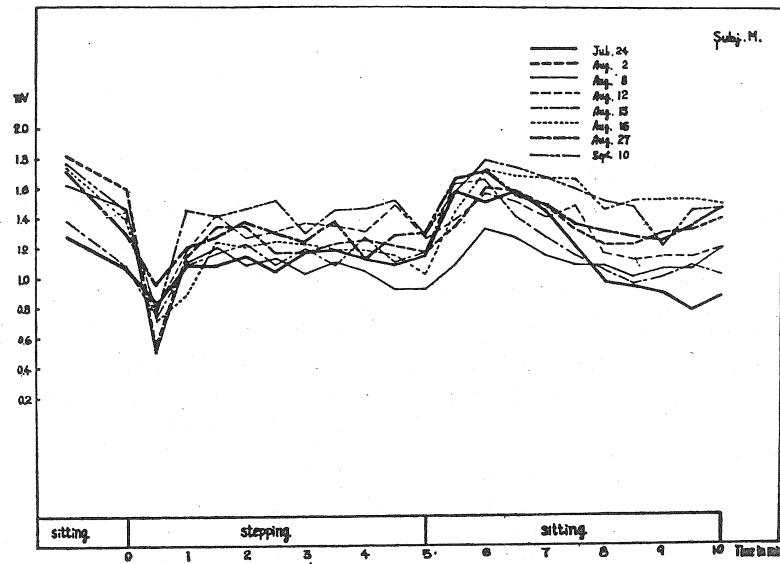
山前の状態にもどった。これらも馴化、脱馴化の経過を反映しているものと考えられる。

心電図上に認められた他の所見としては第10図に見られるように安静時に房室ブロックを示すものが6例中2例認められ、また被検者以外の選手にも同じ現像を示すもの1例を認めた。この房室ブロックが、低酸素と関係があるか否かは対照が不完全であったために断定できないが、いずれにしても運動負荷によって完全に消失したので、病的意義はないものと考えられる。

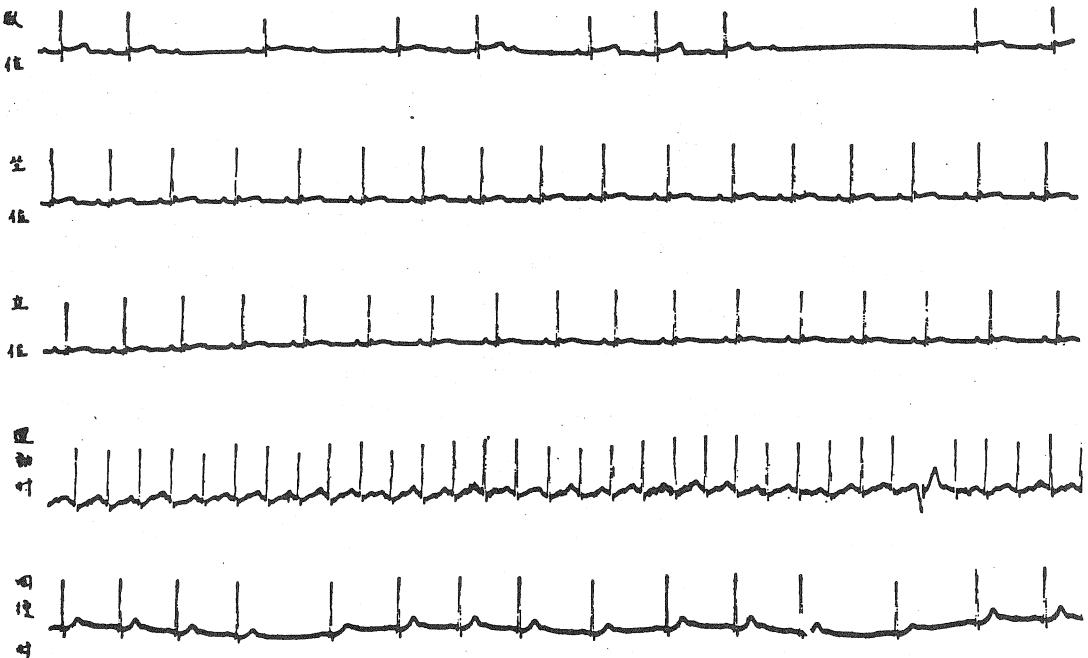
第8図



第9図



第10図



実験結果と考察

〔II〕 高地トレーニングの呼吸機能に及ぼす影響

前回の低圧トレーニングの成績と比較する関係で、測定項目は全く同一のものにしたが、高地馴化の呼吸機能におよぼす効果がいつまで続くか、所謂脱馴化の期間の測定を行なうとともに、更に脱馴化防止実験が呼吸機能にも効果をもたらすか、また上記の実験を中止して2カ月半を経過した12月12日の測定値が如何なる結果を示すかを検討した。

第5表 最大酸素摂取量

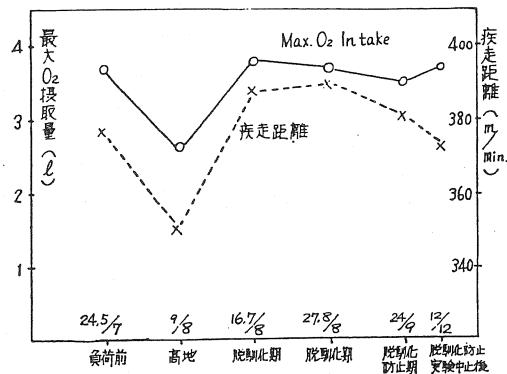
	負荷前平地テスト 24.25/7月	高地トレーニング期 9/8月	脱馴化期		脱馴化防止期 24/9月	脱馴化防止実験中止後2カ月半 12/12月
			15.16/8月	24/9月		
最大酸素摂取量	細川	4.1	2.1	3.9	3.6	3.5
	沢木	4.4	2.1	4.0	4.0	—
	松波	3.9	2.8	3.8	3.8	3.97
	大塚	3.8	3.2	2.5	3.8	3.45
	吉田	3.1	2.6	3.8	3.1	3.67
	草薙	3.1	2.9	3.6	3.6	3.53
換気量(立/分)	細川	116.0	76.0	107.7	104.5	112.9
	沢木	123.6	70.9	106.0	108.2	119.6
	松波	106.5	89.8	97.9	122.2	93.1
	大塚	100.6	94.0	72.3	105.5	106.8
	吉田	93.2	89.5	115.0	90.9	97.0
	草薙	95.7	86.6	110.0	110.6	121.6
疾走距離(米/分)	細川	377	363	392	390	380
	沢木	393	330	401	403	392
	松波	390	371	390	394	382
	大塚	354	351m	346	388	381m
	吉田	364	352	386	382	377
	草薙	335	343	371	385	381m
○採気疾走時間(秒)	細川	55.3	68.5	62.6	55.5	50.4
	沢木	54.2	60.0	51.2	48.5	48.8
	松波	50.6	60.5	55.0	51.4	51.4
	大塚	54.8	64.8	62.5	56.9	55.5
	吉田	55.7	67.0	61.0	61.0	61.0
	草薙	56.6	68.0	54.8	56.0	56.0

(I) 最大酸素摂取量について

測定法の詳細については前報記載通りであるから省略する¹⁾。登山前後の平地における測定は順天堂大学の400mトラックを用いたが、高地での測定には、鶴ヶ池周辺のバス道の直線コースを使用した。疾走1分間の換気量および疾走距離をも併記したのが第5表である。

第5表の関係を明確化するため図示したのが第11図である。

第11図



高地トレーニングの最大酸素摂取量に対する効果は、低圧トレーニングのときほど著しくなかった。しかし1分間の疾走距離は10m以上も増加し、2週後の脱馴化期にもその傾向は続いた。脱馴化防止実験を行なった後の9月24日の成績は、たまたま大阪で行なわれた競技会から夜行列車で

帰京、殆んど睡眠がとれなかった悪条件での測定値であるので、この値をそのまま受けとることはできない。12月12日の脱馴化防止実験中止後の測定値は、高地トレーニング出発前の値に完全にもどっていることがわかる。なお最大酸素摂取量が低圧トレーニングの場合より増加率が少なかった理由については明らかでない。

(2) 最大酸素債について

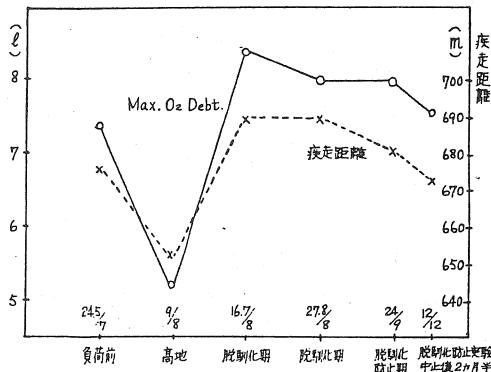
最大酸素債は600m以上の全力疾走でほぼ all out の状態に追いこんだ直後から40~50分間椅子坐位で採気測定したもので、その成績を一括表示したのが第6表である。なお平均値を図示したのが第12図であるが、高地トレーニングの前後の値は、5例中4例において著明な増加を示し、高地脱馴化による効果と認めて差支えないだろう。なお平地にもどって2週間目の脱馴化期にも最大酸素債、ならびに疾走距離などに効果の持続が認められる。しかるに脱馴化防止の実験を行なった後の9月下旬の測定結果に何ら効果が認められないの

第6表 最大酸素債

	負荷前平地テスト24, 25/7	高地トレーニング期9/8	脱馴化期		脱馴化防止期 24/9	脱馴化防止実験 中止後2カ月半 12/12	
			16, 17/8	27, 28/8			
最大酸素債	細川 沢木 松波 ※大塚 吉田 草薙	6.8 8.4 8.5 7.5 6.6 6.8	5.7 5.2 4.9 5.2 5.0 5.1	7.9 9.7 8.0 4.0 8.1 8.1	7.1 8.5 7.9 8.8 7.8 8.1	7.8 6.2 9.9 8.3 6.8 8.8	7.65 — 8.47 4.94 6.99 7.81
スタートからカルまで	細川 沢木 松波 大塚 吉田 草薙	677 693 690 654 664 685	663 630 671 647 652 643	691 701 690 646 686 671	689 703 694 688 683 685	680 692 686 677 671 678	081.1 — 678.0 662.8 662.8 662.8
疾走タイム	細川 沢木 松波 大塚 吉田 草薙	1'55"3 1'54"2 1'50"6 1'55"7 1'55"7 1'56"6	2'08"5 2'00"0 2'00"5 1'54"8 2'07"0 2'08"0	2'02"6 1'52"2 1'55"0 2'02"5 2'01"0 1'54"8	1'55"5 1'48"5 1'51"4 1'56"9 2'01"0 2'00"2	1'50"4 1'48"8 1'50"8 1'59"5 1'54"7 1'54"5	1'55"3 — 1'15"9 1'54"7 2'02"2 1'59"0

(※は筋痛にて測定不備のため、平均値より除外した)

第12図



は、前項で述べた悪条件の影響と思われる。さらに脱駆化実験を中止した後の成績は完全に高地トレーニングを実施する前の値に戻っている。

(3) 肺胞気の酸素分圧、炭酸ガス分圧について

高地駆化の程度を肺胞気組成の変化から検討するために、高地トレーニング期および脱駆化期を通じて、 PO_2 および PCO_2 の変化を追求した。

肺胞気の測定は、正常呼気の終りに最大の力強い急速な呼息をなし、採気管内に吹きこませた最終サンプルをもって肺胞気とした。その成績は第7表及び第13図の如くである。

トレーニング前の平地における PO_2 は、約100
第7表 肺胞気の成績

年/月	負荷前	高地トレーニング期間(乗鞍岳)					脱駆化期	
		24.22/7	5/8	8/8	9/8	11/8	13/8	16, 17/8
細川	PO_2 40.76	97.96	64.90	69.34	65.76	69.83	70.00	93.98
	PCO_2	40.76	34.42	33.23	32.13	33.75	33.44	42.00
沢木	PO_2 33.96	109.76	63.32	64.10	59.99	66.98	63.26	97.54
	PCO_2	33.96	35.47	35.58	35.14	31.67	36.30	42.72
松波	PO_2 40.40	70.43	57.28	67.24	64.26	66.46	71.29	106.44
	PCO_2	40.40	34.68	33.49	32.63	35.05	31.63	38.45
大塚	PO_2 38.00	109.70	62.53	62.53	58.67	58.67	63.26	92.69
	PCO_2	38.00	35.47	34.01	37.90	37.90	36.30	44.02
吉田	PO_2 38.00	109.70	62.53	62.53	64.51	65.42	66.63	101.96
	PCO_2	38.00	35.47	34.01	32.88	36.08	37.07	40.28
草薙	PO_2 40.15	102.96	62.53	64.01	60.24	70.87	60.66	104.40
	PCO_2	40.15	35.73	34.14	31.14	33.49	36.55	36.36
平均	PO_2 38.19	100.44	62.45	65.76	62.29	66.37	65.85	104.40
	PCO_2	38.19	35.08	34.19	33.47	34.66	35.22	38.28

(mmHg)

実験結果と考察

〔Ⅲ〕 高地トレーニングにおける血液変動

本年1月末から2月始めにかけておこなわれた航空医学実験隊の低圧室における低圧トレーニングの継続実験として行なわれた乗鞍(2,800m)における今回の高地トレーニングの効果の検討は、今までの一連の実験から予想された高地トレーニングの効果を確証する絶好の機会であった。殊に3000m級の高地での中長距離選手の本格的スケジュールに基づくトレーニング効果を検討することは、かねての予備実験の総決算でもあった。

前の低圧トレーニングにより血液面で確認されたことは次のようなものである。

- 1) 血液の面からみて低圧負荷に対する抵抗力は1週間以内に増大する。
- 2) 飼化の全過程を赤血球動員期(7~8日間)赤血球新生期(2~3日間)および安定期又は飼化期の3期間に区別出来、血液関係では飼化状態になるのに最低2週間を必要とする。

第8表 高地トレーニングによる血液変化(1963)

Date	(No)	Name	(1) ~ (6)						Date	(No)	Name	(1) ~ (6)							
			(1) 細川	(2) 松波	(3) 沢木	(4) 草薙	(5) 大塚	(6) 吉田				(1) R	(2) Hb	(3) CI	(4) W	(5) Ht	(6) VI		
7月 24日	R	(M)	5.00	4.80	4.92	4.13	4.55	5.28	4.78	8月 16日	R	(M)	5.18	4.71	4.95	4.83	5.11	5.92	5.12
	Hb	(%)	110	102	108	93	95	103	102		Hb	(%)	103	97	113	105	103	97	103
	CI		1.10	1.06	1.10	1.13	1.04	0.97	1.07		CI		0.99	1.03	1.14	1.09	1.01	0.82	1.01
	W		7200	6400	4400	3600	4400	4600	5100		W		6600	3000	4400	5200	4000	5400	4767
	Ht	(%)	46.7	45.2	42.9	46.0	44.7	40.9	44.4		Ht		48.5	46.9	45.7	43.8	45.2	45.4	44.9
	VI		1.04	1.05	0.97	1.24	1.09	0.86	1.04		VI		1.04	1.11	1.03	1.01	0.98	0.85	1.00
25日	F(Min)	(%)	—	—	—	0.42	0.42	0.42	0.42	17日	F(Min)	(%)	0.36	0.36	0.34	0.40	0.36	0.38	0.37
	F(Max)	(%)	—	—	—	0.38	0.32	0.32	0.34		R	(Max)	(%)	0.28	0.28	0.26	0.28	0.28	0.30
8月 5日	R	(M)	5.32	5.43	5.55	5.10	5.45	4.76	5.27	8月 27日	R	(M)	5.06	4.43	5.17	4.33	5.06	5.18	4.87
	Hb	(%)	119	101	111	94	115	87	105		Hb	(%)	108	101	107	98	95	106	102.5
	CI		1.12	0.93	1.00	0.92	1.06	0.91	0.99		CI		1.07	1.14	1.03	1.13	0.94	1.02	1.06
	W		6000	4600	6600	6000	6200	5200	5767		W		5200	3200	5400	4000	4000	4600	4400
	F(Min)	(%)	0.44	0.44	0.42	0.42	0.44	0.44	0.43		Ht		48.7	42.1	43.9	—	45.5	42.9	44.6
	F(Max)	(%)	0.36	0.36	0.34	0.34	0.34	0.36	0.35		VI		1.07	1.06	0.94	1.27	1.00	0.92	1.04
9月 8日	R	(M)	5.08	5.07	5.47	4.65	5.09	4.65	5.00	9月 24日	F(Min)	(%)	0.40	0.42	0.40	0.40	0.42	0.40	0.41
	Hb	(%)	107	101	115	95	107	93	103		F(Max)	(%)	0.34	0.38	0.36	0.32	0.36	0.36	0.35
	CI		1.05	1.00	1.01	0.51	0.21	0.05	1.00		R	(M)	5.68	5.42	5.38	5.43	5.45	5.53	5.48
	W		8100	4100	5400	4800	3800	—	5240		Hb	(%)	106	107	114	104	95	106	105.3
	F(Min)	(%)	0.46	0.46	0.42	0.42	0.44	0.46	0.45		C I		0.93	0.99	1.06	0.96	0.87	0.96	0.96
	F(Max)	(%)	0.26	0.36	0.32	0.34	0.36	0.38	0.34		R	(M)	5.29	4.60	4.91	4.54	5.31	4.47	4.85
8月 13日	R	(M)	5.41	5.27	5.42	4.79	5.88	5.15	5.32	12月 11日	Hb	(%)	108	98	106	97	106	97	102
	Hb	(%)	112	102	117	101	105	103	*		CI		1.02	1.07	1.08	1.07	1.00	1.09	1.05
	CI		1.04	0.97	1.08	1.05	0.89	1.00	1.01		W		8600	9800	10200	5800	8400	9200	8666
	W		6500	2750	5200	4400	4750	3750	4558		Ht	(%)	45.5	42.9	44.1	42.0	45.4	42.9	44.8
	F(Min)	(%)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34		VI		0.95	1.04	1.00	1.03	0.95	1.06	1.00
	F(Max)	(%)	0.30	0.30	0.28	0.30	0.28	0.30	0.29		F(Min)	(%)	0.46	0.48	0.48	0.48	0.46	0.47	0.47

注) R 赤血球

C I 色素指数

H b ヘモグロビン

W 白血球

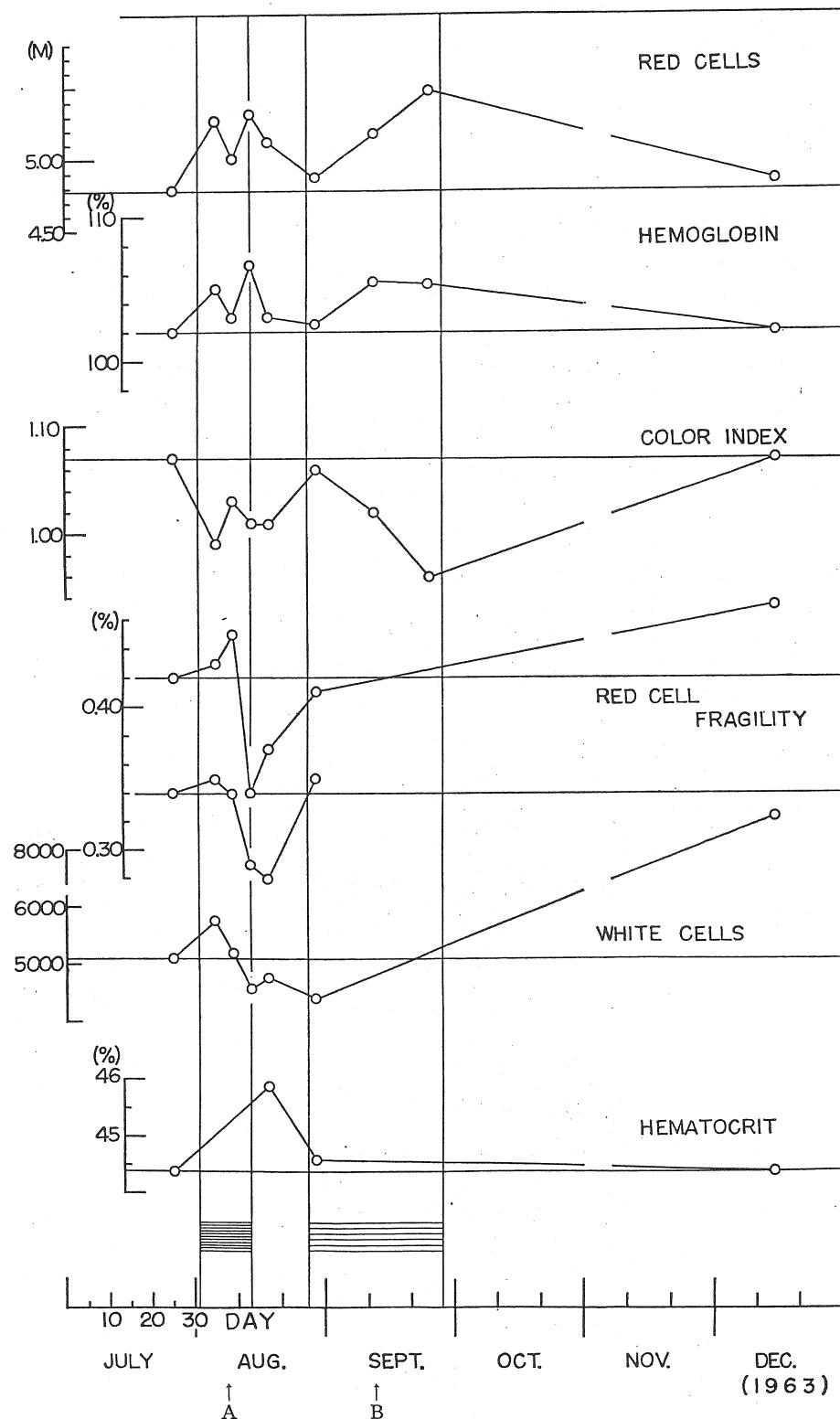
H t ヘマトクリット

F 赤血球抵抗

V I 容積指数

* = 106.7

第 14 図



赤血球数、ヘモグロビン (Hb %)、色素指数 (C I) は平地でそれぞれ 4.78M (M は百万単位) 102, 1.07 であるが高地滞在 1 週間 (8月 5 日) で 5.27M, 105, 0.99 となり、赤血球数は約 0.5M の増加を示している (第 14 図)。その後一時赤血球数も Hb も減少しているが、2 週間後には赤血球数 5.32, Hb 107, C I も 1.01 となり、よく馴化が進行している。

赤血球数の増加は酸素欠乏の程度や馴化の程度に左右されるが、0.5M の増加は 3000m 高度への馴化としては妥当な数値でありほぼ plateau に達してきたものと見なして良い。

なおトレーニング期間中一時減少したことは摂取する栄養状態に影響されたこともその一因ではないかと考えられる。血液学的に見て蛋白質、鉄分及びビタミン B 類の十分な供給が馴化を促進し、より完全なものにするための必須条件であることを考えると、合宿前半は栄養補給という面から見て理想的であったとはい難い。

赤血球の最小抵抗値は平地 0.42 であるが高地トレーニング中漸減する傾向がある。2 週間目には一過性に増大し 0.34 となっている。最大抵抗も大体同様の傾向であるが 2 週間目には 0.29 となり、最小最大差 (抵抗巾) は極めて小さくなる。このように抵抗巾が縮小することは新生された赤血球数の血液中に占める比率が大きくなつたことを示し、かつ造血組織からの赤血球生成が一定のレベルで安定しこの環境条件に対する馴化は完成したためであろう。

ヘマトクリット値は平地 44.4% から高地トレーニング終了後 (追跡テスト第 1 回) 45.9% と増加している。これは 2 週間にわたる高地トレーニングにおいて新生された血球が良く成熟しこれも馴化が成立していることを物語るものである。

先の低圧トレーニングに見られたように馴化の過程は赤血球の新生増加が先行し、ヘモグロビンは少しおくれて追いつくという傾向が認められるが、乗鞍の場合両者が比較的平行しながら増加している。

これは乗鞍実験に先立って霧ヶ峰に数日滞在したので既にある程度の馴化が進んでいたことによるものであろうと推定される。

第 9 表 白 血 球 百 分 比

		塩基性白血球 (B)	エオジノ好性白血球 (E)	中性好性白血球 (N)	リノバ球 (L)	単核細胞 (Mon)
			桿状核 (S)	分葉核 (S)		
7 月 24 · 35 日	1 細川	0.0	0.5	1.0	64.5	31.5
	2 松波	1.0	0.5	4.0	67.5	23.0
	3 沢木	1.5	3.5	3.0	46.5	44.0
	4 大塚	0.0	7.0	11.5	36.0	37.0
	5 草薙	0.0	0.5	10.5	48.0	30.5
	6 吉田	0.0	2.0	6.0	43.0	6.0
	平均	0.4	2.3	6.0	60.0	34.8
8 月 13 日	1	0.0	1.5	5.5	52.5	36.0
	2	0.0	3.0	9.0	40.0	36.0
	3	0.0	1.5	11.0	45.5	34.0
	4	0.0	0.5	6.5	38.5	46.5
	5	0.5	6.0	4.5	52.5	30.0
	6	1.0	1.0	4.0	46.0	41.0
	平均	0.3	2.2	6.8	45.8	37.2
8 月 16 · 17 日	1	0.0	1.5	14.5	42.5	31.0
	2	0.5	2.5	4.5	48.0	41.0
	3	0.5	1.0	5.0	43.0	41.5
	4	1.0	3.0	8.0	37.0	45.0
	5	0.5	1.5	3.0	41.5	51.0
	6	0.0	0.5	4.5	56.5	28.5
	平均	0.4	1.7	6.6	44.7	39.7

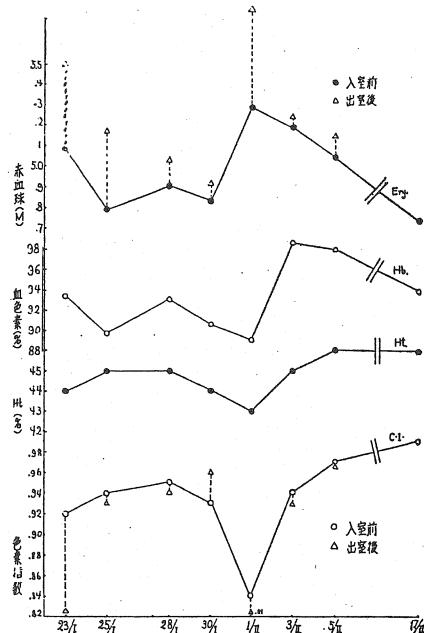
白血球は高地トレーニング期間中一時増加し、漸次減少する傾向があるが赤血球程著明な変化は見られない。平地と高地における百分比について検討して見ると中好性白血球に僅かに変化はあるが殆んど不变と見て良い (第 2 表)。

高地トレーニング終了後 2 週間の経過で赤血球数 4.89M、ヘモグロビン 102%、色素指数 1.01 となり、血液面から見て完全に脱馴化を示した。この時期から低圧トレーニングを 2 時間、又 3000m 高度に相当する約 14% 濃度の酸素吸入によるトレーニングを 2 時間それぞれ 1 週 1 回づつ行なつたが、その結果 4 週間後には赤血球 5.48M、ヘモグロビン 105% となり高地馴化の様相を再現した。色素指数は 0.96 と比較的低い値を示しているのは馴化期間の不足に基づくものと推定される。この結果高地で馴化が完成した場合、その状態を維持

させるための低圧室や平圧低酸素吸入トレーニングは有効であろうという見通しが得られた。

又脱馴化者に対するこのような一連の操作が高地馴化時の状態を再現させたことは事実であるが未馴化者に対してもこのような著明な増加をうながすであろうか。この疑問に對しては昨年(1963年)2月の低圧室トレーニングが示唆を与えるものと思われる(第15図参照)。

第15図



この場合2週間にわたって連日2時間の低圧室トレーニングを行なった。実験期間前半においては赤血球数の減少をきたし1週間経過して急激な増加が見られ以後比較的恒常な状態にあるがその増加数はトレーニング前に比して0.2Mである。これも低圧効果によって賦活された赤血球生成ではあるがその水準は乗鞍における高地トレーニングで馴化したものより低いものである。この事実から本実験で脱馴化した後に低圧室、低酸素吸入トレーニングで著明な増加を示したのは低圧や低酸素という一種の異常刺激に対する新たな適応状態、すなわち新たに馴化が成立したような状態になるが実は以前の馴化が潜在性に残っていて比較的僅かな刺激で潜在性馴化が顕性のものとなったと見なすのが妥当であろう。

その後、78~84日を経過した12月中旬の測定においては赤血球数、ヘモグロビン、色素指数はそれぞれ4.85(M), 108(%), 1.02となっている。ヘマトクリット値は43.8(%)、赤血球最小抵抗は0.47(%)となった。これらの値は7月中旬の高地トレーニング開始前のコントロールの値と殆んど一致するものである。

以上のことから乗鞍における2週間の高地トレーニング並びにその後の低圧、低酸素吸入トレーニングによる血液有形成分の変化は次のように要約される。

- 1) 高地(2,800M)滞在5日目で赤血球数は既に馴化完成の水準に近づき高地トレーニング2週間で0.5Mの赤血球数増加が認められた。
- 2) ヘモグロビン量も相対的に増加し、実験の終期や直後の赤血球抵抗値、ヘマトクリット値から見て2週間の高地トレーニングによりほぼ完全な馴化が成立する。
- 3) 血液関係では高地馴化の効果は下山後2週間で消滅する。
- 4) 一旦成立した高地馴化は1週につき1回(2時間)の低圧室内トレーニングと1回(2時間)の平圧低酸素吸入トレーニングにより保持することが出来る。

実験結果と考察

[VI] 高地トレーニングが一般体力・筋力・持久力に及ぼす効果について

われわれのグループは高地トレーニングの効果を一般体力（特に筋力・持久力）の面から検討した。

(A) 一般体力

筋力及び持久力の測定項目を除いた、一般体力測定の結果は既に第2表において示しておいた。以下これらの測定値について各項目別に考察してみよう。

- (1) 体重について……下山後、体重は全員において減少を示している。 $(0.5 \sim 3.0\text{kg}$, 平均 1.7kg 減少) この原因としては ①山でのハードトレーニング ②栄養の問題、などが考えられる。下山後2週間でかなりの回復を示しているが、登山前に比してまだ平均 1.2kg の減少を示している。
 - (2) 身長・座高について……殆んど変化がみられない。
 - (3) 胸囲について……多少減少する傾向がみられる。(変化なし1名、減少5名) 下山後は登山前に比し、平均 1cm 減少している。
 - (4) 下腿囲について……同じく減少傾向を示している。(変化なし1名、減少5名) 左右共に平均 0.4cm の減少となる。2週間後は平均 0.3cm の減少となっている。
 - (5) 皮脂厚について……変化を示さなかった者3名、減少した者3名である。
- 以上、体重、胸囲、下腿囲、皮脂厚の減少はいずれも同じ原因によるものと考えられる。すなわち①山でのハードトレーニング ②栄養の問題などである。
- (6) 垂直跳について……値の増した者、減った者相半ばしており、一定した傾向を示していない。瞬発的な動的筋力には高地トレーニングの効果が期待出来ないことが推定される。
 - (7) サイドステップについて……値が変化しない

者1名、増大した者5名である。値の増大が高地トレーニングの効果なのか、練習その他の効果なのか、にわかに断定を下すことは困難である。

- (8) 全身反応時間について……垂直跳の場合と同様、一定した傾向がみられない。
- (9) 体前屈について……一定した変化傾向がみられない。
- (10) 肺活量について……一定した変化傾向がみられない。
- (11) 血圧について……全員正常範囲の値を示している。

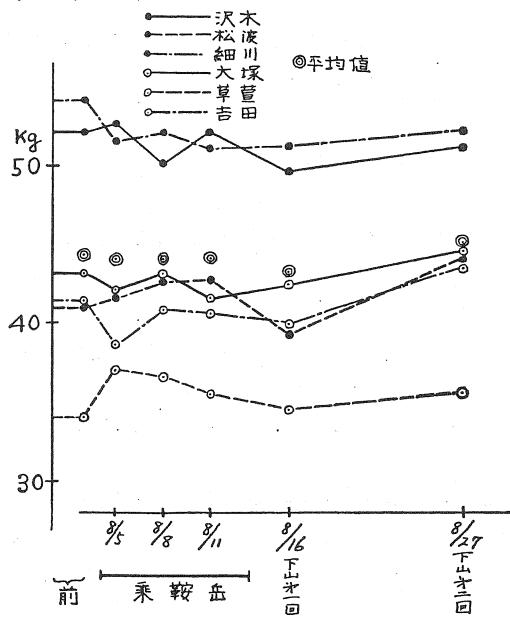
以上の結果から高地トレーニング前後の値を比較して、変化のあった項目は、体重、胸囲、下腿囲皮脂厚(以上減少)、及びサイドステップ(増大)であり、変化しなかったものは身長、座高、垂直跳反応時間、体前屈、肺活量である。いわゆる長さの計測値、神経機能測定値、瞬発性筋力には変化がみられなかつたが、体重その他栄養に関係する項目において変化がみられた。

(B) 筋 力

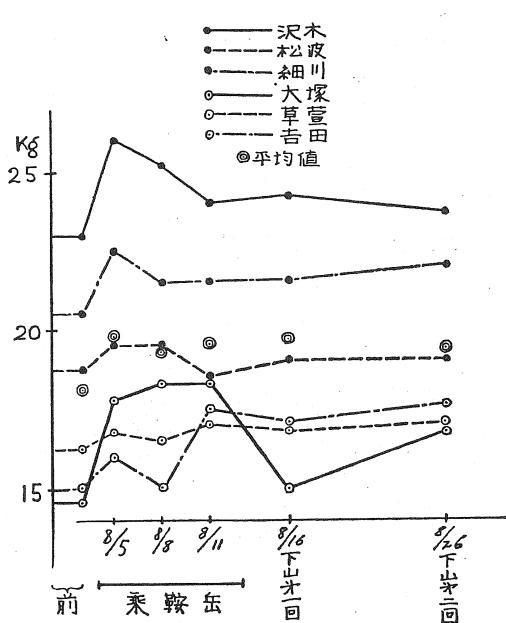
瞬発的な静的筋力に及ぼす高地トレーニングの効果を検討する意味で、握力、腕力、背筋力の測定を行なった。

- (1) 握力について……各被検者別にみた場合も平均値からみた場合も、殆んど変化はみられない。すなわち高地トレーニングが握力に何らの効果も及ぼさなかつたといえる。
- (2) 腕力について……握力の場合と同様、殆んど変化がみられない。登山直後全員において値がかなり上昇を示しているが(平均約 2kg) 登山直後のことでもあり、これが特に高地トレーニング効果の現われとは考え難い。むしろその原因として、①気温の違い ②測定上のなれ、などが考えられる。

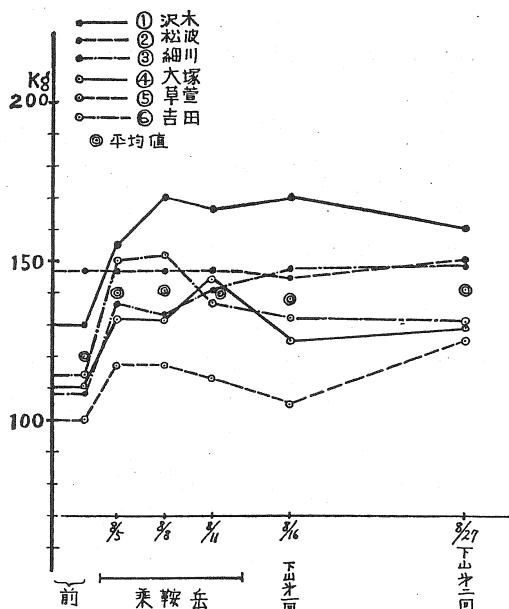
第16図 握力



第17図 腕力



第18図 背筋力



(3) 背筋力について……腕力とほぼ同様な変化傾向を示している。すなわち登山直後全員において値が上昇している。しかしこれが高地トレーニングの効果であるとは判定し難い。

以上の結果から、高地トレーニングの効果は瞬発性の静的筋力には現われないということがいえる。

(C) 持久力

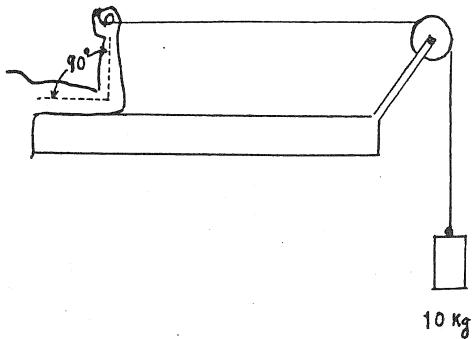
持久力には局所持久力と全身持久力があり、それぞれ静的なものと動的なものとに区別される。高地トレーニングが持久力に及ぼす効果を検討する意味で、静的腕持久力、デイッピング（以上局所持久力）、ハーパード・ステップ・テスト、トレッド・ミル負荷試験（以上全身持久力）の4項目について検討した。

(1) 静的腕持久力について……第19図に示されるように10kgの負荷を肘関節を90°に曲げた状態で保持し続ける、その最大保持時間を測定して値とする。

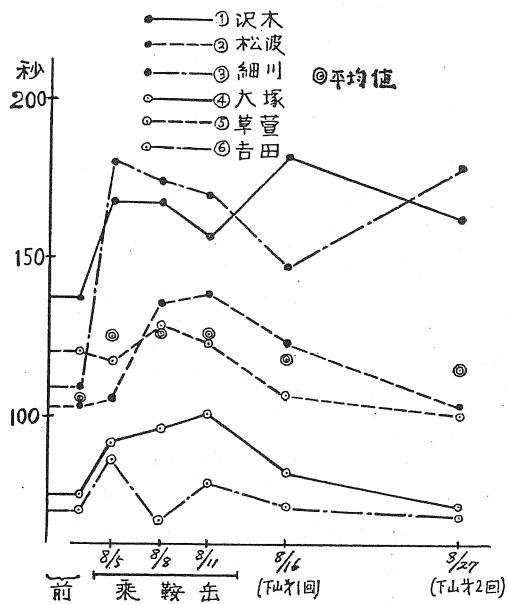
登山前の値に比して山での測定値（3回）がより大きな値を示している。下山後の値は減少するが、登山前の値よりも平均約10秒大きな値を示している。しかし統計的にはこの程度の差では有意性が認められず、高地トレーニングが静的腕持久力を増す上に効果があるとは断定出来ない。個人別にみても明らかに増加している者は2名のみである。

(2) デイッピングについて……第21図に示す如く平行棒（又はこれに代るもの）を用い、2秒に1

第19図 静的腕持久力の測定



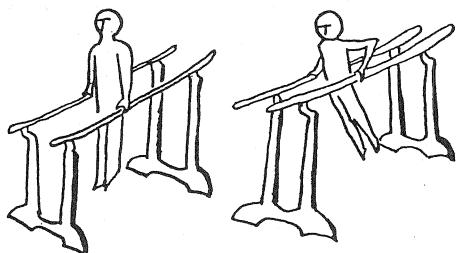
第20図 静的腕持久力（負荷10kg）



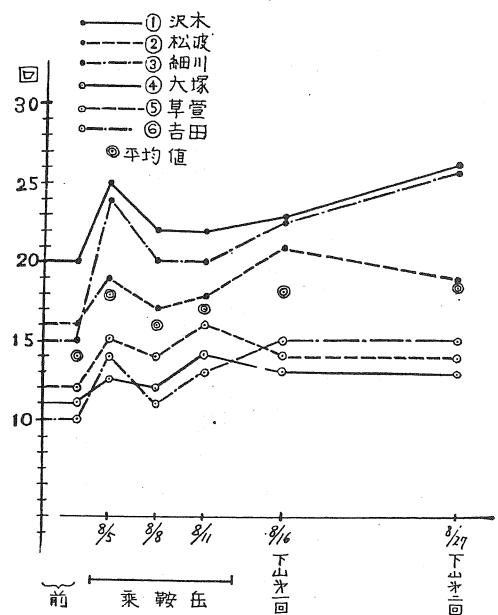
回のテンポで、肘関節が90°になるまで曲げる腕の屈伸運動を反復する、その最大回数をもって値とする。

〔結果〕 全員において値は上昇する傾向がみら

第21図 デイッピングの測定



第22図 デイッピング



れている。従ってこの種の局所持久力（動的腕持久力）を増す上には高地トレーニングが有効であることが推定される。

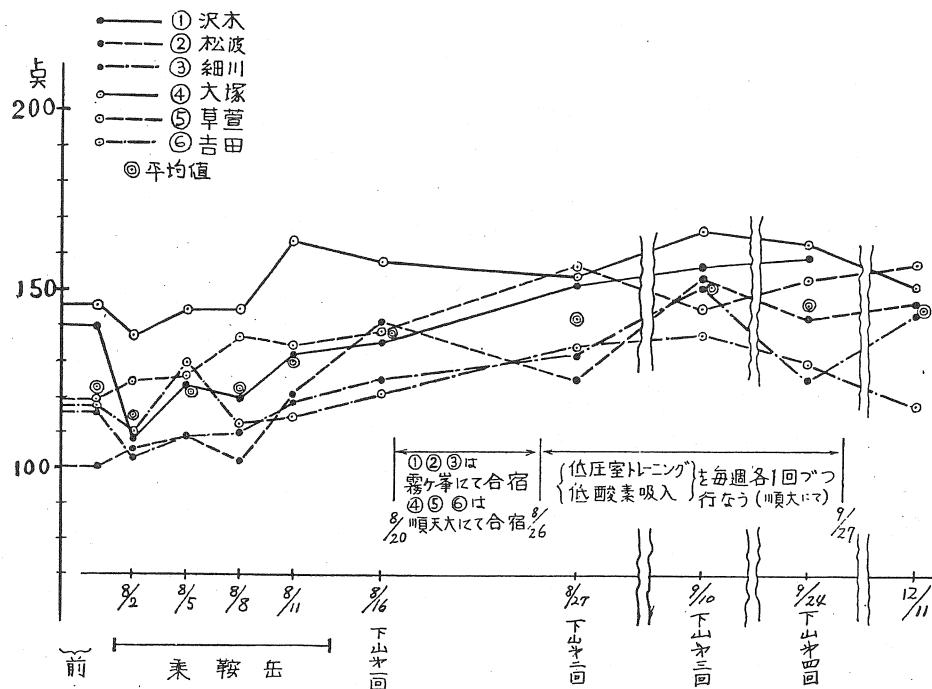
(3) ハーバード・ステップ・テストについて……登山直後値は一時下降を示す（平均7点）その後徐々に上昇過程をたどり、下山後第1回目の測定では登山前に比して平均16点上昇し、下山後第2回目測定では平均20点の上昇を示している。

心臓機能を中心とする循環機能は、高地トレーニングによって向上することが確認された。

高地トレーニングの効果を下山後維持するという実践面での必要から、週1回の割合で低圧室トレーニングを負荷し、同じく週1回の割合で低酸素吸入（13.5% O₂を2時間吸入せしめる）を行なっていった訳であるが、ハーバード・テストの得点の変化からみて、これらの方法が高地トレーニングの効果を維持増進する上に有効であることが確認された。

(4) トレッドミル負荷試験について……第24図に示す如く、被検者は安静10分（座位）の後、ウォーミングアップを2分間行ない、再び座位姿勢で3分間休息をとり、トレッドミル負荷運動を5分間行なう。その後座位にて10分間休息す

第23図 ハーバード・ステップ・テスト



第24図

安静(座位)	W-UP	休み(座位)	本負荷	回復(座位)	傾斜
10分	2分 (180%min.)	3分	5分 (240%min.)	10分	5°

る。このような条件で運動負荷した際の心拍数及び呼吸数を記録し、その変化過程を求め、その結果から全身持久力を判定する。

第25図に示されるように、全員において運動中の心拍数及び呼吸数は下山後下降を示し、下山後2週間しても殆んど下山直後のそれと同程度に下降していることがわかる。すなわち高地トレーニングが全身持久力を増す上にかなり有効であることが確認された訳である。

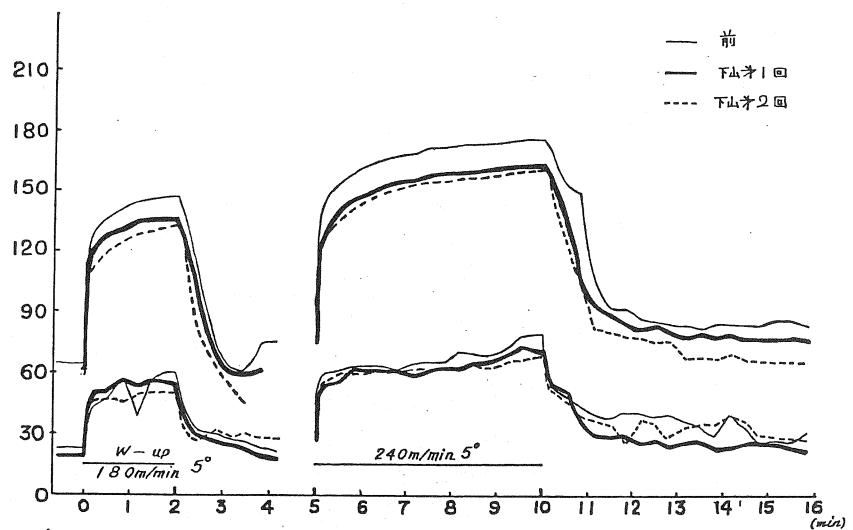
以上の結果から持久力関係では、局所持久力よりも全身持久力においてより著明な効果が認められた。特に全身持久力を決定づける心臓機能において驚くべき向上を認めえた。局所持久力においてもある程度の効果は期待出来るが、静的なものよりも動的な局所持久力においてより著明な効果が期待出来るということがわかった。

(D) 脱馴化の測定結果

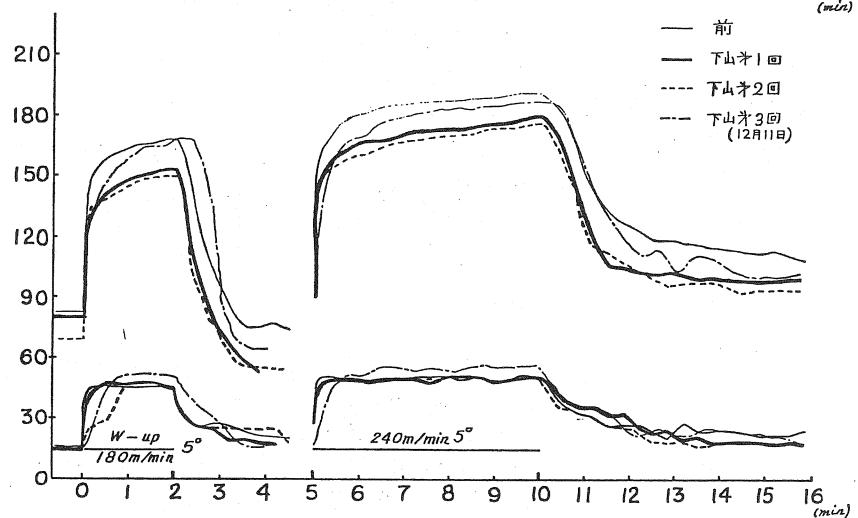
高地トレーニングによって持久力、特に全身持久力を増すことが出来ることが実証され、下山後も低圧室トレーニング、低O₂吸入トレーニングを適当に負荷することによりその効果を維持増進することが出来るということが解った訳であるが、下山後のトレーニング効果の消失（脱順化）を阻止する操作（低圧室トレーニング及び低O₂吸入トレーニング）を中止した9月27日以後の脱順化の模様を見るために、約2カ月半後の12月11日に再度全身持久力の測定を行なった。

ハーバード・ステップ・テストの結果は第23図にもみられる如く、その得点は必ずしも顕著な下降を示さなかったが、ドレッドミル負荷試験の結果はかなり登山前の値に戻っている事実を示した。試みにトレッドミル走行中の最高心拍数及び負荷後の回復率を求め、その変化傾向を検べてみたが（第26図と第27図参照）その事実の確かなことを認めることができた。

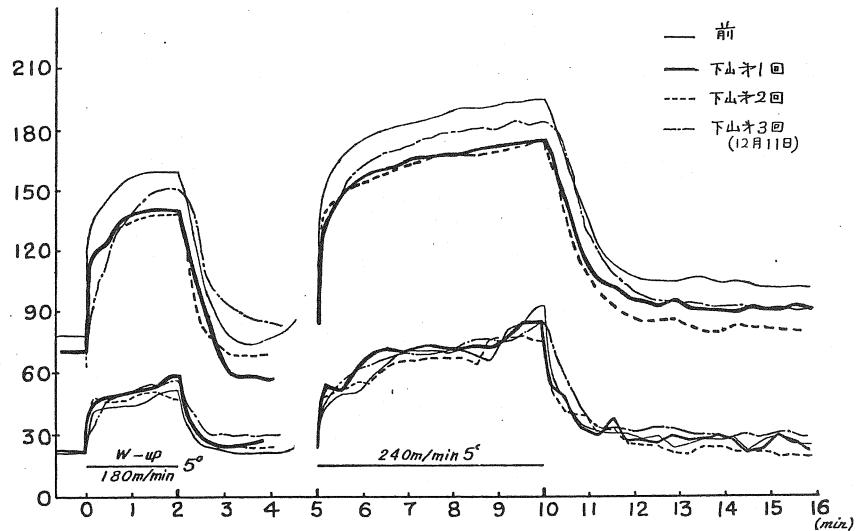
第25図 a 心搏数・呼吸数の変化(沢木)



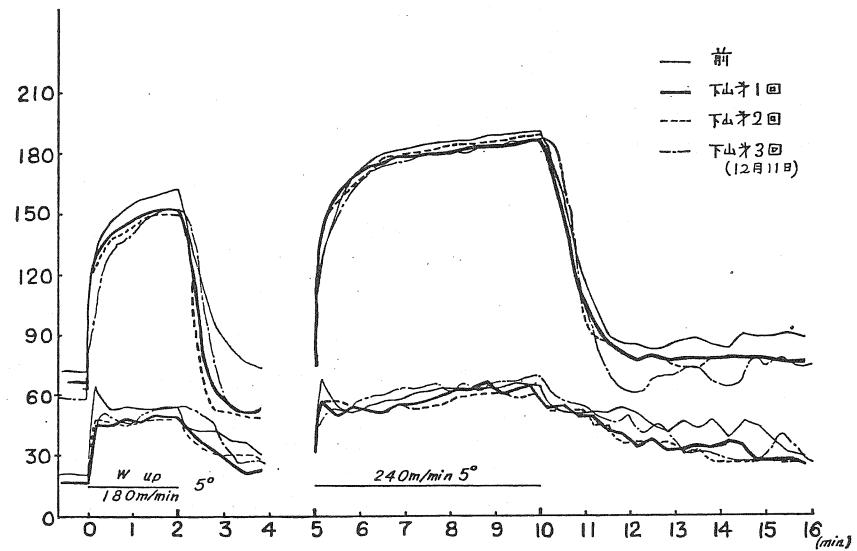
第25図 b 心搏数・呼吸数の変化(松波)



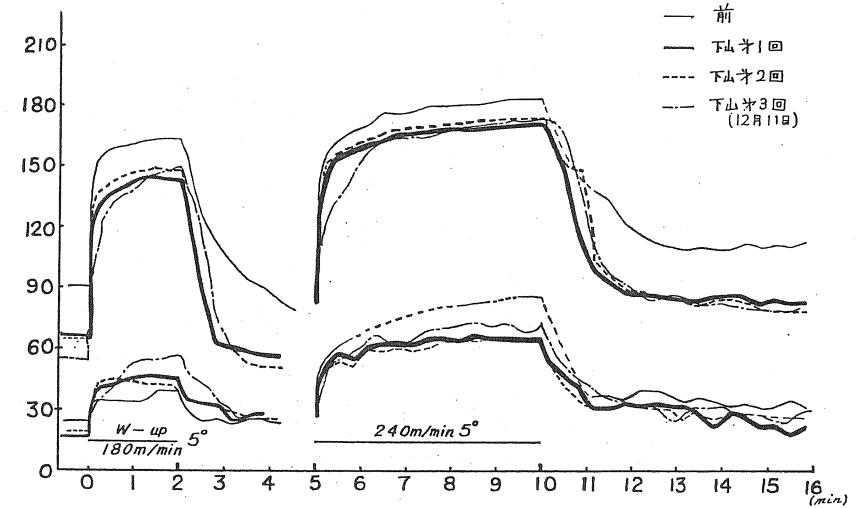
第25図 c 心搏数・呼吸数の変化(細川)



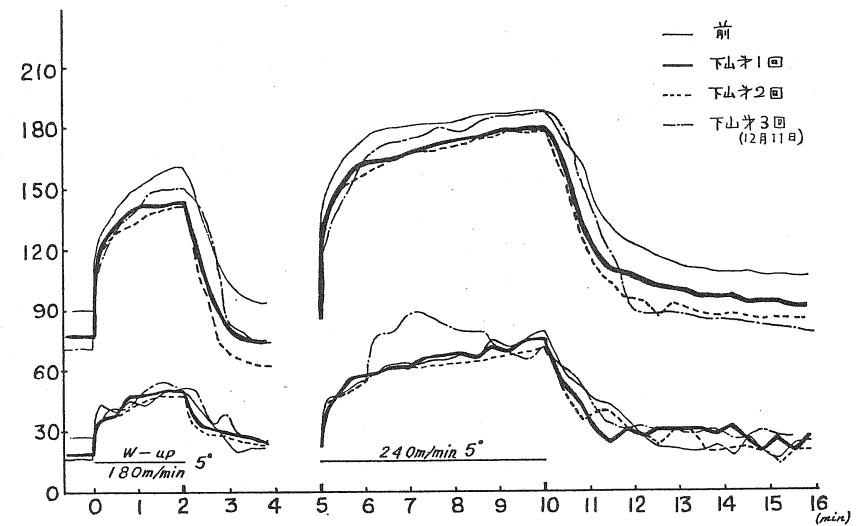
第25図 d 心搏数・呼吸数の変化（大塚）



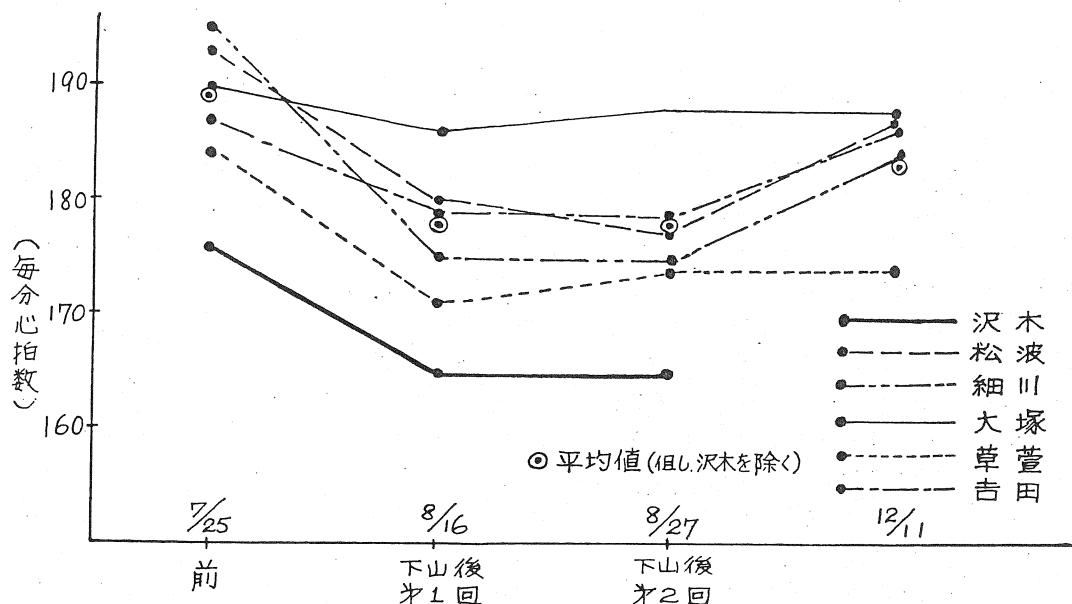
第25図 e 心搏数・呼吸数の変化（草薙）



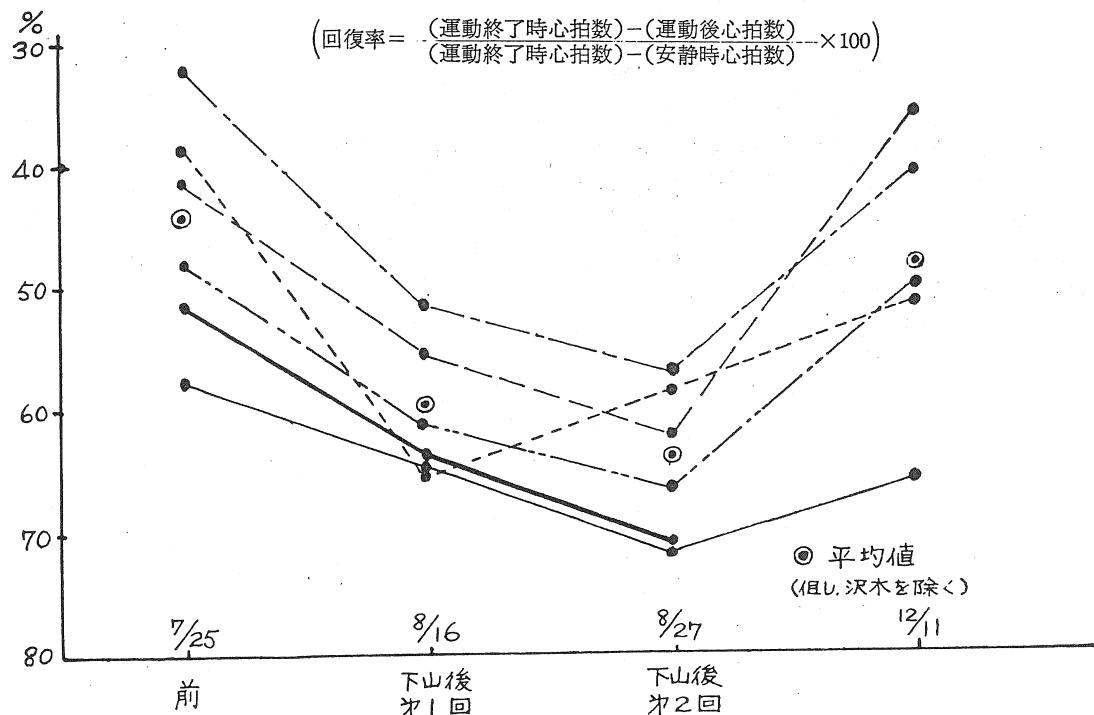
第25図 f 心搏数・呼吸数の変化（吉田）



第26図 Treadmill 走行中の最高心搏数の変化



第27図 Treadmill Test 終了後1分目の回復率変化



[V] 総括

以上各検査項目について、低圧トレーニングの結果と比較すると、高地トレーニングの効果は前者よりも後者の場合、顕著でないものが多くみられた。しかし平地に戻ってからの脱馴化過程は一般に低圧トレーニングの場合よりも持続性が強いような傾向が認められた。

この度の実験ではじめて試みた脱馴化防止に関する実験は、予想以上の成果があげられたように考えられる。特に血液に対する影響は最も顕著であって、これら一連の実験操作によって比較的簡単に脱馴化者を高地馴化時の状態に引戻すことが出来た。これは前の高地馴化が潜在的に残っていたため、比較的僅少な刺激で、潜在性の馴化が顕性のものになったと考えることが出来よう。なおこの脱馴化防止実験中止後2カ月半で完全に高地トレーニングの効果は消失しているようにみられた。

最後に、高地トレーニングに参加した20名の選手について、高地トレーニングが記録の面でどのような効果をもたらしたかについて、簡単に付記しておこう。すなわち下山後第1回の試走（8月15日）において、19名の選手の中10名が登山前の記録よりも良い記録を出し、そのうち2名は自己記録を更新している。次に8月18日に行なわれた第2回目の試走において、18名中13名がトレーニング前の記録より良い記録を出し、うち12名が自己記録を更新している。さらに脱馴化防止実験を行なった後（9月末以降）に出した記録では、登山前の記録を凌駕した者が18名に増え、そのうち自己記録を破った者16名、そのうちさらに5,000m 10,000mの2種目の自己記録を更新した者4名が含まれている。このような驚異的な成績をしたことに対し、担当コーチも『長年の経験からも誠に驚ろくべき効果であった』と述懐していた。

文 献

- 1) スポーツ科学的研究委員会、低圧トレーニング班 : Olympia No. 17, 28, (1963)
- 2) Hurutado, A. et al : School of aviation med. U. S. A. F. Report, 56:1 (1956)
- 3) Asmussen, E. & Cosolazio, F., C. : Am. J. Physiol., 132: 555, (1941)
- 4) Arch. d. Gabinete Medics del Comite National de Deporte. Dec. 1946, La Paz (Bolivia)
- 5) 陸連体力測定班 : Olympia, No. 10, 4 (1962)