

低压トレーニングに関する実験報告

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

低圧トレーニングに関する実験報告

スポーツ科学委員会 低圧トレーニング研究班

朝比奈一男, 阿久津邦夫, 秋山 明子, 猪飼 道夫
池上 晴夫, 飯塚 道彦, 大島 正光, 小川 新吉
勝田 茂, 杉本 良一, 中西 光雄, 中川 功哉
長沢 有恒, 藤江善一郎, 藤原 弘
万木 良平, 寄金 義紀 (アイウエオ順)

I 緒 言	2
II 低圧トレーニング実験実施要領 (大島, 万木, 藤江, 池上) (飯塚, 長沢, 秋山, 藤原)	4
1) 低圧トレーニング実験実施方法	
2) 低圧ならびに運動負荷方法	
III 低圧トレーニング実験実施期間中の諸機能測定値の変化	7
1) 体重の変化	
2) 自覚的疲労症状および睡眠状況	
3) フリッカーバー値の変化	
4) 反応時間の変化	
5) 低圧負荷中の呼吸循環機能の変化	
6) 低圧下運動負荷中の呼吸循環機能の変化	
IV 低圧トレーニングの呼吸機能に及ぼす影響 (杉本, 小川) (阿久津, 勝田)	13
V 低圧トレーニングの血液に及ぼす影響 (朝比奈, 中川)	16
VI 低圧トレーニングの一般体力, 筋力, 持久力に及ぼす影響 (猪飼, 中西, 寄金)	20
VII 総 括	27

I 緒言

低酸素状態でのトレーニングが、陸上競技などで、とくに長距離走やマラソン、競歩のような持久性体力を必要とする種目に有効ではないかという考えが近来各方面で注目されるようになってきた。¹⁾猪飼・朝比奈らも同じ想定のもとに中・長距離14名、マラソン11名を被検者として霧ヶ峰（高度1500m）に10～20日の合宿トレーニングを実施して、呼吸循環系の測定諸項目を中心に、身体柔軟度、筋力、筋持久力、敏捷性、総合的持久力検査等詳細な計測を行い、高地におけるトレーニングが赤血球およびヘモグロビンの増加、最大酸素債の増量および柔軟度の増大が見られ、総合的持久力も増大の傾向を示したことを指摘している。ただ生理学的にみて霧ヶ峰の高度では低酸素の影響がそれほど大きくないから、上記の結果が果して低酸素状態によって招来されたものか、単なるトレーニング効果の現われであるかを明確に把握することができなかったから、更に多数例についての繰り返し実験を行うか。または平地と3000m級の高地でのトレーニング効果を比較検討して見る必要があると述べている。

本報告における企画も上述の霧ヶ峰実験の継続研究と見なすべきものである。幸い立川の航空医学実験隊には、昨年度大型の低圧実験室が完成せられ、体協のスポーツ科学的研究委員である大島正光隊長の全面的な協力によって、同低圧実験室の使用が許可せられ、また被検者として自衛隊体育学校隊員の協力を得られる見透しがついたので、スポーツ科学的研究委員会として低圧トレーニングの研究班（仮称）を編成して、実験計画を検討することになった。

実験内容並びに測定項目その他の詳細については、各項目に分けて記載したからここには省略するが、研究班が分担した項目の大要は次のとくである。

- 1) 実験期間中の被検者の身体状況の管理
(分担一航空医学実験隊一大島・万木・藤江・

池上・飯塚・長沢・秋山・藤原)

- 2) 低圧の調整と低圧室内における呼吸循環機能その他の測定（分担一航空医学実験隊一代表者・大島・万木）
- 3) 呼吸機能の測定（分担一慈恵医大・杉本、教育大スポーツ研・小川、勝田、教育大運動生理・阿久津）
- 4) 血液の変化（分担一東邦大医学部・朝比奈中川）
- 5) 体力測定（分担一東大教育学部・猪飼体協スポーツ研・寄金・中西）

なお本実験では低圧トレーニング期間を2週間とし、低圧負荷を毎日2時間としたので、低圧条件は本邦の高地には実在しない4000m相当の低圧に連日暴露せしめたこと、低圧トレーニングの前後に体力測定並びに呼吸機能テストを実施して、低圧トレーニング効果の評価を行ったこと、更に実験終了2週間後に被験者の後を追って別府、草薙等に出張し、低圧トレーニング効果がどの程度残存するかを検討した。この成績如何によっては更に長期にわたって後影響を探索する予定であったが、大体の見通しがついたので一応実験を打ち切ることにした。

本実験の目的は今後持久力を養成するために低圧トレーニングが実際に効果があるものであるか。また効果があるとすれば、どの位の低圧負荷が適当であるか、負荷の条件、期間等量的目安をつける基礎資料を得たいと考えたことと、低圧馴化の状態がどの位持続するか、馴化の持続期間を左右する因子、消失しかけた低圧馴化の状態を簡単に回復せしめる方法の有無等今後研究すべき多くの事項について、何等かの手がかりが得られればと考えたものである。

なお実際の高地トレーニングは気象条件に支配されることが大きく、実施期間は夏期に限定せられるので、シーズンオフのトレーニングに低圧室内のトレーニングが代用せられることが実証せら

1) 高地トレーニングの効果の検討—陸上競技の霧ヶ峰合宿の成績報告

れば、これまた大きな収穫といわなければなら
ない。

本実験は東京オリンピック選手強化対策本部の
理解ある後援によって実施し得たものであり、低

圧トレーニングの必要を強く主張している岡部平
太氏が終始実験に参加して、被験者を督励して呉
れた労に深く感謝を呈する。

II 低圧トレーニング実験実施要領

1) 低圧トレーニング実験実施方法

低圧トレーニング実験実施期間中の日課

被験者6名は実験実施期間中、航空自衛隊航空医学実験隊々舎内に起居し、一定の日課にしたがって生活した。Tab 1に日課表を示した。実施期

Tab1 低圧トレーニング実験実施期間中の生活日課表

日 課 表	
6:30	起 床
7:00	朝 食 自由時間
9:00	低圧Chamber実験室に集合 実験準備、負荷前諸測定
9:50	低圧Chamberのドアを閉じ、上昇開始
10:00	4,000m水平飛行 10:00~10:30 A組(3名)自転車踏み 10:30~11:00 B組(3名)〃 11:00~11:30 A組(〃)〃 11:30~12:00 B組(〃)〃
12:00	低圧Chamber下降開始
12:10	0mまで下降、ドアを開ける 負荷後諸測定
12:40	昼 食 休憩
14:00	ハーバードテスト等実施 自由時間(平地トレーニングを含む)
17:00	夕 食 入浴 自由時間(平地トレーニングを含む)
22:00	就 寝

間は4名(森川、沢田、長谷川、野見山一一自衛隊体育学校特別体育学生)については1963年1月23日より2月5日までの14日間、2名(三宅、永井一一東京教育大学々生)については1月25日より2月5日までの11日間である。

期間中の食餌は1日平均3,500 Cal, 蛋白80g以上であった。食餌の献立表の1例をTab2に示す。

Tab2 低圧トレーニング実験実施期間中の食餌 献立表の例

1月28日		
調 理 名	材 料 名	1人当(g)

主食 (3食分)	普通米	400	
	準内米	130	
	精白米	90	
	味噌	40	
	エソ	0.8	
	浅り身	40	
	小松菜	30	
	大根漬	80	
	正油	10	
	チーズ	25	
漬物	かじきフライ	100	
	刻きやべつ	大豆油	25
	きやべつ	別(ウ)ソース	80
	中華スープ	中華スープ素	5
	ほうれん草	戸正油	40
	鳴林	子	10
	正林	庵	5
	フルーツ	230	
	漬物	30	
	ハヤシライス	豚肉	30
牛乳	馬肉	110	
	玉ね	ギ	80
	人参	ド	40
	ラード	ハヤシの素	5
	牛乳	牛乳	35
	漬物	与三郎漬	180
	チキン牛羽(加)	牛羽肉	40
	マヨネーズかけ(増)	マヨネーズ	120
			50

1月31日

調 理 名	材 料 名	1人当(g)
主食 (3食分)	普通米	400
	準内米	130
	精白米	90
	味噌	40
	エソ	0.8
	白油	70
	白菜揚	10
	白菜漬	80
	正油	10
	チーズ	25
漬物	(増)	

鮓味噌焼	鯨味唐根きき人砂	赤辛生姜別人参糖	肉噌子姜別參糖	160 80 0.2 5 70 30 8 0.5 2 50 15 4 15 230	漬物	正与三郎漬 (加) (増)	油 25 40 100 60
きや別と人参の 甘酢					スペケティ ミートソース	スペケティ 合挽肉 玉ねぎ 人參 グリーンピース ケチャップ 塩 胡味 大豆	50 30 100 50 10 30 5 0.2 10
かき玉汁		玉ねま	酢塩	50 15 4 15		の素 油 漬 白菜 正油 ダブル牛乳	0.2 10 80 10 200
フルーツ	正林	削正	玉節	15 230			
シチュウ	豚馬人グリーンピース	肉令参	20 100 100 40 10 5	漬物			
つけもの	牛乳(増)(〃)	胡椒スープ	0.2 15 40 40 150 150	(加)			
牛乳		与三郎漬	40				
(増)		牛乳	180				
(〃)		みかん(缶)	150				
		茶わん蒸し	150				

2月4日

調理名	材料名	1人当(g)
主食(3食分)	普通精米 準内地米 精白麦 味噌 エミソ 若布 油揚 塩辛 しその実漬	400 155 65 40 0.8 5 10 35 30
若布汁		
塩辛漬物		
(増)	チーズ	25
柳川煮	豚たまね 牛人長白砂 豆	40 50 100 50 100 50 10 5

2) 低圧ならびに運動負荷方法

低圧負荷には航空医学実験隊に設置してある瞬間的減圧装置附属の真空溜室を用いた。この Chamber は床面積約 28.0m², 容積 68.5m³ を有し、この中に自転車エルゴメーター 3 台を設置して、なお十分余裕のある大きさである。減圧用として 40HP Kinnet 型ポンプ(排気量 24m³/min) 2 台を有し、室外の操作盤で任意の上昇、降下、水平飛行を実施することが出来る。室の内外の通信は特別のレシーバー、マイクにより行なうようになっている。

被検者 6 名と検者 2 ~ 3 名が Chamber 内に入り Chamber のドアを閉じてから毎分 400m の上昇速度で上昇、10 分間で 4,000m 相当高度に到達し、この高度に 2 時間滞留した。降下は上昇の場合と同じ速度で 10 分間を要して平圧に復した。4,000m 相当高度滞留中は約 10 分毎にその高度を維持したまま、送気弁、排気弁を適切に調節して 2 ~ 3 分間づつ室内に新鮮な空気を導入して換気を行ない、室内空気が汚染されるのを防いだ。全期間を通じて Chamber 内温度条件は乾球温度 20 ± 4°C、相対湿度 44 ~ 64% の範囲内であった。

運動負荷は自転車エルゴメーター 3 台を用いて実施した。すなわち、3 名(A組)の被検者は 4,000m 相当高度に到達直後から 30 分間、および 1 時間目から 1 時間 30 分目までの 30 分間の 2 回の合

計1時間、他の3名(B組)の被検者は4,000m相当高度到達後30分目より1時間目までの30分間および1時間半目から2時間目までの30分間の2回の合計1時間、それぞれ自転車のペダリングを実施した。ペダリングのピッチは毎分50回でメトロノームの音にあわせてペダルをふました。3台のエルゴメーターはそれぞれ規格の異なるものを

用いたので、負荷運動量は一様ではなかった。静止時約3.5kgの重量を負荷した場合のR.M.Rを実測した結果は、それぞれ3.31, 2.75, 3.91であった。被検者は運動負荷以外の時間はChair内に配置した椅子に掛けさせ安静を保たせた。

III 低圧トレーニング実験実施期間中の 諸機能測定値の変化

1) 体重の変化

実験実施期間中毎日起床直後に測定した。Fig 1にその成績を示す。実験第5日頃までは僅かに減少する例も認められるが、全期間を通じてみると僅かに増加する傾向が見られる。本実験実施期間中は、被検者は期間前に行なっていたような強度なトレーニングを実施していないので摂取カロリーが消費カロリーより幾分上回っていたと考えられる。

2) 自覚的疲労症状および 睡眠状況

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回調査を実施した。その結果疲労の訴えは1日の朝と夕とを比較しても、実験実施期間中の初期と後期とを比較しても、何れも訴えの度合は比較的低いものであった。しかし詳細に検討すると、身体的症状のうちで「体のどこかがだるい、いたい、筋がつる」という訴えが初期の頃に比較的多く見られたが、実験第9日頃からこれがほとんど消失した。これに対し、神経感覚症状のうちで「目がつかれる、ちらちらする、ぼんやりする」という目の訴えが実験第10日頃から極めて僅かではあるが発現している。4,000m相当高度2時間の低圧負荷が自覚的疲労症状の訴えの上に特別な影響を及ぼして、これが蓄積してゆくと考えられるような成績は見られなかった。低圧負荷中の自覚症はかなり著明で、ほとんど全部の被検者は実験第4日頃まで「頭がぼんやりする」と訴えたが、平圧にもどした後これが比較的すみやかに消退している。第5日目以降はChamber内においてもこのような訴えをするものは次第に少なくなった。

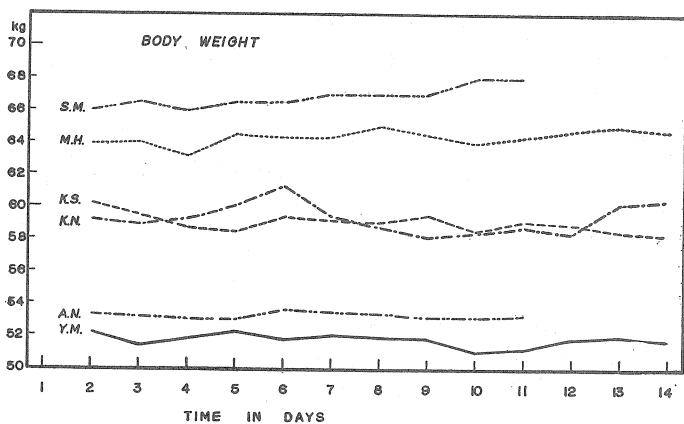


Fig 1 体重の変化

Tab 3 質問紙法による睡眠状況調査結果（数字は人数を示す）

質問項目	実験日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	被検者数	調査回数	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	4	4	4
ねつき	よい	0	0	1	0	1	1	0	3	2	0	1	1	1	
ねつき	ふつう	1	2	4	3	4	3	4	3	2	2	3	3	1	
ねつき	わるい	5	4	1	3	1	2	2	0	1	4	0	0	2	
ねむりの深さ	深い	0	0	1	0	1	2	0	1	0	1	1	1	0	
ねむりの深さ	ふつう	4	5	4	5	5	4	6	4	4	2	3	3	2	
ねむりの深さ	浅い	2	1	1	1	0	0	0	1	1	3	0	0	2	
夢	みた	4	4	3	2	3	4	4	3	4	4	4	4	3	
夢	みない	2	2	3	3	2	2	2	3	1	2	0	0	1	
起床時の気分	よい	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	1	1	0	
起床時の気分	ふつう	3	5	4	4	4	3	6	4	1	4	2	3	3	
起床時の気分	わるい	3	1	2	1	1	2	0	1	2	1	1	0	1	

実験実施期間中の睡眠状況を質問紙法によってしらべた結果をTab. 3に示す。ねつき、ねむりの深さ、起床時の気分のいずれについても「ふつう」と答えたものが大部分であるが、最初の1～2日目にねつきが悪いと答えるものが多かった。また夢をみたと答えたものが全期間を通じて多い。これらは生活環境ことに寝室が急に変化したため

あろうと考えられる。全体として睡眠状況は必ずしも良好とはいえないようである。

3) フリッカー値の変化

実験実施全期間中、低圧負荷を行なう直前と直後とにフリッカー値を測定した。数回の測定値から平均値を求め、さらに毎日の負荷前の平均値に対する負荷後の平均値の増減率を計算し、被検者全員の平均を求めて図示したのが Fig 2 の上段の曲線である。全期間を通じて土 5% の範囲を動搖している。また実験第 1 日目の低圧負荷前値を基準とした毎日の負荷前値の増減率をみると Fig 2 の下段の曲線のようであって、0 ~ +10% の範囲を動搖している。すなわち、1 回の低圧負荷によってフリッカー値は低下することはあるが、これらは翌朝には十分回復して、前日の朝の値のレベルまたはそれ以上にまで達している。以上のことから、フリッcker 値を示標としてみた限りでは、低圧トレーニング実験による疲労の蓄積傾向はないものと考えてよい。

4) 反応時間の変化

前項のフリッcker 値測定と併行して、音刺戟に

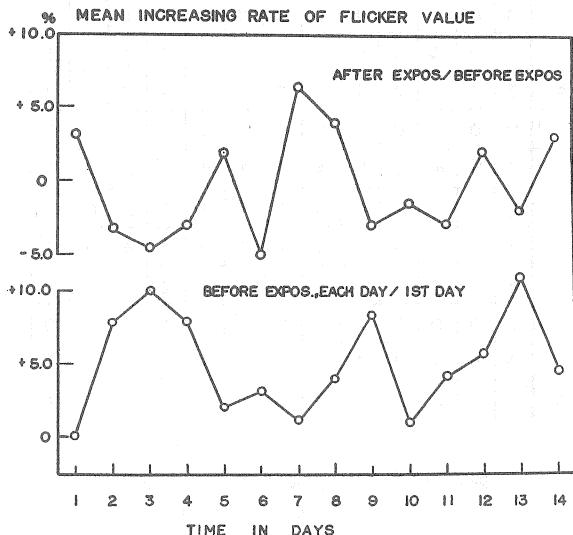


Fig 2 フリッcker 値の変化

(上の曲線は毎日の低圧負荷前値に対する負荷後値の増減率の平均、下の曲線は実験第 1 日の負荷前値を基準とした第 2 日以降の負荷前値の増減率の平均)

よるフットペダル反応の単純反応時間を測定した。低圧負荷直後の値についての結果を Fig 3 に示した。1 度に 10 回の測定を行ない、その平均値をみても、10 回の測定値の平均偏差をとってみても、いずれも実験初期には延長しているが、これが逐日的に短縮して約 1 週間後にはほぼ一定の値に落ちつくものと、さらに後期に延長するものがある。なお低圧負荷前値に対して負荷後値は延長するが、その差は初期は大きく、逐日的にはほぼ指數函数的に短縮してゆく傾向が見られた。これらの結果を総合すると、実験初期の頃の変動は練習効果を示すものと考えてよく、低圧トレーニング負荷が特に影響を与えていいるとは判定し難い。

5) 低圧負荷中の呼吸循環機能の変化

(1) 心搏数

毎日低圧 Chamber に入りて負荷を行なう前から、負荷を終って Chamber から出るまでの約 2 時間半の間、胸骨上に電極をおいた胸部誘導

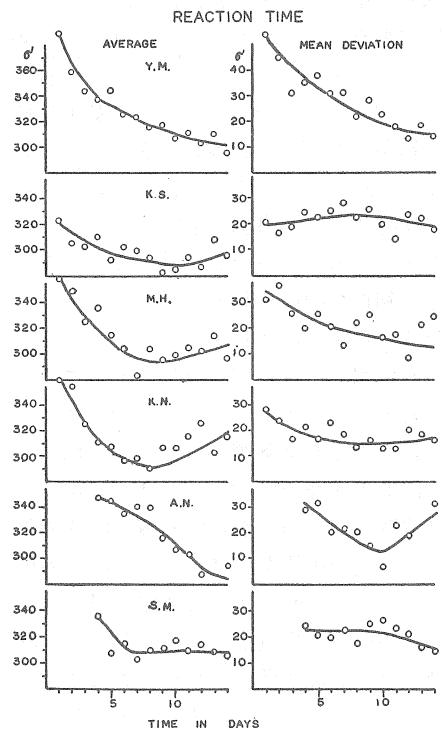


Fig 3 反応時間の変化

(左側の図は 10 回の測定の平均、右側の図は 10 回の測定値の平均偏差)

により ECG を全被検者について連続記録した。実験期間の初期、中期、後期のそれぞれについて、ECG から算出した心搏数の時間的变化をプロットしたのが Fig 4 および Fig.5 である。実験初期には低圧のみの負荷によっても、また低圧下で運動を負荷した場合にも比較的顕著な心搏数の増加がみられるが、実験中期、実験後期になると増加の度合がやや低くなる傾向がみられる。なお、毎日記録した ECG から、平圧下安静時の心搏数、4,000m 相当高度の低圧下での安静時における最低心搏数、同じ低圧下で運動を負荷した際の最高心搏数を求めて経日に描いたのが Fig 6 である。低圧安静時の最低心搏数、低圧運動時の最高心搏数はいずれの例においても期日の経過とともに減少してゆく傾向がみられ、平圧安静時の数値との差が実験後期には減少している。これらの事実から、連日繰り返し実施される低圧負荷によって、次第に循環機能の上に馴化現象があらわれてきたものと考えることが出来る。

なお、心電図の波形の上には全期間を通じて異常波は出現しなかった。

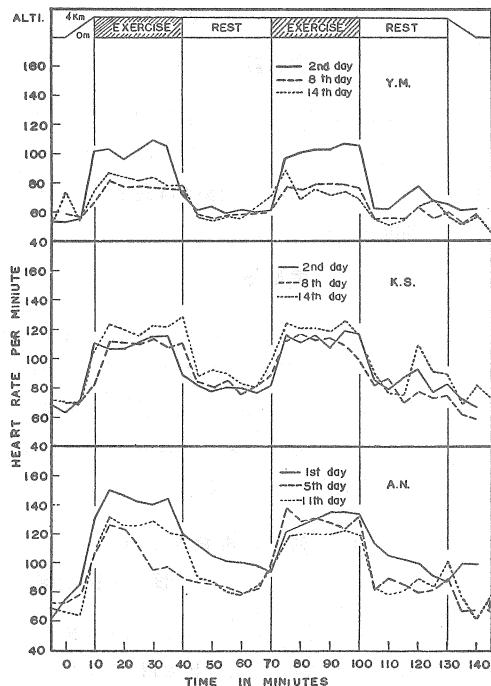


Fig 4 低圧トレーニング実験実施中の心搏数の変化(I)

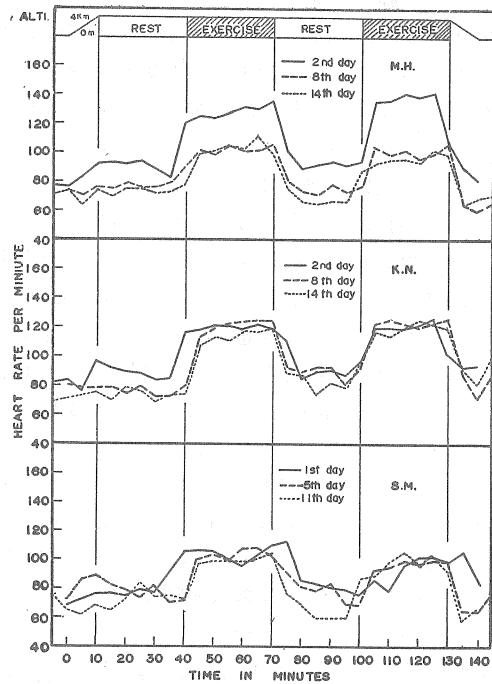


Fig 5 低圧トレーニング実験実施中の心搏数の変化(II)

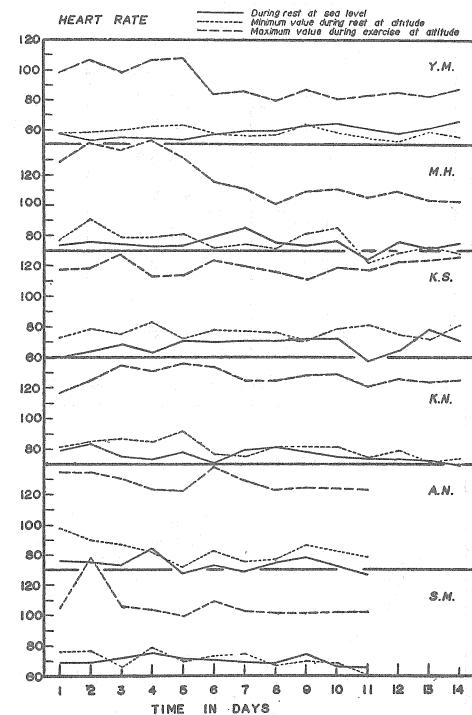


Fig 6 低圧トレーニング実験期間中の平圧安静時、低圧安静時、低圧運動時の心搏数の逐目的経過

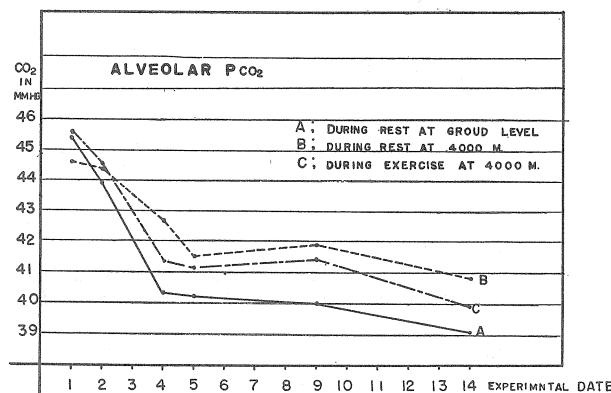
(2) 肺胞

低圧内 Chamber で、平圧安静時、低圧安静時、低圧運動時の肺胞気 CO_2 濃度をカプノグラフを用いて測定し、 PCO_2 を算出した。その結果の平均値を Tab. 4 および Fig. 7 に示した。測定器が直接絶対値を測定するのに適していないため、ここに掲げた数値は多少高い数値を示していくように思われるが、相対的に逐日経過を追跡するには役立つと考えられる。肺胞気 PCO_2 は低圧下でも平圧下でも実験初期には高い値を示しているが、低圧実験を繰り返すうちに、比較的急激に、低下する傾向を示し、数日のうちに約10% 低下して以後ほぼ一定の値を維持している。この低下は単に低圧負荷中のみにとどまらず、平圧下でも同様に見られる。この現象は高地馴化の過程にあらわれるということが知られており、短期間

Tab 4 低圧トレーニング実験実施期間中の肺胞気 CO_2 濃度および PCO_2 の変化

ALT. DATE	SITTING AT GROUND LEVEL	SITTING AT 4000 METER	RIDING BICYCLE AT 4000 METER
1	IN % 6.04	9.70	10.08
	IN MM HG 45.4	44.6	46.6
2	5.86	9.61	9.66
	43.9	44.4	44.5
4	5.38	9.25	8.95
	40.3	42.7	41.3
5	5.36	8.99	8.92
	40.2	41.5	41.2
9	5.33	9.08	8.98
	40.0	41.9	41.4
14	5.21	8.86	8.66
	39.1	40.8	39.9

Fig7 低圧トレーニング実験実施期間中の肺胞気 PCO_2 の変化



の低圧反復負荷によってもかかる傾向が見られるものと考えてよからう。

6) 低圧下運動負荷中の呼吸循環機能の変化

低圧 Chamber 内で 4,000m 相当高度の環境において、自転車エルゴメーターにより運動を負荷しつつある間、被検者がほぼ Steady State に到達していると考えられる負荷20分目に、正確に 3 分間の呼気を採取し、同時に心搏数、呼吸数を測定した。呼気ガスは平圧下でガスマーテーで計量し、労研式ガス分析器およびブルモアナライザーを併用して分析した。以下結果を項目別に記述する。

(1) 心搏数

低圧下で運動負荷中の心搏数の平均値を逐日的に描くと Fig 8 最上段の図に示すようである。運動負荷量は全期間を通じてあまり大きな変化がないにも拘らず、心搏数は日を追って減少する傾向を示している。これは反復負荷される低圧に対する適応馴化現象の 1 つと思われる。

(2) 呼吸数

Fig 8 第 2 段目に平均値の逐日経過を図示した。個体差が非常に大きいが、平均すると心搏数と同様ほぼ逐日的に減少する傾向がみられた。

(3) 換気量

Fig 9 に各被検者の換気量の逐日経過を示した。個体差が大きいが、平均値についてみると、Fig 8, 3 段目の曲線に示したように最初の 5 日間は増加し、以後減少する傾向がみられる。

(4) 酸素摂取量および炭酸ガス排出量

各被検者の O_2 摂取量、 CO_2 排出量の変化を Fig 10 および Fig 11 に示した。これらにも相当の幅の個体差が認められる。平均値を Fig 8, 4 段目に示した。エルゴメ

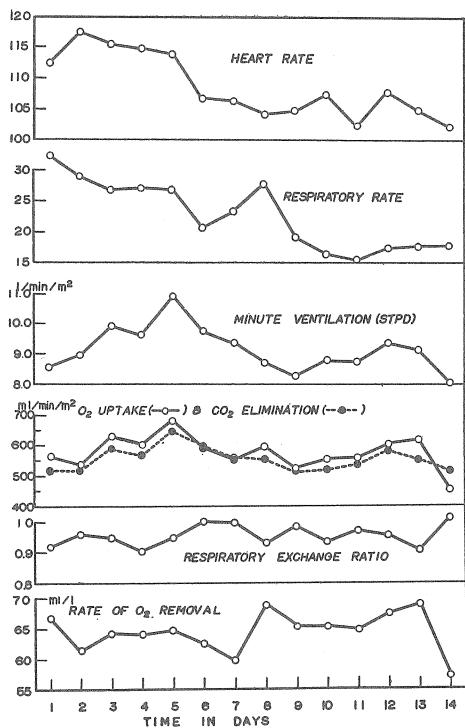


Fig 8 低圧下運動負荷中の呼吸循環機能変化
(平均値)

ーターによる負荷仕事量の僅かな変動も影響していると思われるが、概して5日目までは増加の傾向を示し、以下減少する傾向にあるようである。

(5) 呼吸交換率 (R.E.R.)

Fig 8, 5段目に平均値を図示した。運動中の CO_2 排出量に対する O_2 摂取量の比 (Respiratory exchange ratio) を意味する。0.9~1.0 の間を動搖し、概して高い値を示すが特に著しい変動は見られないようである。

(6) 酸素摂取比

Fig 12 に各被検者別の値を、Fig 8 最下段にこれらの平均値を示した。個体差が顕著であるが、平均値についてみると、全体として極めて高い値を示している。これは換気量を STPD に換算して用いていることと、低圧下では実際の換気量は増加するが STPD に換算した場合には平圧下での運動の場合ほどに増加しないことに原因している。逐日の経過をみると、実験後半期に上昇する傾向が見

られる。このことは、肺胞よりの酸素摂取の能率が向上したことを示すものであって、運動負荷による心搏数增加量の減少傾向とともに、低圧環境への適応馴化の1つの現象とみてよいであろう。

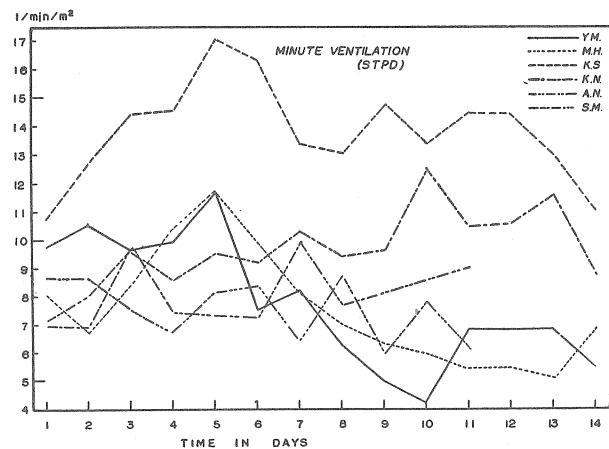


Fig 9 低圧下運動負荷中の分時換気量の逐目的変化

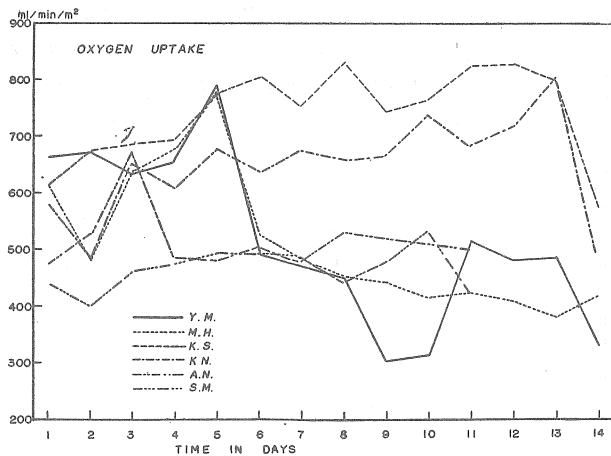


Fig10 低圧運動負荷中の酸素摂取量の逐目的変化

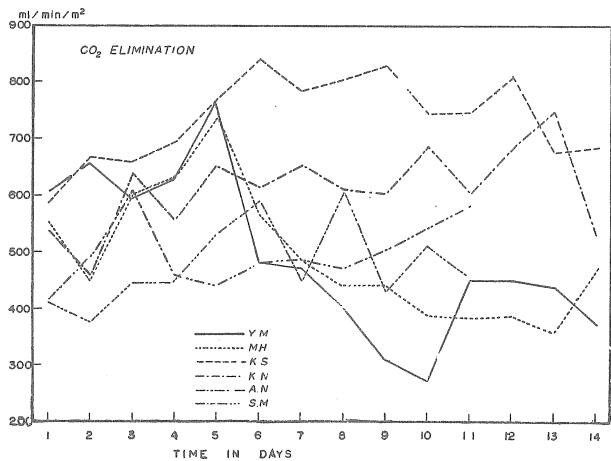


Fig11 低圧下運動負荷中の炭酸ガス排出量の逐目的変化

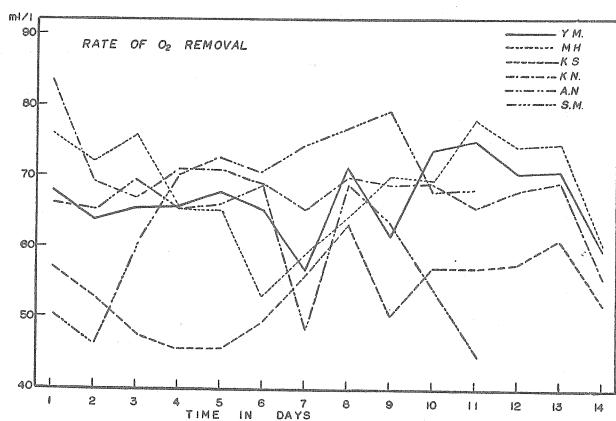


Fig12 低圧下運動負荷中の酸素摂取比の逐目的変化

IV 低圧トレーニングの呼吸機能に及ぼす影響

低圧トレーニングに伴う運動能力を検討するために、呼吸ガス代謝とくに最大酸素摂取量と最大酸素債を測定し、一方低圧および低酸素環境への馴化指標として肺胞内の PO_2 および PCO_2 の変化を測定したので、その結果について述べる。

(1) 最大酸素摂取量について

最大酸素摂取量の測定は、疾走中 1 分間に 100ℓ を超えるために、特に作成せる径 30mm の弁を有する採気マスクを装着し、予め充分なウォームアップを行わしめた後、ダグラスバックを背負ってスタートし、徐々にスピードアップして、呼吸機能がランニング速度に適応して、最大酸素摂取状態に入ってからコックを開き、全力走 1 分間の呼気を採集した。

2 週間にわたる低圧負荷前後および 14 日後の個人成績は表 1 のごとくである。

最大酸素摂取量（表 1）

		疾走距離 (m/min)	換 気 量 (ℓ/min)	最大酸素摂取量	
				(ℓ)	増減率 (%)
森川	負荷前	334	97.2	2.9	
	負荷後	355	110.2	3.2	+10.3
	14日後	345	102.1	3.1	+ 6.8
沢田	負荷前	333	93.3	3.0	
	負荷後	343	97.4	3.2	+ 6.7
	14日後	320	97.0	3.1	+ 3.3
長谷川	負荷前	342	90.1	2.9	
	負荷後	364	122.1	3.4	+17.2
	14日後	362	109.8	3.0	+ 3.4
野見山	負荷前	369	89.9	2.9	
	負荷後	374	125.1	3.6	+24.1
	14日後	365	112.7	3.2	+10.3
永井	負荷前	292	94.4	2.6	
	負荷後	308	120.7	3.3	+26.9
	14日後				
三宅	負荷前	307	113.0	3.1	
	負荷後	319	114.4	3.3	+ 6.5
	14日後				

平均	負荷後	+14m	+19ℓ	+14.8
	14日後	+ 4m	+13ℓ	+ 6.8

まづ、最大酸素摂取状態における 1 分間の疾走距離は、低圧負荷後に平均 14m も伸びているが、14 日後には平均 4m でほとんど効果は消失しているとみられる。

同じく換気量においては、負荷後 19ℓ、14 日後も 13ℓ の増加がみられる。

最大酸素摂取量においても、6 例とも著しい増加を示し、負荷後平均 14.8%，14 日後も 6.8% の効果を残している。

これらの成績からみて、低圧および低酸素負荷によって酸素摂取量増加の効果は明らかに認められた。このことは持久性增大に対し最も有利な効果であると考えられる。14 日後の測定にも僅かながら増加の残存していたことは、低圧トレーニング効果が未だ完全に消失していないことを示すが或いは被検者が測定法に馴れた結果とも考えられる。

(2) 最大酸素債について

最大酸素債の発現は種々なる条件によって制約されるが、通常充分なるウォームアップを行なっても、最大酸素債状態に追いこむには、600m 以上の疾走距離とそれに伴う呼吸適応時間が必要となる。本測定は被検者がトレーニング期間にあたるためにこれらの条件をほぼ満足し得たと思われる。

なお回復期の採気は椅子坐位にて 40~45 分を要した。結果は表 2 のごとくである。

最大酸素債（表 2）

	測定項目	負荷前	負荷後 (%)	14日後 (%)
森川	最大酸素債	7.6(ℓ)	9.5(ℓ)(+25.0)	9.0(ℓ) (+18.4)
	疾走距離	635(m)	655 (m)	664 (%)
沢田	最大酸素債	10.3	9.4 (-8.7)	9.9 (-3.9)
	疾走距離	633	643	620

長谷川	最大酸素債 疾走距離	9.1 642	9.9 (+8.8) 664	9.0(-1.1) 662
野見山	最大酸素債 疾走距離	10.0 669	12.0(+20.0) 673	10.1(+1.0) 665
永井	最大酸素債 疾走距離	8.4 592	9.0 (+7.1) 608	
三宅	最大酸素債 疾走距離	9.2 607	11.6(+26.1) 619	

最大酸素債の成績は、負荷前後において、6例中5例に著明な効果がみられ、平均19.4%の増加を示している。2週間に亘る1日1時間の自転車エルゴメーターの軽作業による訓練効果があったと考えても、この顕著な効果を説明するには不十分である。むしろ低圧環境への馴化の現象が、大きく作用して、全力疾走時の酸素消費水準を高めるものと考えられる。そして各被検者とも疾走距離が伸びていることによっても裏づけられよう。

なお、14日後には4.3%増加の水準に戻ってい

ることから、14日にして効果は殆んど消失したもののとみるべきであろう。

(3) 肺胞内およびPCO₂について

高地馴化の程度を肺胞気組成の変化から、検討し Gill Milledge はこれをもって馴化の指標となし得るとしているので、われわれも低圧トレーニング中の馴化程度を検討するため、実験期間中3日毎に肺胞気の測定を繰返し、PO₂ および PCO₂ の変化を追求した。

測定は、正常呼気の終りに最大の力強い急速な呼気をなし、バルブを通して内径約30mm 長さ200mm の内径平滑な採気管の中に吹き込ませ呼気終末時のサンプルを用いた。また低圧室で採気したものは、採気管を稀硫酸溶液中に浸して、常圧下にもどしたときの大気の浸入を防止した。個人成績は表3のごとくである。

肺胞気 (表3)

測定項目	負荷前	低圧訓練期間						負荷後		
		21/1	23/1	26/1	29/1	1/2	4/2	5/2	7/2	18/2
森川	PO ₂	101.96	41.88	43.21	41.54	39.25	41.75	41.75	94.47	102.88
	PCO ₂	36.72	30.48	29.64	29.85	30.47	26.27	25.88	41.74	37.28
沢田	PO ₂	102.32	44.88	41.75	38.83	39.25	38.83	39.66	91.62	103.24
	PCO ₂	39.98	29.43		29.85	27.97	26.52	25.47	43.85	38.01
長谷川	PO ₂	103.39	44.46	43.21	42.38	41.54	47.60	44.67	87.70	101.17
	PCO ₂	36.72	29.23		29.43	29.23	27.56	25.88	27.14	43.49
野見山	PO ₂	101.25	44.46	45.09	43.63	36.32	38.83	46.76	99.11	101.10
	PCO ₂	37.79	30.06		28.29	29.02	26.72	27.14	27.56	37.79
永井	PO ₂	100.53	—	42.38	41.75	45.93	—	45.93	99.11	—
	PCO ₂	36.72	—		29.01	28.80	26.72	—	26.72	37.79
三宅	PO ₂	100.53	—	45.30	41.75	40.28	43.00	39.25	96.97	—
	PCO ₂	36.36	—		27.76	29.85	26.93	26.30	27.56	39.22
平均	PO ₂	101.66	43.92	43.49	41.65	41.43	42.02	43.00	97.42	102.09
	PCO ₂	37.37	29.80		28.93	29.43	27.73	26.42	26.72	40.64
										37.95

肺胞気の組成は、個人差があるが、同一被検者の成績はほぼ一定している。負荷前のPO₂は100～103mmHg であるが、低圧室で採気したものは、40～45mmHg 程度に低下する。平圧下のP

OC₂ は通常 36～39mmHg であるのが、これも 26～29mmHg に低下する。低圧下の低酸素環境がいかに肺胞のガス交換に大きい影響をもたらしているかを知ることができる。

低圧訓練中の2週間の傾向をみると、 PO_2 は殆んど変化しないか、むしろ上昇しているのに対し、 PCO_2 は明らかに低下する傾向を示し、低圧訓練の経過について、馴化現象の逐日的效果を物語るものとみてよからう。

その結果、訓練後常圧下の肺胞気組成が、 PO_2 にて 4.24mmHg の低下として現われ、 PCO_2 で 3.27mmHg の上昇を得た。

また14日後には完全にその効果は消失している。

V 低圧トレーニングの血液に及ぼす影響

従来低圧ないし低酸素環境が血液に与える影響については、主として高地住民または長期滞在者に関するものか、または短時間の急性変化を検めたものが大部分であって、スポーツトレーニングに最も意味があると思われる2～4週間程度の観察およびその後の経過を忠実に追った報告は殆んど見当らない。低圧室を利用してその室内で運動トレーニングを行なった実験は血液のみでなく他の項目についてもおそらく今度のものが最初であろう。

血液に関する検査は実験期間2週間のあいだ大体隔日に行ない、実験終了後2週間目にさらに一回行なった。実験期間中は低圧室に入る直前（午前9時頃）および出た直後（午後0時半頃）の2

回同じ項目の検査を繰返した。

項目は、赤血球数、Hb%、ヘマトクリット（Ht）、白血球数、赤血球直径、血液像である。ここでは赤血球関係の検査結果についてのみ報告する。この実験の目標が低圧ないし低酸素環境への順応馴化という点にある故である。

被検者6名の内教育大学生2名は3日おくれて実験に参加したので検査日にズレがあり、また他の4名と平常の運動量が格段に異なるので、一応この報告では自衛隊体育学校学生4名について考察をすすめたい。表には各項目値が全被検者別に記してある表1の平均値は4名の平均であり、表2赤血球直径値も平均値は4名のものである。

表1. 低圧トレーニング血液変動

Date	(No.) Name	(1) 森川	(2) 沢田	(3) 長谷川	(4) 野見山	(1)～(4) 平均	(1)～(4) 平均 C-I	(5) 永井	(6) 三宅
1. 23	Pre	E L Hb Ht	4.82 7200 94 45	5.60 7400 93 45	4.89 6000 88 42	5.03 8200 100 44	5.08 7200 93.7 44.0		
		E L Hb Ht	4.81 4800 87 44	6.42 7200 93 45	5.18 8200 87 44	5.60 8200 96 46	5.50 7100 90.7 44.7		
		E L Hb Ht	4.51 6600 87 44	5.20 7600 86 47	4.20 6000 92 44	5.15 5800 94 46	4.76 6500 89.8 45.2	0.94	
		E L Hb Ht	4.77 8800 94 43	60.45 8400 95 46	4.05 6400 94 43	5.44 5400 102 44	5.17 7250 96.2 44	0.93	
1. .	Pre	E L Hb Ht						5.02 9000 100 53	4.81 6000 95 49

26		E						5.95	4.67
	Post	L						7000	7500
		Hb						105	95
		Ht						54	49
		E	4.08	4.90	5.13	5.46	4.90	5.68	4.65
1	Pre	L	6000	6400	6600	7200	6550	6400	5600
.		Hb	89	91	95	97	93.0	105	97
.		Ht	47	44	44	46	45.2	0.95	52
28		E	5.05	5.27	4.98	4.81	5.03	5.50	5.09
	Post	L	7200	6000	7000	5200	6358	7800	8800
		Hb	96	96	93	97	95.5	108	109
		Ht	45	46	42	44	44.2	0.94	50
1	Pre	E	4.38	5.25	4.47	5.24	4.83	4.83	4.77
.		L	6200	6600	5500	6200	6125	7200	6000
1		Hb	89	92	89	92	90.5	106	107
.		Ht	43	45	43	46	44.2	0.93	49
30		E	4.78	4.97	5.15	4.80	4.91	5.33	4.80
	Post	L	9000	7200	6600	5000	6950	9800	8400
		Hb	95	97	93	96	95.2	99	94
		Ht	43	44	43	46	44.0	0.96	44
2	Pre	E	5.76	5.16	4.99	5.14	5.28	5.32	5.39
.		L	8450	6950	6450	7250	7275	7800	6050
2		Hb	87	94	86	89	89.0	101	98
.		Ht	43	45	41	43	43.0	0.84	47
1	Post	E	5.89	6.41	4.98	5.86	5.78	4.99	5.15
		L	10600	7200	5500	7800	7775	7400	8350
		Hb	95	99	90	91	93.7	103	98
		Ht	42	43	43	43	42.8	0.81	47
2	Pre	E	5.26	5.24	4.76	5.40	5.18	5.22	5.41
.		L	7150	6500	5200	6500	6338	6650	6900
2		Hb	99	99	95	100	98.3	106	103
.		Ht	42	46	44	46	44.5	0.94	49
3	Post	E	5.33	5.61	4.71	5.30	5.23	5.56	4.98
		L	10850	5550	5200	7750	7338	5700	5900
		Hb	90	103	97	102	980	107	103
		Ht	41	49	43	44	44.2	0.93	46
2	Pre	E	4.49	5.37	4.99	5.28	5.03	4.91	4.74
.		L	6200	4800	6200	5600	5700	5600	6600
2		Hb	98	102	97	94	97.8	103	106
.		Ht	45	48	44	47	46.0	0.97	46
5	Post	E	4.58	6.50	4.64	4.82	5.14	4.87	4.42
		L	5600	7000	5200	6000	5950	8600	5800
		Hb	96	101	100	103	100	114	94
		Ht	45	47	43	46	45.3	0.97	43

2	E	4.52	5.19	4.25	4.90	4.72		5.07	5.20
.	L	7940	8140	7300	4900	7070		8600	6400
17	Hb	89	94	90	102	93.8		102	93
	Ht	46	48.5	42	47	45.9	0.99	47	42

表2. 赤血球直径(μ)

		(1) 森川	(2) 沢田	(3) 長谷川	(4) 野見山	(5) 永井	(6) 三宅	(1)~(4) 平均
1 · 23	Pre	7.7	7.4	7.7	7.3			7.5
	Post	7.4	7.2	7.3	7.2			7.3
1 · 25	Pre	7.1	7.2	7.2	7.2			7.2
	Post	7.2	7.2	7.3	7.2			7.2
1 · 26	Pre					7.3	7.2	
	Post					7.1	7.6	
1 · 28	Pre	7.3	7.4	7.4	7.4	7.3		7.4
	Post	7.3	7.2	7.3	7.4	7.2	7.3	7.3
1 · 30	Pre		7.4	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2
	Post	7.4		7.4	7.4	7.2	7.3	7.4
2 · 1	Pre	7.2	7.3	7.2	7.2	7.0	7.1	7.2
	Post	7.2	7.2	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2
2 · 3	Pre	7.3	7.2	7.4	7.3	7.1	7.3	7.3
	Post	7.4	7.4	7.4	7.3	7.2	7.4	7.4
2 · 5	Pre	7.2	7.4	7.2	7.2	7.0	7.1	7.3
	Post	7.1	7.4	7.3	7.0	7.1		7.2
2 · 17		7.2	7.2	7.0	7.0	7.1	7.0	7.1

すべての項目についてかなりの個人差が認められるが、個人別の経過については別に検討することとしこでの考察は4名平均値を中心にしていいと思う。平均値の推移を全実験過程の一般的傾向と見做すわけである。これを赤血球数、Hb %, Ht, および色素指数別に図示した。図示した値はすべて低圧室に入る前のものであるから、急性の影響は除かれていると見てよかろう。図中に低圧低酸素の急性の影響を見るため赤血球および色素指数の低圧室から出た直後の値も示してある。

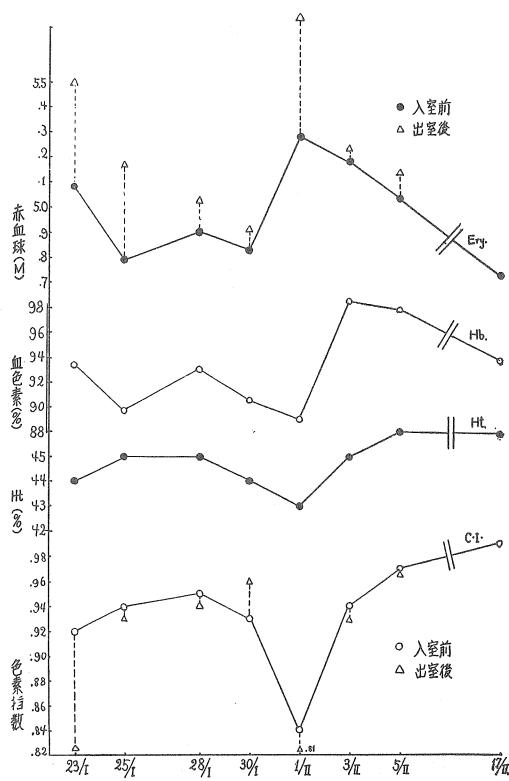
これらの項目間の関係から判断して2週間の実験期間を3期に分けるのが便利である。

1. 第1期：実験開始1週間の期間である。この間赤血球数は初値より0.2~0.3M(Mは百万単位)減少している。もっとも入室前と出室後とでは

毎回かなりの変化があって、低圧によって必ず赤血球数は増加する。この現象は低圧による直接の貯備血球の動員だけでなく、低圧下の不感蒸泄の増加による血液濃縮が関与しているかも知れない。ともかく増加幅は次第に小さくなって、はじめ0.4Mの変化幅が1週間目には0.1Mになっている。このことは急激の気圧変化または酸素量変化に対する馴化現象であるかも知れない。

この期間赤血球の減少に対し、血色素の減少は余り大きないので、当然(C·I)色素指数は上昇の傾向を示し、実験前より0.02~0.03高値となる。Htは一時、やや高いが、殆んど変化がないと言ってよいであろう。つまりこの期間赤血球は数が減るけれどもHbの豊富な血球で占められ、急性低酸素耐性の発達に参与しているものであろ

う。この赤血球は勿論貯備血球の動員されたものと考えてよい。従ってこの期は赤血球動員期である。赤血球直径は全期間を通じて意味のある程の変化を示していないので、一応考察資料から除くこととする。



2. 第2期：実験開始後9～10日目に赤血球について顕著な変化が見られる。すなわち赤血球数は急激に増加し、第1期最終値より0.5M近くも増している。しかし血色素もHtも共に低下していく、勿論色素指数も0.93から急下降して0.84になっているから、おそらく小型低血色素の赤血球が数多く血液中に流れているものであろう。この時の出室後の急性増加幅は大きく、0.45Mにも及んでいる。参考のために言うならば、この時期の赤血球直径はやはり低値を示している。これらのことから見ると、この時期に造血組織からの赤血球生成が盛んに行なわれると考えられる。いわば赤血球新生期である。

3. 第3期：実験開始後12日目以後であって、第2期の急激な変化に引きつづく時期である。赤

血球数は第2期の急増した水準をほぼ保っている一方、第2期に減少していた血色素、Htがかなり急激に上昇してそれぞれ98%，46%となり赤血球数と調和をとる傾向が見られる。つまり一足先に急増した赤血球数を追って血色素が急増した形である。従ってC.I.も第2期の低値、0.84から急に0.94、さらにそれ以上に上昇している。

この状態はおそらく安定したものであって、もし実験をつづけていれば、これ以後の検査ではほぼこのような成績が毎回得られるものであろうと思われる。つまり定期的で血液については一応低圧または低酸素環境への馴化がほぼ出来上った時期といえよう。こうしてようやく馴化がほぼ完成に近付いたかどうかという時期に本実験は終了したわけである。実験終了後2週間目に同じ項目について同様検査を行なった。赤血球は目立って減少し、4.7Mとなっているが、Hbはそれほど減っていないので色素指数はむしろ上昇し0.99を示している。しかし赤血球の減少が大幅である点から見て、造血活動は決して盛んであるとは考えられず、低圧や低酸素によって賦活された赤血球造生の高い水準は、既に低下して流血中の赤血球は比較的古いものが多く、結局実験前の状態に戻りつつあるものと考えられるのである。要するに2週間の実験で得られた血液関係の馴化状態は実験終了後2週間以内に本質的には消滅したと見てよかろう。

結論的に次のことが言える。

以上の実験条件においては

1. 赤血球動員期(7～8日)、赤血球新生期(2～3日)および定期的または馴化期の3期間を区別出来る。血液関係では馴化状態になるのに最低2週間を必要とする。
2. 急激な気圧または酸素量変化に対する抵抗性は1週間以内に増大するらしい。
3. 馴化状態になる場合赤血球数の増加が先行し、Hb増大は1～2日おくれて現われる。
4. 馴化過程は実験中止後2週間以内に本質的には消滅する。

VI 低圧トレーニングの一般体力・筋力・持久力に及ぼす影響

われわれが担当した項目は、2週間の低圧トレーニング前後における一般体力測定と各種筋力（筋持久力も含む）測定および全身持久力の測定であった。低圧環境に1日2時間おかれるという一種のストレスがこれらの項目に直接変化をもたらすということは考えられないが、赤血球数やヘモグロビン量が増加し、呼吸器系の機能が向上し、酸素運搬能力が増強されれば、結果的に一般体力も全身持久力も改善されるであろうと考えられる。そういう意味でわれわれは、低圧トレーニングがそれら測定項目に間接的に何らかの変化をもたらすであろうと想定し、実験を開始した。

方 法

実際に実施した測定項目と具体的方法は次の通りである。

[1] 一般体力関係

項目……体重、身長、座高、胸囲、上胸囲、皮下脂肪厚、背筋力、握力、腕力、静的腕持久力、垂直跳、サイドステップ、反応時間、体前屈、肺活量、血圧

方法……日本体育協会スポーツ科学委員会で決定した方法を採用した。測定は日本体育協会スポーツ科学委員会において、トレーニングに入る前日とトレーニング終了日の翌日、主として午前中に行なった。

[2] 筋力関係

項目……握力、背筋力、腕力、静的腕持久力
方法……握力、背筋力、腕力の測定は、スポーツ科学委員会の決定した方法を採用した。静的腕持久力は10kgのおもりを片腕を直角に曲げて持ちあげ、その状態での最大保持時間（秒）を測定し値とした。

測定は立川市の航空医学実験隊にお

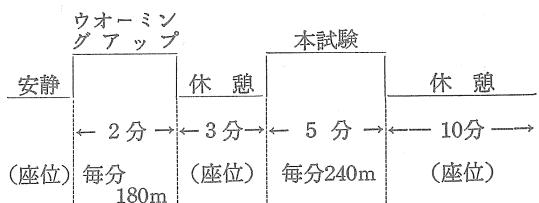
いて、大体3日おきに、低圧室に入る前（午前中）行なった。

[3] 全身持久力関係

項目……ハーバードステップテスト
トレッドミル負荷試験

方法……ハーバードステップテストは最も一般に用いられている方法を採用了。

トレッドミル負荷試験は、勾配5°のトレッドミルを次のようなスピードと順序で走り、その時の心搏数と呼吸数の変化を検べる方法である。



以上の全項目について、低圧トレーニング期間中の変化を追跡する意味で、その期間中3日おき位に測定を繰返してゆくことが望ましい訳であるが、検者数の不足、測定時間の問題等で、結局筋力関係の諸項目とハーバードステップテスト以外の項目については、低圧トレーニング期間の前後及び2時間後の3回しか測定を実施することが出来なかつた。

結果と考察

[1] 体力測定値の変化

表1. 体力測定一覧

	森川		沢田		長谷川		野見山		三宅		永井		
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	
体重	52.7	52.0	59.0	60.0	64.0	64.8	58.0	60.0	67.0	68.0	53.0	54.0	
身長	162.5	(51.2)	163.1	(50.0)	174.0	(52.0)	169.8	(50.2)	170.0	(52.0)	159.6		
座高	88.1		89.8		92.9		90.7		92.7		88.6		
胸囲	80.8	81.5	87.0	86.3	90.5	90.0	84.0	84.5	88.5	89.5	83.0	82.5	
上腕伸展	R L	23.0 22.5	23.5 22.0	27.5 27.0	27.5 26.3	27.0 25.3	25.0 26.0	26.0 24.3	28.0 25.0	28.0 27.5	27.5 26.0	27.0 26.0	
腕屈曲	R L	26.0 26.0	26.5 25.5	30.5 30.0	30.0 29.5	30.0 28.0	28.5 28.0	30.0 29.0	29.5 29.0	30.0 29.5	30.0 29.0	30.0 29.0	
下腿囲	R L	35.5 35.0	35.0 34.3	37.5 37.3	37.5 37.5	38.0 37.6	37.8 34.0	34.0 34.0	34.5 34.0				
皮下脂肪厚		5 5	5 5	5 5	4	7	5	4	6	9	5	4	
垂直跳		48	50	58	55	52		50	51	60	57	51	58
サイドステップ		33 (37)	34 (36)	36 (37)	35 (37)	37 (37)	37 (38)	38 (37)	37 (39)	33 (37)	33 (39)	33 (35)	
反応時間(光)		244	195	178	168	219	191	257	214	210	210	187	179
動作開始時間		272 (20.2)	219 (18.6)	229 (18.6)	194 (18.6)	253 (20.6)	188 (20.6)	260 (20.6)	221 (20.6)	264 (18.6)	177 (18.6)	228 (18.6)	
筋収縮時間		188 (1.22)	109 (1.22)	146 (1.11)	139 (1.11)	151 (1.22)	144 (1.22)	156 (1.22)	138 (1.22)	160 (1.22)	169 (1.22)	134 (1.22)	
体前屈		10.0	10.5	11.0	11.0	13.0	15.0	18.5	21.5	7.0	8.5	14.0	14.5
肺活量		3800	3900	4040	4100	5300	5360	4540	4850	4650	4700	4000	3840
血圧	130 90	113 80	126 92	125 80	118 78	120 74	120 80	110 70	120 60	115 70	110 60	110 55	

注()内は低圧テスト終了後2週間目の測定値

②体重について……低圧トレーニング前後の値を比較してみると、被検者6名中5名において、僅少ではあるがその値が増加していることがわかる。これはトレーニング期間中激しい肉体労働がなかったこと及び栄養管理がゆきとどいていたこと等が原因として考えられるが、少なくとも2週間の低圧トレーニングが著明な体重減少をひきおこす程のストレスになってなかったことがうかがえる。

③胸囲・上腕囲・下腿囲・皮下脂肪厚について……トレーニング前後の値を比較するに、値の変化には一定の傾向がみられず、殆んど大きな変化は認められない。この傾向は体重変化が少なかった事実からも当然推定されることである。

④垂直跳・サイドステップについて……これらは下肢筋のパワーを検査する項目であるが、後者の場合は神経筋協調性が決定要因として加わってくるため、両者の関係は必ずしも平行しな

い。低圧トレーニング前後の値を比較してみてこのことがうかがえる。すなわち前者はトレーニングによって一定の変化傾向を示されないが、後者の場合は全被検者においてその値が向上している。従って後者の値が向上した理由としては、筋肉それ自体の能力が改善されたというよりむしろ神経筋協調性が改善されたためと考えることが出来る。

⑤反応時間について……光刺激に対する単純反応時間は各被検者ともかなり明瞭な短縮を示している。これは低圧トレーニング期間中その変化を検べるために毎日反応時間測定を実施したため(万木氏担当)これが一種の練習効果となって現われたものと解される。

全身反応時間は動作開始時間と筋収縮時間とからなるが、どちらの値もかなりの短縮を示している。全被検者の算術平均値からそれぞれの短縮率を求めてみると次のようになる。

$$\text{短縮率} = \frac{(\text{トレーニングの前値}) - (\text{トレーニングの後値})}{(\text{トレーニング前の値})} \times 100$$

計算の結果 $\left\{ \begin{array}{l} \text{動作開始時間} = 21.5\% \\ \text{筋収縮時間} = 12.06\% \end{array} \right.$

すなわちいずれの値も短縮しているが、動作開始時間のそれがより著明であるということがわかる。全身反応時間は平均値で 72.3m sec の短縮を示しているが、その中 54m sec (74.68%)は動作開始時間の短縮によるものである。このような全身反応時間の短縮に関してはいろいろな原因が考えられるが、以上の結果からしても集中力の改善といった神経性の要因が大きくなっていることが推定される。

[2] 筋力測定値の変化

②握力と背筋力について……

図 1. 握力と背筋力の変化

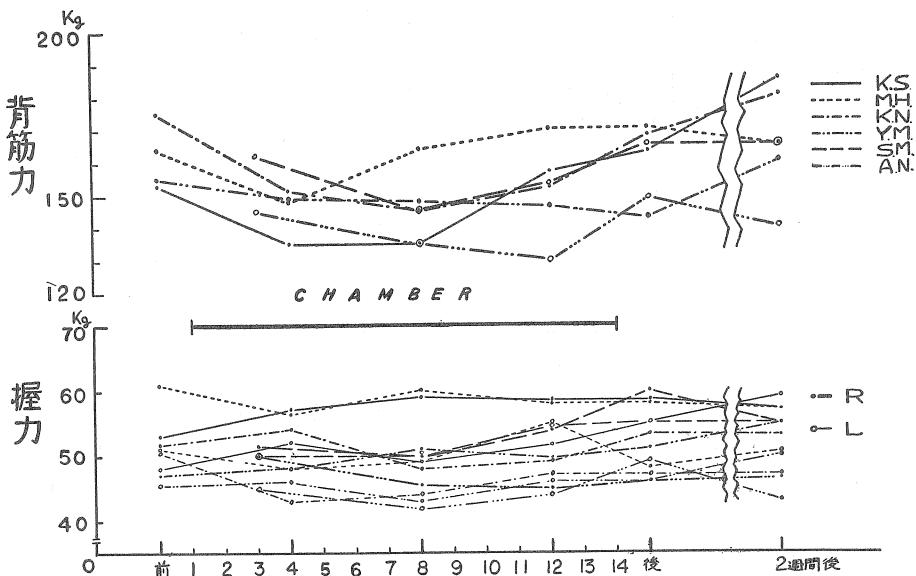


図 1 に示されるように背筋力も、握力も低圧トレーニング期間中大体同じ変化過程を示している。その変化はあまり大きなものではないが、低圧トレーニング 1 週間あたりで最低値を示す「なべ底曲線」を画いている。それぞれの測定値の平均値を比べてみると(表 2)のようになる。

く作用していることが推定される。

③体前屈について……柔軟度を示すこの値は、低圧トレーニング後の方が僅かに大きな値を示している。しかしこれが低圧トレーニングの効果とは考え難い。むしろ各被検者の記録更新に対する興味から出て来た変化と解される。

④肺活量について……この値は肺の容積と呼吸運動にあずかる筋の力との積の函数であると考えられているが、被検者 6 名中 5 名の者がトレーニング後僅かに増加した値を示している。しかしこの程度の増加では、はたしてトレーニングによって機質的変化が生じた結果かどうかは、にわかに判定することが困難である。

表 2. 握力・背筋力の平均値変化

トレーニング 前	トレーニング期間			トレーニング 後	2週間 後
	4日目	8日目	12日目		
握力 (kg)	51.0	50.5	50.5	51.5	52.5
背筋力 (kg)	162	147	148	156	161

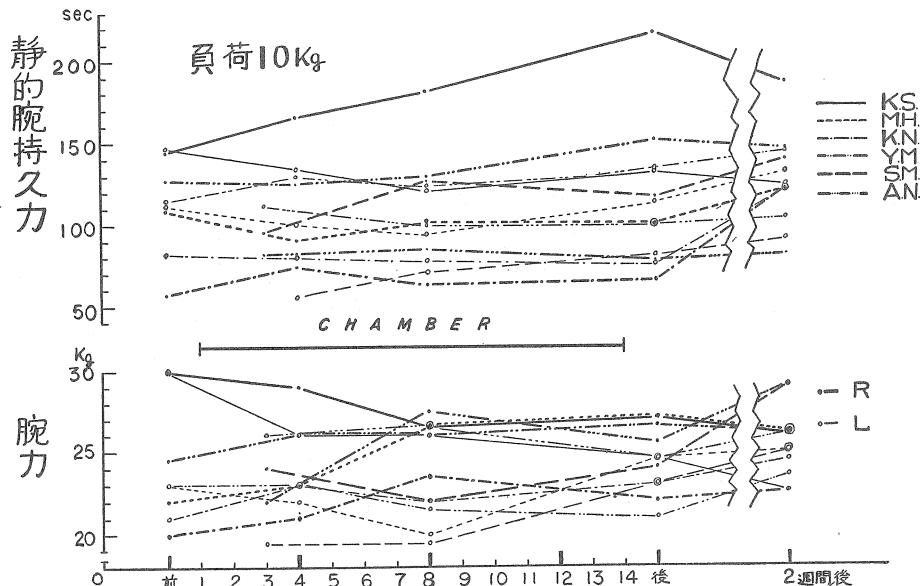
要するに低圧トレーニング2週間の期間中はむしろ低い値を示すが、トレーニング後は殆んど前の値にまで復帰し、2週間後も値は殆んど変わらないということになる。

トレーニング期間の中頃における値の低下は、低圧トレーニングの効果というより、いわゆる一般の運動合宿中にもみられる「合宿疲れ」／＼

の現れと考えられる。トレーニング期間がもっと長ければトレーニング前の値以上に上昇を続けたとも一応考えられるところである。

⑥腕力と静的腕持久力について……腕力と静的腕持久力は図2に示されるような変化過程を示した。

図2. 腕力・静的腕持久力の変化



この変化過程を個人別にたどってみるとかなりの動搖が認められるが、平均値をみてみると大体どちらもあまり大きな変化を示していないことがわかる。（表3参照）

表3. 腕力・静的腕持久力の平均値変化

トレーニング前	トレーニング期間		トレーニング後	2週間後
	4日目	8日目		
腕力(kg)	24.2	24.1	24.0	24.0
静的腕持久力(秒)	110	112	112	122

すなわちいずれの場合もトレーニング期間中の値はトレーニング前の値と殆んど等しくあまり変化がみられない。むしろトレーニング後において、特に静的腕持久力の場合ある程度の上昇

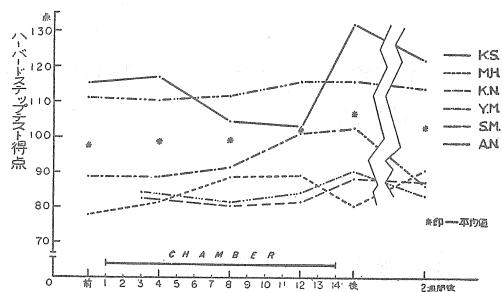
を示している。

要するに腕力の場合は、握力、背筋力とほぼ平行する変化を示し、トレーニング前後の値も殆んど変化を示さないが、静的腕持久力の方は、トレーニング期間後の値が前の値より多少増大している、という結果をみた訳である。このような結果の相違からも低圧トレーニングの効果が何か瞬発性の筋力よりも持久性の筋力に現われやすいのではないかと推定される訳である。

[3] 全身持久力の変化

②ハーバードステップテスト点について……心臓機能の指標として広く用いられているハーバードステップテスト点は、図3に示されるような変化過程を示した。

図3. ハーバードステップテスト点の変化



すなわち平均値の変化にみられるように、徐々にではあるがトレーニング期間中値は上昇を続け、トレーニング後はトレーニング前のそれよりも全被検者において大きな値を示している。平均値から算出すればトレーニング後の値はトレーニング前の値の12%増しという結果になる。しかしこの増加も2週間後にはかなり下降し、回復率は34.8%という値を示す。

$$\text{回復率} = \frac{(\text{トレーニング}) - (\text{2週間})}{(\text{トレーニング}) - (\text{トレーニング})} \times 100$$

$$= \frac{(\text{グ後}) - (\text{後})}{(\text{グ後}) - (\text{グ前})} \times 100$$

要するにハーバードステップテスト点は低圧トレーニングによって増大するが、本実験の条件では2週間後にはその効果の約30%を失うという傾向が認められた訳である。

⑥トレッドミル負荷試験について……既述された方法にもとづいて実施されたトレッドミル負荷試験の結果、各被検者の心搏数および呼吸数が示した変化曲線は図4、5、6、7、8、9、に示される通りである。

先ずこのテストの判定目標であるが、2分間のウォーミングアップと5分間のトレッドミル負荷を完走した被検者については、運動中の最高心搏数、呼吸数および運動後の回復速度（回復率）を判定の目標とし5分間のトレッドミル負荷に耐えられなかった被検者についてはアウトになるまでの時間を目標として全身持久力の変化を判定することにした。

図4. 心搏数・呼吸数の変化（森川）

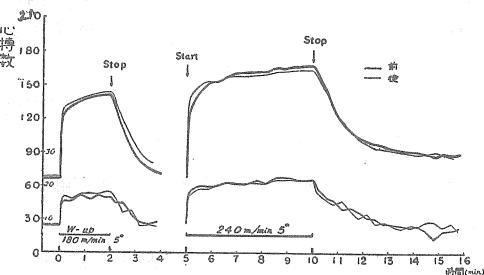


図5. 心搏数・呼吸数の変化（沢田）

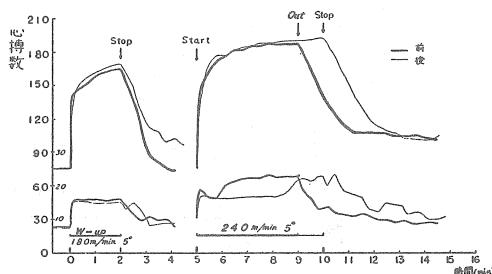


図6. 心搏数・呼吸数の変化（長谷川）

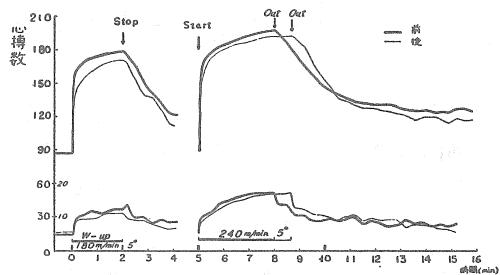


図7. 心搏数・呼吸数の変化（野見山）

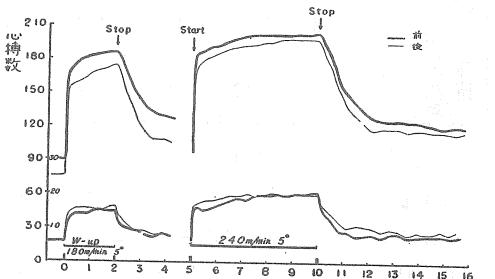


図 8. 心搏数・呼吸数の変化（三 宅）

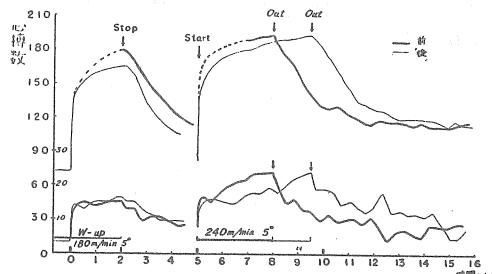
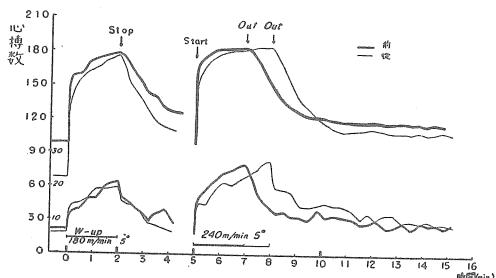


図 9. 心搏数・呼吸数の変化（永 井）



図に示されるようにトレッドミル負荷を完全に遂行した者は2名だけであり、他の4名は全員途中でアウトになっている。

アウトになった4名の示した持久走時間は表4のとおりである。

表 4. トレッドミル持久走時間の変化

	三 宅	永 井	長谷川	沢 田
トレーニング 前	3分	2分	3分	4分
トレーニング 後	4分30秒	3分	3分40秒	5 分 (完走)

(但し三宅と永井は毎分200mのスピードで行なった)
すなわちアウトになった被検者が示した持久走時間は、低圧トレーニング後において40秒～90秒延長している、つまり低圧トレーニングによって全身持久力がそれだけ増したことが推定された訳である。

ここで興味あることは、アウトの時点における心搏数が同一個人であれば大体等しい値を示すということ、また運動後における回復曲線の勾配も大体同じである、ということである。従つてもしもトレーニング後のテストにおける持久走時間をトレーニング前のそれに等しくしたと

すれば、回復曲線はより急勾配をたどることが推定される。

次にテストを完全に遂行した2名の被検者の場合であるが、その1名（森川）は運動中の最高値も運動後の回復率も殆んどトレーニング前と変りがない。従ってこの被検者に関しては、低圧トレーニングの効果が全身持久力に大きな影響を与えたかったことが推定される。しかし他の1名（野見山）の場合には、低圧トレーニングにより運動中の最高心搏数は204→198と減少しており、運動後2分目における回復率は58.0%→63.3%と増加を示している。従ってこの被検者の場合には明らかに低圧トレーニングが全身持久力を増大せしめる上に有効であったと判定することが出来る。

結局トレッドミル負荷試験では6名中5名において低圧トレーニングの効果が現われたということになる。

要 約

以上の結果と考察を要約すれば次のようになる。

- (1) 1日2時間の低圧トレーニングを2時間負荷しても体重、胸囲、上腕囲、下腿囲、皮下脂肪厚の値は殆んど変わらなかった。
- (2) 垂直跳の値には殆んど変化がみられなかったが、サイドステップの値は僅少ながら全被検者において増加をみた。
- (3) 反応時間は光刺激による単純反応時間も全身反応時間もかなり著明な短縮を示した。後者の場合、それが主として動作開始時間の短縮によって成立するものであることが計算により求められた。反応時間の短縮はトレーニング期間中毎日実施された反応時間測定実験のためと推定された。
- (4) 体前屈、肺活量の値も増加する傾向を示したが、特に低圧トレーニングのためとは考え難い程度のものであった。
- (5) 背筋力、握力、腕力は程度の差はあるが、大体同じような変化過程（なべ底曲線）を示した。
- (6) 静的腕持久力はトレーニング後において増加する傾向を示した。

- (7)ハーバードステップテスト点はトレーニング期間後において増大した値を示したが、それから2週間後にはその効果の約30%が消失した。
- (8)トレッドミル負荷試験を実施した結果 6名中1

名には変化が、認められなかったが、他の5名において明らかな全身持久力の増大を認めることが出来た。

VII 総括

以上各検査項目のうちかなり多くのものが低圧下トレーニング後に低圧ないし低酸素環境に対する馴化現象を示し、あるいは急激の圧変化ないし酸素量変化に対する耐性を増したものと思われる数値を示している。勿論検査項目によっては全く何の影響も受けないもの、あるいは却って逆の方向に動いたかと見えるものもあるが、概してこの実験が大部分の機能に有効に働いたと見て良いと思う。ただこの有効さがそれほど高度でないことを、比較的短期間内に消滅することは、実験条件（時間、期間など）に關係するものであろう。

次に多少とも有効であったと見られる。項目を一括すると次のとおりである。

A. 呼吸循環系統

1) 心搏数……低圧安静時の最低心搏数、低圧運動時の最高心搏数はいづれも実験期間中に次第に減少して平圧時のそれに近づく。このことは循環系の馴化現象と言えよう。

2) 呼吸数……低圧運動負荷中の増加度は実験初期にやや増加するが、次第にそれが減少し、平均的に平圧の場合のそれに近付く。

3) 換気量……低圧下運動負荷中換気量ははじめやや増加するがその後明らかに減少してゆく。

4) 酸素摂取量、炭酸ガス排出量……いづれもはじめやや増加し、それ以後次第に減少する。

5) 酸素摂取比……実験後半に上昇し、酸素を取り入れる能率が良くなっている。

6) 肺胞 PCO_2 ……実験はじめにやや増加するが、その後低圧下でも平圧下でも次第に低下して10%程度が減少する。

これらの呼吸に関する項目の値は大体実験5日目以後（5～9日目頃）に明瞭な馴化性変化を示す傾向がある。

B. 呼吸ガス関係

1) 最大酸素摂取量……実験後平均14.8%の増加を示すが、中止後2週間目には6.8%の増加の程度にまで戻る。

2) 最大酸素債……実験後平均19.4%増加しているが、中止後2週間目には4.3%増加の水準にまで戻っている。

3) 最大換気量……実験後は平均12.4%の増加を示すが中止後2週間目には増加分の1/4は消失して9.4%程度の増加水準になっている。

4) 肺胞 PO_2 ……実験中低圧中でははじめやや減少するが後次第に増加に転じる。平圧下では実験後やや減少しているが、実験中止後2週間目には完全に実験前減値に戻っている。

5) 肺胞 PCO_2 ……実験中低圧下では次第に下降しているが、平圧下では実験後の増加が見られるしかしこれも実験中止後2週間目には全く実験前値に戻っている。

これら呼吸ガスに関する諸数値の変化は明らかに低圧ないし低酸素環境への馴化現象の表現と見られる。しかしその馴化は極めて不安定で、実験中止後2週間以内に完全に消滅しているのである。

C. 血液関係

1) 2週間の実験期間を血液（赤血側）の変化から見て3期に分けられる。

第1期：赤血球動員期とも言うべき時期で、赤血球数減少、血色素減少、色素指数上昇で特徴付けられる。実験開始1週間。

第2期：赤血球新生期であって赤血球急増、血色素減、色素指数低下で特徴付けられる変化の激しい時期である。第1期につづく2～3日間。

第3期：赤血球造血の亢進が持続的になるいわば安定期で、色素の多い赤血球がある程度高い数を保つ時期である。赤血球数に特徴があるのでなく、個々の赤血球の持つ血色素の豊富さが特徴であろう。数はおそらく低圧または低酸素の程度によって規定されるものと思われる。これらの変化は程度は弱いけれども明らかに馴化現象といってよい。

2) 第1期では入室前赤血球数に較べて、出室後の数は増加するが増加の割合は次第に減少して

くる。これはおそらく急激な気圧または酸素量変化に対する順応力の増大を示すものであろう。

以上の馴化、すなわち赤血球造生の亢進状態は実験中止後2週間以内には消滅するものであって、2週間後の検査ではなお色素指数は高いけれども、既に赤血球数は減少し、新生の低下を示唆している。

D. 体力機能

1) 静的筋持久力……10kg負荷による腕持久時間は実験前110秒のものが実験中殆んど変らず、実験後になって122秒となっている。これに対し、腕力、握力、背筋力などには変化がないから、筋機能に低圧トレーニングの効果があるとすれば持久性機能に現われるものであろう。

2) 全身持久力……HSTでは実験後12%の増加を示しているが、その後2週間目の検査では増加分の1/3を失っている。またトレッドミルの実験では一般に走行時間も延長し、運動中止後の回復率も増加の傾向を示し、6名の被検者中5名はいづれかの点で機能の増大を示している。

要するにこの低圧室内トレーニングによって一般持久力は多少とも増大していることは明らかであろう。

その他サイドステップ、反応時間などが実験後に良い値を示したが、これを低圧効果と見做すことは無理である。その他の項目には特記するような変化は見られなかった。

(HSTハーバードステップテスト)

上記した実験条件においても、以上種々の項目に馴化現象ないし能率向上の現われを見ることが出来る。呼吸数、心搏数、肺胞PCO₂、換気量など呼吸循環系統の諸項目、呼吸ガスの関係ではいづれも5～9日頃に一つの転換が現われて馴化過程が進んでいるように見える。血液でも8～10日頃に持続的な馴化過程が急性順応の過程に代って現われ急激な新生赤血球数の増加、それを追って血色素の増加が起っている。おそらく低圧1週間前後の時期は多くの生理的機能の馴化過程に重要な意味を持つものであろう。

呼吸ガスや血液については高地に滞在した場合にも上記のものと原則的には同じ変化が起ると思われる。とぼしいながら従来の実験報告から判断して、この推察はおそらく誤りないであろう。また平圧のままの低酸素呼吸や、マスクなどによる呼吸抵抗負荷下のトレーニングでも、やはり同じ効果が現われるかも知れない。

それより一層重要なことは高地での馴化が完成了した場合、その状態を維持するために低圧室、平圧低酸素、呼吸抵抗負荷などをどのように利用出来るかという問題である。

体力諸項目の内殊に一般持久力の増大が目立っているし、最大酸素摂取量もかなりの増加を示しているのであるから、何らかの方法で特に持久性種目のトレーニングに上記の方法を利用して持続的にその状態を保つことが出来れば、実際の競技の上にも良い効果を期待出来るであろう。

