

高所順応トレーニングと登山活動および 脱順応過程の有氣的作業能に及ぼす影響

浅野 勝己

〔はじめに〕

高所滞在と登山活動により獲得された高所順応が、平地帰還後にどのような過程で脱順応するかについては十分に解明されていない。そこで本研究は低圧シミュレーターによる間欠的高所順応トレーニング、登山による高所滞在および下山後の有氣的作業能について明らかにし、とくに平地帰還後の脱順応の機序について検討したい。

〔方法〕

被検者は海外での登山経験を有し、最高到着高度6,096～8,000mの実績で12～25年の登山歴を誇る健康成人男子3人(30～41歳、平均年齢37歳)である。形態的には平均身長174.6cm、平均体重71.8kgおよび平均体脂肪11.5%の一般的成人男子の値を示している(表1)。

表1 パミール峰登山隊員の形態および登山歴

Physical characteristics and climbing history of subjects

Subjects (male)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	%Fat (%)	Climbing history	
					Duration (yrs)	Max. reached height (m)
H. G	30	173.9	69.9	11.4	12	6,638
Y. I	40	178.8	72.4	9.7	20	6,096
Y. W	41	167.7	70.8	11.2	25	8,000
Mean	37	174.6	71.8	11.5		
S. D.	6.1	5.1	1.3	0.9		

登山の目標は、旧ソ連のパミール高原のコルジェネフスカヤ峰(7,105m)およびコムニズム峰(7,495m)の2峰であり、1992年8月1日～20日の20日間を登山期間とした。

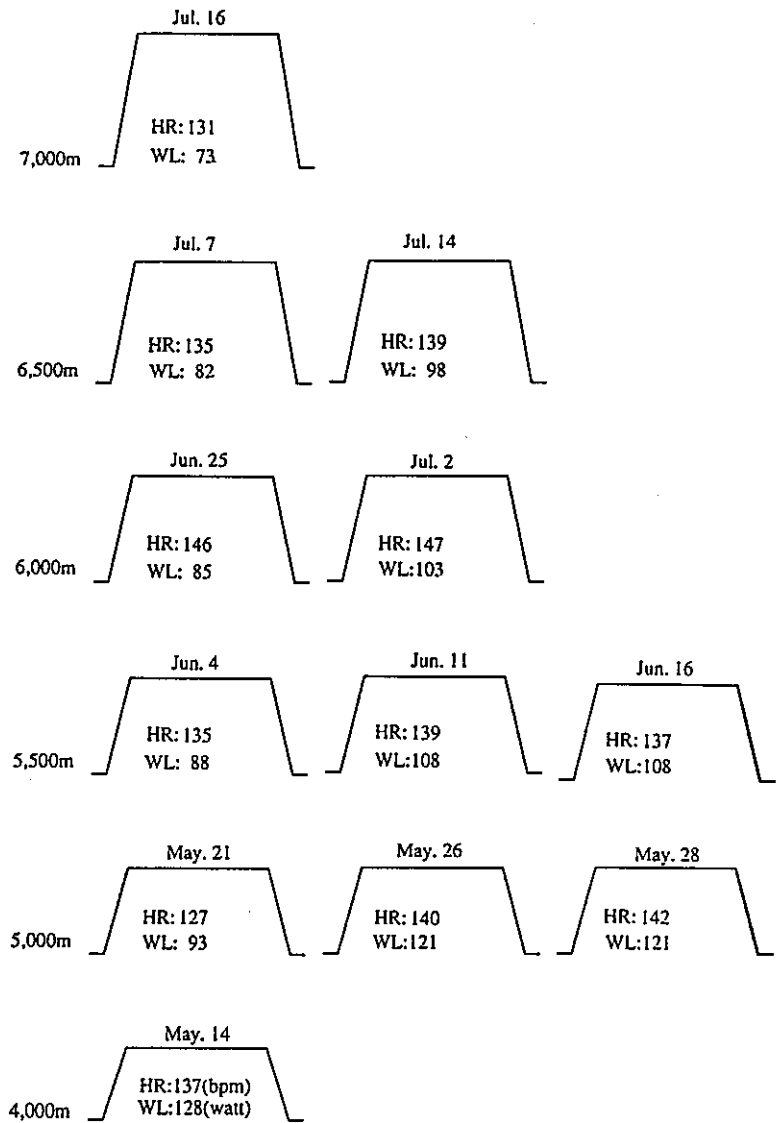
この遠征に先立ち5月より7月の3ヶ月間にわたり筑波大学低圧シミュレーターを週1回で12回実施した。すなわちトレーニング内容は、予測最大酸素摂取量の60～70%に相当する30分間のベダリン

3. 登山と運動生理

グ運動とし、滞在高度は初回の4,000mから暴露2～3回毎に500mずつ高度を上げ、最終回は7,000mにて行い各高度とも運動時心拍数は127～147拍/分、負荷強度73～128wattの水準にあった(図1)。さらに各高度での30分間の運動時生理的応答については5分毎に心拍数(HR)、動脈血酸素飽和度(SaO₂)および主観的運動強度(RPE)を測定した(図2)。

図3は高所順応トレーニングの前後および下山後の4,000mにおける最大下ペダリング運動テストの実施プロトコールを示している。すなわち下山後の脱順化過程を追跡検討するためBCより1週目、3週目、5週目、8週目、12週目および17週目の6時点について測定を行った。その各時点での4,000mにおけるペダリング運動テストの測定次目

は図4に示すとおりである。すなわち当高度の5分間安静時の最終1分間、さらに最大下運動負荷テスト(60, 70, および80% $\dot{V}O_{2max}$, 各4分の負荷漸増法)の各3段階負荷の3～4回目の運動中1分間について、動脈血酸素飽和度(SaO₂)、心拍数(HR)、血圧(収縮期血圧BPs, 拡張期血圧BPa)、血中乳酸(HLa)、換気量($\dot{V}E$)、呼吸数(Resp)、および主観的運動強度(RPE)を測定した。なお血液性状については常圧下安静時に測定した。



Exercise prescription of simulated high altitude training including time schedule, intensity(heart rate,work load) and frequency at each altitude.

図1 高所順応トレーニングの実施内容 (HR:心拍数, WL:運動負荷強度)(1992)

3. 登山と運動生理

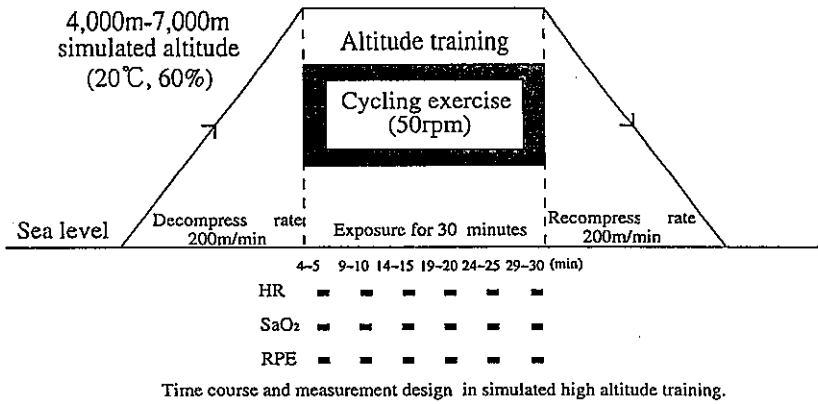


図2 高所順応トレーニング(4,000~7,000m)時のプロトコールと測定項目(HR:心拍数, SaO₂:動脈血酸素飽和度, RPE:主観的運動強度)

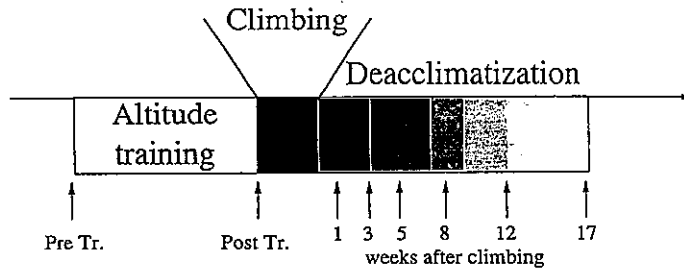


図3 高所順応トレーニング前後および下山後の4,000mにおけるペダリング運動テストの測定時期プロトコール
(Pre Tr: 5月7日, Post Tr: 7月21日, 下山後 8月27日(BCより1週目), 9月10日(3週目), 9月24日(5週目), 10月15日(8週目), 11月12日(12週目), 12月17日(17週目))

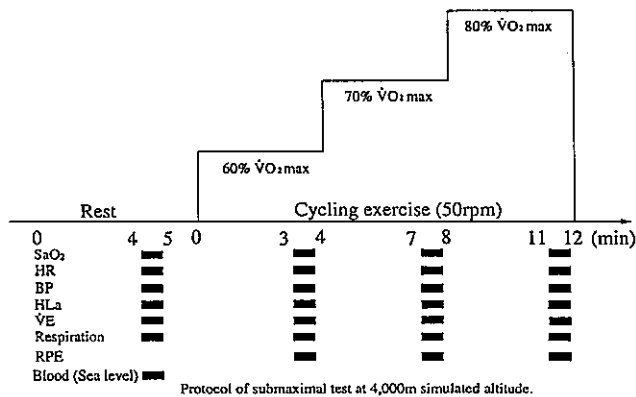


図4 高所順応トレーニングの前後および下山後の4,000mにおける12分間ペダリング運動テストのプロトコールと測定項目

3. 登山と運動生理

【結果と考察】

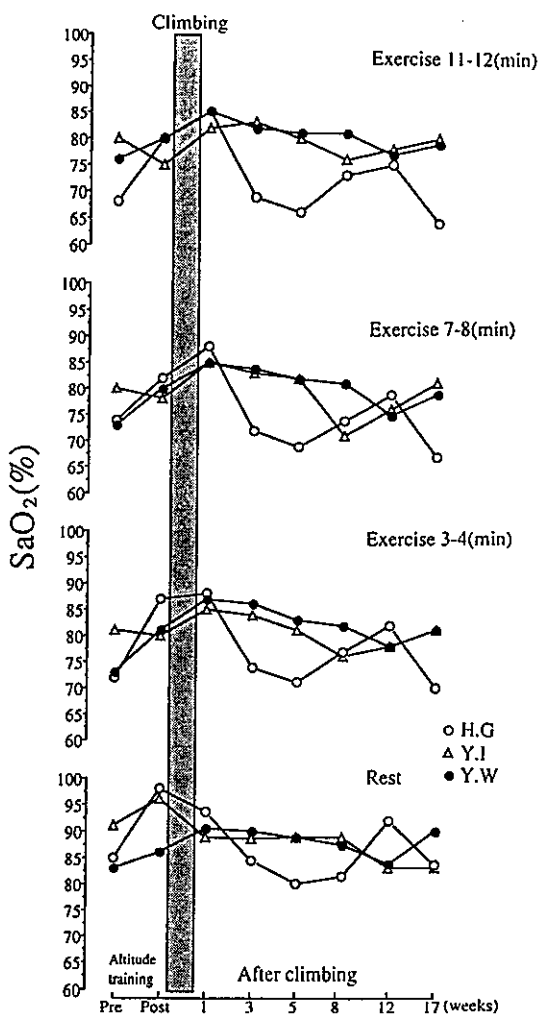
1. 4,000mにおける運動時の動脈血酸素飽和度

(SaO₂)

運動時のSaO₂は、トレーニング後にY. Iを除く2人は上昇を示したが下山後では全員5~10%上昇した。一方、下山後3~5週目にH. Gは急減を示しトレーニング前の水準に脱順化した。Y. WおよびY. Iは比較的高値(75~80%)を約8週~12週目まで維持している(図5)。図6に示すように20日間の登山活動中のSaO₂変化では、高度上昇に伴うSaO₂の低下率は常にH. Gが高く、下山による増加率は低い傾向にある。しかも急性高山病(AMS)スコアではH. Gが1~5の高得点を示し、ほぼ0点にある他の2人に比べAMS症状が顕著であった。さらに図7に示すように常圧下の血液性状においてもH. Gでは他の2人に比べ血色素(Hb)で2~3 g/dl, 血球容積比(Hct)で3~5%低値であり、血液の酸素運搬能力に改善を要する面があったとも考えられる。一方、とくにY. Wはトレーニング後に赤血球(RBC)は約60万/mm³, Hbは約1.5 g/dl, さらにHctは約4%の増加を示し、下山後とはほぼ同等の高値を約12週目まで維持しており、図5の4,000mにおける運動時SaO₂の高値を示し得た背後と考えられる。また登山活動中のSaO₂が常に高値を示す傾向にありAMS症状が皆無であったことは、H. Gと全く対照的である。

2. 4,000mにおける運動時の心拍数(HR)

下山後1~5週目の運動時のHRは、Y. WおよびY. Iにおいてトレーニング前より約10拍/分の低減を示し約12週目に元の値に戻っている。一方、H. Gでは下山後の低減は認められず、トレーニング前とほぼ同値を示した(図8)。このようなY. WおよびY. I両者の下山後の運動時HRの低減は、約3週間の登山活動による心臓の交感神経緊張の抑制に起因するものと考えられる。しかもこのような高所順応性は、下山後約3ヶ月間維持されていることが明らかにされた。一方、高所順応性が十分獲



Changes in arterial oxygen saturation (SaO₂) before and after altitude training and after climbing.

図5 トレーニング前後および下山後の4,000mにおけるベタリング運動テスト時の動脈血酸素飽和度(SaO₂)の個人別変化

3. 登山と運動生理

得されない場合には、心臓の交感神経緊張抑制が得られにくいものと思われる。

3. 4,000mにおける運動時の収縮期血圧 (BPs)

下山後1~5週目の運動時のBPsは、3人とも低減傾向にあり、トレーニング前より平均20~40mmHg低下し8~12週目で元の値に戻っている(図9)。すなわち約3週間の登山活動が血管への交感神経抑制を亢進させ、とくにノルアドレナリン分泌の低減をもたらしたものと考えられる。

4. 4,000mにおける運動時のダブルプロダクト (PRP)

下山後1~5週目の運動時ダブルプロダクト(心拍数×収縮期血圧, PRP)は、3人とも約30%の低減を示し8~12週目にトレーニング前値に戻っている(図10)。この運動時PRPの低減は、一定強度の運動時の心筋酸素消費の低下を示し、心筋予備量の向上と効率化を示唆している。トレーニング後に著しい低減を示したY.Wは、下山後も低値傾向にあり、下山後17週目においてもトレーニング前値よりも低値であることは注目に値する。

5. 4,000mにおける運動時の換気量 ($\dot{V}E$)

運動時 $\dot{V}E$ ではトレーニング後および下山後約3週目にわたり増加傾向を示したY.W以外は、すべてほぼ一定値であった。トレーニング後の約10ℓ/分の増加および下山直後のさらに約10ℓ/分の増加は、Y.Wの顕著な特性であり、高所耐性がとくに優れていたこと背景を示唆している。

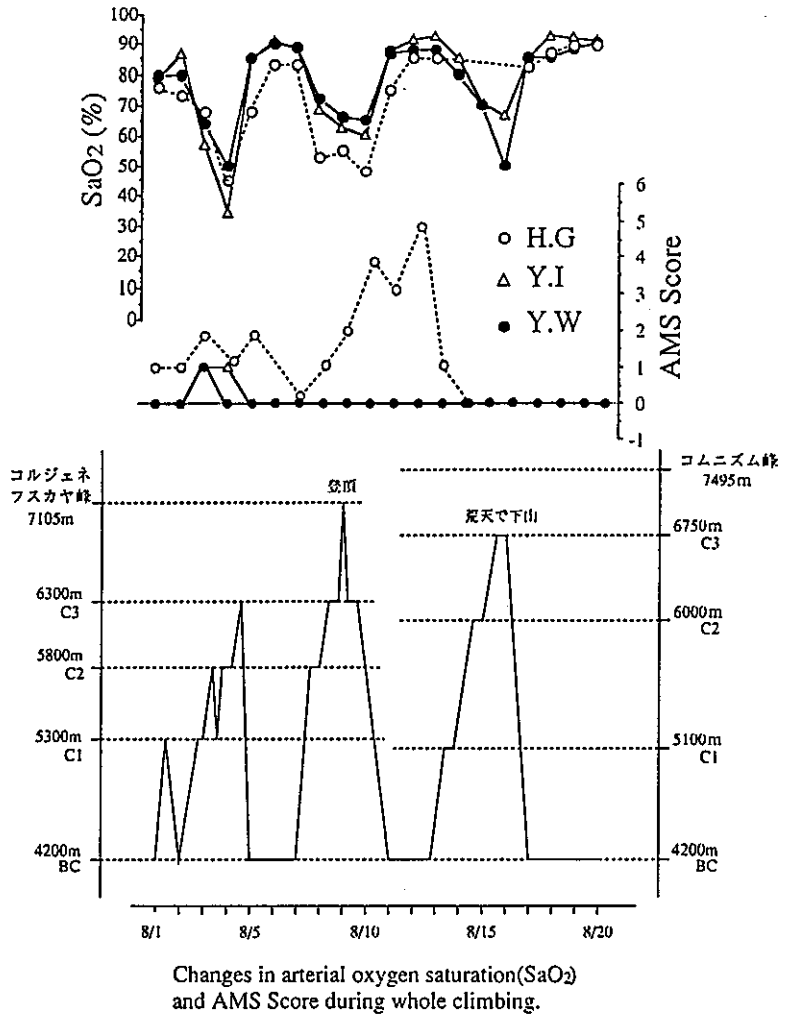
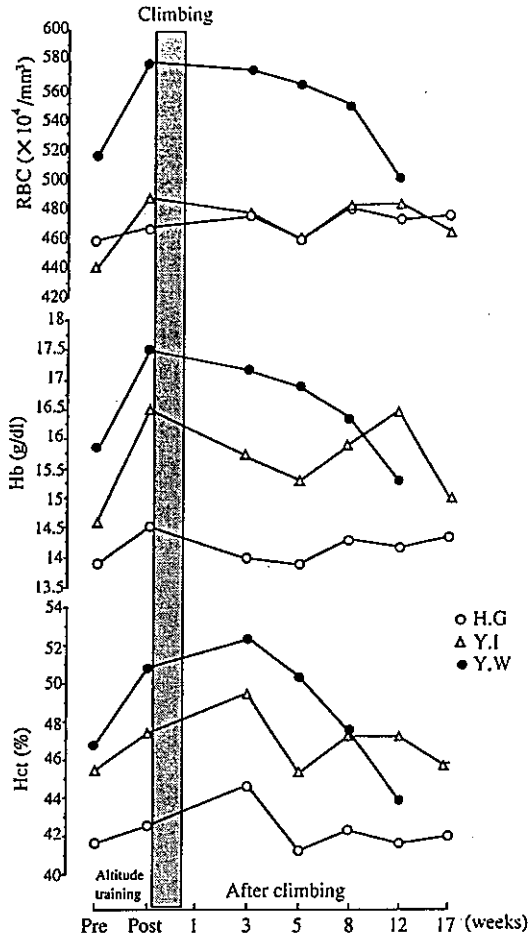


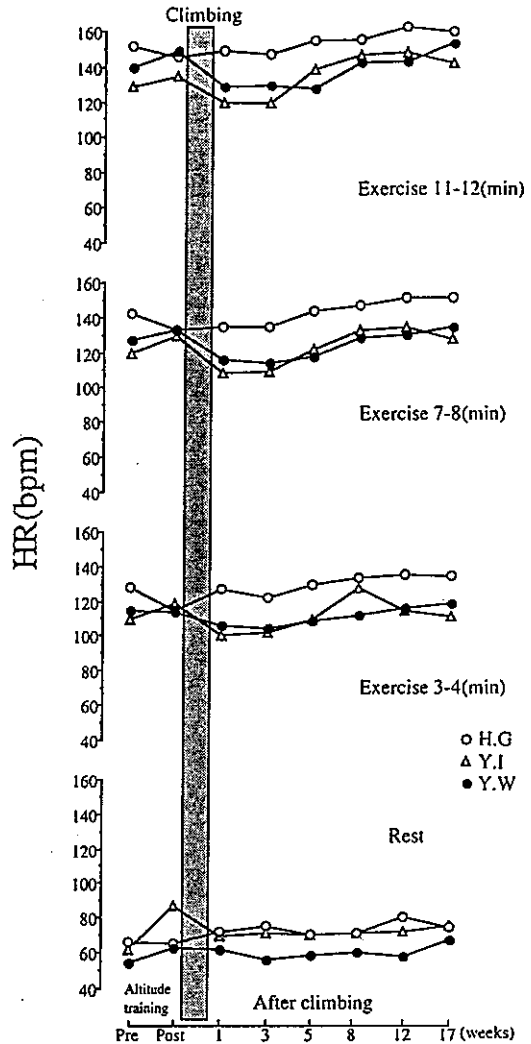
図6 登山活動中の動脈血酸素飽和度 (SaO_2) および急性高山病 (AMS) スコアの個人別変化

3. 登山と運動生理



Changes in RBC, Hb and Hct before and after altitude training and after climbing at sea level.

図7 トレーニング前後および下山後の常圧下における血液性状の個人別変化



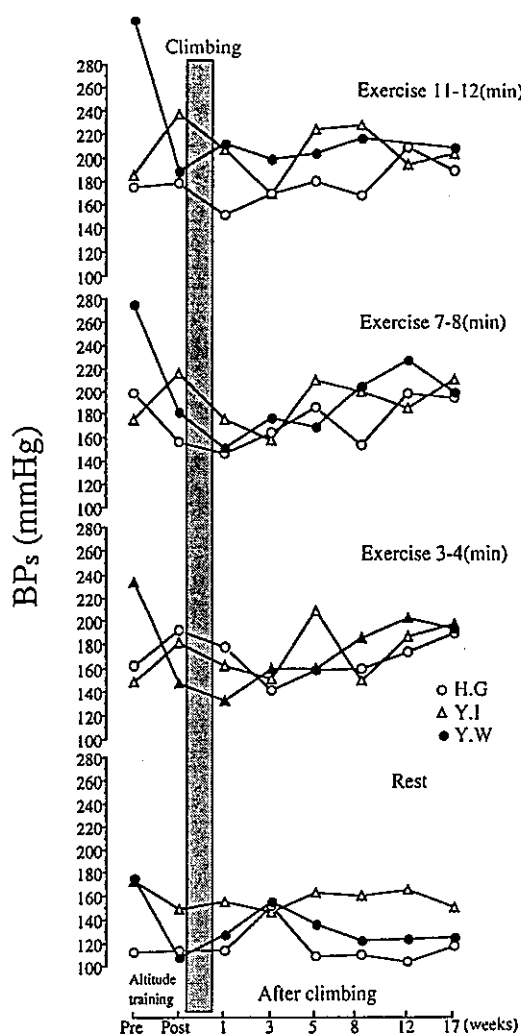
Changes in heart rate (HR) before and after altitude training and after climbing

図8 トレーニング前後および下山後の4,000mにおけるベダリング運動テスト時の心拍数(HR)の個人別変化

要約

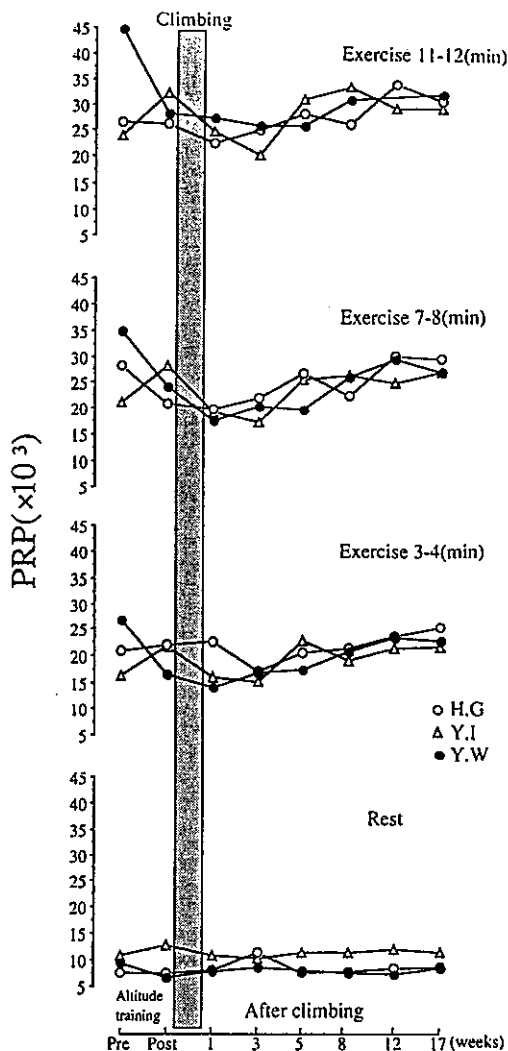
パミール峰登山隊員(平均37歳)の健常男子3人について、約3ヶ月間にわたり4,000~7,000m相当高度での1回30分間のベダリング運動を週1回で計12回継続する高所順応トレーニングを実施し、その後の約1ヶ月間の登山活動後、約半年間脱順応過程について4,000m相当高度における12分間の最大下ベダリング運動時生理的応答を追跡検討した。すなわちトレーニング後の運動時動脈血酸素飽和度(SaO_2)は増加傾向を示し下山後1週目にはさらに増加しその後低減した。この傾向は赤血球

3. 登山と運動生理



Changes in systolic blood pressure (BPs) before and after altitude training and after climbing.

図9 トレーニング前後および下山後の4,000 mにおけるペダリング運動テスト時の収縮期血圧 (BPs) の個人別変化

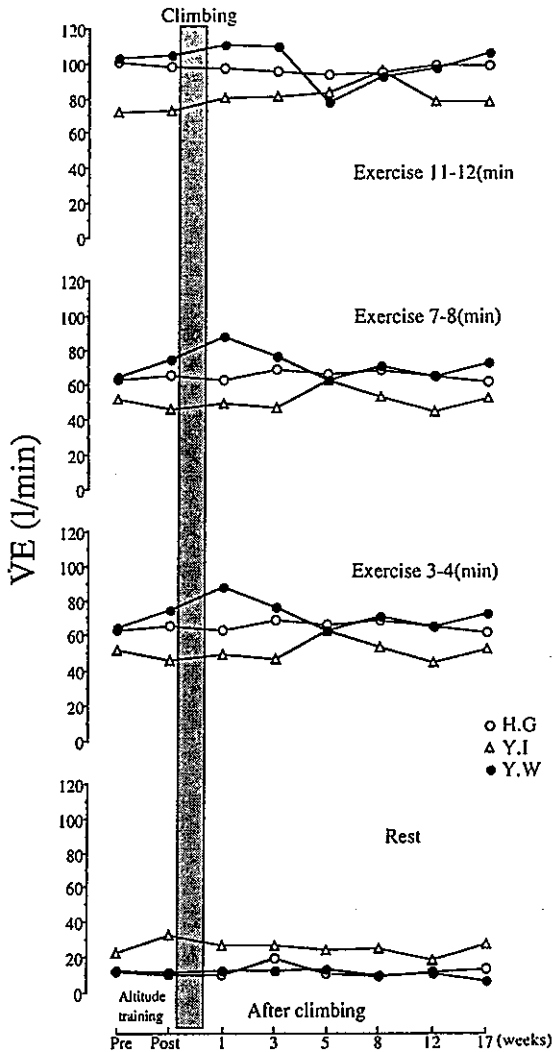


Changes in pressure rate product (PRP) before and after altitude training and after climbing.

図10 トレーニング前後および下山後の4,000 mにおけるペダリング運動テスト時のダブルプロダクト (PRP) の個人別変化

(RBC), 血色素 (Hb) および血球容積比 (HCT) の応答と対応していることが明らかになった。さらに登山時の高所耐性と SaO_2 水準に高い相関のあることが認められた。下山後の高い SaO_2 水準は脱順応の早い人では約3週, 比較的遅い人では12週まで保持されることが明らかにされた (表2)。その他の運動時心拍数 (HR), 収縮期血圧 (BPs) および両者の積であるダブルプロダクト (PRP) などについても, 他の項目と同様に約3ヶ月間で脱順応することが確認された。

3. 登山と運動生理



Changes in pulmonary ventilation($\dot{V}E$) before and after altitude training and after climbing.

図11 トレーニング前後および下山後の4,000mにおけるペダリング運動テスト時の換気量 ($\dot{V}E$) の個人別変化

表2 登山活動後の各生理的指標の脱順応応答特性

	脱順応 早いタイプ weeks	脱順応 遅いタイプ weeks
SaO ₂	3	12
$\dot{V}E$	—	5
HR	5	12
RBC	5	12
Hb	3	12
BPs	3	8
PRP	3	12

謝 辞

本研究に長期間にわたりご協力いただきました栃木高体連1992年パミール峰登山隊の渡辺, 石沢および後藤の各隊員に哀心より感謝申し上げます。

(筑波大学教授)