

富士山頂短期滞在時の安静および運動時生理的応答 (第2報)

浅野 勝己・水野 康*・菊池 祐二**
菊池 和夫***・松坂 晃****

Physiological responses at rest and during work on the top of Mt. Fuji for 4 days sojourn (2nd report)

Katsumi ASANO, Kou MIZUNO*, Yuji KIKUCHI**, Kazuo KIKUCHI***
and Akira MATSUZAKA****

The purpose of this study is to elucidate the cardiac functions at rest and during work on the Mt. Fuji. Subjects were eight male in aged 23 to 51. For submaximal test, pedalling on Monark ergometer (50 rpm) at the mean load of 75 watt, 113 watt and 138 watt were successively performed for 4 min respectively. These aerobic work capacity and cardiopulmonary function were performed at sea level before and after climbing and on the Mt. Fuji. Results were summarized as follows:

- 1) Resting maximum venous outflow (MVO) in forearm at Mt. Fuji showed a significant decrease of approximately 60-70% compared to the value of sea level.
- 2) SaO_2 during submaximal work on the Mt. Fuji showed a decrease of approximately 22% compared to the values of sea level.
- 3) Heart rate during submaximal work on the Mt. Fuji showed approximately 20 beats/min higher than the values of sea level before climbing, and those values of sea level after climbing showed 20 beats/min lower than the before climbing.
- 4) Cardiac output during submaximal work on the Mt. Fuji showed approximately 20% higher than the values of sea level before climbing. Those values of sea level after climbing showed 20% higher than the before climbing.
- 5) PWC_{170} and $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ estimated by Åstrand nomogram showed a tendency of decrease 20-27% compared to the values of sea level before climbing and those values of sea level after climbing showed an increase of 12-16% compared to the values of sea level before climbing, respectively. From these results, it might be concluded that 4 days sojourn at 3,776m altitude stimulate the sympathetic tone in cardiopulmonary function at rest and during work for compensation of decrease of SaO_2 and $a-\bar{v} \text{O}_2$ difference in the tissues.

Key words : Hypobaric hypoxia, O_2 saturation of arterial blood, Maximum venous outflow, Stroke volume during work

*筑波大学大学院体育科学研究科

**筑波大学基礎医学系

***九州芸術工科大学

****茨城大学教養部

I. はじめに

低圧低酸素環境下における安静および運動時の生理的応答および機序に関する研究は、低圧シミュレーターを用いる方法^(3,4)と現地の高所滞在により行う方法の両者が用いられてきている。前者は人工的に温度、湿度および高度の設定が可能であるが、長期間にわたる測定が行えないという時間的制約やチェンバー内という空間的制限などにおいて、後者の自然な高所低圧環境下の研究には及ばないのである。

欧米には標高4,000m級の山頂に高所医学研究所が設置され、高所順応過程や高所トレーニングに関する研究が系統的に進められている^(8,9,13,16)。

しかしわが国には4,000m級の高所における研究所は設けられていない。そこで前回(1986年)⁽⁴⁾に続いて日本最高峰富士山の頂上(剣ヶ峰)に位置する気象庁富士山測候所に4日間滞在し、この間の安静および運動時の生理的応答および機序を検討しようとするものである。

富士山頂は標高3,776mで、気圧は平地の約60%の480 Torrを示すため肺胞O₂分圧(P_AO₂)は約60Torrに低減している。これは平地で約12%の低濃度O₂ガスを吸入している状態に相当しているため、血中O₂含量の低下に伴い動脈血O₂飽和度(S_aO₂)は平地の値に対し約10%の低減を示している。このような低圧低酸素環境における呼吸循環機能および動脈血O₂飽和度について安静および運動時応答特性の面から、登山前、山頂および登山後について比較検討することを目的とし

た。

II. 方法

1) 被検者: 23~51歳(平均34歳)の定期的トレーニングを行っていない健康男子8人である(Table 1)。そのうち4人については運動負荷テストおよび早朝安静時の各測定を行い、残りの4人については早朝安静時(椅座位)の最大静脈還流量のみ測定した。

2) 運動負荷法および環境条件: モナーク社製エルゴメーターを用い12分間のペダリング(50rpm)を行った。負荷強度は4分間毎の負荷漸増法により、運動開始後4分間は平均75.0 watt(3~4分目で心拍数100~120拍/分)、次の4分間は平均112.5 watt(7~8分目で心拍数120~140拍/分)、最後の4分間は平均137.5 watt(11~12分目で140~160拍/分)の各負荷を設定した(Fig 1)。なお、これらの負荷強度は、登山前、山頂および下山後とも同一強度に設定した。このエルゴメーターを登山前および下山後に体育科学系環境制御装置(61m³容量、島津製作所製)を用い常圧、温度21℃、湿度60%の環境条件で行った。また山頂では測候所内仮設庁舎を用い平均気圧484.0±2.4Torr, 21℃, 50%の低圧環境において実施した。

山頂へは1987年8月2日午前10時に新5合目(海拔約2,500m)より徒歩で登頂(所要時間: 約4~5時間)し、山頂には3泊4日間にわたり滞在した。安静時について経日的に早朝測定したが、運動負荷テストは、山頂滞在2日目に行い、

Table 1 Physical characteristics of subjects and work load at three stages

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Load (watt)		
T.I.	23	167.0	62.7	100.0	137.5	162.5
K.M.	23	176.0	65.9	100.0	125.0	150.0
S.S.	27	175.0	74.6	50.0	100.0	125.0
N.K.	33	168.0	59.3	50.0	87.5	112.5
K.K.	34	170.2	74.3	-	-	-
Y.K.	40	170.4	63.7	-	-	-
N.O.	45	169.0	66.4	-	-	-
K.A.	51	168.0	68.0	-	-	-
Mean	34.5	169.3	66.9	75.0	112.5	137.5
S.D.	10.3	5.0	5.4	28.9	22.8	22.8

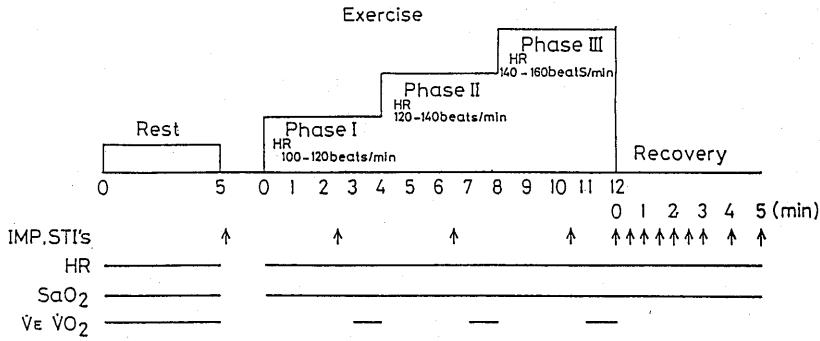


Fig.1 Protocol of the experiment.

下山後は下山の翌日に実施した。

3) 測定方法:

(1) 動脈血 O₂飽和度 (SaO₂): Biox III (Biox Technology 社製) を用い、クリップ状の光学プローブを被検者の耳介に装着し、デジタルに表示される値を全過程にわたり 1 分毎に記録測定した。

(2) 換気量 (V_E), 呼吸数 (RR) および一回換気量 (V_T): ダグラスバッグ法により安静時は 5 分間、運動時は 3~4 分、7~8 分および 11~12 分目に採気し、V_E を求めた。RR はマウスピース内に装着したサーミスターにより測定し、V_E と RR から V_T を算出した。

(3) 心拍数 (HR), 一回拍出量 (SV) および心拍出量 (Q): IFM 社製 Impedance cardiograph (Model 400) を用い、インピーダンス法⁽¹⁸⁾により HR, SV を測定し、両者の積より Q を算出した。HR は全経過について測定し、SV は安静時と運動時の 2 分 30 秒、6 分 30 秒、10 分 30 秒さらに運動直後より回復 3 分までの 30 秒毎、回復 4 分および 5 分について測定した。

(4) 左室収縮時相 (STI's): 心機図法により SV 測定と同期して行い、全電気的機械的収縮期 (QS₂), 左室駆出時間 (LVET), 前駆出期 (PEP) および PEP/LVET 比を安静時、運動時および回復時について求めた。

(5) PWC₁₇₀ および推定 V̇O₂max: 運動時各 3 段階負荷の最終 1 分目の各心拍数と各運動強度から最小自乗法による回帰式を求め、心拍数 170 拍/分時の運動強度 (PWC₁₇₀) を算出した。またこの心拍数と運動強度を Åstrand nomogram (5) に代入して推定 V̇O₂max を求めた。

(6) 主観的運動強度 (RPE): Borg の方法により運動中 1 分毎に主観的運動強度を聴取した。

(7) 早朝安静時の経日的測定: SaO₂, V_E, RR, V_T, HR, SV, および Q を前述の方法で早朝安静時に測定し、さらに最大静脈流出量をストレンゲージ・プレチスモグラフ (MEDA, SONICS 社製, SPG-16) を用いた venous occlusion plethysmography 法により測定した。すなわち上腕部をマンシエットによりカフ圧 50mmHg を加え、その後次第に除圧しつつ、前腕中間部に巻いたストレンゲージ (SG-33) により前腕静脈の最大静脈流出量 (maximum venous outflow, MVO) を計測した。

4) 統計処理:

各測定値の登山前値と富士山頂および下山後の値に対し paired t-test を行い、危険率 5% をもって有意水準とした。

III. 結果

1) 早朝安静時の経日的変化

(1) V_E, RR および V_T: 登山前、山頂滞在中および下山後の早朝安静時 V_E, RR および V_T の変化を図 2 に示した。登山前と比較して安静時 V_E は滞在 2 日目および下山後にやや増大する傾向にあるが、大きな変化は認められない。また、滞在 1 日目に RR の増加および V_T の減少傾向が認められ、その後、V_T は経日的に増大する傾向を示した (Fig. 2)。

(2) HR, SV および Q: 登山前、山頂滞在中および下山後の早朝安静時 HR, SV および Q の変化を図 3 に示した。HR は登山前から滞在中

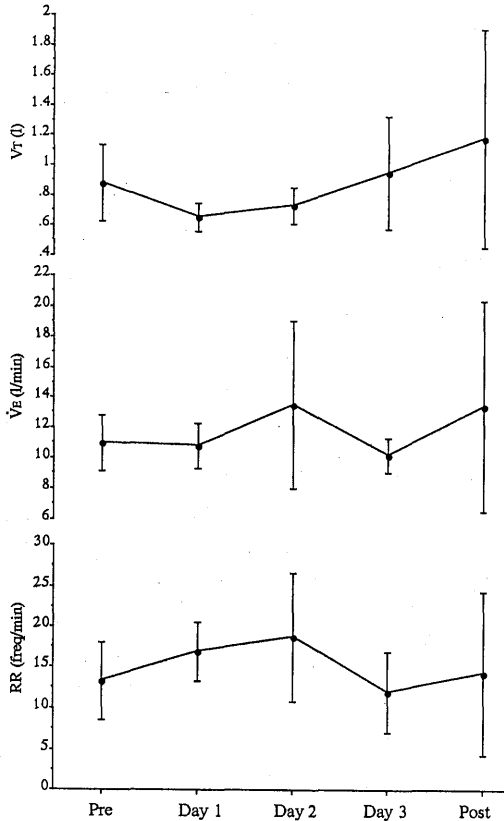


Fig.2 Changes in resting pulmonary function at sea level and Mt.Fuji.

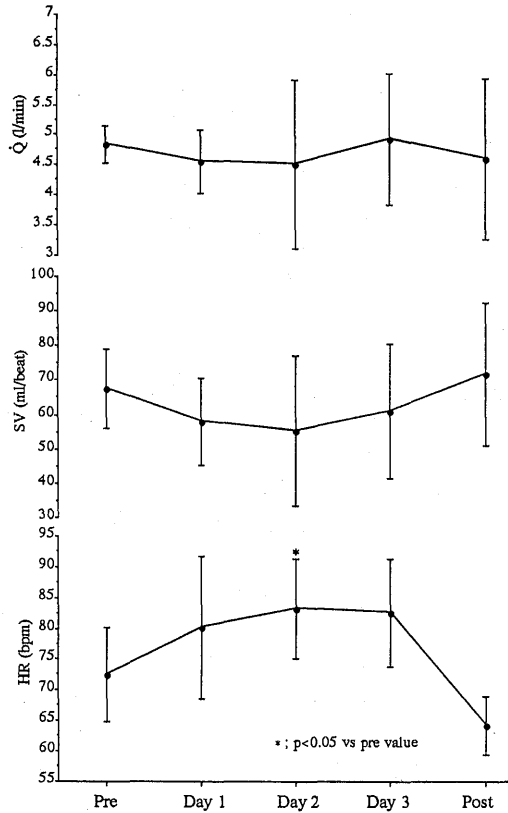


Fig.3 Changes in resting cardiac function at sea level and Mt.Fuji.

1日目に於て平均約8拍/分増加し、第2日目には登山前に対し5%水準の有意な増加となった。山頂滞在中、早朝安静時HRはほぼ一定値を示し、下山後には低下して登山前より平均約10拍/分の低値となった。SVは山頂滞在中、登山前より低値傾向を示し、滞在2日目に18%の減少傾向にあり下山後にはほぼ登山前値に回復した。またQも登山前より山頂滞在中に低値傾向を示し、滞在2日目に約8%の減少傾向にあり、下山後に回復傾向を示した (Fig. 3)。

(3) SaO₂ : SaO₂は滞在1日目に最低の平均約80%となり、滞在2日目および3日目にはやや増加した。また、滞在中の安静時SaO₂は、登山前より全て5%水準で有意に低かった。(Fig. 4)。

(4) MVO : 登山前、山頂滞在中および下山

後の早朝安静時MVOの変化 Fig. 4 および表2に示す。MVOは滞在1日目に約70%低下し、以後経日的に徐々に増大するが下山後も登山前より約30%低い値であった。また登山前に対し、滞在1日目および2日目では5%水準、滞在3日目および下山後では1%水準の各有意な低下を示した。

2) 登山前、富士山頂および下山後における運動時生理的応答の変化

(1) SaO₂ およびHR : 3回にわたる安静時、運動時および回復5分間のSaO₂とHRの変化を Fig. 5 と Fig. 6 に示した。登山前および下山後のSaO₂は安静時、運動時および回復時ともほぼ同値の95~97%を維持している。一方、山頂においては安静時の平均83%から運動開始とともに徐々に低減し、12分目には最低値の平均78%に達している。運動後2分で急激に回復し、

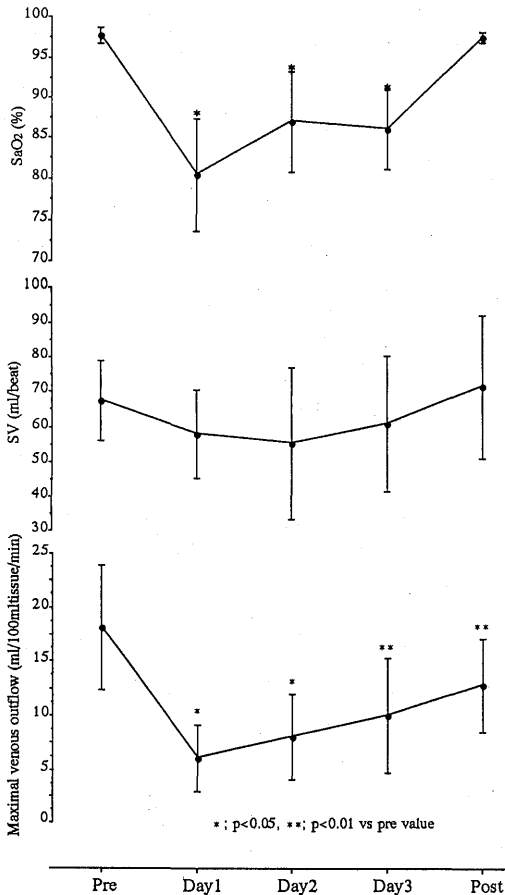


Fig.4 Changes in resting SaO₂, stroke volume and maximum venous outflow in forearm at sea level and Mt.Fuji.

運動前値を上回る平均88%を示した。山頂での全過程における SaO₂ は、登山前および下山後の各値に対し有意に低値であった (p<0.05, p<0.01)。HR は、山頂において運動中から回復にかけて登山前よりも約20拍/分の高値を示し、安静値、運動1分目および回復2分目を除いて有意差を認めた (p<0.05, p<0.01)。下山後には低下し、登山前よりも約20~25拍/分の低値となり、安静値、回復2分目および5分目を除き有意差が認められた。

(2) V_E, RR および V_T: 登山前、山頂および下山後の安静および運動時 V_E, RR および V_T の比較を Fig. 7 に示した。V_E は安静時で各3回ともほぼ同値の平均約15ℓ/分を示した。

一方運動時では山頂で最高値を示し、11~12分目では平均約120ℓ/分に達している。これは登山前より約40ℓ/分多く、約50%の増加傾向を示した。また山頂における7~8分目の V_E において登山前に対して5%水準で有意差が認められた。下山後に各運動負荷時とも減少傾向を示し、11~12分目では平均約65ℓ/分であり山頂に比べ約50%低減している。次にRRは、安静値では各3回ともほぼ同値であるが、山頂において負荷強度の増大に伴い増加する傾向となり、11~12分目では登山前より約10回多い平均47.8回/分となった。V_T は、安静時では登山前に対して山頂で減少、下山後に増大する傾向となった。運動時では登山前と下山後の間には明らかな相違は認められないが、山頂において増大し、運動7~8分目および11~12分目において登山前に対する有意差が認められた (p<0.05)。

(3) HR, SV および Q: 登山前、山頂および下山後の安静時、運動時および回復時の HR, SV および Q の結果を Fig. 8 に示した。HR は前述の通り、運動時から回復時にかけて山頂において約20拍/分増加し、下山後には登山前より約20拍/分低い値となっている。SV は、安静時では山頂において登山前より約10 ml/拍低値傾向にあるが、運動時から回復時にかけては若干増大傾向を示すものの明らかな相違は認められない。また下山後のSVは、ほぼ登山前値と同様な値を示している。Q は安静時では各3回の測定値はほぼ同値を示すが、運動時および回復時には山頂でおよそ2~3ℓ/分増大する傾向となり、運動6.5分目 (p<0.01)、回復1分目 (p<0.05) および1.5分目 (p<0.01) で有意差が認められた。下山後の運動時および回復時 Q は、登山前値よりも低減する傾向となり、運動10.5分目において平均10.39ℓ/分で登山前よりも2.83ℓ/分、約20%の低減を示した。

(4) STI's: 各3回の実験における安静、運動および回復時における PEP/LVET 比を Fig. 9 に示した。安静時では登山前と山頂がほぼ同値の平均約0.52であり、下山後が約0.447と登山前に対する有意な低下が認められた (p<0.05)。運動時および回復時には PEP/LVET 比は低下するが、運動6.5分目から回復1.5分目まで山頂と下山後がほぼ同値となり、登山前に対

Table 2 Mean and individual values in resting stroke volume and maximum venous outflow (MVO) at sea level and Mt.Fuji

Subject	SV(ml/beat)					MVO(ml/100ml tissue/min)				
	Pre	Day1	Day2	Day3	Post	Pre	Day1	Day2	Day3	Post
T.I.	70.4	74.4	87.1	85.7	82.5	14.8	4.0	8.7	7.5	15.2
K.M.	82.3	59.8	48.6	51.1	84.6	17.7	9.9	2.7	5.5	12.0
S.S.	56.5	45.3	37.5	41.3	40.7	13.1	8.8	15.5	20.6	15.5
N.K.	60.8	51.8	48.2	66.0	78.9	17.5	4.9	7.9	7.9	8.9
K.K.	-	-	-	-	-	13.1	10.2	8.8	10.2	12.3
Y.K.	-	-	-	-	-	14.4	3.7	4.2	5.3	6.3
N.O.	-	-	-	-	-	28.0	4.5	10.4	7.8	20.4
K.A.	-	-	-	-	-	26.1	2.3	6.0	15.1	12.0
Mean	67.5	57.8	55.4	61.0	71.7	18.1	6.0	8.0	10.0	12.8
S.D.	11.5	12.5	21.8	19.3	20.8	5.8	3.1	4.0	5.3	4.3

Table 3 Changes in cardiopulmonary function during submaximal work and aerobic work capacity at sea level and Mt.Fuji

	SaO ₂	RR	V _T	VE	HR	SV	Q	PEP/LVET	PWC ₁₇₀ Predicted V̇O ₂ max
Pre/Mt.Fuji	↓↓	↑↑	→	↑↑	↑	↑	↑	↓	↓
Mt.Fuji/Post	↑↑	↓↓	→	↓↓	↓↓	→	↓	→	↑

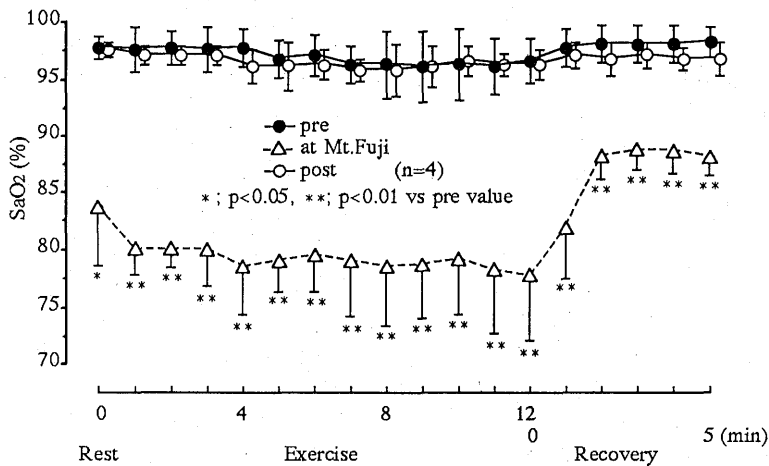


Fig.5 Changes in SaO₂ at rest, during exercise and recovery in sea level and Mt.Fuji.

して低値傾向を示した。回復2分目以後には下山後の値が登山前と山頂との中間値をとる傾向となり、回復5分目には登山前、山頂および下山後の平均値がそれぞれ0.489, 0.393, 0.443となった。なお回復2.5分目以後、山頂値の登

山前値に対する有意な低下が認められた (p < 0.05)。

(5) RPE: 登山前, 山頂および下山後の運動時RPEをFig.10に示す。RPEは富士山頂で最高値を示し、運動12分目には平均17(かなりき

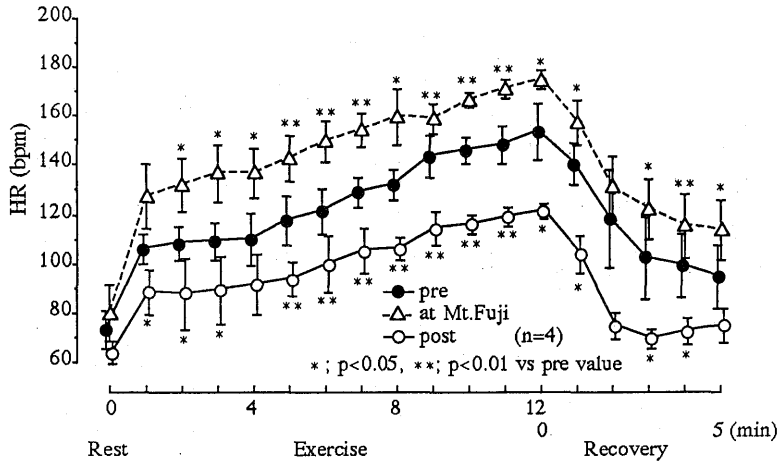


Fig.6 Changes in HR at rest, during exercise and recovery in sea level and Mt.Fuji.

つ) となった。また運動5分目以後、登山前に対する有意差が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。下山後には、運動2~4分目で登山前よりやや低下する傾向が認められるが、それ以外は登山前とほぼ同値であった。

(6) PWC₁₇₀ および推定 $\dot{V}O_{2max}$: PWC₁₇₀ は登山前の平均 163.4watt が山頂では平均 130.8watt と約20%の減少傾向を示し、下山後には平均236.4watt となり山頂より81%、登山前より45%の有意な増大 ($p < 0.05$) を示している (Fig. 10)。次に運動負荷強度と心拍数を Åstrand nomogram に代入して得られた推定 $\dot{V}O_{2max}$ 値を比較すると、登山前の平均3.0l/分が、山頂で平均2.2l/分と27%の減少傾向となり、下山後では平均4.0l/分で登山前より35%の有意な増大を示している ($p < 0.05$) (Fig. 11)。

IV. 考 察

山頂到着後2日目にかけて安静時の呼吸数 (RR) および換気量 (\dot{V}_E) は、各20~30%の増加傾向を示している。これは PaO₂ 低下による末梢化学受容器 (頸動脈体、大動脈体) への刺激が呼吸中枢を刺激したものと考えられる。しかし、滞在3日目には減少傾向にあり平地とほぼ同等の値を示している。これは480Torrの低圧低酸素環境への安静時呼吸系の順応が得られたものと考えられる。

次に、安静時の心拍数 (HR)、一回拍出量 (SV) および心拍出量 (Q) の経日的変化では、山頂到着後HRが1日目より2~3日にかけて、8~10拍/分の増加を示しているが、SVは逆に約10ml/拍の減少傾向にある。またSVの減少傾向が比較的大きいため、Qもやや低減する傾向を示している。

今回は登頂第1日目には SaO₂ は約80%に急減し、その後2~3日目に約85%に回復している。このような SaO₂ の低下傾向と SV の減少がほぼ対応しており、しかも MVO の動態もこれに対応し、第1日目に急減し2~3日目も約30%低減する傾向を示している。なお SaO₂ 低下と SV 減少の対応関係については、SV の減少による血中 O₂ 含量の低減が、SaO₂ の低下をもたらし得ると考えられる。

SV の低下傾向については、Alexander⁽⁶⁾ が 3,100 m の高地に10日間滞在中に左室拡張終期容量および血漿量の低減を示したことから、静脈還流量の低下に起因することが考えられる。また、これに対応する MVO の低減は、末梢血流量の低下を示唆し、静脈還流量低減および Q の低減傾向の誘因になっているものと思われる。

すなわち、ノルエピネフリン誘出による末梢血管収縮が血管抵抗を高め、これにより血流量の低下を誘起したものと考えられる。一方、MVO は2~3日目の滞在延長にともない次第に回復傾向を示し、一回拍出量の回復傾向と同期しているこ

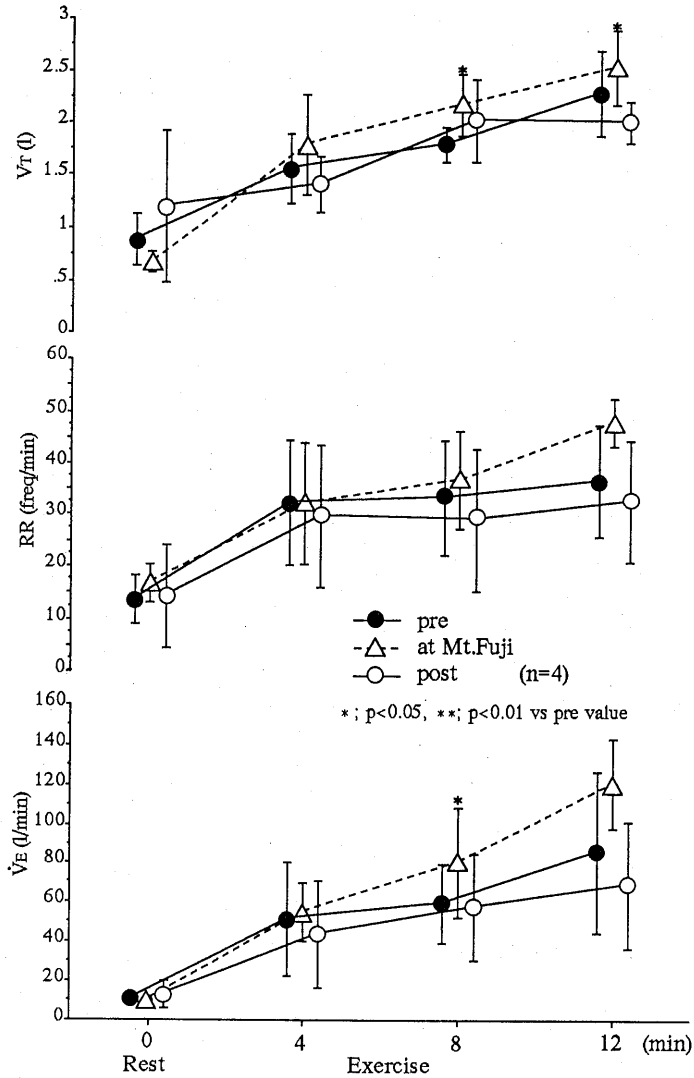


Fig.7 Changes in pulmonary function at rest and during exercise in sea level and Mt.Fuji.

とが注目される。また山頂滞在における低圧低酸素刺激が容量血管である静脈の拡張を誘起し、MVOを低減させてSVおよびQの減少とそれに伴う末梢抵抗の増大をもたらすことも考えられる。しかし、この機序については十分に解明されていない。

次に、山頂における安静および運動時心拍数応答は、登山前の値に対し安静時で10拍/分高値にあり、また全運動時間にわたり約20拍/分の高値 (Fig. 6) を示している。このような低圧低酸素

下における安静および最大下運動時の心拍数高進の機序については、いくつかの提説がある。すなわち、 PaO_2 の低下により末梢受容器への刺激が循環中枢を賦活するとみるもの^(1,15)、また心筋壁のstretch receptorへの刺激によるもの⁽¹⁷⁾、さらに PaO_2 低下が交感神経系を高進し、血中カテコラミン水準を上昇するためとするCunningham *et al.*⁽¹²⁾の仮説もある。一方、下山後の運動時心拍数は山頂よりも全過程で約20拍/分低値を示している。これは低い PaO_2 の刺激の

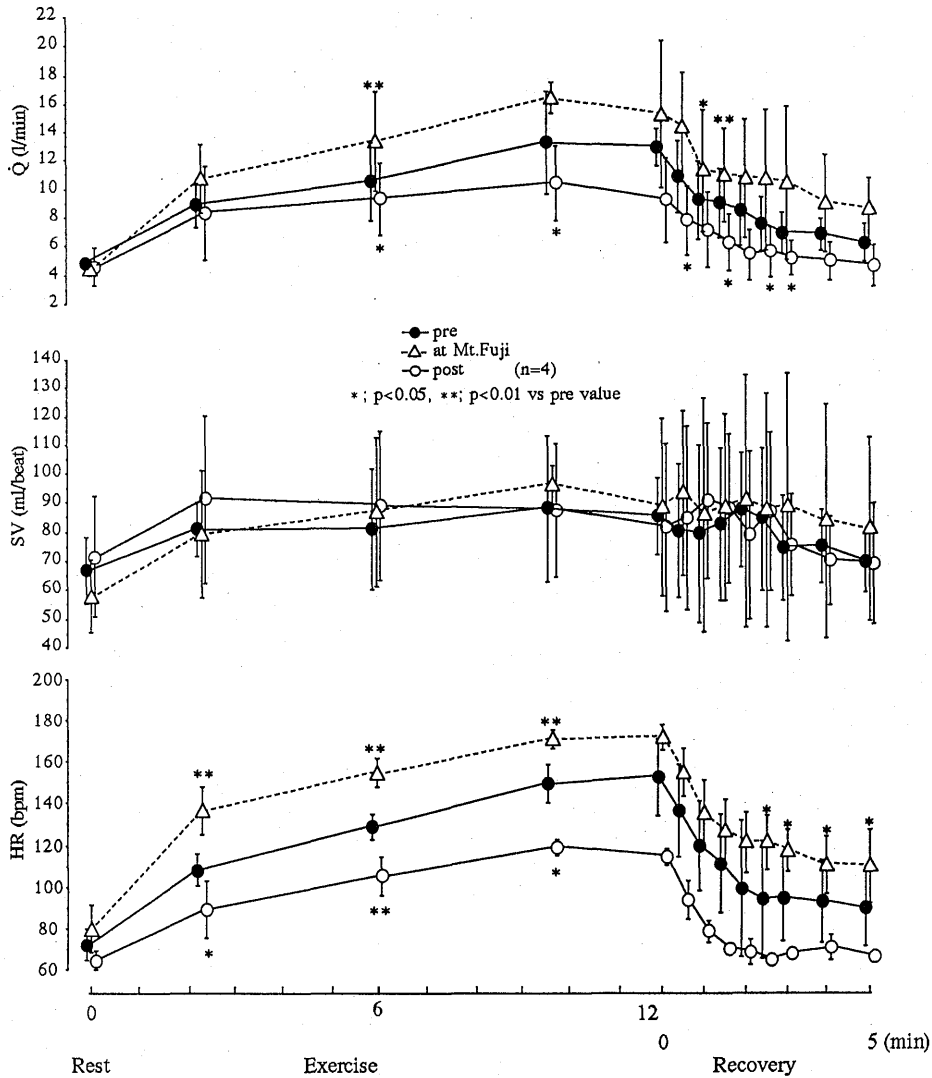


Fig.8 Changes in cardiac function at rest, during exercise and recovery in sea level and Mt.Fuji.

消失が交感神経抑制を誘起したものと考えられる。

次に、山頂における運動時心拍出量(Q) 応答については、登山前値に対し約20% (2~3 l/分) の有意な増加を示している (Fig. 8)。この傾向は3,800mの高地に2~4日間滞在時の最大下運動 (50~125W) 時のQが平地の値に対し20%の増加傾向を指摘したKlausenの結果⁽¹⁶⁾とほぼ一致する。また、Stenberg *et al.*⁽²²⁾も4,000m相当高度での急性暴露時の最大下運動 (100Wと150W)

において23%のQの増加を報告している。低圧低酸素下運動時のQ増加の機序については、低PaO₂刺激の末梢血管拡張効果が平均血圧を低下させ血流増加をもたらすとするBlack *et al.*⁽¹⁰⁾の指摘と、McGregor *et al.*⁽¹⁹⁾の随意的過換気のQ増加の実証から、低圧低酸素下の過換気によるPaCO₂低下がQ増加に寄与する可能性を指摘するStenberg *et al.*⁽²²⁾の仮説も否定できない。さらに、Harrison *et al.*⁽¹⁴⁾とNahas *et al.*⁽²⁰⁾はSaO₂が75%に達するとQが平均25%増加するとし、こ

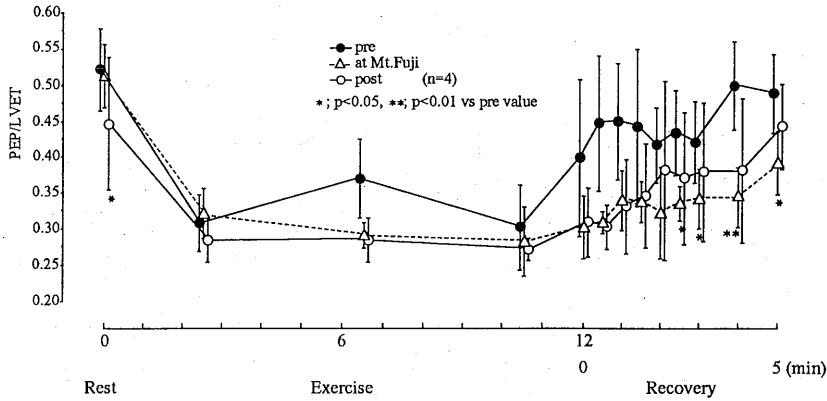


Fig.9 Changes in PEP/LVET ratio at rest, during exercise and recovery in sea level and Mt.Fuji.

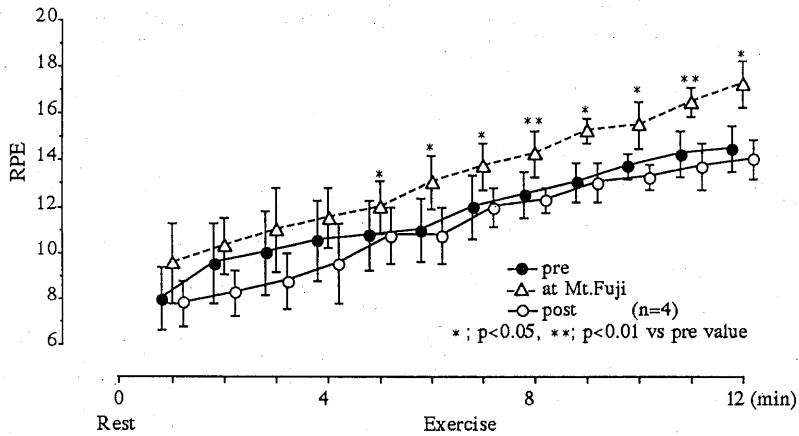


Fig.10 Changes in RPE during exercise in sea level and Mt.Fuji.

の時点をも anoxemia threshold (低酸素性閾値) と命名している。

本研究では、山頂での運動時 SaO_2 は約80%水準を示し (Fig. 5), この anoxemia threshold に近似した生理状態にあり, Q 増加をもたらしたものと考えられる。このように山頂での運動時 Q の増加が認められたが, PWC_{170} および推定 $\dot{V}O_{2max}$ は各約20%, 27%の減少傾向 (Fig. 11) を示し, 山頂での組織における動静脈血酸素較差の低減が示唆される。

次に, 山頂における左室収縮時相 (STI's) 応答について PEP/LVET 比をみると, 運動時および回復時とも登山前値に比べ低値を示し, 心筋収縮性の高進傾向が認められた。これは, 3,658m

の高地に10日間滞在中に安静および3分間の handgrip 運動時の各 STI's を検討し, 左室機能の指標とされる PEP/LVET 比が登山前に比べ安静および運動時とも高値を示し左室機能の低下を認めた Balasubramanian *et al.*⁽⁷⁾ の報告と異なるものである。すなわち, 本研究における山頂での最大下運動時 HR の増加および Q の増加傾向が PaO_2 低下にともなう左室機能低下を補償し, さらに HR 高進により心筋収縮性を高進したものと考えられる。また, 下山後の安静, 運動中および回復時の PEP/LVET 比は, 登山前値より低値を示し, とくに安静時では有意に減少している。また, 運動中は山頂の値とほぼ同等であり登山前値の10~15%低い値である。この結果から,

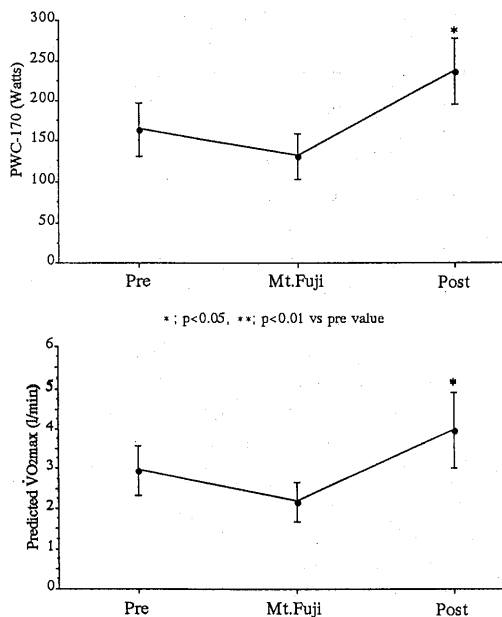


Fig.11 Changes in PWC₁₇₀ and predicted $\dot{V}O_{2max}$ at sea level and Mt.Fuji.

3,776mの高地での4日間の滞在により平地での安静および運動時の心筋収縮性の高進が示唆される。

また頂上滞在中の換気高進は、ともに8分目において \dot{V}_E および V_T に有意増が認められ (Fig. 7), SaO_2 の低下に対する補償作用と考えられる。またこの運動中のRPEは5分目より12分終了にかけて、平地に対し約2.0の有意な増加を示しており、主観的運動強度の高いことが示唆された (Fig.10)。

V. 要約

23~51歳 (平均34.5歳) の健常男子8人を被検者とし、富士山頂 (3,776m) に3泊4日にわたり滞在し、安静および最大下ペダリング運動時呼吸循環応答 (4人) について、登山前および下山後の値との比較検討を行った。

1) 山頂での安静時椅座位前腕部の最大静脈流出量 (MVO) は平地に対し約60~70%の減少を示したことから、一回拍出量低減の要因として静脈還流量減少の影響が示唆された。

2) 山頂での安静時 SaO_2 は到着後80%に急減後、次第に回復し滞在中平均85%を維持した。

また、最大下運動時 SaO_2 は平均78%水準まで有意な低下を示した。

3) 山頂での運動時換気量は、登山前値に対し約20%高値であり、これは運動時一回換気量の約20%の高進に起因し、山頂における低 PaO_2 の呼吸中枢への賦活が示唆された。

4) 山頂での運動時心拍数は、登山前値に対し全運動過程で約20拍/分高進を示した。また、運動時心拍出量は、登山前値に対し約20%の増加を示し、山頂における低 PaO_2 の呼吸中枢および交感神経系への賦活が示唆された。

5) 山頂での運動時および回復時の心筋収縮性をPEP/LVET比でみると、登山前値に対し機能高進の傾向が認められた。また、下山後の安静および運動時の心筋収縮性に高進がみられた。

6) 山頂での運動時心拍出量の増加傾向が認められたが、PWC₁₇₀および推定 $\dot{V}O_{2max}$ は各20%および27%の減少傾向にあり、山頂での組織における動静脈血 O_2 較差の低減が示唆された。

終りに、本研究にご協力戴いた気象庁東京管区気象台長、清水正義氏および富士山測候所職員、加藤左右治班長ら諸兄に深謝する。

文 献

- 1) 朝比奈一男 (1972): 低酸素耐性と運動能力. 日本生理誌 34: 405-417.
- 2) 浅野勝己, 野村武男, 斉藤芳晃, Reddan WG (1982): 高所 Hypoxia における運動時呼吸循環系応答特性の研究. 運動処方研究 283-321.
- 3) 浅野勝己, 松坂 晃, 紅露恒男 (1983): 低圧環境下における運動時血行動態. 最新医学 38: 74-77.
- 4) 浅野勝己, 水野 康, 朴 允渉, 松坂 晃, 平木場浩二, 菊池祐二, 村井 正 (1988): 富士山頂短期滞在時の安静および運動時生理的応答に関する研究. 筑波大学体育科学系紀要 11: 187-195.
- 5) 浅野勝己訳, 朝比奈一男監訳 (1976): オストランド運動生理学. 大修館, p.468.
- 6) Alexander M (1985): Mechanism of stroke volume reduction at altitude. J Appl Physiol 45: 145-148.
- 7) Balasubramanian V, Kaushik VS, Manchanda SC and Roy SP (1975): Effects of high altitude hypo-

- xia on left ventricular systolic time intervals in man. *Br Heart J* 37:272-276.
- 8) Billings CE, Brashear RE, Bason R and Mathews DK (1969): Medical observations during 20 days at 3,800m. *Arch Environ Health* 18:987-995.
 - 9) Billings CE, Bason R and Mathews DK and Fox EL (1971): Cost of submaximal and maximal work during chronic exposure at 3,800m. *J Appl Physiol* 30:406-408.
 - 10) Black JE and Roddie IC (1958): The mechanism of the changes in forearm vascular resistance during hypoxia. *J Appl Physiol* 143:226-235.
 - 11) Cerretelli P (1976): Limiting factors to oxygen transport on Mt. Everest. *J Appl Physiol* 40:658-667.
 - 12) Cunningham WL, Becker EJ and Kreuzer F (1965): Catecholamins in plasma and urine at high altitude. *J Appl Physiol* 20:607-610.
 - 13) Hansen JE, Vogel JA, Stelter GP and Consolazio CF (1967): Oxygen uptake in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *J Appl Physiol* 23:511-522.
 - 14) Harrison TR and Blalock A (1927): Effect of severe anoxemia of short duration on cardiac output of morphinized dog and trained unnarcotized dogs. *Am J Physiol* 80:169-172.
 - 15) Hultgren HN and Grover RF (1968): Circulatory adaptation to high altitude. *Ann Rev Med* 19:119-152.
 - 16) Klausen K(1966): Cardiac output in man in rest and work during and after acclimatization to 3,800m. *J Appl Physiol* 21:609-616.
 - 17) Korner PI (1959): Circulatory adaptations in hypoxia. *Physiol. Rev.* 39:687-730.
 - 18) Kubicek WG, Patterson RP and Witsoe PA (1970): Impedance cardiography as a non-invasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. *Ann NY Acad Sci* 170:724-732.
 - 19) McGregor M, Donevan RE and Anderson NM (1962): Influence of carbon dioxide and hyperventilation on cardiac output in man. *J Appl Physiol* 17:933-937.
 - 20) Nahas GG, Visscher MB, Mather GW, Haddy FJ and Warner HR (1954): Influence of hypoxia on pulmonary circulation of nonnarcotized dogs. *J Appl Physiol* 6:467-476.
 - 21) Pace N, Griswold RL and Grunbaun BW (1964): Increase in urinary norepinephrine excretion during 14 days sojourn at 3,800 meters elevation. *Federation Proc* 23:521.
 - 22) Stenberg J, Ekblom B and Messin R (1966): Hemodynamic response to work at simulated altitude 4,000m. *J Appl Physiol* 21:1589-1594.