

資 料

準高所における運動に対する生理的応答

—平地との比較から—

川上 泰雄\*・福永 哲夫\*・野崎 大地\*\*

東京大学教養学部\*

東京大学教育学部体育学研究室\*\*

Physiological responses to exercises  
in quasi altitude

Yasuo Kawakami\*, Tetsuo Fukunaga\* and Daichi Nozaki\*\*

\* Dept. of Sports Sciences, College of Arts and Sciences,  
University of Tokyo

\*\*Laboratory for Sports Sciences, Faculty of Education,  
University of Tokyo

**Abstract**

The objective of the present study was to assess physiological responses to exercises in quasi altitude. Oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ), ventilation ( $\dot{V}_E$ ), respiration frequency (RF), and heart rate (HR) were measured using a telemetric system for four varsity runners while they performed running exercises of graded intensities up to the maximum. Measurements were carried out on running tracks, one at sea level (SL) and the other in quasi altitude (QA : 1,000m above sea level).  $\dot{V}_E$  was slightly larger in QA for the same running velocity than at SL. Ventilatory equivalent ( $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ ) was much greater and oxygen pulse ( $\dot{V}O_2 / HR$ ) was lower in QA, suggesting the existence of the effect of lower oxygen pressure than at SL.  $\dot{V}O_{2max}$  was significantly smaller in QA than at SL ( $p < 0.001$ ). It was concluded that

quasi altitude of 1,000 m above sea level resulted in altered physiological responses during exercise. Training in quasi altitude might have some beneficial effect of overloading and improving the endurance capacity.

## はじめに

1968年、オリンピック大会が標高約 2,300m の高所に存在するメキシコにおいて開催された頃から、高所における生理的応答についての興味が高まり、盛んに研究が進められた。その結果、酸素分圧の低い高所では、特に持久性能力が必要とされる競技種目の成績が低下することが示されると同時に、高所における持久的なトレーニングに対する効果（赤血球数の増加、筋の酸化能の向上、筋毛細血管の発達、筋ミオグロビン濃度の増加など）が明らかになった（橋本ら, 1987）<sup>2)</sup>。このことから、全身持久力の向上を目的とした「高所トレーニング」に目が向けられるようになった。例えば、アメリカのコロラドスプリングスにあるトレーニングセンターは、標高 1,500m の高所にあり、現在ここでは、様々な競技種目における持久性能力の向上のためのトレーニングが盛んに行われている。わが国でも、陸上競技選手や水泳選手をはじめとして、高所トレーニングを練習計画の中に取り入れている競技種目が増えてきている。

高地民族のなかで世界のスポーツ界で活躍しているのは、2,000～2,300の高地出身者に限られていることから、高所トレーニングの至適な標高は2,000～2,300m であるといわれている。しかし、最大酸素摂取量に有意な影響を及ぼしはじめる標高が 900～1,200m からである（以上山地, 1989）<sup>3)</sup> ことを考えると、1,000m 程度の標高における高所トレーニングにもある程度の効果があるのではないかと推測される。

本研究の目的は、標高 1,000m の地点における運動に対する生理的応答を調べることであった。また、運動に対する応答を平地と比較することによって、1,000m の準高所でのトレーニング効果の可能性について検討することを第二の目的とした。

## 方 法

被検者は大学陸上部に所属する男性 4 名であった。被検者には本研究の目的および方法について事前に説明し、実験への参加に対する同意を得た。表 1 に各被検者の身体的特徴、および 1,500m 走と 5,000m 走の最高記録を示した。

表 1 被検者の身体的特徴および競技成績

被検者	年齢	身長	体重	競技記録	
				1,500m	5,000m
NA	18	179	59	3' 57"	14' 58"
UE	18	162	51	4' 04"	15' 16"
KA	18	168	56	4' 05"	15' 09"
TA	18	171	60	3' 56"	14' 52"
平均	18	170	57	4' 01"	15' 04"

測定場所は、Y 県 K 市の陸上競技場（平地）および標高 1,000m の地点に設けたグラウンド（準高所）の 2 箇所であった。両方の測定場所で、400m トラックを用いたランニングを行わせた。ウォームアップの後、1 周毎に走速度を漸増する方法で、6 周行わせた。あらかじめ、被検者が最高速度で 1 周に要する時間を計測した。それから 5 秒ずつ増やして各週のペースを設定し、そのペースを指示して維持させた。お互いに 200m 離れたトラックの 2 箇所に検者が位置し、ラップタイムを記録し、ペースの維持を確認した。また、この記録より、各周回毎の走速度を求めた。最後の 1 周は全力走を指示した。

ランニング中の生理的応答は、テレメータ式の携帯型酸素摂取量測定装置（K 2, Cosmed, Italy）を用いて測定した。本装置は、被検者が装着する部分の総重量が 850g と軽量であり、酸素摂取量をはじめ、換気量、呼吸量、心拍数を連続的に測定することが可能であった。本装置における測定値の妥当性は、ダグラスバッグ法との比較によって確かめられている（福永ら, 1990）<sup>1)</sup>。測定前に、本装置を装着したときに、ランニング動作に支障を来さないことをあらかじめ確認した。ランニング中の酸素摂取量（以下  $\dot{V}O_2$ ）、換気量（ $\dot{V}_E$ ）、呼吸数（RF）、および心拍数（HR）を 15 秒毎にモニターした。

平地・準高所の測定はそれぞれ 1 日あけて行い、測定時間を合わせるようにした。



## 結 果

図1に被検者NAにおける、走速度に対する生理学的変量の変化を示した。走速度の増加にともない、各変量 ( $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$ , RF, HR) は増加した。

走速度に対する変量を平地と準高所を比較すると、 $\dot{V}_E$  はわずかに準高所での測定値が高くなった。一方、 $\dot{V}O_2$ , HRおよびRFは、平地・準高所でほとんど変わらなかった。

得られた変量から、換気当量 ( $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ ) を計算してみると、図1に示したように、走速度の増加にともなって、はじめは低下し、その後増加するという現象がみられた。同一走速度で平地と準高所を比較してみると、準高所が平地よりも高い換気当量を示した。一方、酸素脈 ( $\dot{V}O_2 / \text{HR}$ ) は、換気当量ほどの違いはみられなかったものの、準高所の方が低い傾向であった。なお、以上の結果は全被検者に共通していた。

HRと $\dot{V}O_2$ の間の関係を平地と準高所で比較するために、HRに対する $\dot{V}O_2$ の値をプロットしたものを各被検者について図2に示した。被検者によってある程度のばらつきはあるものの、平地に比べると、一定HRに対する $\dot{V}O_2$ は準高所の方が低くなった。この傾向は、競技記録が相対的に低い者ほど大きかった。

次に、ランニング中の $\dot{V}O_2$ の最高値を最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ )として求めた。平地の $\dot{V}O_{2max}$ は $4.85 \pm 0.18 \text{ l/分}$ であったのに大して、準高所では $3.82 \pm 0.29 \text{ l/分}$ となり、有意に準高所の $\dot{V}O_{2max}$ が低かった ( $p < 0.001$ )。走速度においても同様の傾向が認められ、準高所が平地より

も最高速度が低かった。

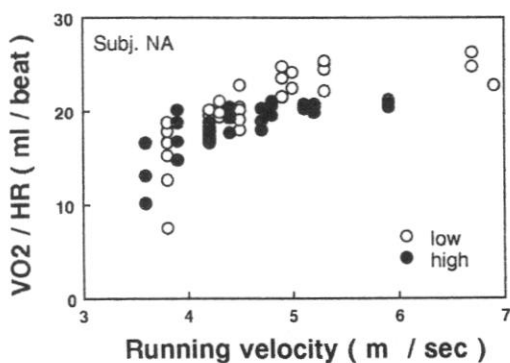
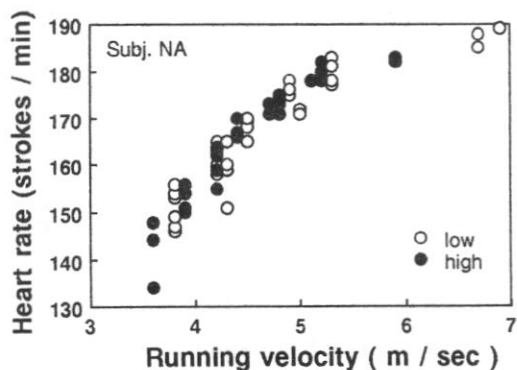
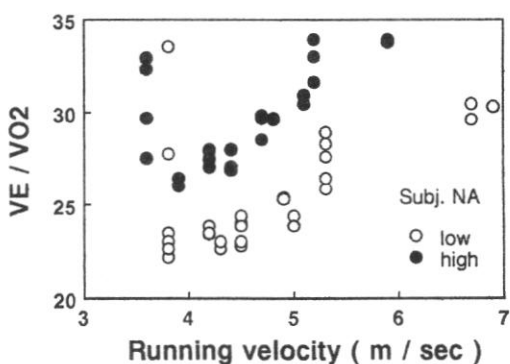
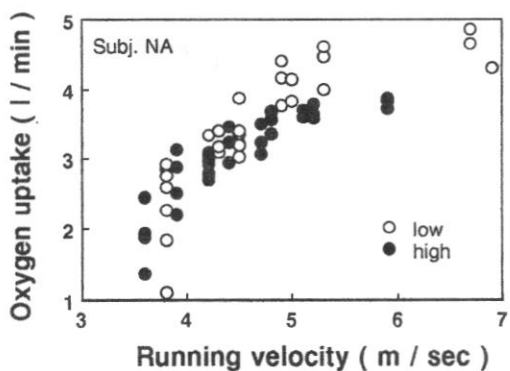
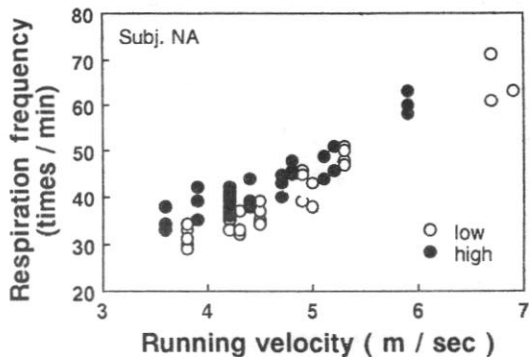
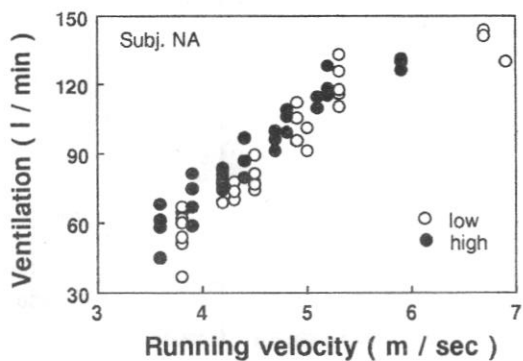
## 論 議

本研究の結果、1,000mの準高所においては、平地に比べて、同一走速度に対する $\dot{V}_E$ がわずかであるが増加した。猪飼ら(1967)<sup>3)</sup>によると、高所(メキシコ市、高度2,300m)に滞在中、初期に換気量の増大が認められた。これは、空気中の酸素分圧が低いことを補うための反応であると考えられた。本研究における換気量の増加も同様に、平地に比べると相対的に低い酸素分圧の影響によるものと考えられる。

換気当量が大きく増加したことについては、次のように推察される。すなわち、酸素分圧が低いために、一呼吸あたりの酸素の量が少なく、そのために、換気量/酸素摂取量の比率が高まったのではないだろうか。同様の機序によって、酸素脈も準高所で低くなったと考えられる。つまり、本研究の結果(心臓1拍動あたりの酸素摂取量の低下)は、準高所における酸素運搬能力の低下を反映しているといえよう。

最大酸素摂取量が準高所で低くなった結果は、先行研究(山地ら, 1989)<sup>5)</sup>と同様であった。本研究では、高所での測定をはじめに行っているもので、これが疲労の影響によるとは考えにくい。先行研究では、より高所(2,000~4,000m)での実験を行っているが、本研究の結果は、1,000m程度の準高所でも低酸素の影響が生理的応答に認められることを示している。この影響は最高走速度の低下にも表れていた。

はじめに述べたように、高所トレーニングの至適速度とされる2,000~2,300mの高所では、低酸素分圧という負荷によって、全身持久力のトレーニングには有効である。しかし、スピードのトレーニングが不足しがちであるという。山地ら(1989)<sup>5)</sup>は、高所での持久力トレーニングと、平地でのスピードトレーニングを交互に行うことで、レースで必要なスピードと持久力の両方を高めることを提唱しているが、本研究で用いたような1,000m程度の高所であれば、低酸素の影響によるオーバーロードをからだにかけながら、同時にスピード系のトレーニングを行うこともできるのではないかと考えられ、その意味では、通常行わ



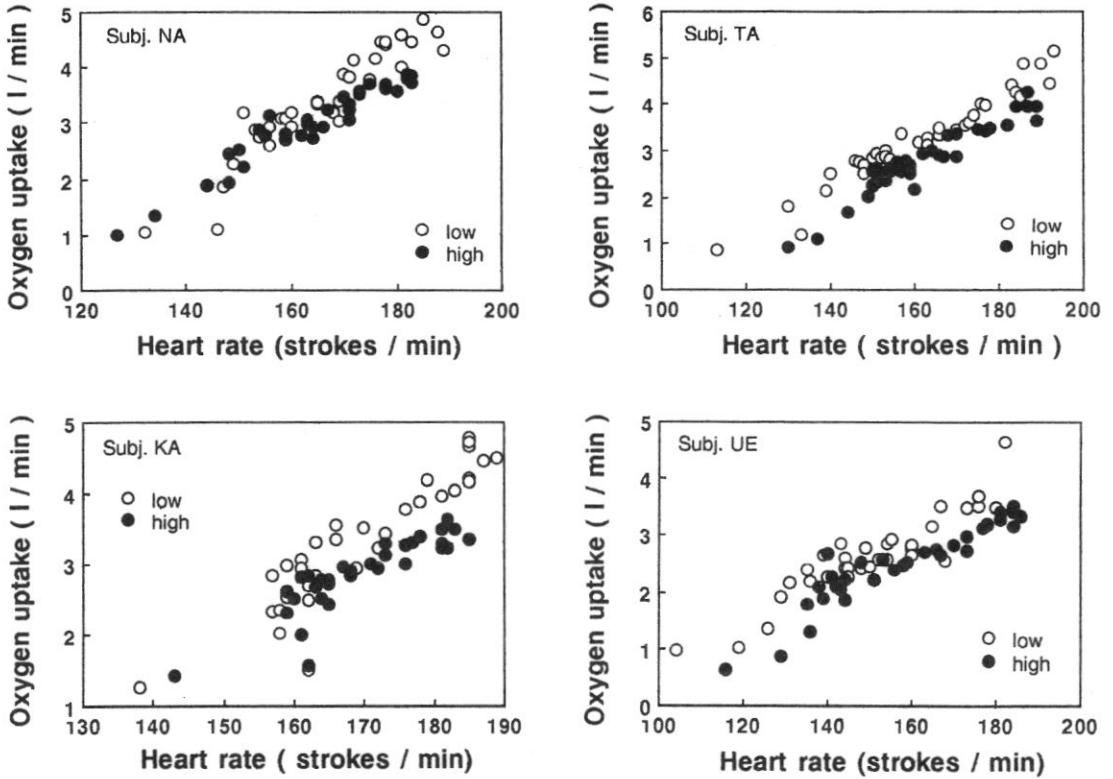


図2

れている高度でのトレーニングにさらに工夫を加える可能性が生まれてくると思われる。

日常平地で生活している者が、2,000m以上の高度に滞在すると、からだに何らかの異常が生じ、息切れ、頭痛といった症状が現れてくる(猪飼ら, 1973)<sup>4)</sup>。1,000m程度の標高であれば、このような症状を生じることなく、長期間のトレーニングを計画することも可能になると考えられ、この点ではさらに高い標高におけるトレーニングよりも有意義な結果を期待することができるのではないだろうか。

本研究の結果、1,000mという準高所においても、低酸素による影響が生理機能に認められ、呼吸循環器系に負荷をかけることが示され、高所トレーニングの効果を有している可能性が示唆された。しかしながら、トレーニング効果の程度については、今後の検討課題であり、さらに継続的な研究が必要であろう。

## 文 献

- 1) 福永哲夫, 川上泰雄, 野崎大地, 松尾彰文: テレメータ法による酸素摂取量測定の精度の検討, 日本人間工学会関東支部第20回大会講演集, 1990, pp.116-117.
- 2) 橋本 薫ほか: 運動生理学, 同文書院, 東京, 1987, pp.102-108.
- 3) 猪飼道夫ほか: メキシコ対策研究報告書, 日本体育協会メキシコ対策研究会, 1967.
- 4) 猪飼道夫(編): 身体運動の生理学, 杏林書院, 東京, 1973, pp.402-409.
- 5) 山地啓司: 21世紀のトレーニング“高所トレーニング”, 競技力向上のスポーツ科学I, トレーニング科学研究会編, 朝倉書店, 東京, 1989, pp.279-287.