

高所身体適性を予測する試み

九州芸術工科大学 菊地和夫

Prediction of Physical Performance for High Altitude Climber

by

Kazuo Kikuchi

*Laboratory of Ergonomics, Department of Industrial Design,
Kyushu Institute of Design*

ABSTRACT

The purpose of this study is to predict the physical performance of the high altitude climbers. In the experiment I, seven active sportsmen (TG: trained group) and seven sedentary men (UG: untrained group) participated in the experiment. A near-infrared spectroscopy was applied to measure the oxidative dynamic response in skeletal muscle during maximal ramp exercise at sea level (SL: 760 mmHg). In the experiment II, six healthy subjects performed the maximal exercise tests to measure the oxidative dynamic response at simulated altitudes of SL, 2,000 m (596 mmHg) and 4,000 m (462 mmHg), respectively. The tissue oxygen saturation (StO_2) during the maximal exercise in the TG was significantly lower than that in the UG, indicating the larger capacity of O_2 extraction in the TG compared to the UG. Significantly higher value of ($\text{SaO}_2 - \text{StO}_2$) during the exercise at SL was observed in the TG than that in UG. Therefore, it is suggested that O_2 supply to the muscle tissue in the TG is greater than that in the UG. Since a significant decrease in ($\text{SaO}_2 - \text{StO}_2$) values during exercise at 4,000 m was seen, it is suggested that the O_2 supply to the muscle tissue is limited, especially at higher altitudes.

These results suggested that the potential high altitude climber should have higher values in

the arterial oxygen saturation, O_2 extraction capacity, and the (SaO_2-StO_2) during exercise under acute hypobaric hypoxia.

要 旨

本研究では常圧下および低圧シミュレーターを用いた急性低圧低酸素環境下における安静時および最大運動時の筋酸素動態を近赤外分光法を用いて検討することにより高所身体適性を予測する試みを行った。実験Ⅰとして、日常的に運動を行っている者7人（鍛錬者群）と日常的に運動を行っていない者7人（非鍛錬者群）にランブ負荷による最大運動を行わせ、その時の筋内酸素動態を近赤外分光法により測定を行った。また、実験Ⅱとして、被検者6人について常圧下、2,000mおよび4,000m相当高度の3高度条件で最大運動を行わせたときの運動時筋組織酸素動態を近赤外分光法により検討を行った。運動時組織酸素飽和度動態は、鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも有意に低値を示し、鍛錬者群の高い O_2 extraction 能を反映していることが推察された。また、動静脈酸素較差を反映していると考えられる (SaO_2-StO_2) 値は、常圧下の運動時では鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも高値を示し、組織への酸素供給が鍛錬者群で大であることが認められた。また、 (SaO_2-StO_2) 値は、4,000m相当高度下の運動時では顕著な低下を示し組織への酸素供給が制限されうること示唆された。これらの結果から、望ましい高所身体適性として、低圧低酸素環境下において高い動脈血酸素飽和度を有し、また、 O_2 Extraction 能が高く、 (SaO_2-StO_2) 値の高いことが重要な因子となることが示唆された。

緒 言

高所においては大気圧の低下に伴う酸素分圧の低下により、吸気酸素分圧が低下し、肺胞内酸素

分圧も低下する。肺胞内酸素分圧の低下は肺胞毛細血管内におけるヘモグロビンと酸素の結合にも低下をもたらし、さらに動脈血内酸化ヘモグロビン量の低下を招き、酸素飽和度が低下する。この酸素飽和度の低下により低酸素血症を招き、高所においては種々の高所障害（高山病）があらわれることになるとともに、身体作業能力の低下をもたらす。

ところで、1951年に日本初のヒマラヤ登山隊がマナスルに赴いて以降、1997年までの46年間に標高6,000m以上に入山した日本人の数は10,500人を越えている。入山登山隊数は1,433隊であるが、遭難死亡事故を起こした隊は、その間に144隊に達し、244人の犠牲者が出ている。さらに、岳人から『ジャイアンツ』と畏敬の念を込めて呼ばれる8,500m級の山の登頂者は105人にも達しているが、この内15人がすでにヒマラヤ登山で死亡しているという過酷な事実がある。すなわち、6,000m以上のヒマラヤ登山における死亡率は、約40人に1人（約2.3%）という異常な数字を示す結果となっており、登山をスポーツと考えるならばこれほど危険なスポーツは他に存在しない。

高所における死亡事故の約半数は、未然に予知・回避することが非常に困難であると考えられる雪崩等の気象的要因が占めているが、残りの約半数の死亡事故は高山病が主因と考えられるものであることから、海外遠征等の事前に、平地（常圧下）における生理学的諸測定から高所での身体適性を予測することが可能であれば、重篤な高所障害発生の防止や死亡事故の減少に貢献する可能性のあるものと考えられる。

従来では高所身体適性の予測は不可能と考えられてきたが、しかし、これまでに我々が行った高

所登山隊員に対する低圧シミュレーターを用いた高所順応トレーニング時の呼吸循環系応答特性やその他の生理学的諸測定結果から、高所身体適性予測の可能性が大であることを示唆するに足る多くの証左が集約されつつある。事実、これまでの一連の研究結果から、一流の高所登山家は高い低酸素換気応答能を有すること、また、急性低圧低酸素環境下における高所順応トレーニング時の運動時酸素飽和度の低下率と実際の高所における急性高山病症状との間に有意な負の相関のあることを認め、報告してきた。さらに、一流登山家の急性低圧低酸素環境下における最大酸素摂取量の低減率が小さいことも観察している。

そこで、本研究では、常圧下および低圧シミュレーターを用いた急性低圧低酸素環境下における安静時および最大運動時の生理学的諸測定、とくに、近赤外分光法による筋酸素動態を詳細に検討することにより高所身体適性を予測する試みを行うことを目的として以下の実験を行った。

すなわち、

I. 近赤外分光法による最大運動時の筋内酸素動態

— 鍛錬者と非鍛錬者との比較 —

II. 近赤外分光法による急性低圧低酸素環境下における安静時および運動時筋組織酸素動態と血中乳酸動態

である。

1. 近赤外分光法による最大運動時の筋内酸素動態

— 鍛錬者と非鍛錬者との比較 —

1. 1 目 的

実験 I では、近赤外分光法を用い常圧下ランブ負荷最大運動時の筋内酸素動態と血中乳酸動態を検討することを目的とする。

また、鍛錬者と非鍛錬者との比較検討から、有酸素的能力の差異が筋内酸素動態と血中乳酸動態

に及ぼす影響についても併せて検討することを目的とする。

1. 2 方 法

被検者は、運動経歴が長く (7.3 ± 2.6 年)、かつラグビー、サッカーなどの持久的運動種目を日常的に行っている健康男子 7 名 (鍛錬者群) と、日常、運動をほとんど行っていない本学男子学生 7 名 (非鍛錬者群) とした。その身体特性および最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$) を表 1 に示した。

運動は自転車エルゴメータ (コンビ社 XL75) を用い、1 分毎に 10 ワット増加のランブ負荷法で疲労困憊になるまで行った。安静時および運動中は、日本光電社ライフスコープ 6 を用いて連続的に心電図を記録モニターした。また、血圧についても日本コーリン社 STBP780 を用い安静時、運動中および回復 6 分目まで 2 分おきに連続的測定記録を行った。酸素摂取量は、呼気ガス用質量分析器 (ウェストロン社 WSMR-1400) を用い、ブレス・バイ・ブレス法により運動中、連続的に測定を行った。

近赤外分光法による、組織酸素飽和度 (StO_2)、総ヘモグロビン (Total Hb)、酸素化ヘモグロビン (oxy Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy Hb) および動脈血酸素飽和度 — 組織酸素飽和度 ($SaO_2 - StO_2$) は、組織 $SO_2 \cdot Hb$ 量モニター (バイオメディカルサイエンス社製 PSA-III N) を用いて測定を行った。測定開始前に PSA-III のプローブを右大腿部外側広筋中央部に装着し、安静時および運動中に連続的に測定を行った。PSA-III からの出力は、データ変換・記録装置である Mac Lab を介し、パソコンに連続記録した (図 1)。

表 1 実験 I の被検者の身体特性

	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/min/kg)
Trained	171.5 ± 5.7	68.7 ± 8.7	21.0 ± 1.4	42.6 ± 6.2
Untrained	170.8 ± 5.0	61.0 ± 6.1	21.7 ± 1.6	31.3 ± 7.5
	n.s	n.s	n.s	$p < 0.05$

(値は、平均値 \pm SD)

なお, oxy Hb および deoxy Hb は以下の式から算出した。

$$\text{oxy Hb} = \text{Total Hb} \times \text{StO}_2$$

$$\text{deoxy Hb} = \text{Total Hb} - \text{oxy Hb}$$

また, 安静時および運動中の動脈血酸素飽和度 (SaO_2) は, 日本光電社製パルスオキシメーターを用い連続的に測定した。血中乳酸は, 運動時2分毎および運動終了3分後に人指し指の指先より採血し, ベーリンガー・マンハイム社製アクスポーツを用いて測定した。

なお, 被検者には事前に本実験の目的・内容等について十分な説明を行い, その後, 被検者全員より実験参加同意書の提出を受けた。

1. 3 結 果

動脈血酸素飽和度は, 両群ともに安静時から最大運動までの間, 約 95 ~ 98 % 推移し, 両群間に有意差は認められなかった (図 2)。鍛錬者群の StO_2 は, 安静から最大運動時まで約 65 % で推移したが, 非鍛錬者群では約 67 ~ 69 % を示し, 鍛

錬者群が非鍛錬者群に比し, 有意 ($p < 0.05$) に約 2 ~ 3 % ほど低値を示すことが観察された (図 3)。

($\text{SaO}_2 - \text{StO}_2$) においては, 鍛錬者群は, 安静から最大運動時まで約 31 ~ 34 % で推移したが, 非鍛錬者群では約 29 ~ 30 % の値を示し, 鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも約 3 % 程度有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した (図 4)。

Total Hb は, 両群ともに運動開始後から漸増する傾向が見られたが, 鍛錬者群の方が常に約 $50\text{cm} \cdot \text{g/l}$ 程度高い値を示した (図 5)。oxy Hb は, 両群ともに運動強度の増大とともに漸増する傾向を示し鍛錬者群の方が非鍛錬者群より約 $20\text{cm} \cdot \text{g/l}$ 高値を示した (図 6)。deoxy Hb においても, 両群間共に運動強度の増加とともに増加する傾向を示しが, 鍛錬者群の方が非鍛錬者群より約 $30\text{cm} \cdot \text{g/l}$ 高い値を示した (図 7)。

また, 血中乳酸は, 低強度の運動においては両群間に有意差は認められなかったが, 運動強度の増大とともに同一負荷強度における血中乳酸値は, 非鍛錬者群の方が鍛錬者群よりも有意に高いことが認められた (図 8)。

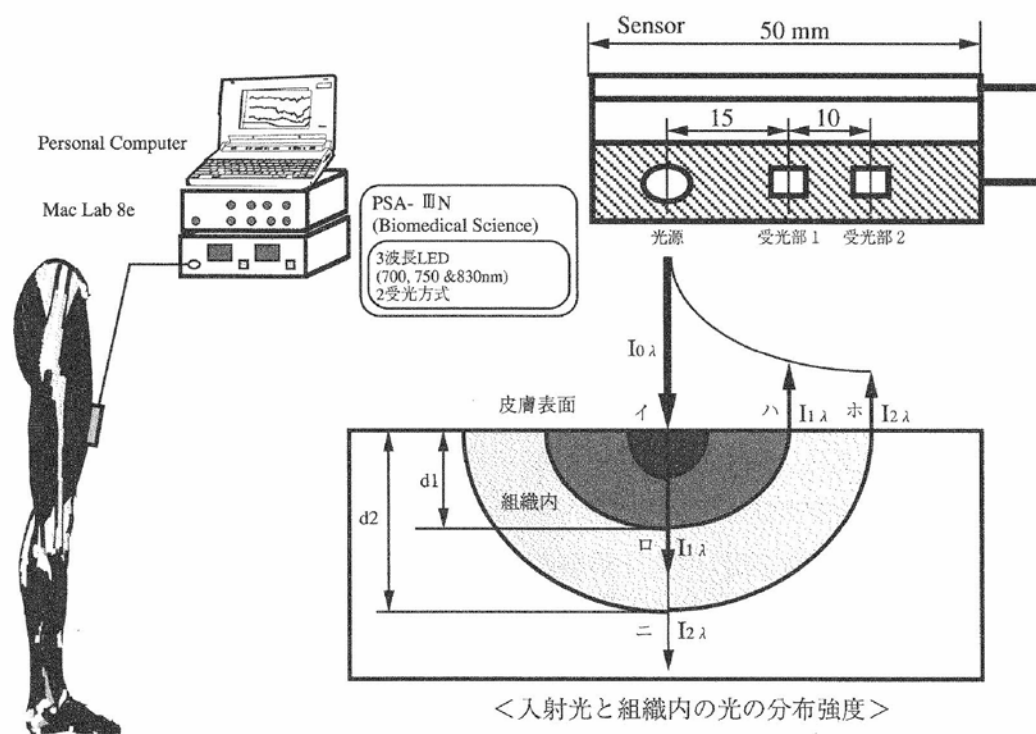


図 1 本研究で用いた近赤外分光法の測定原理図

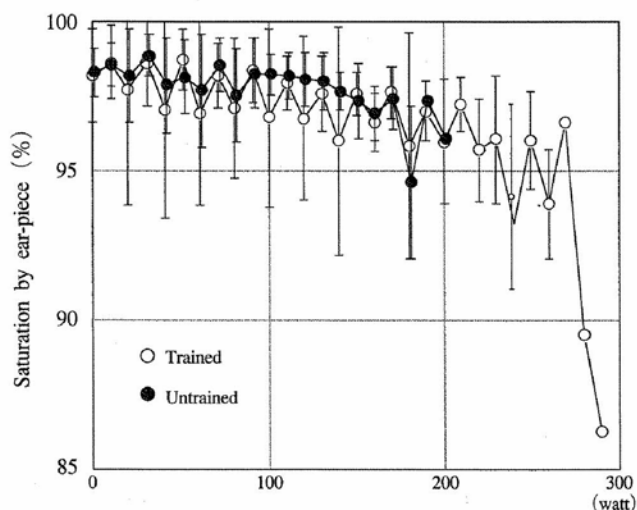


図2 常圧下における運動時動脈血酸素飽和度の鍛錬者と非鍛錬者との比較

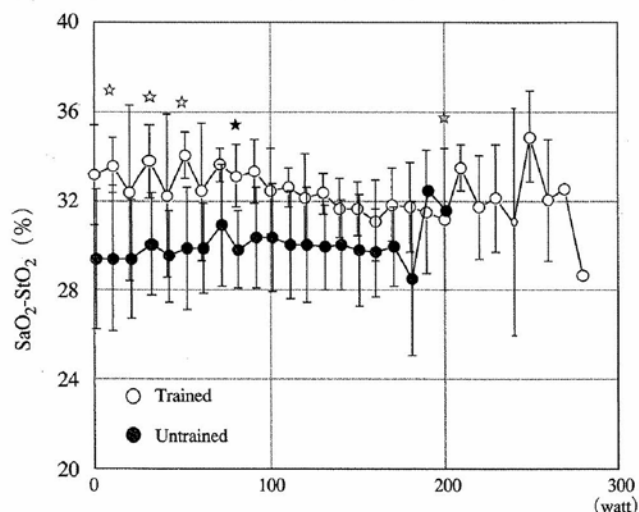


図4 常圧下における運動時 ($SaO_2 - StO_2$) の鍛錬者と非鍛錬者との比較

1. 4 考 察

近年、近赤外光 (near infrared, NIR) が生体組織の酸素動態を非侵襲的に測定するために用いられている。すなわち、可視光よりやや波長の長い電磁波である NIR のうち、組織浸透性のよい 700 ~ 900nm 周辺の波長が用いられ、ヘモグロビンやミオグロビンなどの酸素化、脱酸素化状態により、その吸光度の異なる特性が注目されるにいたった。1977 年に Jobsis らがこの NIR を用いてヒトの脳および骨格筋内の酸素動態を報告して以来、急速に発展・応用されてきている。ところで、この近赤外分光法には、2 波長から 4 波長まで採用している各種の装置があり、また、その演算式も異なっ

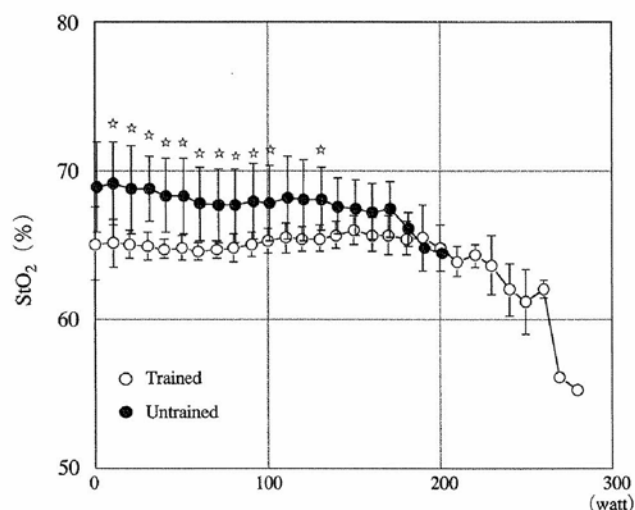


図3 常圧下における運動時組織酸素飽和度の鍛錬者と非鍛錬者との比較

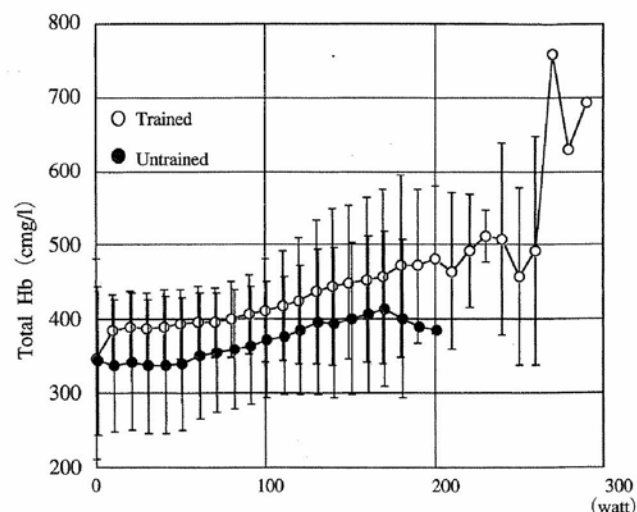


図5 常圧下における運動時総ヘモグロビン量の鍛錬者と非鍛錬者との比較

ている。それらの装置の多くは酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの相対変化を示すにすぎず、絶対値の測定は不可能である。

本研究で用いた装置は 3 波長 (700, 750 & 830 nm)・2 受光方式を採用し、測定平均深度は送受光間距離である 1.5 ~ 2.5cm であり、平均光路長が求められるために組織酸素飽和度の絶対値が表示可能である。この組織酸素飽和度は、実測の静脈血酸素飽和度 (SvO_2) と高い相関関係のあることが報告されている。そこで、本研究においては、同法を用い従来では不可能であった筋内酸素動態の把握を行うとともに高所身体適性の予測の試みを行うことを目的とした。

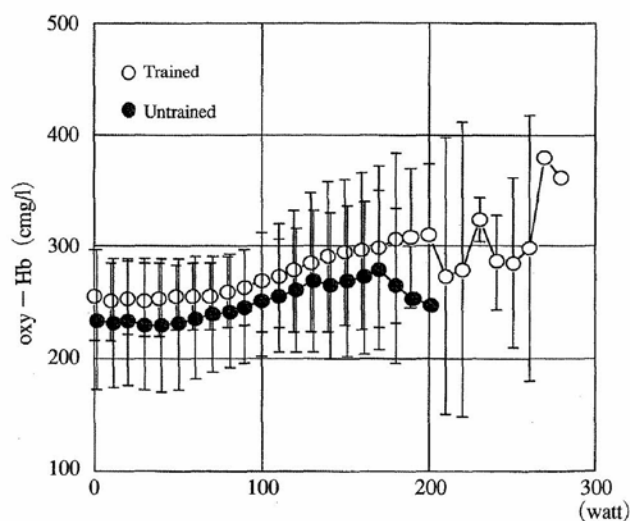


図6 常圧下における酸素化ヘモグロビン量の鍛錬者と非鍛錬者との比較

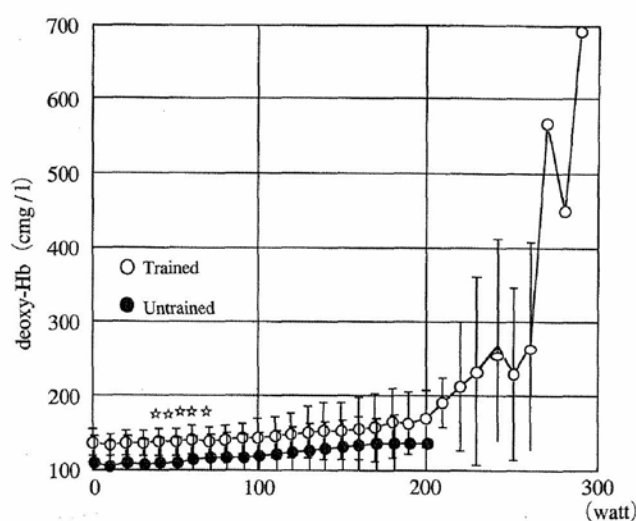


図7 常圧下における脱酸素化ヘモグロビン量の鍛錬者と非鍛錬者との比較

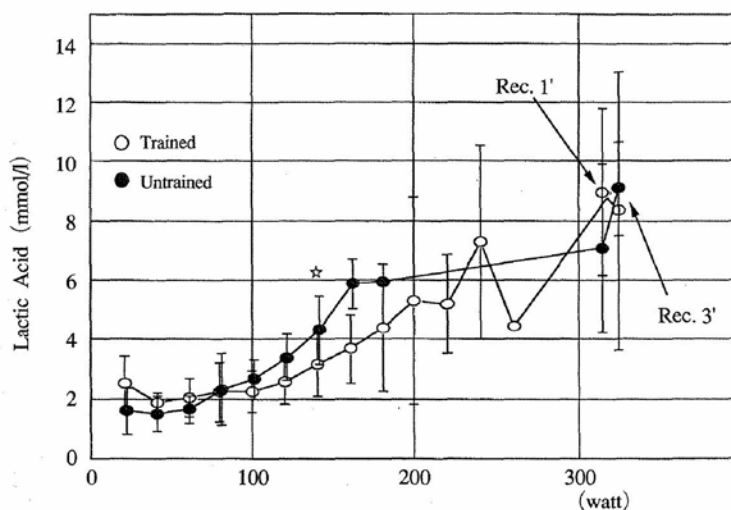


図8 常圧下における運動時血中乳酸値の鍛錬者と非鍛錬者との比較

実験 I では、運動部に所属し日常的に持久的トレーニングを行っている者（鍛錬者群）と日常運動を行っていない者（非鍛錬者群）に常圧下においてランブ負荷法による最大運動を行わせたときの動脈血酸素飽和度、筋内酸素動態および血中乳酸動態との関連性について検討した。

動脈血酸素飽和度は、安静時から最大運動にかけてわずかに低下傾向を示すものの、両群間に有意差は観察されていないことから、有酸素性能力の差異は動脈血酸素飽和度動態に影響を及ぼさないことが示唆された。

筋組織酸素飽和度は、鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも有意に低値を示したが、これは鍛錬者群

の方が組織における酸素の抜き取り (O_2 extraction) 能力が大であるために組織酸素飽和度が有意に低値を示したものと推察された。この筋組織における O_2 extraction 能は、主に筋線維組成、酸化系酵素活性の大小、毛細血管数、ミトコンドリア容量等に依存していると考えられており、持久的トレーニングを行っている者ではそれらの因子を positive に変化させることが知られていることから、運動時組織酸素飽和度の大小は筋組織における O_2 extraction 能を反映している可能性が示唆された。

前述したように本法で測定した組織酸素飽和度は静脈血酸素飽和度と有意に高い相関関係にある

ことから、動脈血酸素飽和度から組織酸素飽和度を減じた値である ($\text{SaO}_2 - \text{StO}_2$) は、動静脈酸素較差を示していると考えられている。この値は鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも約3%程度高値を示したが、動脈血酸素飽和度には両群間に有意差が認められなかったことから、これは主に組織酸素飽和度に依存し、また、鍛錬者群における組織への酸素供給が大であることを反映しているものと推察された。

2. 近赤外分光法による急性低圧低酸素環境下における安静時および運動時筋組織酸素動態と血中乳酸動態

2. 1 目 的

実験Ⅱでは、近赤外分光法を用い急性低圧低酸素環境下における安静時および最大運動時の筋内酸素動態と血中乳酸動態を検討することにより、高所身体適性の予測のための基礎的資料を得ることを目的とする。

2. 2 方 法

被検者は、健常成人男子学生6人であり、その身体特性、常圧下で測定した最大酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$) と最大換気量 ($\dot{V}\text{E}_{\text{max}}$) を表2に示した。実験は、九州芸術工科大学の環境制御装置である特殊生体実験室ホモトロンNo.2を用いて行った。被検者全員に、常圧下 (sea level), 2,000m (596mmHg) および4,000m (462mmHg) 相当高度の3高度条件で別々の日にランプ負荷法による最大運動を行わせた。減圧および復圧速度は毎分150m相当高度であった。また、環境温度は25℃とし、相対湿度65%に設定した。測定は、目標相当高度到達後30分間の安静後に開始した。実験Ⅱのプロトコルを図9に示す。

表2 実験Ⅱの被検者の身体特性

	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Fat (%)	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ (ml/min/kg)	$\dot{V}\text{E}_{\text{max}}$ (l/min)
Mean	169.4	59.0	22.5	17.5	35.0	78.6
± SD	4.1	5.7	1.0	1.7	5.9	13.1

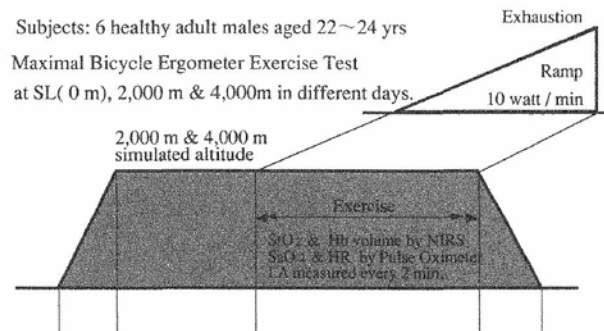


図9 実験Ⅱのプロトコル

測定項目は、動脈血酸素飽和度、組織酸素飽和度、総ヘモグロビン量、酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビンおよび血中乳酸であった。なお、測定方法等は、実験Ⅰと同様であるので省略する。

また、本実験においても被検者には事前に実験の目的・内容等について十分な説明を行い、その後、被検者全員より実験参加同意書の提出を受けた。

2. 3 結 果

常圧下における動脈血酸素飽和度は安静時から最大運動時まではほぼ約98%の定常値を示し、顕著な変化は認められなかった。また、2,000mおよび4,000m相当高度における安静時動脈血酸素飽和度は、それぞれ約95%および約84%であり、運動中は運動強度の増大に伴い低下する傾向が認められた。低圧環境下での運動時動脈血酸素飽和度は、運動強度の増大につれて低下する傾向を示した。また、常圧下と比べ、2,000m相当高度では平均約5%、4,000m相当高度では約20%もの低下が観察され、各高度間に有意差 ($p < 0.05$ または $p < 0.01$) が認められた (図10)。

常圧下における StO_2 は安静時から運動時にかけて約66~67%の定常値を示した。また、2,000mおよび4,000m相当高度の安静時 StO_2 は、それぞれ約65%および約62%であったが、運動中は運動強度の増加にともない低下する傾向を示し、2,000m相当高度下においては平均約2%、4,000m相当高度下においては平均約5%の低下を

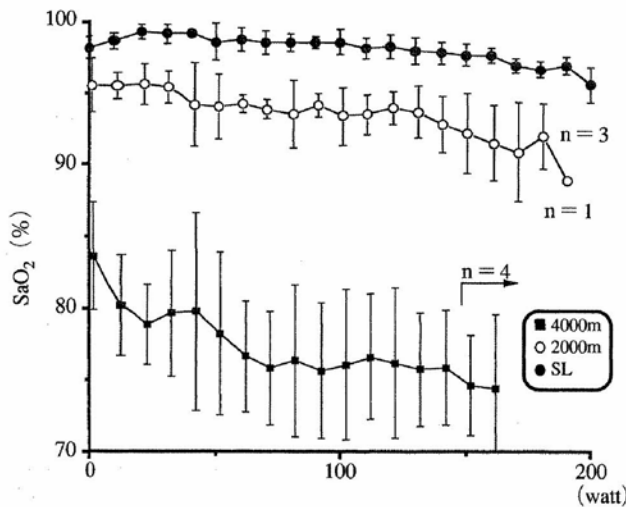


図10 急性低圧低酸素環境下における運動時動脈血酸素飽和度の高度別比較

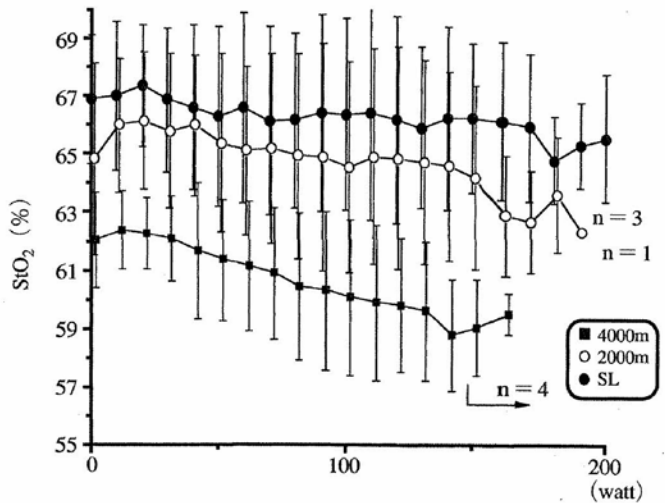


図11 急性低圧低酸素環境下における組織酸素飽和度の高度別比較

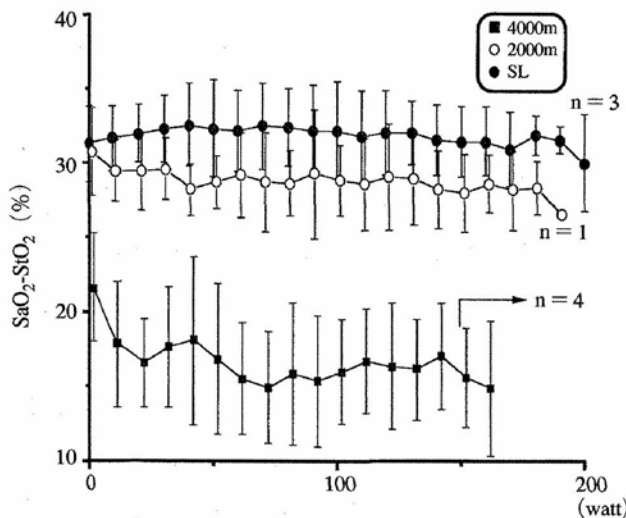


図12 急性低圧低酸素環境下における運動時 ($SaO_2 - StO_2$) の高度別比較

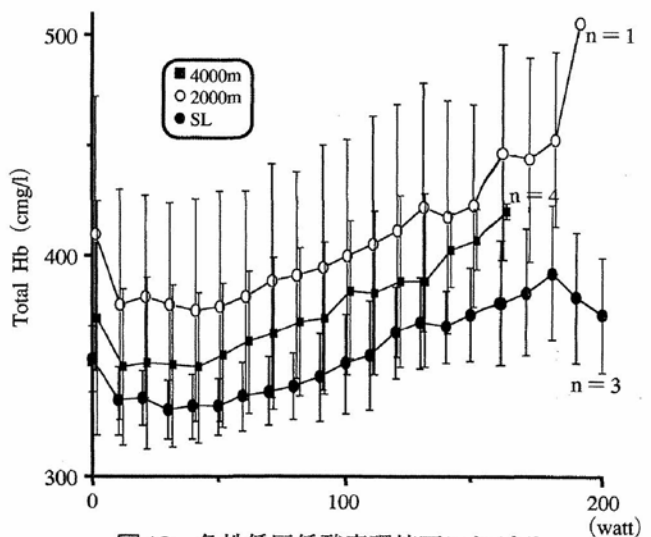


図13 急性低圧低酸素環境下における運動時総ヘモグロビン量の高度別比較

示した。常圧下と4,000m相当高度における平均 StO_2 は、両者間に有意差 ($p < 0.05$ ないし, $p < 0.01$) が認められた (図11)。

安静時 ($SaO_2 - StO_2$) は、常圧下および2,000m相当高度では約31%とほぼ同値を示したが、4,000mでは平均約21%を示し、常圧下および2,000mと比べ約10%もの有意な低下が認められた。また、高度の上昇に伴い運動時 ($SaO_2 - StO_2$) は低下する傾向を示し、常圧下と比べ、2,000m相当高度下では平均約3%、4,000m相当高度下では平均約6%低下し、有意差 ($p < 0.05$ ないし, $p < 0.01$) が認められた (図12)。

常圧下の Total Hb は安静時の約360cm・g/l から

運動開始直後に減少した後、運動強度の増加とともに漸増する傾向を示した。2,000mおよび4,000m相当高度においても常圧下と同様な傾向を示した。常圧下と比べ、2,000m相当高度下では平均約50cm・g/l、4,000m相当高度下では平均約20cm・g/l 高値を示した (図13)。

oxy Hb も Total Hb と同様に各高度とも安静時から運動開始直後に減少した後、運動強度の増大とともに漸増する傾向を示した。2,000mの oxy Hb は安静時の約260cm・g/l から最大運動時では280cm・g/l まで増加したが、常圧下および4,000mにおける安静時および運動時 oxy Hb は、常圧下と比べ約30～40cm・g/l 低値を示した (図14)。

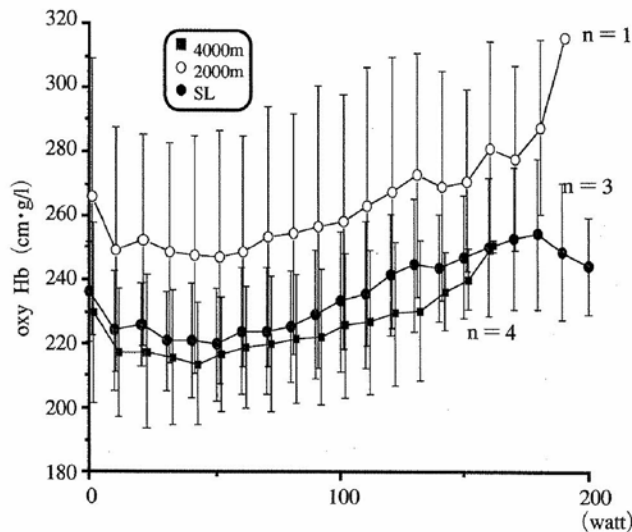


図 14 急性低圧低酸素環境下における運動時酸素化ヘモグロビン量の高度別比較

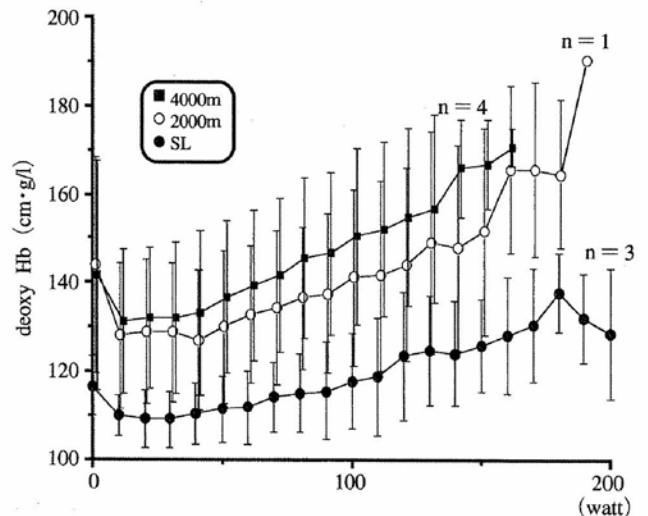


図 15 急性低圧低酸素環境下における運動時脱酸素化ヘモグロビン量の高度別比較

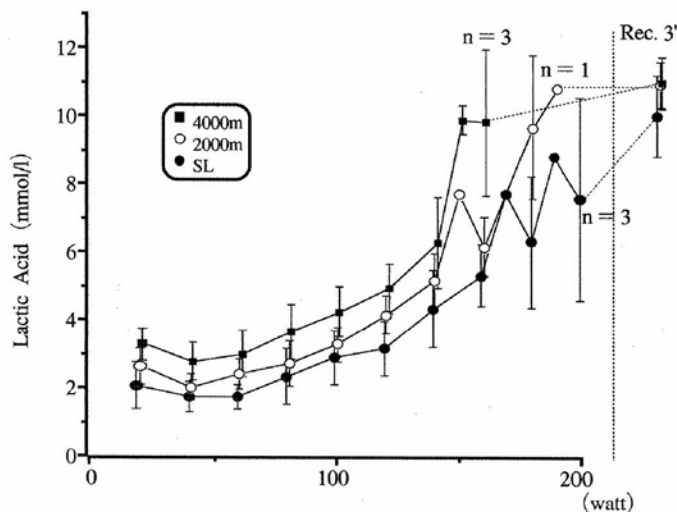


図 16 急性低圧低酸素環境下における運動時血中乳酸値の高度別比較

deoxy Hb も各条件下で安静時から運動開始直後に減少し、以後増加する傾向を示したが、常圧下と比較して2,000m および4,000 m相当高度においてそれぞれ平均約30cm·g/l および平均約50cm·g/l 高い値を示した(図15)。各高度とも運動時血中乳酸は、運動開始後に若干低下したものの、運動強度の増大とともに増加する傾向を示した。同一負荷強度に対する血中乳酸値は高度順に高い値を示し、4,000m 相当高度下においては常圧下と比べ有意に高い値を示した(図16)。

2. 4 考 察

運動時動脈血酸素飽和度は高度上昇と共に低下し、常圧下(平均約98%)に比べ2,000m 相当高

度で平均約5%(同93%)、4,000m 相当高度で平均約20%(同78%)もの有意な低下を示した。とくに、4,000m 相当高度での運動時動脈血酸素飽和度は、常圧下および2,000m と比較して個人差も大きい。この動脈血酸素飽和度の低下は、高度上昇に伴う大気圧の低下による酸素分圧の低下が肺胞内酸素分圧の低下を引き起こし、肺胞毛細血管内におけるヘモグロビンとの結合が阻害されることによりもたらされる。

高所における急性高山病の発症は一義的にこの低酸素血症により生じることから、低圧低酸素環境下においては可能な限りこの動脈血酸素飽和度を高く維持することが重要であり、このためには低酸素に対する高い換気応答能力や高い肺拡散能を有することが重要な因子となろう。

動静脈酸素較差を表すと考えられている($SaO_2 - StO_2$)は常圧下に比して2,000m 相当高度で平均3%、4,000 m 相当高度では平均16%有意に低下したが、この低下は主に組織酸素飽和度の低下よりも動脈血酸素飽和度の低下に依存していると考えられる。また、実験Ⅰの鍛錬者群における常圧下運動時($SaO_2 - StO_2$)は約32%前後で推移したが、これは実験Ⅱにおける常圧下における運動時($SaO_2 - StO_2$)動態と近似しており、鍛錬者群における高い有酸素性能力や O_2 extraction 能を反映し

ていると推察される。さらに、この結果は、鍛錬者が2,000m 高度下で同様の運動をしたならば、(SaO₂-StO₂) 動態は実験Ⅱの常圧下運動時のような高い (SaO₂-StO₂) 動態を示すものと推察され、高い (SaO₂-StO₂) 値を示すことが高所においては重要な因子となるものと考えられる。

まとめ

高所身体適性予測のために常圧下および急性低圧低酸素環境下における安静時および最大運動時の組織酸素飽和度動態を近赤外分光法を用いて検討を行い、以下の結果を得た。

- 1) 常圧下における運動時動脈血酸素飽和度動態には、鍛錬者群と非鍛錬者群との間に有意差は認められなかった。
- 2) 常圧下における運動時組織酸素飽和度動態は、鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも有意に低値を示し、鍛錬者群の高い O₂ extraction 能を反映していることが推察された。
- 3) 動静脈酸素較差を反映していると考えられる (SaO₂-StO₂) 値は、常圧下の運動時では鍛錬者群の方が非鍛錬者群よりも高値を示し、組織への酸素供給が鍛錬者群で大であることが認められた。
- 4) 急性低圧低酸素環境下における動脈血酸素飽和度は、高度の上昇に伴い有意に低下したが、4,000m 相当高度では個人差が大になる傾向が認められた。
- 5) 急性低圧低酸素環境下における組織酸素飽和度は高度依存で低下したが、その低下は動脈血酸素飽和度よりも僅少であった。
- 6) 動静脈酸素較差を反映していると考えられる (SaO₂-StO₂) 値は、4,000m 相当高度下の運動時では顕著な低下を示し組織への酸素供給が制限されうること示唆していよう。
- 7) 高所身体適性として低圧低酸素環境下において、高い動脈血酸素飽和度を有し、また、O₂

extraction 能が高く (組織酸素飽和度は低い)、さらに動静脈酸素較差を反映していると考えられる (SaO₂-StO₂) 値が高いことが重要な因子となることが示唆された。

謝 辞

本研究を進めるに当たり精力的に協力していただいた教室の院生・学部生の皆さんに感謝します。また、低圧シミュレーターの稼働や実験に協力を戴きました本学技官の藤原陸弘氏にお礼申し上げます。

また、本研究の機会を与えて下さった石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 浅野勝己, 水野康, 岡本三郎, 三村達也, 遠藤洋志; 急性低圧低酸素環境下における最大運動の筋内酸素動態に及ぼす影響, 筑波大学体育科学系科学系紀要, 19, 107-117 (1996)
- 2) Belardinelli, R., Barstow, T.J., Porszasz, J., and Wasserman, K.; Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70, 487-492 (1995)
- 3) Elwell, C.E., Cope, M., Edwards, A.D., Wyatt, J.S., Delpy, D.T., and Reynolds, E.O.R.; Quantification of adult cerebral hemodynamics by near-infrared spectroscopy, *J. Appl. Physiol.*, 77 (6), 2753-2760 (1994)
- 4) Haga, S., Bae, S.Y., Hamaoka, T., Katsumura, T., Toshinai, K., Koseki, S., Shiga, T., Nakase, Y., Kizaki, T., and Ohno, H.; Oxidative metabolism in skeletal muscle measured during supramaximal exercise in sprinter and active control groups by near infrared continuous wave spectroscopy, *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 4 (2), 57-64 (1998)
- 5) Homma, S., Eda, H., Ogasawara, S., and Kagaya, A.; Nearinfrared estimation of O₂ supply and consumption in forearm muscles working at varying intensity, *J. Appl. Physiol.*, 80 (4), 1279-1284

- (1996)
- 6) Mancini, D., Bolinger, L., Keith, H.L., Kendrick, K., Chance, B., and Wilson, J.; Validation of near-infrared spectroscopy in humans, *J. Appl. Physiol.*, 77 (6), 2740-2747 (1994)
 - 7) 酒井秋男, 柳平担徳, 浅野孝治, 斉藤健夫, 東弘三; 組織酸素飽和度 (StO₂) およびヘモグロビン量 (Hb vol) 測定装置の開発 医科機器学, 64 (6), 264-269 (1994)
 - 8) 塩崎知美, 刈野豊, 渡辺茂行, 鯨坂隆一, 石津政男, 勝田茂, 岡田守彦, 久野譜也; 近赤外分光法による高齢者の筋酸素動態, 体力科学, 47, 393-400 (1998)