

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

浅野勝己, 水野 康, 岡本三郎*, 三村達也**, 遠藤洋志***

Effect of acute hypobaric hypoxia on the oxidative dynamic response in skeletal muscle during maximal exercise

ASANO Katsumi, MIZUNO Koh, OKAMOTO Saburou*,
MIMURA Tetsuya**, and ENDO Hiroshi***

The purpose of this study is to elucidate the effect of acute hypobaric hypoxia on the oxidative dynamic response in leg muscle during maximal exercise. Subjects were five Japanese boys elite soccer players aged 15 - 16 years who were candidate for 1995 World Cup Junior. They worked incremental maximal cycling at sea level and in a hypobaric simulator (20°C, 3,000m, 526 Torr) on another day. Oxidative metabolism in M. vastus lateralis were measured by tissue SO₂, Hb monitor (PSA - III, Biomedical Science, Japan). This PSA - III monitor is capable of determining the oxygen saturation level of blood (StO₂) and hemoglobin volume (Hb vol) in the tissue noninvasively and continuously by LED. 1) StO₂: Although resting value indicates average 70% at both, during exercise at 3,000m altitude it shows a sharply decrease from average 70% to 60% at exhaustion, while it indicates a gradual decrease from 70% to 65% at sea level. 2) Oxy Hb & Deoxy Hb: Oxy Hb volume shows a gradual increase during exercise from 250-280cm³/g/l at rest to 300-330cm³/g/l at exhaustion, although it shows always 30cm³/g/l lower at 3,000 m altitude than at sea level. Deoxy Hb volume shows a sharply increase during exercise from 110-120cm³/g/l at rest to 180cm³/g/l at exhaustion, although it shows a almost the same value at both sea level and 3,000 m altitude. It might be concluded that acute hypobaric hypoxia caused a sharply decrease of tissue oxygen saturation during maximal exercise, however, it will be compensated by the increase of SaO₂-StO₂ with the enhancement of blood flow (tHb), although oxygen extraction during maximal exercise is unable to enhance at acute hypobaric hypoxia.

Key Words : Acute hypobaric hypoxia, NIRS, SaO₂ - StO₂, maximal exercise

* 筑波大学附属聾学校

* University of Tsukuba school for the deaf

** 阪南大学体育学研究室

** Laboratory for physical education, Han-nan University

*** 筑波大学大学院体育研究科

*** Master's program in health and sport sciences, University of Tsukuba

1. 緒言

近年、近赤外光 (near infrared, NIR) が生体内の酸素動態を非侵襲的に測定するために用いられてきている。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、組織透過性のよい 700~900 nm 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、その吸収度の異なる特性が注目されるに至った⁶⁾⁸⁾。1979年と1988年に Jobsis⁷⁾と Chance²⁾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最初に測定したが、現在、近赤外分光法 (near infrared spectroscopy, NIRS) として運動生理学研究の重要な一つの方法として利用されつつある^{3) 4) 5) 9)}。この NIRS には相対値の計測に限られるものと、絶対値表示の可能なものの2種類がある。前者は光路長の決定が困難なために相対値変化に留まるものの、運動時の測定には十分に応用できるとして利用されつつある。すなわち、近赤外半導体レーザーダイオードによる3波長 (780, 805, および 830nm) により、脱酸素化ヘモグロビン、総ヘモグロビン、および酸化ヘモグロビンの各吸収度を送受光間距離 3 cm の半分である 1.5cm の平均深度の組織について測定している。したがって3波長、1受光方式である。一方、1994年に酒井、斎藤¹¹⁾¹²⁾により開発された組織 SO₂・Hb量モニター (PSA-III N) は、光源にレーザーダイオードでなくライトエミティングダイオード (LED) を用い、とくに水の吸収度の影響の少ない3波長 (700, 750, および 830nm) により2受光方式を用いている。測定の前平均深度は送受光間距離である 1.5~2.5cm であ

り、しかも平均光路長が求められるため絶対値表示が可能である¹⁰⁾。さらに吸収体の濃度と波長光の吸収度が直線関係にあるとする Lambert-Beer の法則により組織の酸素飽和度 (StO₂) の測定が可能で、これは約 8% の誤差範囲で静脈血酸素飽和度 (SvO₂) に相当するとされている¹¹⁾。運動時の筋組織におけるヘモグロビンおよび酸素飽和度の動態について、低圧低酸素環境下における報告は局所の運動時に関するもののみであり¹²⁾、全身運動時の動態については未だ報告されていない。そこで本研究では、本装置を用いて 3,000m 相当高度の急性低圧低酸素環境下における最大運動時の筋内酸素動態¹⁾について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被検者：1995年ワールドカップ・ジュニア (17歳以下) 候補男子選手 5人 (15~16歳) を対象とした。その形態的特性および常圧と 3,000m 相当高度における VO₂ max および LT-VO₂について表 1 に示した。

2. 実験方法：実験は筑波大学体育科学系環境制御装置 (島津製作所製, 60m²) を用い、常圧下および 3,000m 相当高度 (526Torr) 下において行った。減圧および復圧は毎分 20Torr (200m 相当高度) とし、3,000m 相当高度では約 2 時間の滞在中に実験を行った。なお環境温度は 20℃, 相対湿度は 60% とした。

最大運動はまず常圧下で行い、その翌日に 3,000m 相当高度で行うものとした。実験のプロトコルは図 1 に示すとおり、Monark 社製自転

Table 1 Physical characteristics and aerobic work capacity in soccer boys player

(yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Aerobic work capacity			
			Sea level		3000 m	
			VO ₂ max	LT-VO ₂	VO ₂ max	LT-VO ₂
A.T. (15)	177.4	64.9	69.3	65.0	62.9	52.8
S.M. (16)	175.0	69.0	71.3	53.5	59.9	47.2
Y.K. (16)	160.5	56.0	71.6	52.0	61.1	48.0
N.Y. (16)	176.2	61.5	69.9	64.2	63.0	51.1
W.T. (16)	180.5	70.7	65.1	50.9	51.3	43.6
Mean	173.9	64.4	69.4	57.1	59.6	48.5
SD	7.7	5.9	2.6	6.9	4.8	3.6

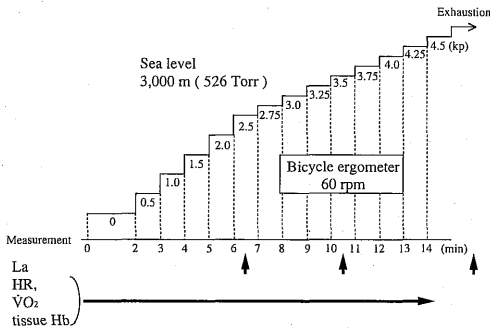


Fig.1 Experimental protocol and experimental scene.

車エルゴメーターによる負荷漸増最大運動とした。すなわち回転数60rpmとし、2分間の無負荷運動に引き続いて1分毎に2.5kpまでは0.5kp、それ以後は0.25kpずつ漸増して疲労困憊に至らしめた。

運動中はMIJNHARDT社製Oxyconにより連続的に $\dot{V}O_2$ の測定を行い、また2.5kp(6~7分)、3.5kp(10~11分)、および運動終了3分目の3点において指尖より採血し、YSI社製Lactate analyzerにより分析した。この3点の乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ の関係よりLT- $\dot{V}O_2$ を求めた。なおOxyconによる $\dot{V}O_2$ の測定は60秒毎とし、心拍数が170拍/分を超える辺りから30秒毎とした。さらに、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)のプロープは装置の操作に熟練した1人の検者により、左大腿部外側広筋中央部(大転子と大腿骨外側顆を結ぶ線上の midpoint)に装着された(図1の写真参照)。動脈血酸素飽和度(SAO_2)はOhmeda社製Biox IIIを用い、ear-oxymer法により測定した。

3. 組織 $SO_2 \cdot Hb$ 量モニター (PAS-III N) の

概要(図2~4):組織中の毛細血管内の血液の3波長(700, 750, および860nm)の光に対する吸光度にLambert-Beerの法則を適用して StO_2 (%)を求め、 Hb 量は平均光路長と Hb 量を乗じた単位 $cm \cdot g/l$ で表示される。

酸素化 Hb (oxy Hb) = 総 $Hb \times StO_2$ ($cm \cdot g/l$)

脱酸素化 Hb (deoxy Hb) = 総 $Hb - HbO_2$ ($cm \cdot g/l$)

組織 O_2 摂取量 (VtO_2) = 総 $Hb \times (SaO_2 - StO_2)$

これらの指標を運動中および回復3分間にわたり計測した。

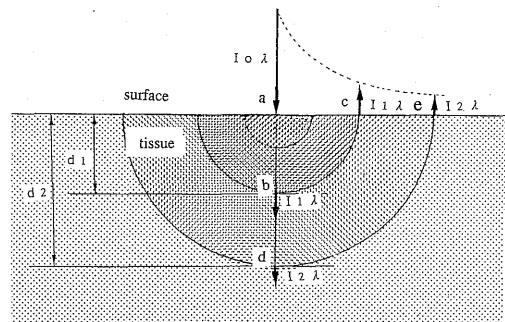


Fig.2 Infrared light and its distribution in the tissue by PSA-III N

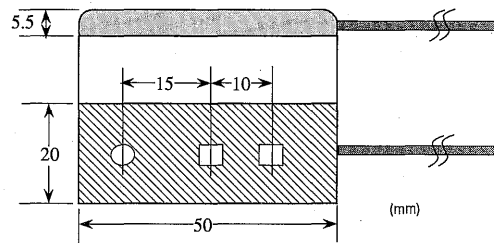


Fig.3 The sensor of PSA-III N. The sensor of the PSA-III N has a light source built-in near one end of a 20×50 mm board, and one light receiver is placed at 15 mm away from the light source, in the center of the board and the other light receiver is placed 10 mm away from the first one. With this instrument, measurements within tissues at depths of 15-25 mm can be made.

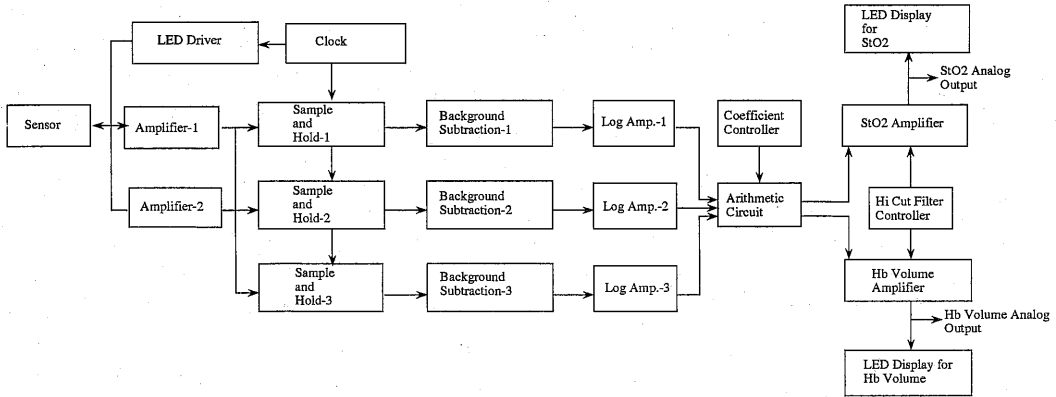


Fig.4 The block diagram of PSA-III N

以上の測定項目について、常圧下と3,000m 相当高度の同一運動時間における平均値の差の検定を paired t-testにより行い、有意水準を5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 最大有気的作業能および乳酸性作業閾値 (LT-VO₂) : 常圧下における5人の平均VO₂ max値である69.4 ml/kg/minは、3,000m相当高度では59.6ml/kg/minと約14%低減した。またLT-VO₂においても常圧下の平均57.1ml/kg/minに対し、3,000m相当高度では48.5ml/kg/minへ約15%の低減であった(表1)。また最大運動時間では、常圧下では平均17分あったが、3,000m相当高度では平均14.2分となり、約16%低減をした(表2)。このように3,000m相当高度での最大

運動時には、最大有気的作業能、乳酸性作業閾値、および最大運動時間は約14~16%低減することが明らかとなった。

2. 諸指評の平均値の変化

最大運動時間は、常圧下では15.5~18.5分(平均17.0±1.3分)、3,000m相当高度では13~15.5分(平均14.2±1.1分)であった。したがって被検者全員の測定値が得られた常圧下における運動15分まで、3,000m相当高度における運動13分まで、および回復時の平均値の結果について以下に述べる。

1) 動脈血酸素飽和度 (SaO₂) :

常圧下における運動時SaO₂は約98%の定常値を示し、回復後もほぼ同等であった。これに対し3,000m相当高度においては、安静時の約90%から運動負荷の漸増に伴って低減し、12分目では最

Table 2 Blood lactate during incremental pedaling exercise and just after exhaustion and exhaustion time at sea level and 3,000 m simulated altitude

	Blood lactate (mM)						Exhaustion time (min)	
	150W		210W		Exhaustion			
	Sea level	3,000 m	Sea level	3,000 m	Sea level	3,000 m	Sea level	3,000 m
A.T. (15)	1.6	1.6	2.6	3.6	8.9	11.0	17.0	15.0
S.M. (16)	2.3	1.8	3.6	3.4	9.5	10.3	18.5	15.5
Y.K. (16)	2.2	2.4	4.7	6.4	8.8	10.4	15.5	13.0
N.Y. (16)	2.5	2.4	3.3	4.3	8.8	7.7	16.0	14.0
W.T. (16)	2.5	2.3	3.4	4.1	7.3	7.9	18.0	13.5
Mean	3.3	4.4	3.3	4.4	8.7	9.5	17.0	14.2
SD	0.9	1.2	0.9	1.2	0.8	1.5	1.3	1.1

低の平均82%に達した。回復時には漸増して安静値をやや上回る値を示した。運動時および回復時とも常圧と3,000m相当高度における1分毎のSaO₂値は、両者間に1%ないし5%水準の有意差が認められた(図5)。

2) 組織酸素飽和度 (StO₂) :

常圧における運動時StO₂は安静時の約71%から65%へ約6%低減した。また3,000m相当高度においては安静時の約70%から運動中は63%へ約7%低減した。したがって、両条件下とも運動負荷の漸増にしたがってStO₂は減少したが、3,000m相当高度の方が運動中、常に約3%低値傾向にあった(図5)。回復時では両条件とも安静値を上回り、常圧下では約75%、3,000m相当高度では約73%に達した。

3) 動脈酸素飽和度—組織酸素飽和度較差 (SaO₂-StO₂) :

常圧下では、安静時の約25%から運動負荷漸増に伴い増加し、約32%で定常値に達した。一方、3,000m相当高度においては安静時の約17%から運動中には約20%のほぼ定常値を示した。運動終

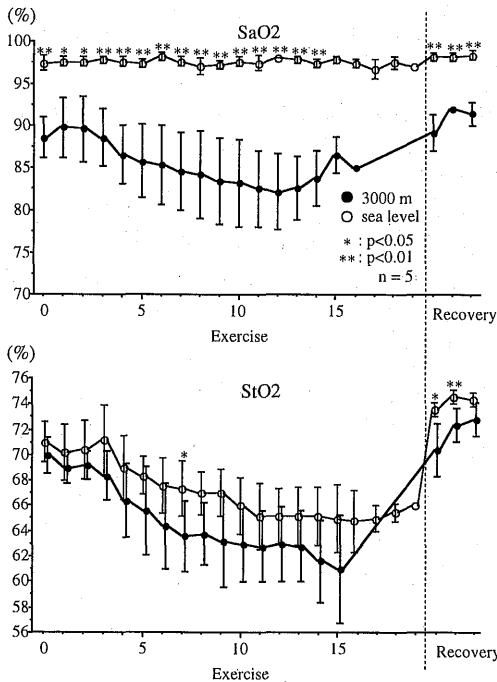


Fig.5 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on SaO₂ and StO₂

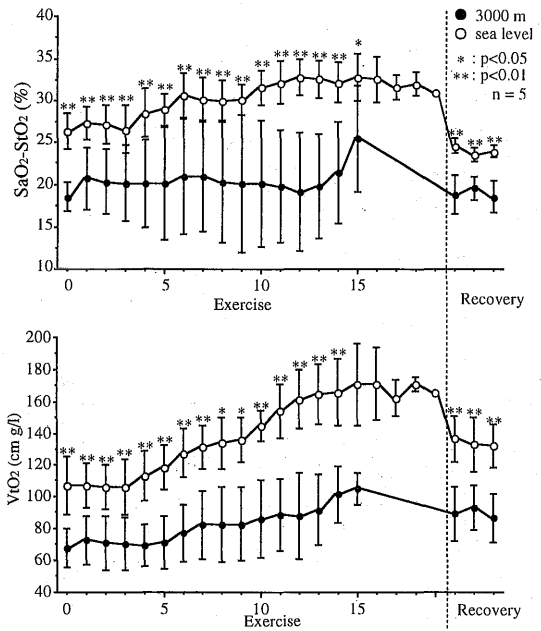


Fig.6 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on SaO₂-StO₂ and VtO₂

了後の値は両条件下とも減少し、ほぼ安静値まで回復した。運動時における3,000m相当高度のSaO₂-StO₂は常圧下に比して有意に低値(P<0.05)であり、負荷漸増に伴ってその差が増大する傾向にあった(図6)。

4) 組織酸素摂取量 (VtO₂) :

常圧下の値は安静時の約110cm³・g/lより運動負荷漸増に伴って増大し、運動15分目には約170cm³・g/lへ約55%増大した。一方、3,000m相当高度では安静時の約70cm³・g/lより運動負荷漸増に伴って最大約90cm³・g/lまで増大し、回復時には減少傾向を示した。この両者間には30~70cm³・g/lの有意差(図6)(P<0.05)が認められ、運動負荷漸増に伴ってこの差は増大する傾向にあった。

5) 酸素化Hb (oxy Hb), 脱酸素化Hb (deoxy Hb) および総Hb (t Hb) :

(図7)
oxy Hb量は常圧下では安静時の約300cm³・g/lから運動約7分目まで漸減傾向にあったが、その後漸増して約330cm³・g/lへ10%の増加傾向を示し、回復時には更に400cm³・g/lへ急増した。一

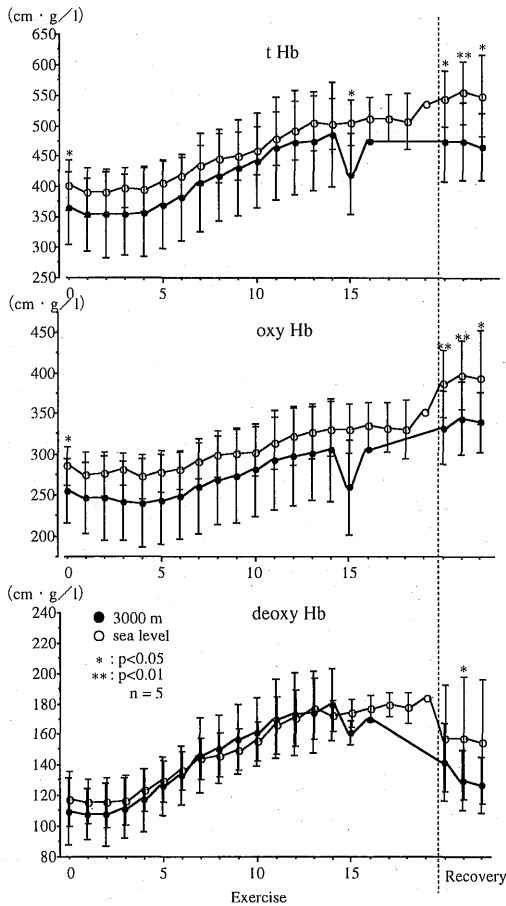


Fig.7 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on total Hb, oxy Hb and deoxy Hb

方、3,000m相当高度では、安静時の約250cm·g/lから運動約6分目までやや漸減し、その後漸増して約300cm·g/lと20%の増加傾向を示し、回復時には更に330cm·g/lに達した。3,000m相当高度の運動中の値は常に常圧下よりも約30cm·g/l低値傾向にあり、回復時には有意差 (P<0.05) が認められた。

deoxy Hb量では、常圧下および3,000m相当高度ともほぼ同等な値で同じ傾向が認められた。すなわち安静時の110~120cm·g/lより運動3分目から漸増を示し、その後180cm·g/lへ約60%の増加が認められた。回復時には3,000m相当高度の

方が約20cm·g/l低値を示し、回復の速い傾向にあった。t Hb量はoxy Hb量の変化とはほぼ同様な傾向にあった。すなわち常圧下と3,000m相当高度ともに安静時の350~400cm·g/lから運動約5分目より漸増し、その後450~500cm·g/lと25~30%の増加傾向にあった。また3,000m相当高度の運動中および回復時の値は常圧下よりも30~50cm·g/l低値傾向にあり、回復時では有意差 (P<0.05) が認められた。

3. 個人別応答特性

1) SaO₂, StO₂, SaO₂-StO₂, および VtO₂の変化: (図8-1, 2)

5人ともSaO₂は常圧下では運動中約98%を示したが、3,000m相当高度では著しい個人差が認められた。特に常圧下から3,000m相当高度への最大運動時間の短縮率および最大酸素摂取量の低下率の最も小さい(17分から15分および69.3 ml/kg/minから62.9 ml/kg/min) A. T.とこれらの最も大きい(18分から14分および65.1 ml/kg/minから51.3 ml/kg/min) W. T.に着目してみる。A. T.は低圧下で最大運動時に88%を示し、5人中で最高値を示した。これに対しW. T.では75%を示し、5人中最低値であった。また他の被検者では、Y. K.では異なるもののS. M.およびN. Y.のように15.5分および14分と低圧下で比較的長く運動を継続できた被検者では最大運動時SaO₂が80~85%と比較的高い値であったことが指摘される。

StO₂では5人とも常圧下では安静値の約70%から運動中60~65%に低下する傾向にあったが、3,000m相当高度では著しい個人差を示した。すなわちA. T.は最大運動時で約55%に低下し、5人中最も低下が著しかったが、W. T.の最大運動時における値は約65%と高値傾向にあった。したがってSaO₂-StO₂を常圧下および低圧下について比較すると、A. T.では特に低圧下でSaO₂が運動中高く維持され、一方StO₂の低下度が著しいためにSaO₂-StO₂が大きくなり、常圧下の値との差が僅少となっていたことがわかる。一方W. T.では、常圧下のSaO₂-StO₂は運動負荷漸増とともに上昇傾向を示したのに対し、低圧下では逆に運動中10分目まで減少傾向を示し、その後漸増したが、この両者の差は約20%に拡大した。

低圧下において、運動中のSaO₂-StO₂が負荷漸増に伴って増加する傾向を示したのはA. T.のみ

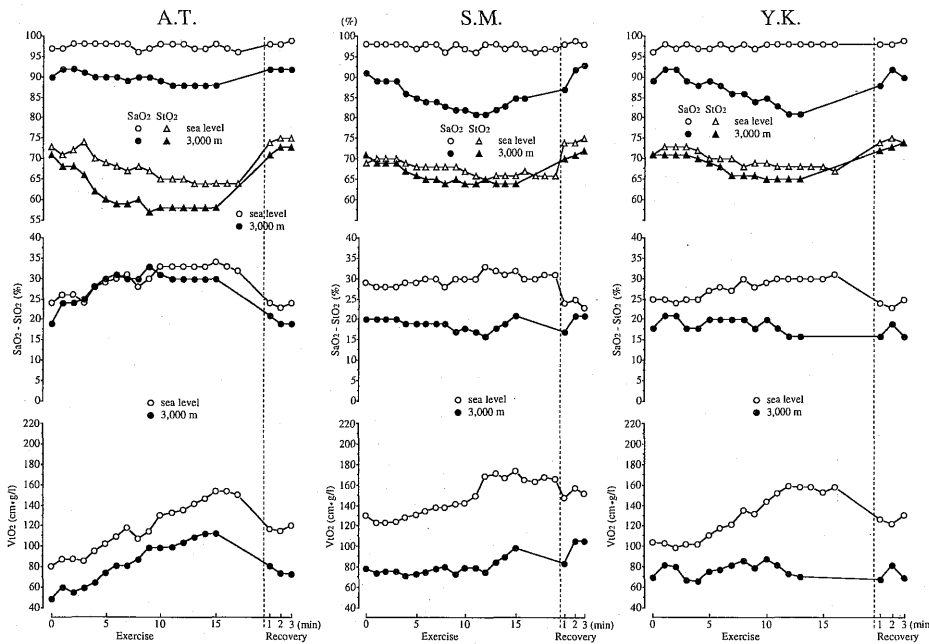


Fig.8-1 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on SaO₂, StO₂, SaO₂-StO₂ and VtO₂ of individual values

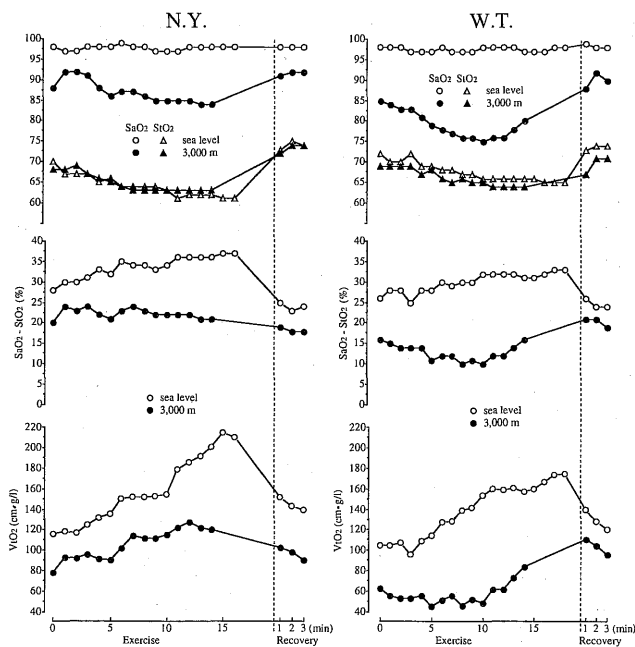


Fig.8-2 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on SaO₂, StO₂, SaO₂-StO₂ and VtO₂ of individual values

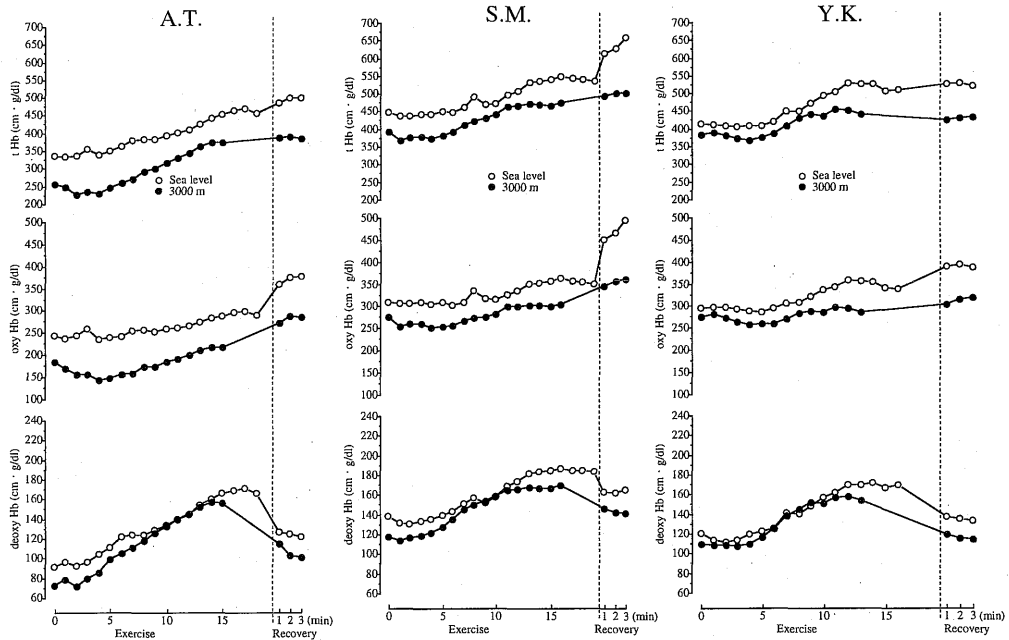


Fig.9-1 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on total Hb, oxy Hb and deoxy Hb of individual values

であり、他の4人は全て減少傾向にあった。この中でも特に著しい減少を示し、常圧下と低圧下の差の最も大きかったのがW. T. (10~15%)であった。他の3人の被検者の常圧下と低圧下のSaO₂-StO₂の差は、最大10~15%であった。

次にtHb量とSaO₂-StO₂の積で示されるVtO₂についてみると、5人も常圧下では運動負荷漸増と共に増加し、最大運動時には160~220cm·g/lに及んだ。一方、低圧下では、14~15.5分運動が継続できたA. T., N. Y., およびS. M.では最大運動時で100~120cm·g/lへ増大したが、13~13.5分で中止したW. T. およびY. K.では40~80cm·g/lとなり、特にW. T.では運動中減少する傾向を示し、Y. K.では70~80cm·g/lに定常化してVtO₂の増加が認められなかった。

2) oxy Hb, deoxy Hb および t Hb : (図9-1,2)

運動中および回復中のoxy Hbおよびt Hbの変化は、S. M., A. T., およびY. K.の3人においては常圧化および低圧下とも運動負荷漸増とともに増加する傾向を示したものの、常に低圧下の値が常圧下より50~100cm·g/l低値であった。一方、N. Y.およびW. T.については異なった変化が認め

られ、N. Y.では運動後半で低圧下の値が常圧下をやや上回り、W. T.では両者ともほぼ同等の値となった。

IV. 考察

1) 各平均値の変化:

StO₂は約8%の誤差範囲でSvO₂とほぼ同等であると指摘されている¹¹⁾ので、本研究での3,000m相当高度での最大運動時に約60%に低減し、常圧下の約65%に対して5%低値を示したことは、低圧低酸素によるSvO₂の低減を示している。Sakaiら¹²⁾は、外側広筋の30秒間の等尺性収縮を4,000m相当高度で行った際に、StO₂が平均50%に低下し、常圧下に比して収縮後の回復の遅延したことをPSA-III Nにより認めている。本研究の運動様式は動的な脚運動であり、高度が3,000m相当であったことから、60%への低減と妥当な値とも思われる。

動静脈酸素較差と考えられるSaO₂-StO₂については、常圧下運動時に平均25%から33%へと8%の増加を示したのに対し、低圧下運動時には運動13分目まではほぼ安静値と同等の20%を示した。

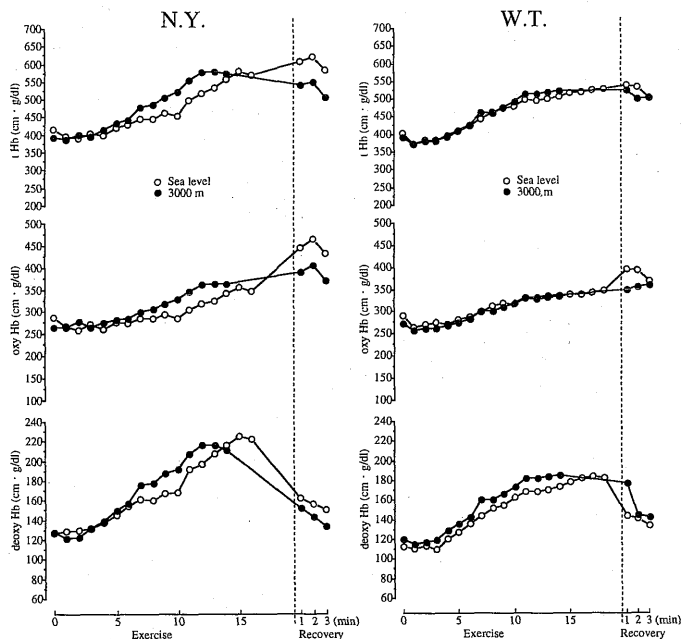


Fig.9-2 Comparison between exhaustive pedalling at sea level and 3,000m on total Hb, oxy Hb and deoxy Hb of individual values

この結果は、3,000m 相当高度での最大運動時の筋への酸素供給が増加し得ない状況を示している。したがって SaO_2-StO_2 と t Hb 量（組織の血液量）との積である VtO_2 は常圧下運動時には安静時の $110cm \cdot g/l$ から約 $170cm \cdot g/l$ へと55%の増加を示すのに対し、低圧下運動時では $70cm \cdot g/l$ から約 $100cm \cdot g/l$ へと約40%の増加に留まっている。しかも絶対値では常圧下よりも $40 \sim 60cm \cdot g/l$ 低値である。Sakai ら¹²⁾も外側広筋の30秒間の等尺性収縮により常圧下では $140cm \cdot g/l$ に増加したが、4,000 m 相当高度では約 $110cm \cdot g/l$ であり、低圧下運動では VtO_2 が減少することを報告している。これらの傾向は本研究の結果とほぼ同等である。

5人の平均値の変化からは、常圧下および低圧下の運動中に t Hb, oxy Hb, および deoxy Hb は漸増傾向にあるが、t Hb および oxy Hb 量は低圧下で常圧下よりも $25 \sim 50cm \cdot g/l$ 低値傾向にあった。しかし deoxy Hb 量では両環境下とも同等な値を示した。すなわち oxy Hb 量の低圧下での減少傾向は SaO_2 および StO_2 の各約83%および60%への低減と同期していることが考えられる。

2) 個人別応答特性:

A. T. にみられた低圧運動中の SaO_2 が高く維持され、かつ StO_2 の低減が著しい傾向は、低圧下においても SaO_2-StO_2 を増加させ、組織酸素摂取 (VtO_2) の増加をもたらすことになる。したがって常圧下および低圧下の SaO_2-StO_2 は運動負荷漸増とともに上昇し、両者の差は僅少になっている。これが低圧低酸素耐性に優れたタイプと考えることができよう。一方、W. T. にみられた低圧下運動中の SaO_2 の著しい低下と StO_2 の比較的少ない低減傾向は、低圧下の SaO_2-StO_2 を減少させる方向となり、 VtO_2 の減少をもたらすことになる。したがって常圧下および低圧下の SaO_2-StO_2 は拡大する。これは A. T. と全く逆のタイプであり、低圧低酸素耐性に劣ることが考えられる。すなわち3,000m 相当高度での最大運動時間は、A. T. の15分に対し W. T. は13分であった。他の3人については S. M. および N. Y. は A. T. のタイプに近く、Y. K. は W. T. のタイプに近いと考えられる。また W. T. については、低圧下運動時の t Hb および oxy Hb 量が常圧下と同等であり、deoxy Hb 量がやや増大する傾向を示している。さらに W. T. につ

いては、最大換気量が常圧下で105.4 l/min, 3,000m 相当高度で127.1 l/minを示した。これらの値は他の4人の値(常圧下最大換気量; A. T.: 146.6 l/min, S. M.: 158.3 l/min, Y. K.: 130.1 l/min, および N. Y.: 149.6 l/min, 低圧下最大換気量; A. T.: 153.7 l/min, S. M.: 168.4 l/min, Y. K.: 144.3 l/min, および N. Y.: 161.9 l/min) に比べ著しく低値である。この常圧下および低圧下運動時の低換気がSaO₂の著減, StO₂の低減抑制, さらにVtO₂の低減をもたらしたものと考えられる。現在, 低圧低酸素環境下における有酸素性の運動耐性および運動能力の妥当な指標については未だ報告はないが, 本研究の結果から, 低圧下運動時におけるStO₂およびVtO₂の動態が指標として用いられ得る可能性が示唆された。

V. 要約

1995年ワールドカップジュニア(17歳以下)代表候補男子選手5人(15~16歳)について常圧下および急性の3,000m相当高度下において, それぞれ別の日に自転車エルゴメーターによる最大運動を行わせ, 有氣的作業能および筋内酸素動態について検討した。筋内酸素動態については左脚大腿部外側広筋表面に組織SO₂・Hb量モニター(PSA-III N)のセンサーを装着し, LEDによる3波長, 2受光方式を用いて組織SO₂(StO₂), 総ヘモグロビン量(t Hb), 酸素化ヘモグロビン(oxy Hb), および脱酸素化ヘモグロビン(deoxy Hb), さらにear-oxymeter法により耳朶のSaO₂を測定し, SaO₂-StO₂を求め, これにt Hbを乗じて組織酸素摂取量(VtO₂)を求めた。

1) StO₂: 平均値では, 常圧下で安静値の70%から最大運動時の65%へ減少するが, 低圧下では70%から60%へ著しい減少を示した。

2) SaO₂-StO₂: 平均値では, 常圧下で安静値の25%から最大運動時の32%へ漸増するが, 低圧下では安静値の20%は運動時でも13分目までは一定値を示し増加しなかった。この事実は低圧下の運動中に組織酸素利用が亢進し得ないことを示唆している。

3) VtO₂: 血液量を示すt HbとSaO₂-StO₂の積で示される組織酸素摂取量(VtO₂)は, 低圧下運動では漸増傾向にあるが, 常圧下の場合に比して40~60 cm³/g/lの有意な低値を示している。

4) 個人別応答特性からみると, 低圧下運動時

のSaO₂の低下抑制およびStO₂の低下亢進とその結果引き起こされるSaO₂-StO₂の増加, すなわちVtO₂の増加度の大きいことが低圧低酸素耐性の高いことを反映するものと考えられる。

本研究は平成6年度および平成7年度文部省一般研究(B)「高所トレーニングの呼吸循環内分泌応答に及ぼす影響」(課題番号06454625)により行われたものであり, 研究の要旨はアメリカ・スポーツ医学会(ACSM)特別学会(インディアナポリス, Sept. 28-30 1995)「骨格筋の酸化的代謝および血流調節」において発表した。

文 献

- 1) Asano, K., Mizuno, K., Okamoto, S., Mimura, T., and Endo, H. (1995): Effect of acute hypobaric hypoxia on the oxidative metabolism in skeletal muscle during maximal exercise. Regulation of Oxidative Metabolism and Blood Flow in Skeletal Muscle, p23, ACSM Basic Science Speciality Conference, Sept. 28-30, 1995, Indianapolis, USA.
- 2) Chance, B., Nioka, S., Kent, J., McCully, K., Fountain, M., Greenfield, R., and Holtom, S. (1988): Time resolved spectroscopy of hemoglobin and myoglobin in resting and ischemic muscle. Anal. Biochem. 174: 698-707.
- 3) Chance, B., Dait, T. M., Chang, C., Hamaoka, T., and Hagerman, F. (1992): Recovery from exercise induced desaturation in the quadriceps muscle of elite competitive rowers. Am. J. Physiol. 262: C 766-775.
- 4) Hamaoka, T., Albani, C., Chance, B., and Iwane, H. (1992): A new method for the evaluation of muscle aerobic capacity in relation to physical activity measured by near infrared spectroscopy. Med. Sport Sci. 37: 421-429.
- 5) Haampson, N. B. and Piantadosi, C. A. (1988): Near infrared monitoring of human skeletal muscle oxygenation during forearm ischemia. J. Appl. Physiol. 64: 2449-2457.
- 6) 岩根久夫, 浜岡隆文 (1995): 近赤外分光法

- による生体内酸素動態の測定。体力科学 44 : 475-480.
- 7) Jobsis, F. F. (1977) : Noninvasive infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. Science 198 : 1264-1267.
- 8) Mancini, D. M., Bolinger, L., Li, H., Kendrick, K., Chance, B., and Wilson J. R. (1994) : Validation of near infrared spectroscopy in humans. J. Appl. Physiol. 77 : 2740-2747.
- 9) McCully, K., Iotti, S., Kendrick, K., Wang, Z., Posner, D. J., Leigh, J., And Chance, B. (1994) : Simultaneous in vivo measurements of HbO₂ and saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. J. Appl. Physiol. 77 : 5-10.
- 10) Narita, N., Tominaga, T., Koshu, K., Mizoi, K., and Yoshimoto, T. (1994) : Monitoring of brain tissue hemoglobin concentration and oxygen saturation using a three wave length spectrophotometric method. Neuro. Res. 16 : 428-432.
- 11) 酒井秋男, 斎藤建夫, 東 弘三, 柳平坦徳, 浅野功治 (1994) : 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. 医器学 64 : 264-269.
- 12) Sakai, A., Saito, T., Yanagidaira, Y., Kashimura, O., and Terasawa, K. (1995): A new method for measurement of tissue oxygen consumption in humans using near-infrared spectroscopy. FASEB. J. 9 : A 17.