

低圧・低酸素環境下運動における 負荷強度と心拍応答に関する研究

浅野 勝己・高橋 裕美*・菊地 和夫**
松坂 晃***・千葉 智則****

Studies on the Relationships between Heart Rate and Work Intensity during Work at Acute Hypobaric Hypoxia

Katsumi ASANO, Hiromi TAKAHASHI*, Kazuo KIKUCHI**
Akira MATSUZAKA *** and Tomonori CHIBA ****

The purpose of this study is to elucidate the relationships between heart rate and work intensity during submaximal and maximal pedaling work at various simulated high altitudes.

Subjects were four male climbers in aged 27 to 38.

For submaximal test, pedaling on Monark ergometer (60 rpm) at the load of 540 kpm/min and 810 kpm/min were performed for 6 min, respectively. For maximal test, exhaustive maximal pedaling work that load was increased stepwise by every 1 min from 180 kpm/min up to exhaustion was conducted. These aerobic work capacity determination test were performed at sea level, 3,000m, 4,000m, 5,000m and 6,000m simulated altitudes by using hypobaric chamber.

Results were summarized as follows:

- 1) $\dot{V}O_2$ max at 3,000m, 4,000m, 5,000m, and 6,000m simulated altitudes decreased by 6%, 9%, 25% and 50% compared to the value of sea level, respectively.
- 2) Heart rate to a given oxygen intake during work increased in accordance with an increase of altitudes until 5,000m.

Therefore, the relationships between heart rate and % $\dot{V}O_2$ max from sea level to 5,000m altitude showed a almost the same regression line, while the line in 6,000m altitude showed a relative lower tendency than the lines at other lower altitudes.

From these results, it seems to be able to apply the relationships between heart rate and % $\dot{V}O_2$ max during work at sea level to the work at simulated altitudes until 5,000m.

I はじめに

高所では、気圧の低下と共に、吸気 O_2 分圧が低下し、生体への O_2 摂取が困難となる。一方、スポーツ、トレーニングなどの身体運動の生理的効果は、最終的に組織細胞に、低 O_2 状態をもたらすことに外ならない。従ってトレーニングの目的は、組織の低 O_2 耐性(閾値)を高めることであると考えられる^{1,3)}。

この組織に低 O_2 状態を付与する方法は、高所滞在か低圧シミュレーターによる暴露である。経済的負担のため、後者の環境制御装置による simulated high altitude hypoxia の方法が、1961年の日本体育協会スポーツ科学委員会「低圧トレーニング研究」¹⁵⁾以来実施されて来ている。とくに中長距離走選手^{6,7)}および水泳選手⁶⁾、さらに高山病予防のための、高所登山者への低圧順応トレーニング^{5,16)}が意欲的に取組まれている。

しかし低圧環境におけるトレーニング負荷強度の設定法について、常圧下での% $\dot{V}O_2$ max水準を

* 筑波大学大学院体育研究科

** 筑波大学大学院体育科学研究科

*** 茨城大学教養部

**** 東北学院大学教養部

そのまま応用することの妥当性は、未だ明らかにされていない。

そこで低圧シミュレーターにより、3,000m～6,000mの各高度への急性暴露時の運動時負荷強度 (% $\dot{V}O_2$ max) と心拍数 (HR) 応答関係について検討することを目的とする。

II 研究方法

1) 被検者

27歳～38歳の健康成人男子4人を被検者とし、その身体的特性を表1に示した。このうちK.S.(27歳)とA.O.(29歳)は、6,900m峰を、T.N.(36歳)とM.I.(38歳)は5,900m峰の各登頂を期している登山家である。各被検者とも国内の3,000m級の登山経験10～15年の者であった。

2) 負荷方法

常圧および低圧下の測定は、筑波大学体育科学系環境制御装置 (61m³ 容量, 島津製作所製) を用いて行い、常圧下 (sea level, 760 Torr), 低圧下の3,000m相当高度 (526 Torr), 4,000m相当高度

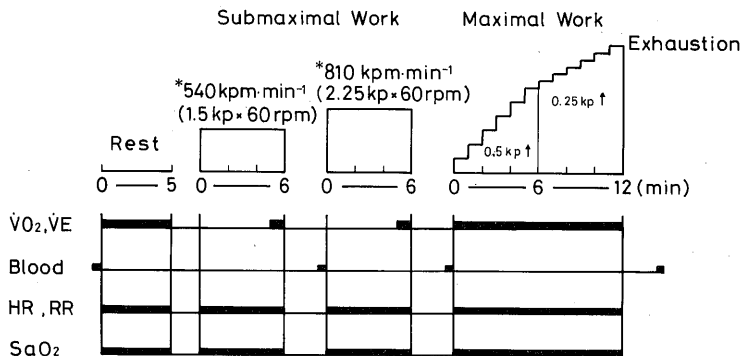
(462 Torr), 5,000m相当高度 (405 Torr) および6,000m相当高度 (345 Torr) における測定は、それぞれ1日1回を原則として、同一被検者には少なくとも2日置きに行なった。低圧の減圧速度および復圧速度は、10～20 Torr/minとした。なお低圧室内を強制換気し、CO₂濃度の上昇を防止すると共に、環境温を25°C, 相対湿度を60%に保持するよう環境制御を行なった。

各高度(常圧下, 3,000～6,000m相当高度)に到達後ほぼ30分間の安静状態を保ち、その後サドル上の座位姿勢にて安静時の測定を5分間行なった。その後、Monark社製自転車エルゴメーター (60rpm) により、540kpm/min (1.5kp) 強度での6分間ペタリング、および810kpm/min (2.25kp) 強度での6分間ペタリングの2種類の各最大下運動を実施した。さらに引続いて180kpm/min (0.5kp) 強度から6分までは1分毎に180kpm/min (0.5kp) 強度ずつ負荷を漸増し、6分以後は90kpm/min (0.25kp) 強度ずつ負荷を強めてexhaustionに至らしめた (図1)。

Table 1 Physical characteristics in subjects

Subjects (male)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Skinfold Triceps (mm)	Thickness Subscap (mm)	LBM (kg)	% Fat (%)
K.S.	27	166.8	64.5	4.5	11.5	56.9	11.8
A.O.	29	173.6	59.3	7.0	8.5	52.4	11.6
T.N.	36	167.8	59.5	5.0	11.5	52.4	12.0
M.I.	38	174.0	51.5	4.0	5.0	47.1	8.6
\bar{X}	32.5	170.6	58.7	5.1	9.1	52.2	11.0
SD	4.6	3.3	4.6	1.1	2.7	3.5	1.4

LBM: Lean Body Mass



* The work loads were varied by each subject's heart rate response in and above 4000m.

Fig. 1 Protocol of the experiment.

3) 測定方法

- (1) 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と換気量 ($\dot{V}E$) : ダグラスバッグ法により, 安静時は5分間, 最大下運動時には5~6分目の1分間を採気し, 最大運動時は運動中すべてにわたり1分毎にexhaustionまで連続的に採気した。呼気ガス ($F_{E}O_2$, $F_{E}CO_2$) の分析には, 標準ガスで校正した質量分析器 (Perkin-Elmer社製, MGA-1100) を用いて行ない, 換気量は乾式ガスメーターにより測定した。
- (2) 心拍数 (HR) と呼吸数 (RR) : 実験中は全過程について, 胸部双極誘導法による心電図およびマウスピース内に装置したサーミスターより得られる呼吸曲線を, それぞれ環境制御室外で監視用として誘導記録した。
- (3) 血中乳酸濃度 (HLa) およびヘモグロビン (Hb) ・ヘマトクリット (Ht) : 血液は安静時, 2種類の最大下運動および最大運動終了後3分目に, 肘静脈より約2mlずつ採血した。HLa ($\text{mM} \cdot \text{l}^{-1}$) の測定は, 採血後直ちに抗凝固剤の入った採血管に移し, 100 μl を10倍に希釈した。このサンプルをRoche社製 Lactate Analyzer LA-640により分析した。HbおよびHtは, Hbメーター (Model-NK-32, 日本臨床器械社製) および毛細管法により測定した。
- (4) 動脈血酸素飽和度 (SaO_2) : Biox IIA (Biox Technology社製) を用い, クリップ状の光学プローベを被検者の耳介に装着し, デジタル表示された値を全過程について1分毎に記録した。

III 結果

1) O_2 摂取量 ($\dot{V}O_2$), 換気量 ($\dot{V}E$) および換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) : 安静時, 最大下および最大運動時の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ の関係を各高度別に示したのが図2である。常圧下では, $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均2.64 l/min に対し, $\dot{V}E\text{max}$ は平均100.3 l/min を示しているが, 高度の上昇に伴い $\dot{V}O_2\text{max}$ は低減し, 逆に $\dot{V}E\text{max}$ は増大して, $\dot{V}O_2$ - $\dot{V}E$ 直線は次第に左傾化する。すなわち5,000mでは, $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均1.97 l/minと常圧下に比べ約25%低減するが, $\dot{V}E\text{max}$ は平均136.0 l/minと, 常圧下に対し約36%の増大を示している。6,000mでは, 最大運動負荷が全員に与えられず, $\dot{V}O_2\text{max}$ が得られなかったが, 平均1.31 l/minの $\dot{V}O_2$ は, 常圧下の値の約50%に相当している。

さらに安静時, 最大下および最大運動時の換気

当量を運動強度 ($\dot{V}O_2$) の関係で各高度別に示したのが図3である。安静時でも4,000m以上では増加を示し, 45,50さらに60と高度順に上昇している。また最大下運動時で換気当量が低減する時点 (無氣的作業閾値) が, 常圧下から高度と共に次第に左方へ移行していることがわかる。また $\dot{V}O_2\text{max}$ 時の換気当量は, 常圧下の約40より高度と共に上昇し, 50~70を示し6,000mでは平均80と常圧下の2倍に達している。

2) 動脈血酸素飽和度 (SaO_2) : 安静時, 最大下および最大運動時の SaO_2 を, 運動強度 ($\dot{V}O_2$) の関係で各高度別に示したのが図4である。安静時でも3,000m以上では常圧下の平均96%に対し明らかな低値を示し, 80%, 78%, 76%さらに69%と高度順に低減している。また最大下および最大運動時は, 3,000mでは安静時水準のほぼ80%を保持していたが, 4,000m以上では運動強度の増加に伴い SaO_2 は低減する傾向を示した。すなわち4,000m, 5,000mでは約70%水準まで低減し, 6,000mでは約60%の低値に達している。

3) 血中乳酸濃度 (HLa) : 安静時, 最大下および最大運動時のHLaを, 運動強度 ($\dot{V}O_2$) の関係で各高度別に示したのが図5である。最高血中乳酸

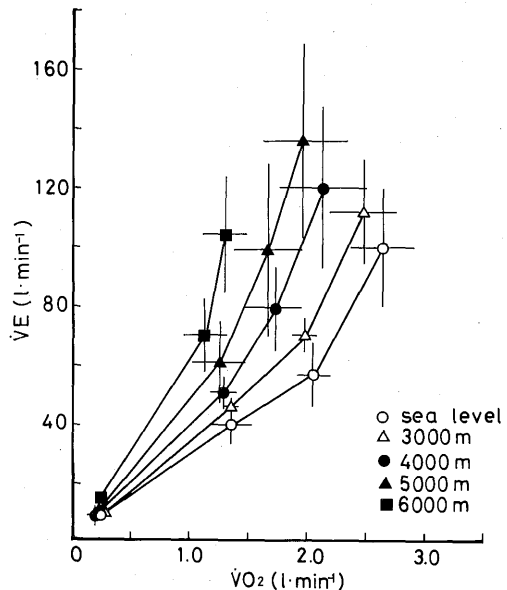


Fig. 2 Relationships between O_2 uptake and ventilation volume at different simulated altitudes from sea level to 6,000m.

濃度は常圧下で平均11.0mM/lであるが、4,000mでは平均11.6mM/l、5,000mで12.3mM/lと漸増傾向を示している。さらに最大下運動時HLaは、高度順に漸増傾向にあり、4 mM/lのHLaに相当する $\dot{V}O_2$ (OBLA- $\dot{V}O_2$)は、常圧で約1.7l/分が3,000m、4,000m、5,000mおよび6,000mで各1.5 l/分、1.2 l/分、1.0 l/分と明らかな左方移動を示

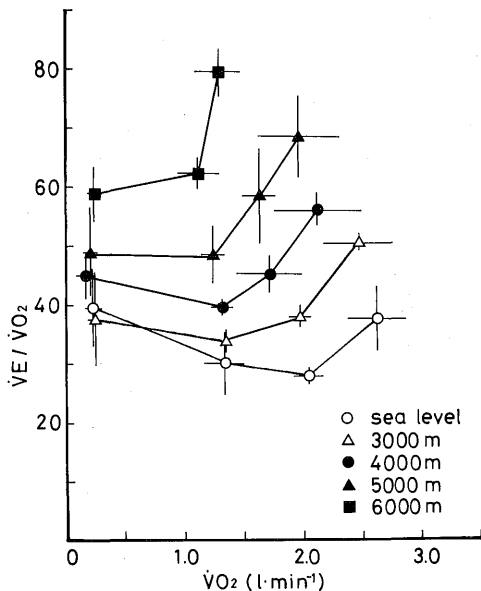


Fig. 3 Relationships between $\dot{V}O_2$ and O_2 equivalent at different simulated altitude from sea level to 6,000m.

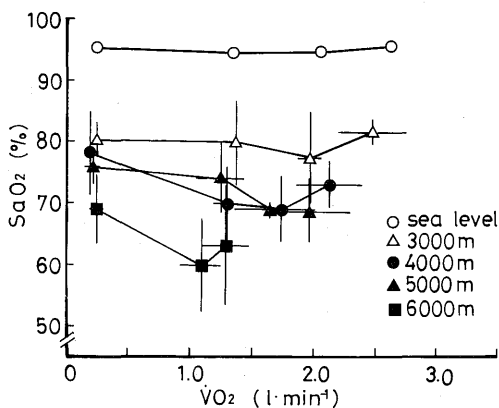


Fig. 4 Relationships between O_2 uptake and arterial O_2 saturation at different simulated altitudes from sea level to 6,000m.

した。

4) 常圧と各高度での最大運動時作業能指標：最大運動時の $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}E_{max}$, HR_{max} , RR_{max} , WL_{max} さらにHLA maxの各個人値および平均値について、常圧と各高度別に示したのが表2である。 $\dot{V}O_{2max}$ (最大酸素摂取量)は高度順に漸減し、7% (3,000m)、20% (4,000m)、さらに25% (5,000m)を示している。

一方、 $\dot{V}E_{max}$ (最大換気量)は高度順に漸増し、13% (3,000m)、20% (4,000m)、さらに36% (5,000m)を示している。

つぎに HR_{max} (最高心拍数)は高度順に漸減傾向にあり、常圧下の平均188.8拍/分は、3,000mで平均181.0拍/分、4,000mで181.1拍/分さらに5,000mで178.7拍/分と各4%、6%の減少を示している。

また RR_{max} (最高呼吸数)は高度順に増加傾向にあり、常圧下の平均47.7回/分は、3,000mで平均51.3回/分、4,000mで54.4回/分さらに5,000mで55.2回/分と各8%、14%および16%の増加を示している。

5) 常圧と各高度での安静時、最大下および最大運動時の $HR-\dot{V}O_2$ と $HR-\% \dot{V}O_{2max}$ の関係：安静時、最大下および最大運動時の心拍数 (HR)と O_2 摂取量 ($\dot{V}O_2$)の関係を、常圧と3,000m、4,000m、5,000mおよび6,000m相当高度について示し

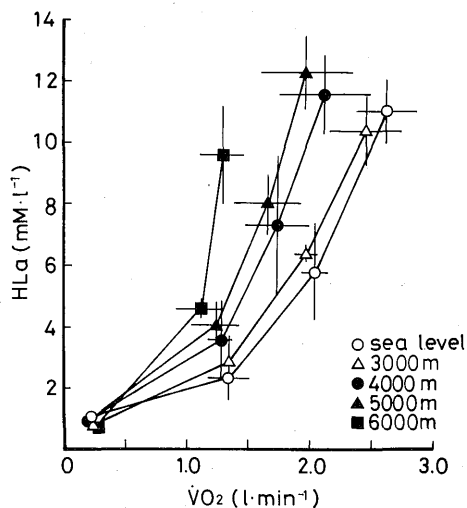


Fig. 5 Relationships between $\dot{V}O_2$ and blood lactate at different simulated altitudes from sea level to 6,000m.

たのが図6である。すなわち一定の $\dot{V}O_2$ に対するHRは、高度の上昇に伴ない増加する傾向にあり、常圧のHR- $\dot{V}O_2$ 直線に比べ高度順に左方移動を示している。しかも最高心拍数(HRmax)は、高度上昇に伴い減少傾向(約5%)にあり、6,000mでのHRmaxは、常圧下に比べ約10%(19拍/分)の有意な減少(P<0.01)を示している。図6の右

方に、常圧と各高度におけるHR- $\dot{V}O_2$ 関係の回帰直線を図示した。すなわち常圧より、3,000m、4,000mおよび5,000mの順に左方移動を示すが、とくに6,000mの直線が他の高度に比べ左方移動の著しいことがわかる。

そこでHR-% $\dot{V}O_2$ maxの回帰直線を、常圧および各高度での最大下と最大運動時について示し

Table 2 Individual maximal values at various altitudes and average values with SD.

Subjects (male)	$\dot{V}O_2$ max ($l \cdot \text{min}^{-1}$) (ml \cdot kg $^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}E$ max ($l \cdot \text{min}^{-1}$)	HRmax (bpm)	RRmax (f \cdot min $^{-1}$)	WLmax (kpm \cdot min $^{-1}$)	HLa max (mM \cdot l $^{-1}$)	
Sea level (760mmHg)							
K.S.	3.03	47.0	119.3	192.0	60.8	1,440	
A.O.	2.50	42.1	110.4	195.3	53.5	1,260	
T.N.	2.70	45.2	105.3	190.0	42.0	1,170	
M.I.	2.31	44.8	66.1	178.0	34.4	1,080	
X	2.64	44.8	100.3	188.8	47.7	1,237.5	
SD	0.27	1.8	20.4	6.5	10.2	133.1	
3,000m (526mmHg)							
K.S.	2.95	45.7	134.9	182.0	58.0	1,440	
A.O.	2.57	43.6	126.9	188.5	59.0	1,170	
T.N.	2.23	37.5	97.7	177.0	44.7	1,080	
M.I.	2.14	41.4	92.1	176.5	43.4	1,080	
X	2.47	42.1	112.9	181.0	51.3	1,192.5	
SD	0.32	3.0	18.3	4.8	7.2	147.5	
4,000m (462mmHg)							
K.S.	2.39	39.8	150.4	175.0	59.0	1,350	
A.O.	2.40	40.4	144.3	189.0	61.5	1,170	
T.N.	1.82	30.7	96.3	180.7	48.7	1,080	
M.I.	1.68	33.4	89.0	179.5	48.5	1,080	
X	2.12	36.1	120.0	181.1	54.4	1,170.0	
SD	0.38	4.1	27.6	5.1	5.9	110.2	
5,000m (405mmHg)							
K.S.	2.45	37.8	164.8	181.0	61.7	1,170	
A.O.	2.16	35.3	167.6	182.6	63.4	1,080	
T.N.	1.78	29.4	126.3	187.7	52.0	1,080	
M.I.	1.48	28.3	85.3	163.5	43.7	1,080	
X	1.97	32.7	136.0	178.7	55.2	1,102.5	
SD	0.37	4.0	33.5	9.1	7.9	39.0	
6,000m (354mmHg)							
*K.S.	1.64 (1.44)	25.2 (22.3)	134.9 (126.4)	171.0 (166.5)	58.7 (58.7)	810 (1,080)	— (10.1)
A.O.	1.21	19.9	111.1	175.5	51.6	900	13.9
*T.N.	1.33 (1.32)	21.8 (21.6)	90.5 (88.8)	169.0 (169.0)	43.0 (44.0)	630 (900)	8.4 (9.3)
M.I.	1.07	20.7	91.6	164.8	47.0	900	10.8
X	1.31	21.9	107.0	170.1	50.1	810.0	11.0
SD	0.21	2.0	18.1	3.8	5.8	110.2	2.3

* Their $\dot{V}O_2$ max were not observed at the maximal work load.

たのが図7である。5,000mまでは常圧下とほぼ同等の回帰を示すことがわかる。しかし6,000mではHRmaxの低減による切片値の低い回帰直線を示している。

常圧および各高度での最大下と最大運動時HR- $\dot{V}O_2$ maxの回帰式は次のとおりである (Y: HR, X: $\% \dot{V}O_2$ max, n = 4)。

- 常 圧 : $Y = 1.48X + 40.58$ (r = 0.98)
- 3,000m : $Y = 1.20X + 61.27$ (r = 0.96)
- 4,000m : $Y = 1.20X + 62.91$ (r = 0.90)
- 5,000m : $Y = 1.14X + 66.59$ (r = 0.91)
- 6,000m : $Y = 1.34X + 35.89$ (r = 0.96)

IV 考 察

低圧低酸素環境下での運動時換気高進の機序については、 PO_2 低下による末梢化学受容器(大動脈体、頸動脈体)への刺激が呼吸中枢を賦活する因子が考えられる。すなわち PaO_2 の60 Torr以下で換気高進が著しくなるとされており、4,000mでの最大下運動(810kpm/min)時 PaO_2 は44.1 Torr、最大運動時 PaO_2 の46.5 Torrの報告³⁾からも、 PaO_2 低下が呼吸中枢賦活のtriggerになっているものと考えられる²⁾。

一方、低圧低酸素環境下での最大下運動時心拍高進の機序については、いくつかの提説^{2,12,13)}がある。すなわち PaO_2 の低下により末梢化学受容器

への刺激が循環中枢を賦活するとみるもの、また心筋壁のstretch receptorの刺激によるとするもの、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ら¹⁰⁾の仮説もある。さらに低圧下最大運動時の最高心拍数が、3,000m~5,000mで5%, 6,000mで10%の低減を示す機序については、副交感神経系緊張の増大と低 PO_2 刺激が心筋の洞房結節に対し直接作用し、vagal restraintを高進するためとするCerretelli⁹⁾の仮説がある。

Harrisonら¹¹⁾とNahasら¹⁴⁾は、 SaO_2 が75%に達すると心拍出量が平均約25%増大するとし、この時点(anoxemia threshold)と名づけている。本研究で4,000m以上の運動時 SaO_2 が75%以下の水準を示していることから、運動時心拍出量の増加が推察される。しかし $\dot{V}O_2$ maxは4,000mで20%, 5,000mで25%の各低減を示したことから、組織の最大動静脈血 O_2 較差(a- $\dot{V}O_2$ Diff)の低圧環境での低減が示唆^{3,4)}される。

このような組織へのa- $\dot{V}O_2$ Diffの低減は、無氣的代謝を高進させることになる。すなわち図5のHLA- $\dot{V}O_2$ 関係図におけるOBLA- $\dot{V}O_2$ の無氣的作業閾値を、左方へ移行させることになる。すなわち常圧下OBLA- $\dot{V}O_2$ に対し、3,000m, 4,000m, 5,000mおよび6,000mのOBLA- $\dot{V}O_2$ は、各12%, 30%, 40%の低減を示している。これらのOBLA- $\dot{V}O_2$ の各点は、図3に示す換気当量の低減時点(AT- $\dot{V}O_2$)にほぼ相当している。

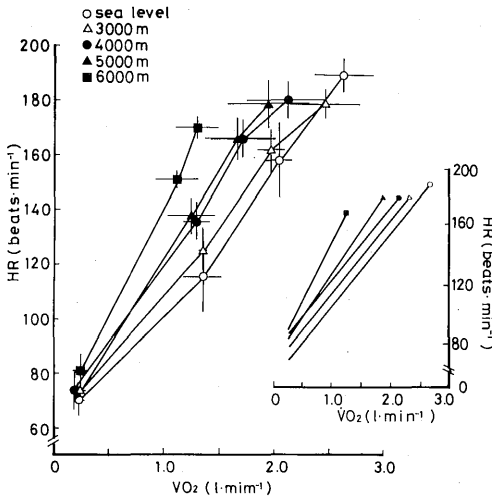


Fig. 6 Relationships between O_2 uptake and heart rate at different simulated altitudes from sea level to 6,000m.

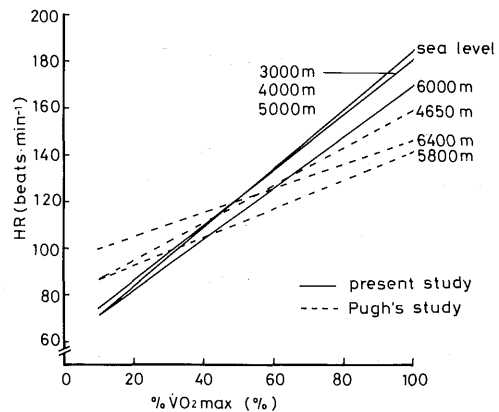


Fig. 7 Comparisons of present study and Pugh's study in relationship between $\% \dot{V}O_2$ max and HR at different altitudes from sea level to 6,000m.

つぎにHR-% $\dot{V}O_2$ maxの回帰直線を、常圧および各高度での最大下と最大運動について示してみると、3,000m、4,000mおよび5,000mまでは常圧下とほぼ同等な関係にあることがわかる。したがって3,000m~5,000m相当高度までは、常圧下と同様のHR-% $\dot{V}O_2$ max関係より、HRから% $\dot{V}O_2$ maxの運動強度を推定することができよう。しかし6,000m相当高度では、切片の値が低いために、常圧、3,000m~5,000mまでの回帰直線をかなり下回っている。従って、同一のHRからは% $\dot{V}O_2$ maxの運動強度を高く見積る傾向になることが考えられる。この関係を図示したのが図8である。すなわち例えば常圧でのHR-% $\dot{V}O_2$ max回帰直線より、3,000m~5,000m相当高度における心拍数130拍/分の時点での運動強度を、60% $\dot{V}O_2$ maxとして求めることができる。一方、同じ130拍/分でも、6,000m相当高度では回帰直線がかなり下回るために、運動強度は70% $\dot{V}O_2$ maxとなり、10%高く見積られることになる。

しかしながら本研究の結果は、実際の登山時に得られたPughら¹⁷⁾の報告値からのHR-% $\dot{V}O_2$ max関係式とやや異なるものであった(図7)。このPughらの常圧および高所での、最大下および最大運動時HR-% $\dot{V}O_2$ maxの回帰式は次のとおりである (Y: HR, X: % $\dot{V}O_2$ max)。

- 常 圧: $Y = 1.30X + 54.64$ ($r = 0.97$, $n = 34$)
- 4,650m: $Y = 0.80X + 78.87$ ($r = 0.88$, $n = 34$)
- 5,800m: $Y = 0.60X + 81.12$ ($r = 0.86$, $n = 34$)
- 6,400m: $Y = 0.52X + 94.48$ ($r = 0.83$, $n = 10$)

この差異の主因は、HRmaxの差にあると考えられる。登山時にHRmaxの著減することはWestら¹⁹⁾も報告しているが、Åstrandら⁸⁾はこの低圧下HRmaxの低下は、 PO_2 低下の心筋A-Vnodeへの影響によるものと指摘している。またPugh¹⁸⁾は、登山時HRmaxの低下は、低圧環境への馴化の結果もたらされるHb増大による血液粘性の上昇を代償する作用の一つと考察している。一方、本研究のような急性低圧暴露では、各高度とも最大下、最大運動時のHb値は、15~16g/dlの範囲にあり、明らかなHb増大は認められなかった。従ってPugh¹⁸⁾の指摘するような代償作用も少なく、HRmaxの低下が明らかには認められなかったものと考えられる。

V 要 約

27~38歳の健全な男子登山家4人を被検者とし、低圧順応トレーニングのさいのHR-% $\dot{V}O_2$ max関係を、3,000m~6,000mについて明らかにすることを目的とした。筑波大学体育科学系環境制御装置を用い、常圧下、3,000m、4,000m、5,000mおよび6,000m相当高度における5回の実験を、1日1回とし安静時および自転車エルゴメーターによる2種類の最大下運動と最大運動を実施した。

1) 安静時、最大下および最大運動時の $\dot{V}O_2$ - $\dot{V}E$ 関係は、高度上昇に伴い常圧に比べ左傾化し、5,000mでは $\dot{V}O_2$ maxの約25%低減に対し、 $\dot{V}E$ maxは約36%の増大を示した。したがって無氣的作業閾値($\dot{V}E/\dot{V}O_2$ 最低点)は、高度上昇に伴い左方へ移行した。

2) 安静時、最大下および最大運動時の SaO_2 は、高度上昇に伴い低減傾向を示した。3,000mでの運動時では安静時の約80%を保持したが、4,000m以上では運動強度の増加に伴い低減し、4,000m、5,000mでは約70%、6,000mでは約60%に低下した。

3) OBLA-% $\dot{V}O_2$ は、常圧で約1.7 l/分が3,000m~6,000mの順で、約1.5 l/分、1.2 l/分および1.0 l/分と明らかな左方移動を示した。

4) $\dot{V}O_2$ maxは高度順に低減し、7% (3,000m)、

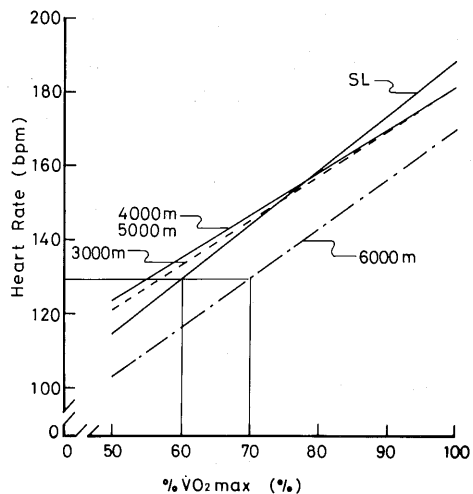


Fig. 8 Differences of work intensity determination between below 5,000m and 6,000m altitude.

20% (4,000m) さらに25% (5,000m) を示した。この低減は SaO_2 の20~30%の低下に伴う組織への $a-\bar{V}\text{O}_2\text{Diff}$ の減少が主に起因していると考えられた。

5) 常圧および各高度における, 最大下および最大運動時の $\text{HR}-\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 関係を検討した。この結果, 5,000m相当高度までは常圧下の $\text{HR}-\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 式を用いて HR から運動強度を推定できるが, 6,000m相当高度では, 常圧下の式を用いると運動強度を約10%高く見積る傾向にあることが明らかになった。

本研究の要旨は, 日本体育学会第36回大会において発表したものであり, 本研究は昭和58年度筑波大学学内プロジェクト一般研究「低圧環境における運動時呼吸循環応答特性の研究」の研究費により行った。

文 献

- 1) Asahina, K (1967): Physiology of altitude training. Int. Seminar for Study of Univ. Sports. Tokyo, 139-155.
- 2) 朝比奈一男 (1972): 低酸素耐性と運動能力 日本生理誌 34: 405-417.
- 3) 浅野勝己 (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.
- 4) 浅野勝己 (1983): 低圧環境下における運動負荷時血行動態, 最新医学 38: 74-77.
- 5) 浅野勝己 (1985): 高所登山者 (インドヒマラヤCB31峰-6,096m-登頂隊員) への低圧順応トレーニングの作業能に及ぼす影響, 登山医学 5: 27-36.
- 6) 浅野勝己 (1985): 高所トレーニングの応用と効果 J. J. Sports Sci: 4, 834-836.
- 7) 浅野勝己・鮮干 撰・松坂 晃・平木場浩二・永井 純・河岡稔和 (1986): 中長距離走者の高所順応トレーニングの作業能に及ぼす影響に関する研究, 筑波大学体育科学系紀要 9: 195-202.
- 8) Åstrand, P. O (1966): Circulatory and respiratory response to acute and prolonged hypoxia during heavy exercise. Schweiz, Zeitschr, f, Sportmedizin, 14: 16-26.
- 9) Cerretelli, P (1976): Limiting factors to oxygen transport on Mt. Everest. J. Appl, Physiol 40: 658-667.
- 10) Cunningham, W, L, Becker, E. J. and Kreuzer, F. (1965): Catecholamines in plasma and urine at high altitude. J. Appl Physiol 20: 607-610.
- 11) Harrison, T. R and Blalock, A (1927): Effect of severe anoxemia of short duration on cardiac output of morphinised dog and trained unnarcotised dogs. Am. J. Physiol 80: 169-172.
- 12) Hultgren, H. N and Grover, R. F (1968): Circulatory adaptation to high altitude. Ann. Rev. Med. 19: 119-152.
- 13) Korner, P. I (1959): Circulatory adaptations in hypoxia, Physiol. Rev. 39: 687-730.
- 14) Nahas, G. G. Visscher, M. B, Mather, G. W, Haddy, F. J. and Warner, H. R. (1954): Influence of hypoxia on pulmonary circulation of non-narcotized dogs. J. Appl Physiol 6: 467-476.
- 15) 日本体育協会スポーツ科学研究委員会 (1962): 高所トレーニング効果の検討
- 16) 島岡 清, 森 滋夫, 原 真 (1981): 低圧環境シミュレータによる高所登山前のトレーニング試行-マッキンリー登山隊の場合- 日本生気誌 18: 86-91.
- 17) Pugh, L. G. C. E., M. B. Gill, S. Lahiri, J. S. Milledge, M. P, Ward and J. B. West (1964): Muscular exercise at great altitudes. J. Appl Physiol 19: 431-440.
- 18) Pugh, L. G. C. E (1964): Cardiac output in muscular exercise at 5,800m. J. Appl Physiol 19: 441-447.
- 19) West, J. B. and S. Lahiri (1984): High altitude and man. American Physiological Society, Bethesda, Maryland: 1-4.