



Title	血中乳酸に及ぼす低酸素の影響
Author(s)	矢野, 徳郎; 菊地, 和夫; 熊崎, 泰仁 他
Citation	北海道大學教育學部紀要, 69, 115-119
Issue Date	1995-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29491
Type	departmental bulletin paper
File Information	69_P115-119.pdf



定常運動時の酸素摂取量の時定数および 血中乳酸に及ぼす低酸素の影響

矢野徳郎, 菊地和夫, 熊崎泰仁, 浅野勝己

The effect of hypoxia on time constant of oxygen uptake and
blood lactate during constant-load exercise.

Tokuo YANO, Kazuo KIKUCHI, Yasuhito KUMAZAKI
and Katsumi ASANO

1. は じ め に

定常運動を開始すると酸素摂取量は徐々に増加し、その後、最大下運動時では定常状態を示す。また、この酸素摂取量の立ち上がりの遅れのために運動初期時には酸素債を生じる。この酸素債は、軽度の運動強度の場合には非乳酸性エネルギー供給機構によってのみ補われるけれども、中程度の運動強度では、そのエネルギー供給機構に乳酸性エネルギー供給機構が加わって来るとされている。したがって、中程度の運動強度では運動初期時のみに乳酸が生成されていると考えられているので、これを特に early lactate と呼んでいる⁵⁾。

通常の酸素分圧下と低酸素分圧下で同一運動強度時に生ずる乳酸値を比較すると低酸素下における乳酸値の方が高いことが知られている^{1) 8) 11) 12)}。このことは、低酸素下において酸素摂取量の立ち上がりの遅れ時間が延びることによって、運動開始時に生じる酸素債が増加することを示唆している。しかし、従来の研究では、この立ち上がり時間は低酸素下においても変わらない^{4) 10)}、あるいは延びる^{7) 8) 9)}と報告されており、結果が一致していない。

そこで、本研究では運動初期時の酸素摂取量の立ち上がり時間と血中乳酸へ及ぼす低酸素の影響を検討する。

2. 方 法

被検者は4名の健康な大学生であった。被検者の年齢、身長、体重およびÅstrand²⁾のノモグラムから推定した最大酸素摂取量を表1に示した。

5分間の定常運動をMonark社製自転車エルゴメーターを用いて行った。低酸素条件は環境制御室内で気圧を調節することによって作った疑似的高度環境を用いた。実験に用いた高度は、2000, 3000, および4000mであった。その際に用いられた運動負荷は750kpm/minであった。また、常圧下においては450, 900および1050kpm/minの負荷を追加し、実験に用いた。

酸素摂取量($\dot{V}O_2$)は安静時と運動時にダグラスバッグ法によって決定した。換気量は乾式換気量計によって測定した。 O_2 と CO_2 は質量分析計(Perkin Elmer MGA-1100)によって測定した。心拍は心電計にて測定し、その記録から1分毎の心拍数(HR)を求めた。安静時と運動終了後5分時に指先から採取した微量の血液を乳酸分析計(Yellow Springs Instrument Model 23L)で分析した。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ max (l/min)
Sub. 1	22	168	66	3.4
Sub. 2	21	180	69	2.9
Sub. 3	22	162	75	3.0
Sub. 4	24	176	67	3.8
$\bar{X}$	22	172	69	3.3
SD	1.1	7.0	3.5	0.36

Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ max) was predicted from Åstrand nomogram²⁾.

$\dot{V}O_2$ の動態は次の式⁶⁾によって近似した。

$$\Delta \dot{V}O_2(t) = \Delta \dot{V}O_{2ss} (1 - \exp(-(t - D)/k)) \quad (1)$$

k は時定数 (酸素摂取量の立ち上がり時間), D は遅れ時間, $\Delta \dot{V}O_2$ は運動時と安静時の酸素摂取量の差, ss は定常状態の略記号 (steady state), t は時間を表す。

3. 結 果

安静時の血中乳酸値 (La) は 1.10 ± 0.31 mM であった。運動 5 分時の $\dot{V}O_{2ss}$, HRss および La を表 2 に示した。各パラメーターは運動強度が増加すると増加し, また高度が増加すると増加した。HRss と La は, 常圧時の 750 から 1050 kpm/min 時への増加率と常圧時から 4000 m の高度への増加率とはほぼ同じであった。 $\dot{V}O_{2ss}$ は高度を増加しても変化しなかった。

Table 2. Heart rate (HRss) and oxygen uptake ($\dot{V}O_{2ss}$) obtained at 5min in constant-load exercise, and blood lactate (La) obtained at 5 min during recovery from the exercise.

	HRss (beats/min)	$\dot{V}O_{2ss}$ (l/min)	La (mM)
sea level			
450 kpm/min	108 ± 10.5	1.30* ± 0.15	1.23 ± 0.13
750 kpm/min	129 ± 5.9	1.91 ± 0.10	2.18 ± 0.74
900 kpm/min	147* ± 8.4	2.24* ± 0.10	3.23* ± 0.92
1050 kpm/min	155* ± 5.4	2.55* ± 0.15	3.98* ± 1.54
simulated altitude (750 kpm/min)			
2000m	143 ± 5.1	1.89 ± 0.12	2.45 ± 0.54
3000m	146 ± 9.3	1.88 ± 0.04	2.50 ± 0.57
4000m	155* ± 6.5	1.84 ± 0.09	4.33* ± 0.67

Mean $\pm$ SD. Significant level from 750 kpm/min at sea level (* $p < 0.05$).

図1に常圧時の $\dot{V}O_2$ の時間的变化を各負荷毎に示した。 $\dot{V}O_2$ の値は4名の被検者の平均値を表している。また、その $\dot{V}O_2$ へ適合する曲線を式(1)のパラメーターを決めることによって求めた。またその各パラメーターの値は表3に示した。求めた時定数は、450kpm/min時には32秒であったが、1050kpm/min時には44秒へ増加した。ただし、低い運動強度では時定数の変化は少なかった。900kpm/min時の1と2分時の傾向が理由は不明であるが全体的傾向から多少異なる様に思われた。その結果、求めた時定数は、他の傾向と違っていた。

Table 3. Time constant(K) and time delay(D) of oxygen uptake.

	K (sec)	D (sec)
sea level		
450 kpm/min	32	6
750 kpm/min	33	10
900 kpm/min	27	12
1050 kpm/min	44	2
simulated altitude (750 kpm/min)		
2000m	35	6
3000m	37	2
4000m	47	-5

図2に各高度で得られた $\dot{V}O_2$ の結果を示した。また、各結果に適合する曲線を式(1)のパラメーターを決めることによって求めた。その各パラメーターの値を表3に示した。適合した曲線は高度が増加するほどなだらかになっていた。実際、時定数で見ると常圧時33秒から4000m時47秒へと増加していた。ただし、高度が低いところでは顕著な増加傾向は見られなかった。

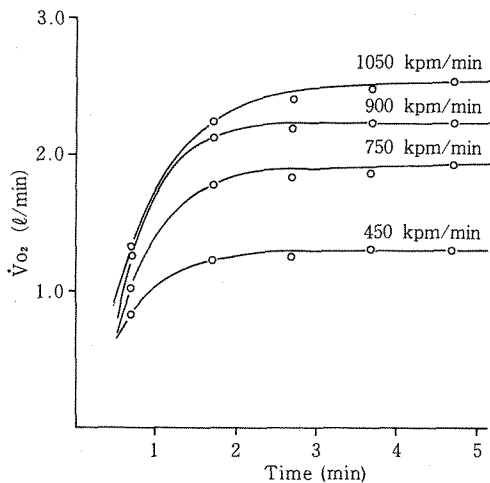


Fig. 1. The estimated curve of oxygen uptake for each work intensity (450, 750, 900, and 1050 kpm/min) at sea level.

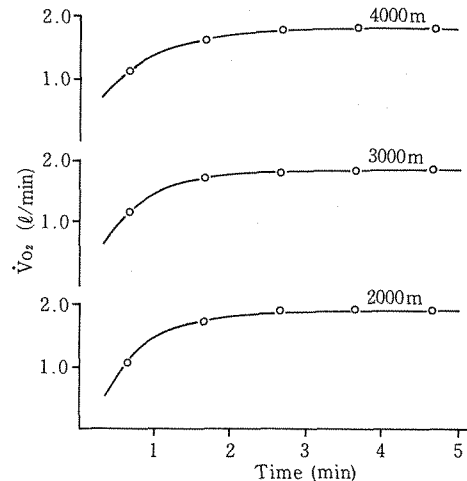


Fig. 2. The estimated curve of oxygen uptake for each altitude (2000, 3000, and 4000m) at 750 kpm/min.

4. 考 察

Whipp ら¹³⁾は酸素摂取量の運動開始時の動態を検討して、その動態が3つの相に分かれることを指摘している。それらは運動開始直後20秒前後までにみられる増加(第1相)、その後に見られるやや緩慢な増加(第2相)、それに続く定常状態(第3相)である。本研究の酸素摂取量を決めたダグラスバッグ法では、第1相は検出できないので、その影響を取り除く必要があった。そのために、負荷開始後からの遅れ時間を取り入れた。また、第2相の酸素摂取量の立ち上がり時間を式(1)のパラメータ k で評価した。

その結果、得られた酸素摂取量の立ち上がり時間、すなわち式(1)の時定数は450kpm/min 時に32秒であったのが、運動強度1050kpm/min 時には44秒へと増加した。また750kpm/min 時には常圧時の時定数が33秒であるのが、4000m 高度時には47秒へと増加した。さらに、運動負荷の増加あるいは高度の上昇に伴い、血中乳酸値も時定数と同様に増加した。

Yano and Horiuchi¹⁴⁾は酸素摂取量の筋と肺での位相を考慮したシミュレーションを行い、肺での酸素摂取量の変化から筋の酸素摂取量を推定した。その結果、450kpm/min 時の筋での時定数が約30秒であるとした。ここでは、筋と肺との位相差を示すデータがないので、シミュレーションを行うことはできない。しかし、第2相の時定数は従来から筋の酸素摂取量の時定数に相当するとされている³⁾ので、本研究では第2相の時定数を求めた。その結果、シミュレーションで求められた筋の酸素摂取量にはほぼ相当する値であった。

時定数の増加は従来から乳酸の増加をもたらすとされてきた。それは運動初期時に酸素摂取量が少なくなった分ほど乳酸生成を伴うエネルギー供給が行われていると考えられてきているからである⁵⁾。また、第2相の酸素摂取量が筋のものを表しているのであれば、筋のレベルでの酸素摂取量の減少が直接的に乳酸生成に影響していると考えられよう。

本研究では、運動強度が比較的低いときには時定数の変化は少なかった。また高度が比較的低いときにも時定数の顕著な変化は認められなかった。

もし実験設定で、比較的运动強度が低い負荷を用いたり、低酸素状態が緩やかな状態を用いたならば、時定数の変化が少ないことを本結果は示唆している。したがって、従来、報告されている低酸素条件下の結果の不一致、即ち、低酸素下では時定数が増加する^{7) 8) 9)}、あるいは変化しない^{4) 10)}とすることは、負荷や低酸素条件の相違からきたものかも知れない。

以上、運動強度と高度がある一定以上であれば運動初期時の時定数が増加すると考えられた。また、それに伴い、乳酸が増加すると考えられた。

5. ま と め

運動初期時の酸素摂取量の立ち上がりの時間と血中乳酸へ及ぼす低酸素の影響を本研究では検討した。酸素摂取量は指数関数によって近似された。その時のパラメーターは酸素摂取量の立ち上がりの時間(時定数)と遅れ時間であった。時定数は450kpm/min 時には32秒であったのが、1050kpm/min 時には44秒へと増加した。また、750kpm/min 時の常圧下では時定数は33秒であったのが低酸素環境の4000m 高度時には47秒へと増加した。ただし、負荷強度が低いときあるいは低酸素条件が緩やかである場合には時定数の変化は少なかった。また、この負荷強度の増加あるいは低酸素状態の増大に伴い血中乳酸値が時定数と同様に増加した。したがって、運動強度や高度がある一定条件以上であれば運動初期時の時定数が増加し、また同時に乳酸値も安静値よりも

増加すると考えられた。

文 献

- 1) Adams, R. P. and Welch, H. G. (1980) Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *J. Appl. Physiol.: Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 49:863-868.
- 2) Åstrand, I. (1960) Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)* 169:1-92.
- 3) Barstow, T. J., and Mole, P. A. (1987) Simulation of pulmonary O_2 uptake during exercise transients in humans. *J. Appl. Physiol.*, 63:2253-2261.
- 4) Bason, R., Billings, C. E., Fox, E. L., and Gerke, R. (1973) Oxygen kinetics for constant work loads at various altitudes. *J. Appl. Physiol.*, 35:497-500.
- 5) Cerretelli, P., and Diprampero, P. E. (1987) Gas exchange in exercise. In: *Handbook of Physiology. The respiratory system. Gas exchange.* Bethesda, M. D.: Am. Physiol. Soc., sec. 3, vol. 4, chap. 16, p 397-340.
- 6) Hughson, R. L., and Morrissey, M. (1982) Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J. Appl. Physiol.: Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 52:921-929.
- 7) Linnarsson, D. (1994) Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)* 415:1-68.
- 8) Linnarsson, D., Karlsson, J., Fagraeus, L., and Saltin, B. (1974) Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J. Appl. Physiol.*, 36:399-402.
- 9) Murphy, P. C., Cuervo, L.A., and Hughson, R. L. (1989) A study of cardiorespiratory dynamics with step and ramp exercise tests in normoxia and hypoxia. *Cardiovasc. Res.*, 23:825-832.
- 10) Nakazono, Y., and Miyamoto, Y. (1987) Effect of hypoxia and hyperoxia on cardiorespiratory responses during exercise in man. *Jpn. J. Physiol.*, 37:447-457.
- 11) Raynaud, J., Martineaud, J. P., Bordachar, J., Tillous, M. C., and Durand, J. (1974) Oxygen deficit and debt in submaximal exercise at sea level and high altitude. *J. Appl. Physiol.*, 37:43-48.
- 12) Stenberg, J., Ekblom, B., and Messin, R. (1966) Hemodynamic response to work at simulated altitude, 4000m. *J. Appl. Physiol.*, 21:1589-1594.
- 13) Whipp, B. J., Ward, S. A., Lamarca, N., Davis, J. A., and Wasserman, K. (1982) Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J. Appl. Physiol.: Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 52:1505-1513.
- 14) Yano, T., and Horiuchi, M. (1994) Simulation of oxygen uptake kinetics in exercise. *Bulletin of the Faculty of Education. Hokkaido University.* 62:27-35.