



Title	乳酸の拡散がCO ₂ 過剰排出に及ぼす影響
Author(s)	矢野, 徳郎
Citation	北海道大學教育學部紀要, 73, 35-39
Issue Date	1997-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29529
Type	departmental bulletin paper
File Information	73_P35-39.pdf



乳酸の拡散が CO₂ 過剰排出に及ぼす影響

矢 野 徳 郎

Effect of Lactate Diffusion on CO₂ excess Expiration

Tokuo YANO

はじめに

運動時に生成される乳酸が、CO₂ の過剰排出をもたらすことはよく知られた事実である。これは主に細胞外液中の重炭酸緩衝系の働きに関連すると考えられている^(2,3,4,6)。しかし、乳酸は活動筋の細胞内で生成されるので、乳酸の細胞外への流出がなければ、この CO₂ 過剰排出は起こらないものと考えられる。

乳酸の全身への流出や拡散は、時間をかければかけるほど多く生じると考えられる。また、全身への流出は血液を介して行われるので、血液と細胞内との架け渡しを担う毛細血管の密度が、乳酸流出量に関連すると考えられる。そこで、これらの条件を人為的に作りだすために、前者では疲労困憊時までの運動時間の差異を、また後者では筋中の毛細血管の密度が被験者の身体特性によって異なる⁽¹⁾ という特性を本実験では利用した。さらに、これらの差異が CO₂ 過剰排出の量の差異を生じると考えて、本研究を行った。

方 法

1. 被験者

被験者は一般大学生 4 名と陸上競技部に所属している長距離選手 4 名である。長距離選手は日常持久的トレーニングを実施しており、競技歴は 4 - 8 年であった。一般学生は大学での一般教養での週一回の体育授業以外（実験は 2 - 3 月に行ったので一年間の授業は受講している）は日常的に身体的トレーニングを行っていない教養部の一年生であった。全ての被験者に、実験の趣旨、内容および危険性について説明し、その後に参加の同意を得た。被験者特性を表 1 に示した。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Lamax (mM)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (l/min)
untrained	20 ±0.58	171 ±4.04	57 ±3.30	7.8 ±1.43	2.67 ±2.67
runner	20 ±0.96	174 ±2.94	60 ±1.41	8.7 ±0.97	3.31* ±0.28

Lamax; maximal blood lactate obtained 5 min after the exercise.
 $\dot{V}O_2\text{max}$; maximal oxygen uptake. *; $p < 0.05$. Mean ± SD

2. 負荷方法

二種類の漸増運動負荷を自転車エルゴメーター(モナーク社製)を用いて行った。負荷は0.5 kp 回転数 50 rpm (150 kpm/min) から始め、毎分 150 kpm ずつ増加する通常の漸増運動(中程度漸増運動負荷)と1.0kp回転数50rpm (300kpm/min) から始め、毎分300kpmずつ増加する急激な漸増運動(急激漸増運動負荷)であった。また、両負荷とも被験者が疲労困憊になるまで行った。

3. 測定時期と測定法

5分間の安静時と運動負荷時に酸素摂取量($\dot{V}O_2$)と二酸化炭素排出量($\dot{V}CO_2$)を20秒毎に決定した。また、安静時と運動終了後5分時に血液中の乳酸を測定するために指先より微量の血液をキャピラリーに採取した

呼気ガスをミキシングチャンバー(容量6L)に一旦集め、混合した後に、換気量は流量計(ミナト医科学社; レスピラトリーフローメーター, RF-H)により、 O_2 および CO_2 濃度は呼気ガス分析器(日本電気三栄社製; 呼気ガスモニター 1 H 21 A)により測定した。これらの値をADコンバーターを介してパーソナルコンピューター(NEC, PC-9801 m)に入力し、 $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ を20秒毎に算出した。呼気ガス分析器の校正は標準ガスによって測定の前に行った。

血中乳酸はマイクロスタット LM 3 (Analox 社製) にて分析した。

4. 計算法

CO_2 過剰排出量を次のように求めた。まず運動時に得られる $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の値を各時間毎にプロットした(図1参照)。負荷の始めを除くとある負荷時までは $\dot{V}O_2$ の増加に比例して $\dot{V}CO_2$ が増

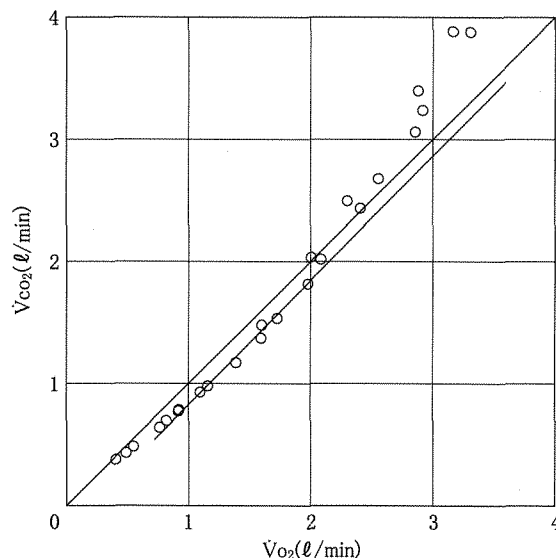


Fig. 1. Method for obtaining the volume of CO_2 excess expiration. A straight line under the line of identity was obtained at the linear portion below anaerobic threshold usually determined by the relation between oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) and CO_2 output ($\dot{V}CO_2$). This line was extrapolated to the portion above anaerobic threshold to obtain the CO_2 excess. Detail in text.

加する。この部分の直線関係をより高い負荷時に延長すると実測される $\dot{V}CO_2$ は直線から推定される値より大きい。この両者の差を総計したものをCO₂過剰排出量(CO₂ excess)とした⁽⁸⁾。

5. 統計処理

一般学生群と長距離走者群の間での有意差検定は対応しない場合の student-t-test によって行った。各群内の相関関係は Pearson の相関係数を用いた。回帰直線は最小2乗近似で求めた。有意水準は $P < 0.05$ を用いた。

結 果

血中乳酸の変化(安静時と回復期5分時の値の差; ΔLa)当り、および体重(w)当りのCO₂ excess($CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$)を求めた。その結果を図2に急激漸増運動負荷時の値と中程度漸増運動負荷時の値を一般学生群と長距離選手群に分けて示した。

一般学生群の運動持続時間は急増運動負荷時では 3.7 ± 0.45 分(平均 $\pm$ 標準偏差)であるが、中程度漸増運動負荷時では 7.0 ± 0.00 分であった。この運動持続時間と $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ の間には有意な相関関係が認められた($r = 0.760$, $N = 8$)。また、両者の間で得られた回帰直線は $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w = -0.55 + 0.729 \cdot \text{time}$ であった。

長距離走者群の運動持続時間は急激漸増運動負荷では 4.8 ± 0.28 分であったのが、中程度漸増運動負荷では 8.3 ± 0.55 分であった。この運動持続時間と $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ の間には有意な相関関係が認められた($r = 0.777$, $N = 8$)。また、この両者の間で得られた回帰直線は $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w = 1.18 + 0.456 \cdot \text{time}$ であった。

$CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ を一般学生群と長距離走者群で比較すると中程度漸増運動負荷時および急激漸増運動負荷時に有意差は認められなかったけれども、長距離選手群の方が高い傾向を示した(表2)。しかし、この差は $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ の値が運動持続時間に関連することに由来するのではないかと考えて、その補正を次のように試みた。まず運動持続時間と $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ の間で得られる回帰直線を長距離走者群と一般学生についてそれぞれ求めた。次にこれらの回帰直線の傾斜は単位持続時間当りに占める $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ の変化量であるので、この傾斜に両

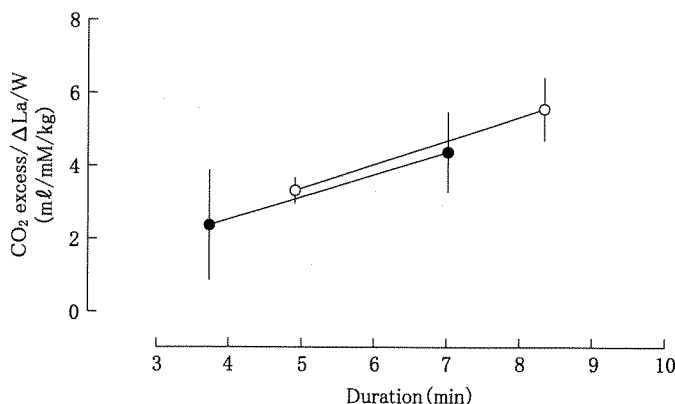


Fig. 2. Relationship between $CO_2 \text{ excess}/\Delta La/w$ and endurance time obtained at each incremental exercise for runners (○) and untrained men (●).

Table 2. Comparison of CO_2 excess per blood lactate increase and per body weight between runners and untrained men.

	CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ (ml/mM/kg)	
	untrained	runner
rapid	2.30 (3.1) $\pm 1.61 (\pm 1.61)$	3.30 ± 0.25
moderate	4.43 ± 1.10	5.50 (4.46) $\pm 0.82 (\pm 0.82)$

Mean $\pm$ SD. Number in parenthesis indicates modified values.

群の持続時間の差異を掛け合わせるとその時間差異に対する CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ の変化量がもとまる。この変化量を長距離走者群の回帰直線の傾斜から求め、その値を長距離選手各個人の中程度運動負荷時で得られた CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ から差し引いて、平均と標準偏差値を求めた(表2の括弧の中)。また、急激漸増運動負荷時の場合には、同様の手続きを一般学生について行った。その後、それぞれの負荷時の有意差検定を再び行った。その結果、いずれの場合においても両群の間には有意差は認められなかったし、また両群の値はほぼ等しいものとなった。

考 察

本研究では急激漸増運動負荷時と中程度漸増運動負荷時に得られる CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ を比較すると共に一般学生群と長期距離走者群との間でも比較を行った。その結果、一般学生群および長距離走者群のそれぞれにおいて各負荷時に得られる運動持続時間と CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ との間に有意な相関関係が認められた。また、中程度漸増運動負荷時および急激漸増運動負荷時にも、 CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ は一般学生群より長距離走者群が高い傾向であった。しかし、持続時間と CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ が相関することを考慮して補正を行うとその差はほとんど認められなくなった。

一般に運動時には乳酸は必ずしも全身に平均的に分布しているとは考えられていない。それは、活動筋で生成される乳酸が他の部位へ拡散されるのに時間が掛かるからである。しかし、運動負荷後には乳酸生成が停止し、かつ乳酸が時間と共に全身に拡散されるので、全身の平均的な値が得られるとされている⁽⁵⁾。したがって、本実験で得られた負荷後の乳酸値は全身の値が平衡した平均的な値であると考えられる。一方、得られた CO_2 過剰排出量は、運動負荷後の値ではなく運動中の乳酸値に、かつ細胞外液での乳酸の緩衝作用に主に関連付けられるので、運動時の乳酸の細胞外液への拡散に影響されると考えられる。特に短時間の運動では、乳酸の拡散時間が少ないので、得られる CO_2 過剰排出量は少ないものと考えられる。したがって、両者の比である CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ が、特に急激漸増運動負荷時のように運動時間が短い場合には、低い値になるものと考えられる。

本研究で得られた CO_2 excess/ $\Delta\text{La}/w$ の最大値は長距離選手群の中程度漸増負荷時で 5.05 ml/mM/kg であった。この値は従来報告されている持続的能力に優れた人達で得た結果^(2,3,4,6) にほぼ相当するものである。また、理論的に求められた値、5.44 ml/mM/kg⁽⁷⁾ にも近い値である。

したがって、本実験では長距離選手の中程度負荷時でその限界値に達していたと考えられよう。また、運動持続時間の増加に伴う CO₂ excess/ Δ La/w の増加には頭打ちがあると考えられる。

持久的能力と CO₂ excess/ Δ La/w が関連すると従来から報告されている^(3,4)。本実験でも、一般学生群より長距離選手群が高い値を示す傾向にあった。しかし、運動の持続時間を補正すると両群の差はほとんど認められなかった。したがって、この結果は、持久的な能力がある人は毛細血管が密で⁽¹⁾、そのために乳酸が拡散され易いという従来の解釈に立つよりも^(3,4)、一般学生群は持久的能力が劣るために、持続時間が短く、そのために CO₂ excess/ Δ La/w の値が低くなったと考えたほうが正しいように思われる。換言すると負荷時間の違いがこの差を生んでいると言える。

ま と め

本研究では急激漸増運動負荷時と中程度漸増運動負荷時に体重当り乳酸増当りの CO₂ 過剰排出量 (CO₂ excess/ Δ La/w) を一般学生群と長距離走者群とにおいて測定した。その結果、一般学生群および長距離走者群のそれぞれにおいて各負荷時に得られる運動持続時間と CO₂ excess/ Δ La/w との間に有意な相関関係が認められた。また、中程度漸増運動負荷時および急激漸増運動負荷時にも、CO₂ excess/ Δ La/w は一般学生群より長距離走者群が高い傾向であった。しかし、持続時間と CO₂ excess/ Δ La/w が相関することを考慮して補正を行うとその差はほとんど認められなくなった。

この研究は文部省科学研究費補助金、一般研究 (C)、課題番号；0158015 によって実施したものである。

文 献

- (1) Anderson, P. (1975) Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, 95: 203-205.
- (2) 稲木光晴, 久野譜也, 安武泉, 板井悠二, 勝田茂 (1993) 漸増運動による筋内 pH の低下と過剰 CO₂ 排出量との関係. *体力科学* 42 : 53-58.
- (3) Hirakoba, K., Maruyama, A., Inaki, M., and Misaka, K. (1992) Effect of endurance training on excessive CO₂ expiration due to lactate production in exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 73-77.
- (4) 平木場浩二, 丸山敦夫, 美坂幸治 (1990) 運動時の乳酸生成による CO₂ 過剰排出と持久性パフォーマンスの関係. *体力科学* 39 : 69-77.
- (5) Margaria, R (1976) *Biomechanics and energetics of muscular exercise*. Oxford University Press. Oxford. pp10.
- (6) Yano, T. (1987) The difference in CO₂ kinetics during incremental exercise among sprinters, middle and long distance runners. *Jpn. J. Physiol.*, 37: 369-378.
- (7) Yano, T. (1987) A theoretical approach to excessive CO₂ expiration due to lactate production in exercise. *Jpn. J. Physiol.*, 37: 937-940.
- (8) 矢野徳郎, 浅野勝己, 野村武男, 松坂晃, 平木場浩二 (1984) 漸増運動負荷時の $\dot{V}_{CO_2}$ の動態. *体力科学*, 33 : 201-210.