

過剰 CO₂ 量より血中乳酸値推定の試み

東 海 大 学 成 澤 三 雄

(共同研究者) 同 寺 尾 保

Estimation of Blood Lactate from Measuring of Excess CO₂

by

Mitsuo Narusawa and Tamotsu Terao

Department of Physiology,

Tokai University School of Medicine

ABSTRACT

It is well known that high RQ (>1.0) is frequently observed during heavy exercise with an increase of O₂ uptake. The accumulation of lactate with lowering of bicarbonate pool in body may be caused by the higher increase of CO₂ output than O₂ uptake. As if the metabolic RQ is assumed within 1.0, the amount of excess "non-metabolic" CO₂ will be measured over 1.0 from that of CO₂ product.

This study was designed to clarify the relation between excess CO₂ and blood lactate during submaximal work. We use three different loads (60, 80, and 95% of $\dot{V}O_2$ max), after obtaining of $\dot{V}O_2$ max with leg exercise on a bicycle ergometer. All subjects were studied on the assigned work load for 5 min. Blood sample was taken 4 times in each trial, and blood lactate was measured by Barker-Summarson method.

There was a linear correlation between excess CO₂ and Δ (delta) blood lactate in all subjects. The correlation coefficient was $r=0.936$. In conclusion, we could estimate the level of Δ blood lactate from the measuring of excess CO₂.

要 旨

O₂ 摂取量が高くなる 激しい運動では、RQ が

1.0 以上となることがしばしば 観察される。CO₂ 排泄量が O₂ 摂取量以上に増加するのは、体内に 乳酸が蓄積することによって重炭酸塩が減少する

ためである。代謝による RQ が 1.0 以下であるとするならば、過剰 CO₂ 量は産生された CO₂ のうち RQ 1.0 以上となったものから求められる。

本研究は最大下運動において過剰 CO₂ 量と血中乳酸量との関係を知る目的で行われた。自転車エルゴメータを用い、各被検者の $\dot{V}O_2 \max$ を測定した後、60, 80 そして 95% $\dot{V}O_2 \max$ の 3 種の負荷強度を決定した。各被検者はそれらの負荷で 5 分間の運動を行った。採血は各負荷実験毎に 4 回行い、血中乳酸量を Barker-Summarson 法によって定量した。

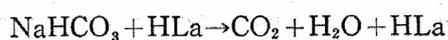
過剰 CO₂ 量と Δ 血中乳酸との間には linear な関係があり、その相関係数は $r=0.936$ であった。このことから、 Δ 血中乳酸が過剰 CO₂ 量を測定することによって推定できると考えた。

I. 緒 言

主体に 40% $\dot{V}O_2 \max$ 以上の強度の運動を負荷すると、血中に乳酸が増加する。そして、そのような負荷運動の場合、運動開始後 2~3 分頃から、あるいは運動時間が短い場合にはその回復初期に、1.0 を超える RQ が測定される。

この RQ をエネルギー代謝面から考えた場合、糖質が生体内でエネルギー源として 100% 用いられた時が 1.0 であり、それを超えることはない。したがって、RQ 1.0 を超えて呼出された CO₂ は代謝以外の過程で産生されたものと考えられる。その原因として考えられるものとしては、筋運動によって生じた乳酸が HCO₃⁻ によって中和された時生ずる CO₂ がある。

すなわち、血中乳酸濃度が上昇しても、血液 pH の低下は正常の場合には小さい。この時、血中 HCO₃⁻ は低下を示す。その変動は血中乳酸濃度の増加とミラーイメージを示し減少する¹⁾。このことは、乳酸が HCO₃⁻ によって中和されていることを示している。その反応は次式のごとく表わされる²⁾。



そして、開放系である生体は、この反応によって生じた CO₂ を肺より呼出することによって、血液 pH の低下を小さい範囲にとどめることができる。

そこで、RQ 1.0 以上となった場合の CO₂ を上式の反応によって産生された代謝以外の CO₂ であると考え、運動中および回復期にわたり、呼気ガス連続換気を行い、RQ が 1.0 以上となった時の CO₂ 量を測定したならば、血中乳酸濃度の推定が可能であろうと考えられる。

II. 実験方法

被検者は健康な成人男子 3 名と、大学陸上競技中長距離選手 3 名の計 6 名とした。まず、各被検者につき、モナーク社製の自転車エルゴメータを用い、負荷漸増法により $\dot{V}O_2 \max$ を測定した。そして、その測定結果から 60, 80 そして 95% $\dot{V}O_2 \max$ の 3 負荷強度を選び、各負荷強度で 5 分間の運動を負荷した。

各負荷強度の実験において、運動負荷前に 30 分間の椅座安静を保たせた後、5 分間の呼気ガスをダグラスバック法により採気し、安静時 O₂ 摂取量と CO₂ 排泄量を測定した。なお、呼気ガス分析は O₂ アナライザー RAS-31 および CO₂ アナライザー RAS-41 (AIC 社製) にて行った。

さらに、呼気ガス採気後、肘静脈より採血を行い安静時血中乳酸量を Barker and Summarson 法により定量した。また、運動開始より運動終了後 90 分までについても呼気ガス連続採気を行い、O₂ 摂取量と CO₂ 排泄量を測定した。採血も運動終了直後、その 5, 10 そして 15 分後に行い、安静時と同様の方法で血中乳酸量の定量を行った。

心拍数、呼吸数も安静時、運動中そして回復期にわたり連続記録した心電図および呼吸曲線から求めた。

過剰 CO₂ 量は、運動中および回復期の一採気毎に RQ を求め、その値が 1.0 以上となったも

のについて、CO₂ 排泄量から O₂ 摂取量を差し引きそれらを合計して求めた。

酸素負債量は各負荷試験毎に求めた安静時の O₂ 摂取量を基準とし、回復期の O₂ 摂取量がそのレベルまで回復した時点をもって打ち切り、それ以前での安静時 O₂ 摂取量以上となったものを合計し求めた。

III. 結 果

1. 運動負荷強度と RQ の変化

60, 80そして95% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の負荷強度で5分間の運動を負荷した時、運動中および回復期で RQ がそれぞれどのような変化を示したかを6名の被検者の平均値で図1に示した。

60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の負荷強度の運動では、運動終了後で RQ が1.0を超え、それが7分後までみられた。しかし、非鍛練者3名では、運動開始2分過ぎから1.0以上が測定された。また、回復期10分からは安静時 RQ よりも低値を示した。

80そして95% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ と負荷強度が高い運動では、運動開始後2分より RQ が1.0を超え、回復期2.5分では最高値1.44を示した。また、

RQ 1.0以上となる時間も負荷強度が増すにしたがって延長し、95% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の場合には、回復期10分まで続いた。そして、その後の RQ の低下も大きく、回復期45分では0.67となった。回復期60分値も0.68であり、いずれも脂肪がエネルギー源として100%用いられた時の RQ 0.70よりも低い値であった。

このような RQ の大きな低下ならびに0.70以下の値は6名の被検者全員に認められた。なお、RQ の最高値は非鍛練者ではいずれも1.50が測定されたが、中長距離選手ではそれよりも低く1.30~1.45が測定された。

2. 過剰 CO₂ 量と血中乳酸濃度との関係

RQ 1.0を超え O₂ 摂取量以上に排泄された CO₂ 量を加算し、それを過剰 CO₂ 量とした。各運動負荷強度別そして被検者別にそれぞれの値を表1に示した。また、同様に血中乳酸増加量 (Δ 血中乳酸量) と酸素負債量を示した。

これらの結果から、まず、図2に各被検者の過剰 CO₂ 量と Δ 血中乳酸量とをプロットし、両者の関係をみた。 Δ 血中乳酸量が増すにしたがい過剰 CO₂ 量も直線的な増加が認められた。そし

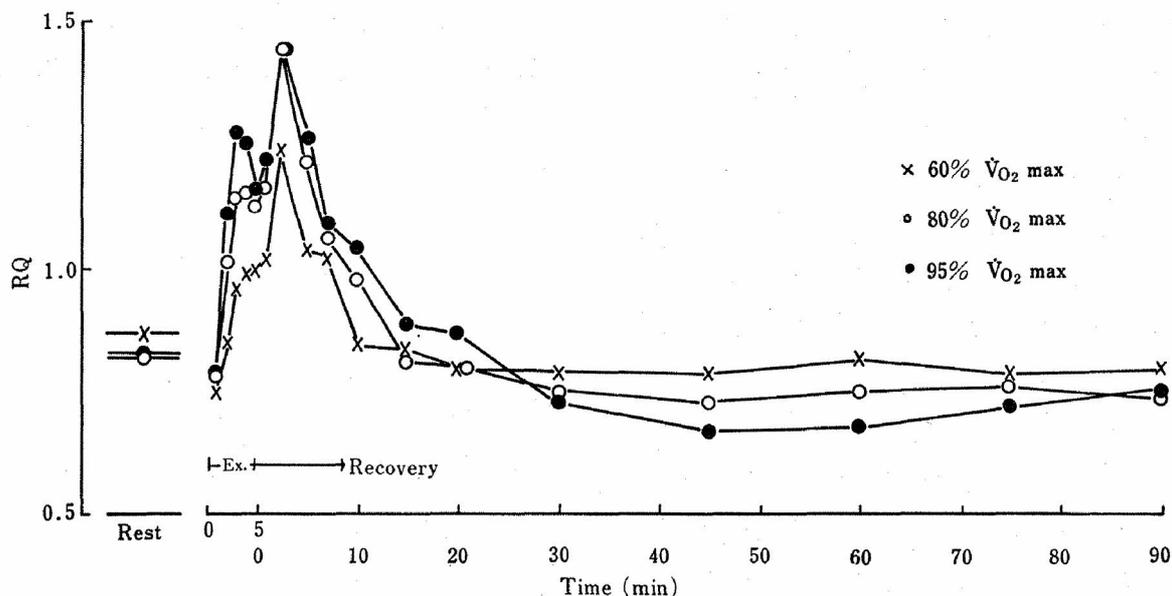


図1 60, 80および95% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ 負荷運動時と回復期の平均 RQ 変化

表 1 60, 80 および95% $\dot{V}O_{2\max}$ 負荷運動における各被検者の過剰 CO_2 量, Δ 血中乳酸量そして酸素負債量

	60% $\dot{V}O_{2\max}$			80% $\dot{V}O_{2\max}$			95% $\dot{V}O_{2\max}$		
	Excess CO_2 (mmol)	Δ Lactate (mmol/l)	O_2 debt (mmol)	Excess CO_2 (mmol)	Δ Lactate (mmol/l)	O_2 debt (mmol)	Excess CO_2 (mmol)	Δ Lactate (mmol/l)	O_2 debt (mmol)
Subj. 1	21	3.2	211	92	6.9	315	188	12.1	436
2	50	3.3	82	145	8.2	329	156	10.6	290
3	16	2.0	163	110	9.6	351	178	11.5	422
4	18	2.4	110	91	6.5	175	106	11.0	327
5	23	2.3	106	59	5.2	223	135	12.0	420
6	14	1.6	224	66	4.1	339	178	10.0	429
mean	23.8	2.47	149.3	93.8	6.75	288.7	156.8	11.20	387.3
SD	12.15	0.610	54.04	28.52	1.814	65.79	28.66	0.751	56.99

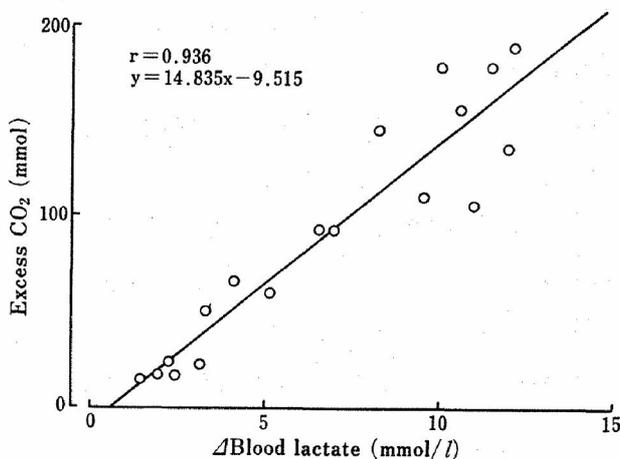


図 2 Δ 血中乳酸量と過剰 CO_2 量の間係

て, この両者の相関は非常に高く $r=0.936$ ($p<0.001$) あり, その回帰直線式は

$$y=14.835x-9.515$$

となった. すなわち, 安静時血中乳酸より 0.64 mmol/l 血中乳酸が増加すると過剰 CO_2 量が測定されると予測された.

また, 筋運動によって産生された乳酸を処理するために用いられる酸素量と考えられている酸素負債量と過剰 CO_2 量との関係を 図 3 に示した.

そして, その両者の間には $r=0.839$ ($p<0.001$) と高い相関が得られた. なお, その回帰式は

$$y=0.483x-28.959$$

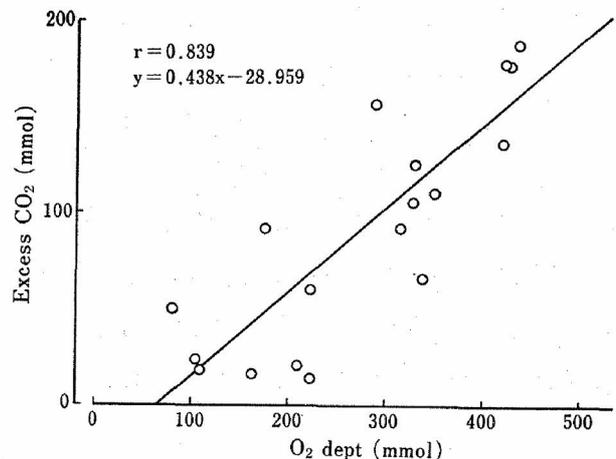


図 3 酸素負債量と過剰 CO_2 量の間係

であった. この式より, 酸素負債量が 62 mmol, すなわち, 1.39 l を超えたところより過剰 CO_2 量が測定されることを予測させた.

IV. 考 察

開放系である生体は, 体内で産生された酸を HCO_3^- で中和し, その結果生じた CO_2 を体外に排出することによって, 体液の pH の大きな低下を防いでいる.

この動きを血液についてみると, もし, 血中に 5 mmol/l の酸が入った場合, 5 mmol/l の HCO_3^- と反応し, その結果生じた CO_2 は肺より呼出さ

れる。この時、5mmol/l の HCO_3^- の減少があり、血液 pH は正常の 7.4 より 7.35 となり、わずかに 0.05 の低下にとどまる³⁾。

筋運動を行った場合、筋で産生された乳酸の一部が血中に移行し、その量が増加するのに伴ない血中 HCO_3^- がミラーイメージ的に減少する¹⁾。この HCO_3^- の減少は血中に増加した乳酸の中和に用いられたためと考えられる。そして、その反応の結果生じた CO_2 は肺より呼出される。この CO_2 が代謝以外の反応によって産生された CO_2 であると考えられ、これが過剰 CO_2 である。

本報告では、この過剰 CO_2 を RQ 1.0 以上となった場合の CO_2 量とした。RQ は生体内で用いられたエネルギー源の比率をも反映するものであり、運動中 RQ も同一負荷強度であっても、それ以前の食事内容条件によっても異なってくる⁵⁾。したがって、過剰 CO_2 を求めるための RQ レベルを決定することは非常に困難である。

Issekutz and Rodahl は⁴⁾、5 分間運動の後半の呼吸を採取し、その結果から次式により過剰 CO_2 を求めた。

$$\text{Excess CO}_2 = \text{Total CO}_2 - 0.75 \times \text{O}_2 \text{ uptake}$$

すなわち、基準の RQ を 0.75 としたものである。そして、運動後 1～2 分に得られた血中乳酸濃度との相関を求め、 $r=0.92$ であったと報告している。しかし、安静時の RQ が 0.80 以上であること、運動後 1～2 分に得られた血中乳酸値は、その運動負荷によって生じた最高値を示さない場合が多いことから、最高血中乳酸値を推定する手段としては一考を要する算出方法であると考えられる。

以上のように過剰 CO_2 を求めるための基準となる RQ を決定することはむずかしいことであるが、本報告で用いた方法、すなわち、RQ 1.0 以上となった場合の CO_2 量を加算して求めた過剰 CO_2 量と Δ 血中乳酸量との間には $r=0.936$

と高い相関が得られた。このことから、本報告のように短時間の運動負荷の場合には、過剰 CO_2 量を求めることによって、その運動負荷によって生じた最高血中乳酸増加量を非観血的に求めることが可能であると考えられる。

また、血液が acidosis あるいは alkalosis となった場合、同一運動負荷強度であっても血中乳酸濃度が異なることから^{2),6)}、本報告と同様の方法で測定する場合、その点にも十分な注意をはらう必要があると考える。

稿を終るにあたり、本研究に御援助いただきましたデサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。

文 献

- 1) Buono, M.J. and Roby, F.B.; Acide-base, metabolic, and ventilatory responses to repeated bouts of exercise, *J. Appl. Physiol.*, **53**, 436—439 (1982)
- 2) Ehrsam, R.E. Heigenhauser, G.J.F. and Jones, N.L.; Effect of respiratory acidosis on metabolism in exercise, *J. Appl. Physiol.*, **53**, 63—69 (1982)
- 3) 本田良行; 臨床呼吸生理学 (II), VII—C 酸塩基平衡, 真興交易医学書出版部, pp. 86—104 (1977)
- 4) Issekutz, B. and Rodahl, K.; Respiratory quotient during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **16**, 606—610 (1961)
- 5) Jansson, E.; On the significance of the respiratory exchange ratio after different diets during exercise in man, *Acta Physiol. Scand.*, **114**, 103—114 (1982)
- 6) Jones, N.L., Sutton, J.R., Taylor, R. and Toews, C.J.; Effect of pH on cardiorespiratory and metabolic responses to exercise, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 959—964 (1977)
- 7) Sutton J.R. and Jones, N.J.; Control of pulmonary ventilation during exercise and mediators in the blood: CO_2 and hydrogen ion, *Medi. Sci. Sports*, **11**, 198—203 (1979)