HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	呼気ガス分析からみた漸減運動負荷の特徴
Author(s)	堀内, 雅弘
Citation	北海道大學教育學部紀要, 64, 103-108
Issue Date	1994-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29442
Type	departmental bulletin paper
File Information	64_P103-108.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

呼気ガス分析からみた漸減運動負荷の特徴

堀 内 雅 弘

Kinetics of pulmonary gas exchange during decremental exercise

Masahiro HORIUCHI

1．緒　　言

生体に様々な運動負荷を課し酸素摂取動態を明らかにしようとする研究は非常に数多く行なわれている。これまでに行なわれてきた運動負荷はそのほとんどが定常運動負荷と漸増運動負荷であり負荷を漸減させた時の酸素摂取動態に関する研究は未だ十分とはいえない[11]。また，一般に持久的能力が高い人の酸素摂取動態は一般人のものとは異なると報告されている[1]が，漸減運動負荷時の酸素摂取動態を被検者特性の面から検討した研究はない。

そこで，本研究では漸減運動負荷時の酸素摂取動態を検討すると共にその動態を長距離走者と一般人において比較する。

Ⅱ．方　　法

A．被検者

被検者は，健康な男子大学生12名であり，うち6名は陸上競技部に所属する長距離走者（Long Distance Runners Group：以下LDR群），他の6名は一般学生（College Students Group：以下CSG群）であった（表1）。

Table 1. Physical characteristics of long distance runners group(LDR) and college students group(CSG).

Group	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}_{O_2}$max (ℓ/min)	VT (ℓ/min)
LDR	20** ±1.4	173 ±1.89	58.4*** ±3.10	3.08** ±0.19	2.02*** ±0.09
CSG	23 ±1.5	176 ±3.09	68.1 ±11.6	2.32 ±0.40	1.32 ±0.22

Values are mean ± SD.**;$p<0.01$,***;$p<0.001$, between LDR and CSG

B．負荷方法

実験は，自転車エルゴメーターを用いて毎分60回転で行なった。実験は最大漸増運動負荷と最大漸減運動負荷の2種類を行ない，前者は0.25 kp強度（90 kpm / min）の負荷から始め1分毎に0.25 kp（90 kpm / min）ずつ負荷を漸増させ疲労困憊まで，後者は疲労困憊の負荷から始め0.25 kp（90 kpm / min）ずつ漸減させ0.25 kp強度（90 kpm / min）の負荷まで運動を行なった（図1）。

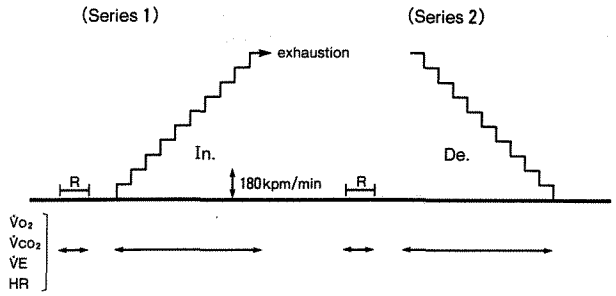

Fig. 1. Protocol of the experiment. R, rest ; In, incremental exercise ; De, decremental exercise ; $\dot{V}o_2$, oxygen uptake ; $\dot{V}co_2$, carbon dioxde output : $\dot{V}_E$, ventilation ; HR, heart rate

C．測定項目

酸素摂取量（$\dot{V}_{O2}$），二酸化炭素排出量（$\dot{V}_{CO2}$），呼気ガス交換比（R：呼気中のCO_2濃度/O_2濃度）および換気量（$\dot{V}_E$）を20秒毎に算出した。心拍数（Heart Rate；以下HR）は，テレメータを用いて胸部双極誘導法により測定した。

また最大漸増運動負荷より，最大酸素摂取量（$\dot{V}_{O2}$max），換気性作業閾値（VT：運動中$\dot{V}_E$，Rなどの上昇点などから求め血中乳酸濃度が上昇し始める閾値）を求めた[2)]。

Ⅲ．結果と考察

最大漸減運動負荷の呼気ガス動態の特徴を最大漸増運動負荷との比較および被検者特性との関連から本研究では検討してきた。その結果，最大漸減運動負荷時に全被検者についてRの変曲点（R-breakpoint）が得られた（図2）。さらにこのR-breakpoint時の負荷量と最大漸増運動負荷で得られたVT時の負荷量がほぼ一致し，両者の間に有意な相関関係が認められた（$r=0.942$, $p<0.001$，図3）。また，負荷量に対する酸素摂取量の変化率（$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$）と運動中の総酸素摂取量（total-$\dot{V}_{O2}$）は，ともに最大漸減運動負荷時の値が最大漸増運動負荷時の値より大きかった。また直線近似を行なった負荷上での$\dot{V}_{O2}$は，全被検者について最大漸減運動負荷時の$\dot{V}_{O2}$が最大漸増運動負荷時のそれより高く，$\dot{V}_{O2}$の傾きも最大漸減運動負荷時の傾斜が最大漸増運動負荷時のそれより急な傾きを示しているようだった（図4）。さらに，$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$は長距離走者と一般人の間で有意な差は認められなかった。なおtotal-$\dot{V}_{O2}$は被検者で持続時間が異なるので比較検討しなかった（表2）。

一般にVT以上の負荷強度での運動においては，その運動初期から乳酸が生成され血中乳酸が増加する[2)]。その後，運動を停止すると乳酸は心筋[8)]，骨格筋[4)]，肝臓[7)]，腎臓[6)]に取り込まれ処理される。その結果，血中乳酸は減少する。また，乳酸が生成されるような激しい運動後に軽い運動を行なうと乳酸の消失が速まることも知られている[3)9)]。これは，軽い運動を行なうことで活動筋の血流量が増加し，その結果，活動筋から血液への乳酸の流出が増加し，肝臓などで消却されるためだとされている[9)]。

本研究で用いた最大漸減運動は，従来の乳酸消却の研究で用いられていた重い強度と軽い強度の二段階の運動を円滑に漸次減少させるようにした負荷であると考えられる。したがって，本研究の負荷においては乳酸の生成と消却が重なって現われると考えられよう。

この乳酸の生成と消却の動態は，Rの動態からある程度明らかにすることができる。すなわ

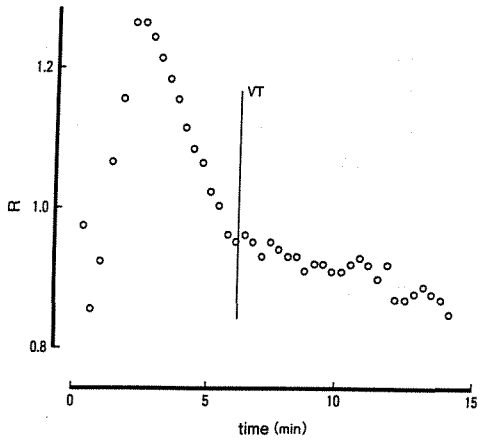

Fig. 2. Kinetics of R during decremental exercise, for a subject (Y. S.).

ち最大漸減運動負荷時の運動初期の R の急激な増加は，従来から指摘されているように乳酸の生成による CO_2 の過剰排出の結果[5]であると考えられる。また R は 2 ～ 3 分時で増加のピークをむかえ，その後急激に減少する。この減少は乳酸は依然生成されているが，乳酸の消却が始まったためではないかと考えられる。その後，6 分時に R-breakpoint を境にまた R の動態が変わる。これは乳酸の生成と消却のバランスが釣り合ったためではないかと思われる。なぜならばこの R-breakpoint と漸増運動負荷時で得られた VT が一致したからである。この点は漸増運動負荷においては乳酸の生成が消却を上回る点である[10]けれども漸減運動負荷においては乳酸の生成と消却が釣り合った点であると考えられる。

もし運動中に乳酸や非乳酸性の負債が返却されていたならば，その分だけ酸素摂取量が多くなると考えられる。本研究においては，このことを両運動負荷における酸素摂取量を比較することで検討した。両運動の負荷量は同じであるが，total-$\dot{V}_{O2}$ は最大漸減運動負荷時の値が最大漸増

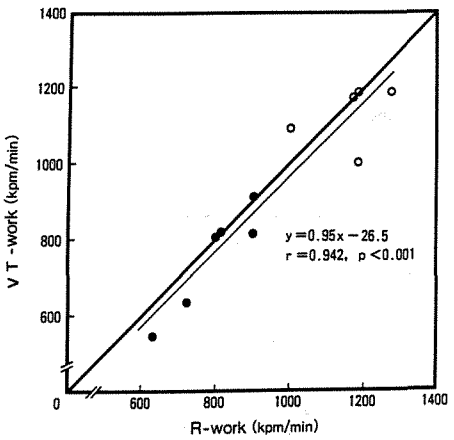

Fig. 3. Relationship between work load at R-breakpoint during decremental exercise and at VT during incremental exerecise.
○; long distanse runners, ●; college students

Table 1. Comparison between long distance runners group(LDR), college students group(CSG) and all subjects(ALL) in $\Delta \dot{V}_{O2}/\Delta W$ and total-$\dot{V}_{O2}$ at maximal incremental exercise(In-max) and maximal decremental exercise(De-max).

Group	$\Delta \dot{V}_{O2}/\Delta W$ (ℓ/min/kpm/min)		total-$\dot{V}_{O2}$ (ℓ)	
	In-max	De-max	In-max	De-max
LDR	1.60 ±0.10	1.87 ±1.25	—	—
CSG	1.68 ±0.13	1.87 ±0.13	—	—
ALL	1.64 ±0.87	1.87*** ±0.18	22.9 ±6.37	26.9*** ±7.52

Values are mean ± SD.***;$p<0.001$, between In-max and De-max

運動負荷時の値より約4 ℓ 多かった（表2）。

次に直線近似を行なった負荷上での酸素摂取量を比較すると，全ての被検者において最大漸減運動負荷時の酸素摂取量は最大漸増運動負荷時の酸素摂取量より多かった。これは最大漸増運動負荷においては酸素負債を生じている程，酸素摂取量が少なくなり，また最大漸減運動負荷においては酸素負債を返却している程，酸素摂取量が多くなった結果生じたものと考えられる。

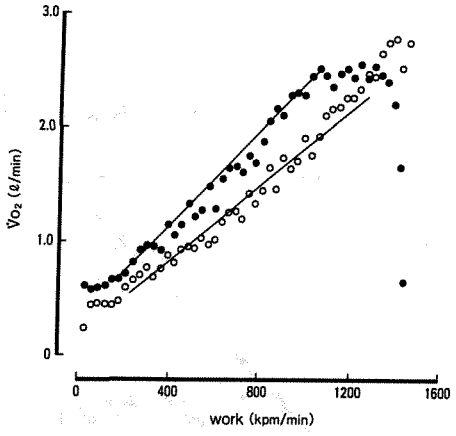

Fig. 4. $\dot{V}_{O_2}$ and $\Delta \dot{V}_{O_2}/\Delta W$ (Solid line) during incremental exercise (○) and decremental exercise (●), for a subjet (K. S.).

Whipp ら[11]は，漸増運動負荷時と漸減運動負荷時の $\Delta \dot{V}_{O2}/\Delta W$ について次のように報告している。すなわち，彼らによると漸増運動負荷時においては負荷が1 watt 増加するごとに酸素摂取量が10.2mℓ増加すると報告している。また漸減運動負荷時は負荷が1 watt 減少するごとに酸素摂取量が14.3mℓ減少するとしている。本研究の $\Delta \dot{V}_{O2}/\Delta W$ は漸増運動負荷時では，Whipp ら[11]

の報告とほぼ一致する9.8mℓであった（ただし負荷の単位が異なるため1 watt = 6 kpm / minとして換算した）。しかし，漸減運動負荷時で得られた値は，11.2mℓとWhippら[11]の値よりも低い値であった。

Whippら[11]はVT以下の運動強度から始める漸減運動負荷の$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$も測定した。その結果，$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$は最大漸減運動負荷時の値よりも小さい9.5mℓであった。最大漸減運動負荷時では乳酸が生成されるので，この変化率の違いは乳酸に関係していると考えられる。しかし，本研究ではその影響は少ないと考えられた。またこの影響が少ない要因を被検者特性に求め，長距離走者と一般人の$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$を検討したが，その差は認められなかった。

以上のことから漸減運動負荷時の$\Delta\dot{V}_{O2}/\Delta W$はわずかではあるが，乳酸の酸化に関係していると考えられた。

Ⅳ. ま と め

本研究の目的は，漸減運動負荷の呼気ガス動態の特徴を明らかにすることである。長距離走者6名，一般学生6名を実験対象者として，最大漸減運動負荷および最大漸増運動負荷の2種類の負荷を課した。その結果の概略と結論は以下の通りである。

(1) $\dot{V}o_2max$，VTはいずれも長距離走者が一般人よりも有意に大きかった（それぞれ$p<0.01$，$p<0.001$）。

(2) 漸減運動負荷時に全被検者についてRの変曲点が得られた。この点は漸増運動負荷で得られたVTと一致した。

(3) total-$\dot{V}o_2$は，最大漸減運動負荷の値が最大漸増運動負荷の値より有意に大きかった（$p<0.001$）。

(4) 両負荷における$\dot{V}o_2$を負荷量に対して，直線近似を行なった。直線近似を行なった負荷上で$\dot{V}o_2$を比較したところ，最大漸減運動負荷時の$\dot{V}o_2$が最大漸増運動負荷の値よりも高かった。

(5) $\dot{V}o_2$と負荷量の変化率（$\Delta\dot{V}o_2/\Delta W$）は最大漸減運動負荷時の値が最大漸増運動負荷時の値より有意に大きかった（$p<0.01$）。

(6) $\Delta\dot{V}o_2/\Delta W$は長距離走者と一般人の間で有意な差は認められなかった。

(7) 直線近似を行った負荷上で漸減運動負荷時の$\dot{V}o_2$が，漸増運動負荷時のものより大きかったことは，酸素負債の返却に関係していると考えられた。また漸減運動負荷時の$\Delta\dot{V}o_2/\Delta W$は，わずかではあるが乳酸の酸化に影響されていると考えられた。

引用文献

1) Cerretelli P, Pendergast D, Paganelli W C and Rennic D W (1979) Effects of specific muscle training on $\dot{V}o_2$ on-response and early blood lactate. J. Appl Physiol 47 : 761–769

2) Davis J A (1985) Anaerobic threshold : review of the concept and directions for future research. Med Sci Sports Exere 17 : 3–18

3) Hermansen L and Stensvold I (1972) Productionn and removal of lactate during exercise in man. Acta Physiol Scand 86 : 191–201

4) Hermansen L and Vagge 0 (1977) Lactate disappearance and glycogen sythesis in human muscle after maximal exercise. Am J Physiol 233 : E422–429

5) Issekutz B JR and Rodahl K (1961) Respiratory qotient during exercise. J Appl Physiol 16 (4) : 606–610

6) Levy M N (1962) Uptake of lactate and pyruvate by intact of the dog. Am J Physiol 202 : 302–308

7) Rowell L B, Klaning K K and Kusumi F (1966) Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. J Appl Physiol 21 (6) : 1773–1783

8) Spitzer J J (1974) Effect of lactate infusion on canine myocardial free fatty acid metabolism in vivo. Am J Physiol 226 : 213–217

9) Stamford B A, Moffatt R J, Weltman A, Maldonado C and Curtis M (1978) Blood lactate disappearance after supra maximal one-legged exercise. J Appl Physiol 45 (2) : 244–248

10) Stanley W C, Gertz E W, Wisneski J A, Morris D L, Neese R A and Brooks G A (1985) Systemic lactate kinetics during graded exercise in man. Am J Physiol 249 : E595–E602

11) Whipp B J, S A Ward and Paterson D A (1992) Dynamic asymmetries of ventilation and pulmonary gas exchange during on-and off-transients of heavy exercise in humans. In Honda Y et al, Control of Breathing and Its Modeling Perspective, 229–236 Plenum Press, New York