

漸減負荷運動における漸減率の低下が 過剰酸素摂取量におよぼす影響

堀内雅弘・矢野徳郎

Effect of Decreasing-rate in Decremental-Load Exercise on Excess Oxygen Uptake

Masahiro HORIUCH and Tokuo YANO

Summary

The purpose of this study was to investigate the effect of decreasing rate during decremental-load exercise on excess oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ excess). Six healthy male college students participated in this experiment. They carried out an incremental-load exercise and three kinds of decremental-load exercise on a cycle ergometer. Incremental-load exercise was used to determine the maximal work rate and peak oxygen uptake (peak $\dot{V}O_2$). Then, they carried out three decremental-load exercises starting from a work rate at 90% peak $\dot{V}O_2$ determined by the incremental-load exercise. The decreasing rates of these exercises were as follows; 30 watts/min (30wEx), 20 watts/min (20wEx) and 10 watts/min (10wEx). In 30wEx, blood lactate accumulation (LA) was abruptly increased immediately after onset of exercise and thereafter showed a constant value throughout the exercise test. On the contrast, in 10wEx, LA gradually decreased after an abrupt increase at the onset of the exercise. $\dot{V}O_2$ in 10wEx was significantly higher at higher work rates but was lower at lower work rates than in 30wEx. The difference of $\dot{V}O_2$ between decremental- and incremental-load exercises ($\dot{V}O_2$ excess) was significantly related to Δ LA measured as the difference of LA between rest and exercise in 10wEx ($r=0.731$, $p<0.001$) and 20wEx ($r=0.492$, $p<0.05$) whereas this relationship was no significant in 30wEx ($r=0.159$, n.s.).

From these results, it seems that the relationship between $\dot{V}O_2$ excess and Δ LA is closer with lower decreasing rate of decremental-load exercise. Furthermore, decremental-load exercise of lower decreasing rate seemed to be appropriate work-load method for assessing the relationship between lactate accumulation and excess oxygen uptake.

Key words: slow component, O_2 debt, $\dot{V}O_2$ excess, blood lactate

I. 緒言

一定負荷運動時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) は, 運動開始後, 約2~3分まで上昇し, その後運動強度が比較的

低いときには定常状態を示すが, 運動強度が高いときには緩やかに上昇し続ける。このためにこの緩やかな上昇を特に Slow component と呼んでいる^{2-4, 13-15, 20}。

北海道大学教育学部 (〒060-0811 札幌市北区北11条西7丁目)

Faculty of Education, Hokkaidou University (Kita-ku, Sapporo, 060-0811)

一般に Slow component は、一定負荷運動開始後 3 分目以降を示すとされている^{2~4, 13~15, 20}。つまり、運動強度が高いときには 3 分目以降の $\dot{V}O_2$ が、負荷量から予測される値よりも高い値を示すことになる^{13~15}。この Slow component の成因についてこれまで報告されている研究では、乳酸が原因であるという説^{14~16}と乳酸は直接的な原因ではないという説^{4, 12}が混在しており、この点に関して一致した見解は得られていないと思われる。

一方、漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ は、運動開始後急激に上昇し、その後負荷強度の減少に伴い漸次的に低下していく。しかしながら、この時の $\dot{V}O_2$ は漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ と負荷量との関係から予測される値よりも高いので^{6, 10, 19}、この高い部分に相当する $\dot{V}O_2$ を過剰酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2excess}$) と定義することができる。またこの $\dot{V}O_{2excess}$ は、漸減運動の初期に生じた非乳酸性の負債や乳酸性の負債の返却に関わって生じていることが示唆されている⁶。

このように、高強度の一定負荷運動における $\dot{V}O_2$ の Slow component と漸減負荷運動時の $\dot{V}O_{2excess}$ は、負荷量から予測される値よりも高い値を示すという点では同じであるため、両者の間に関連性と共通の成因があることが予測される。すなわち、漸減負荷運動の漸減率を漸次緩やかにしていき、漸減率がゼロの時に一定負荷運動であると考え、一定負荷運動時の Slow component と漸減負荷運動の $\dot{V}O_{2excess}$ との関連を検討できると考える。そこで本実験では、一定負荷運動時の Slow component の成因を推定する基礎データを得るために、漸減負荷運動時の漸減率の低下が $\dot{V}O_{2excess}$ にいかなる影響をおよぼすかを検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

被検者は日常定期的には運動を行っていない、健康な男子大学生 1 名および大学院生 5 名の計 6 名を用いた。実験に先立ち、全ての被検者に実験の主旨、内容および危険性について説明をし、実験参加の同意を得た。被検者の年齢は 26.0 ± 1.9 才 (mean \pm SD, 以下同様) であり、身長は 170.0 ± 5.3 cm であり、体重は 62.9 ± 4.3 kg であった。

B. 負荷方法

全ての運動負荷テストには自転車エルゴメーター

(Combi 社製) を用いた。実験は初日に漸増負荷運動を行い、その後、中一日以上間隔を空け一週間以内に三種類の漸減負荷運動を行った。三種類の漸減負荷運動の順序はランダムとした。各個人に対する実験は 1 日につき 1 回とし、また 2 日続きで実験を行うことはしなかった。全ての実験は各個人に対して 2 週間以内に完了した。

図 1 の実験プロトコールに示すように、漸増負荷運動は、5 分間の安静を保った後、0 watt の負荷で 4 分間運動を行い、その後は 15watts/min 漸増のランプ負荷をペダルの回転数が 50rpm に維持できなくなるまで行った。

漸減負荷運動は 5 分間の安静を保った後、0 watt の負荷で 4 分間運動を行い、その後は漸増負荷運動で得られた $\dot{V}O_2$ の最大値 (peak $\dot{V}O_2$) の 90% に相当する負荷強度より運動を開始し、毎分 30watts, 20watts および 10watts ずつ負荷を漸減させ、0 watt まで運動を行った。その後の回復時に 0 watt 負荷で各々 15 分間 (30watts 漸減時)、10 分間 (20watts 漸減時) および 5 分間 (10watts 漸減時) 運動を行った。

漸減負荷運動開始時の 90% peak $\dot{V}O_2$ に相当する仕事量 (work rate) は次のように求めた。まず、漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ を work rate に対してプロットし、運動初期や終期を除いた直線区間で回帰直線を求めた。そしてその回帰直線に目的の $\dot{V}O_2$ (90% peak $\dot{V}O_2$ に相当) を代入することによって work rate を求めた。

C. 測定

呼気ガスは医用ガス分析器 (ミナト医科学社製; Aeromonitor AE-280S) を用いて、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$)、呼気ガス交換比 (RER) および毎分換気量 (VE) を Breath-by-Breath 法により測定し、得られたデータを 15 秒毎に算出した。呼気ガス分析器の較正は、標準ガスにより測定前に行った。

心拍数 (Heart Rate; 以下 HR) は、ハートレートモニター (POLAR 社製; VANTAGE XL) を用いて測定した。

血液中の乳酸濃度 (LA) は指先より微量 (25 μ l) の血液をキャピラリーを用いて採取し、直ちに Lactate Analyzer (YSI 社製; YSI 1500sport) により分析することによって求めた。採血は、漸増負

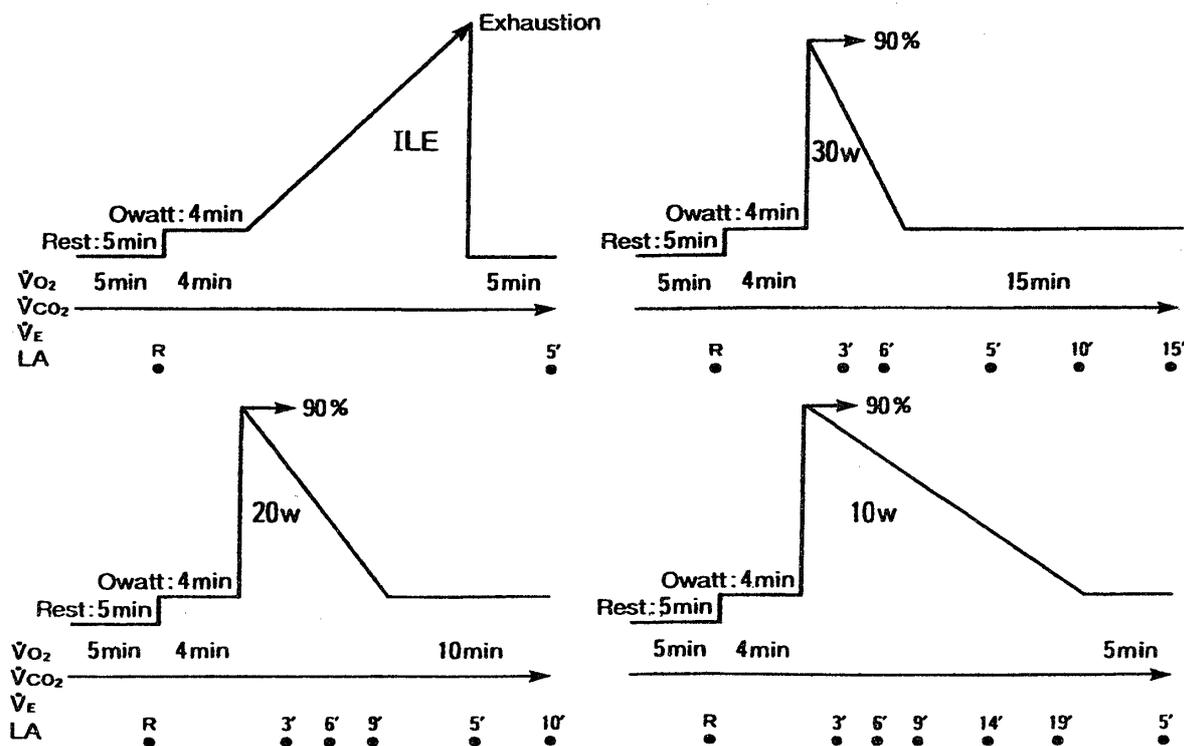


Fig. 1. Protocol of the experiment. ILE; incremental-load exercise. $\dot{V}O_2$; oxygen uptake, $\dot{V}CO_2$; carbon dioxide output, $\dot{V}E$; ventilation, 90%; a work rate at 90% peak $\dot{V}O_2$, 30w; decremental-load exercise of 30 watts/min, 20w; decremental-load exercise of 20 watts/min, 10w; decremental-load exercise of 10 watts/min, LA; blood lactate accumulation, R; rest.

荷運動においては安静時および運動終了後5分目に、30watts漸減時においては安静時、運動開始後3分目、6分目、運動終了後5分目、10分目および15分目に、20watts漸減時においては安静時、運動開始後3分目、6分目、9分目、運動終了後5分目および10分目に、10watts漸減時においては安静時、運動開始後3分目、6分目、9分目、14分目、19分目および運動終了後5分目に行った。

D. 統計

漸増負荷運動時の work rate と $\dot{V}O_2$ との関係を一次の回帰式で直線近似を行った。漸増負荷運動時の work rate と $\dot{V}O_2$ との関係および三種類の漸減負荷運動における LA と $\dot{V}O_2$ excess との相関は Pearson の相関係数を用いた。三種類の漸減負荷運動テスト間の各変量の有意差検定は、分散分析により行い、下位検定には Turkey 法⁷⁾を用いた。この検定の有意水準は5%、1%および0.1%とした。

III. 結果

漸増負荷運動時の peak $\dot{V}O_2$ は 2.69 ± 0.14 l/min であり、運動終了時の負荷強度は 240 ± 12.2 watts であった。漸増負荷運動における安静時および運動終了後5分目の LA はそれぞれ、 0.80 ± 0.20 mmol/l および 8.58 ± 1.37 mmol/l であった。

図2上段に代表的な被検者1名の漸減負荷運動時における LA の経時的変化を示した。30watts 漸減時における LA は、運動時では3分目の値も6分目の値も同じような値を示した。運動時の LA がピーク値を迎えた時間は3名の被検者が3分目であり、3名の被検者が6分目であった。20および10watts 漸減時における LA は、運動時では運動開始後急激に増加し、6分目でピーク値を迎えその後は低下した。この傾向は全被検者について同様であった。各負荷間の安静時、運動時および回復時の LA の平均値および標準偏差を表1に示した。

図2下段に代表的な被検者1名(被検者は図2上段と同一)の各漸減負荷運動時における LA を負荷量に対して示した(負荷量に対してプロットしてあ

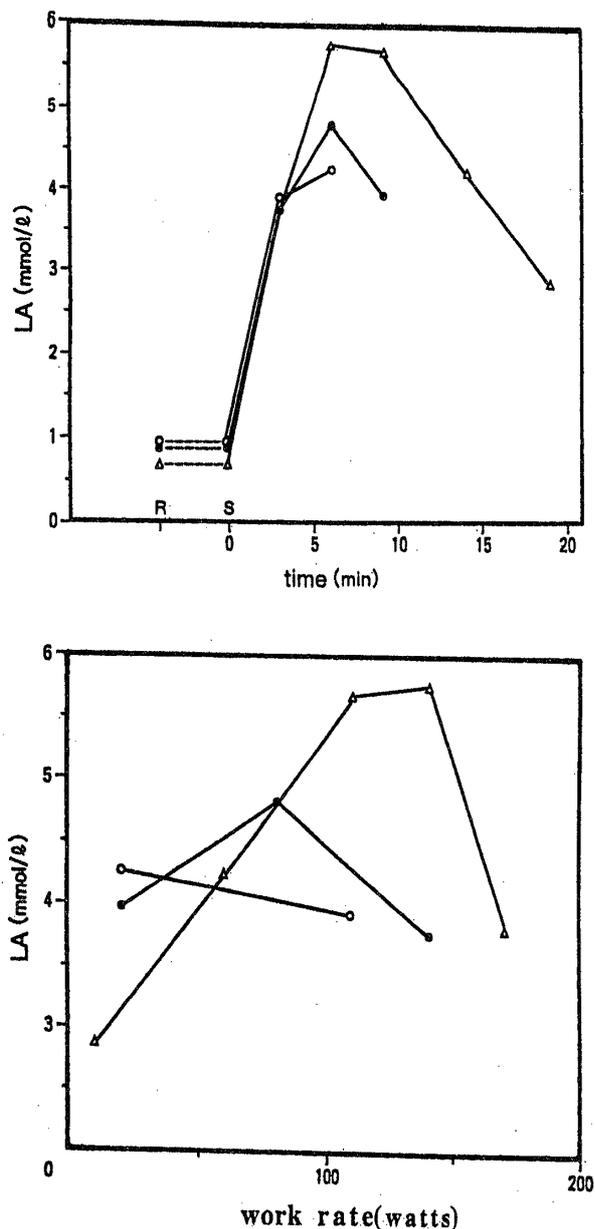


Fig. 2. Kinetics of blood lactate accumulation (LA) corresponding to the time course (upper panel) and work rate (lower panel) during decremental-load exercise of 30 watts/min (○), 20 watts/min (●) and 10 watts/min (△) for a single subject. Dotted line is a predicted value of LA.

るので時間の流れは右から左へと進行している)。30watts 漸減時における LA は、負荷量の減少とともに LA が低下した被検者が 3 名であり、増加した被検者が 3 名であった。20 および 10watts 漸減時における LA は、運動開始後急激に増加し、その後は負荷量の減少とともに低下した。この傾向は全被検

者について同様であった。被検者により負荷量が異なるために有意差検定は行わなかった。

図 3 上段に代表的な被検者 1 名 (被検者は図 2 上段と同一) の各漸減負荷運動時における $\dot{V}O_2$ の経時的变化を示した。30watts 漸減時における $\dot{V}O_2$ は運動開始後急激に上昇し、約 1~2 分目でピーク値を迎えその後低下を始めた。20watts 漸減時における $\dot{V}O_2$ は運動開始後急激に上昇し、約 2 分目でピーク値を迎えその後低下を始めた。10watts 漸減時における $\dot{V}O_2$ は運動開始後急激に上昇し、約 4~5 分目でピーク値を迎えその後低下を始めた。各漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ のピーク値は 30watts 漸減時では 2.16 ± 0.22 l/min, 20watts 漸減時では 2.13 ± 0.17 l/min, 10watts 漸減時では 2.34 ± 0.25 l/min であり、負荷方法による $\dot{V}O_2$ のピーク値が異なることが認められた。さらにこのピーク値の差を比較検討したところ、10watts 漸減時の値が 30 および 20watts 漸減時の値より有意に高い値を示した (それぞれ $p < 0.05$)。

図 3 下段に代表的な被検者 1 名 (被検者は図 2 上段と同一) の各漸減負荷運動時および漸増負荷運動時における $\dot{V}O_2$ を負荷量に対して示した (負荷量に対してプロットしてあるので漸減負荷運動における時間の流れは右から左へと進行している)。高負荷時における $\dot{V}O_2$ は漸増負荷運動時の値が高い値を示していた。その後は漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ が漸増負荷運動時の値より終始高い値を示していた。また、各漸減負荷運動間の $\dot{V}O_2$ をみると高負荷時においては 10watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ が 30 および 20watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ より高い値を示す傾向にあった。一方、低負荷時においては 10watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ が 30 および 20watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ より低い値を示す傾向にあった。次に各負荷時の $\dot{V}O_2$ の差を 15watts ごとに比較検討した。これは漸増負荷運動時の負荷量増加量が 15watts/min であるので、漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ と漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ を比較しやすくするためである。ただし、漸減負荷運動の運動開始時の負荷量が個人間で異なるため 15watts ごとのデータが得られない時は、その前後の $\dot{V}O_2$ の平均値を 15watts のデータとして採用した。その結果、負荷量が 0 watt から 90watts までは 30 および 20watts 漸減時の値が 10watts 漸減時の値より有意に高く、165watts から 195watts までは 10watts 漸減時の値が 30 および 20watts 漸減時の値より有意に高かった (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$ および $p < 0.001$)。

Table 1. Comparison of blood lactate accumulation (mmol/l) during three kinds of decremental-load exercise

	Rest	Exercise					Recovery		
		3min	6min	9min	14min	19min	5min	10min	15min
30w	0.76±0.14	4.44±0.96	4.59±0.75				2.99±0.66	2.81±0.75	2.21±0.51
20w	0.69±0.10	4.28±0.68	4.98±0.74	4.43±0.96			2.87±0.72	2.37±0.62	
10w	0.77±0.16	4.82±1.10	6.29±1.41	5.61±0.85	4.46±0.91	2.94±0.56	1.84±0.29		

Values are means±SD. 30w: decremental-load exercise of 30 watts/min, 20w: decremental-load exercise of 20 watts/min, 10w: decremental-load exercise of 10 watts/min, Blood lactates were obtained at rest; 3min, 6min, 9min, 14min and 19min during exercise; at 5min, 10min and 15min during recovery.

各漸減負荷運動時と安静時のLAの差 (ΔLA) を横軸にとり、LAを測定した時点での $\dot{V}O_2$ とその同一負荷量での漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ の差 ($\dot{V}O_{2ex}$) を縦軸にとった図を各漸減負荷運動ごとに示した (図4)。30watts 漸減時 (図4上段) においては ΔLA と $\dot{V}O_{2ex}$ との間に有意な相関関係は認められなかったが ($r=0.159$, n.s., $y=14.8x+452$), 20 (図4中段) および10watts (図4下段) 漸減時においては ΔLA と $\dot{V}O_{2ex}$ との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた (それぞれ $r=0.492$, $p<0.05$, $y=77.8x+86.2$, および $r=0.731$, $p<0.001$, $y=70.2x+42.8$)。また、 ΔLA が4 mmol/lの時の回帰直線から求めた $\dot{V}O_{2ex}$ は、20watts 漸減時で約400mlであり、10watts 漸減時で約300mlであった。

IV. 考察

漸減負荷運動時の漸減率の低下がLAおよび $\dot{V}O_{2ex}$ にいかなる影響をおよぼすか検討した。 $\dot{V}O_{2ex}$ は同一の負荷上の漸増負荷運動時と漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ との差とした。その結果、漸減量が一番高い30watts 漸減時では、LAの蓄積量と $\dot{V}O_{2ex}$ との間には有意な関係が認められなかった。この負荷時のLAは運動開始後一旦上昇したが、その後は変化しなかった。また、漸減量が一番低い10watts 漸減時では、LAの蓄積量と $\dot{V}O_{2ex}$ の間には有意な相関関係が認められた。この負荷時のLAは運動開始後上昇し、6分目でピーク値を迎えた。その後は時間の経過と共に低下していた。さらに三種類の漸減負荷運動時の $\dot{V}O_2$ を各負荷強度で比較検討したところ、高い負荷においては10watts 漸減時が有意に高い値を示しており、低い負荷においては有意に低い値を示していた。

いかなる強度の運動であれ、その初期には酸素不足 (O_2 deficit) が生じることは古くから報告されている⁸⁾。またこの酸素不足は、運動後の回復時に酸素負債 (O_2 debt) として返却されること、およびこの返却は運動強度が比較的高いときには乳酸に関係しない成分 (alactic O_2 debt) と乳酸に関係する成分 (lactic O_2 debt) の2つに分けられることも知られている⁹⁾。さらにAsmussen (1965) は、酸素負債は運動強度が一定あるいは漸増される運動中には返却されないが、運動強度を低下させると負債の一部が返却されることを報告している。本実験で用いた漸減負荷運動は90% peak $\dot{V}O_2$ 負荷強度から運動を開始しているため、運動初期から酸素不足が生じていると考えられる。また、漸減負荷運動を回復運動の負荷が多段階に与えられた場合であると考えると漸減負荷運動の中・後半に O_2 deficitが返却されていると考えられる。漸減運動初期に生じた O_2 deficitが返却されていれば、その分だけ O_2 debtが生じることが予測される。この O_2 debtを算出するためには、それを求めるための基準値を規定する必要がある。本研究では、前にも述べたように漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ を基準値とし、漸減負荷運動時と漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ との差で求め、これを $\dot{V}O_{2ex}$ とした。これは、多くの研究者^{6, 11, 15, 19)}が、負荷強度が1 watt増加するごとに $\dot{V}O_2$ が約10ml増加すると報告しているように、漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ が負荷量に依存しているからである。実際、本研究において算出した漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ とwork rateとの間の相関係数は、全被検者の平均値で $r=0.994$ とほぼ直線関係を示していた。ただし、本研究において $\dot{V}O_{2ex}$ 算出のための基準値として定めた漸増負荷運動時の $\dot{V}O_2$ は、運動初期の立ち上がりの遅れがあるために、酸素負債を生じて

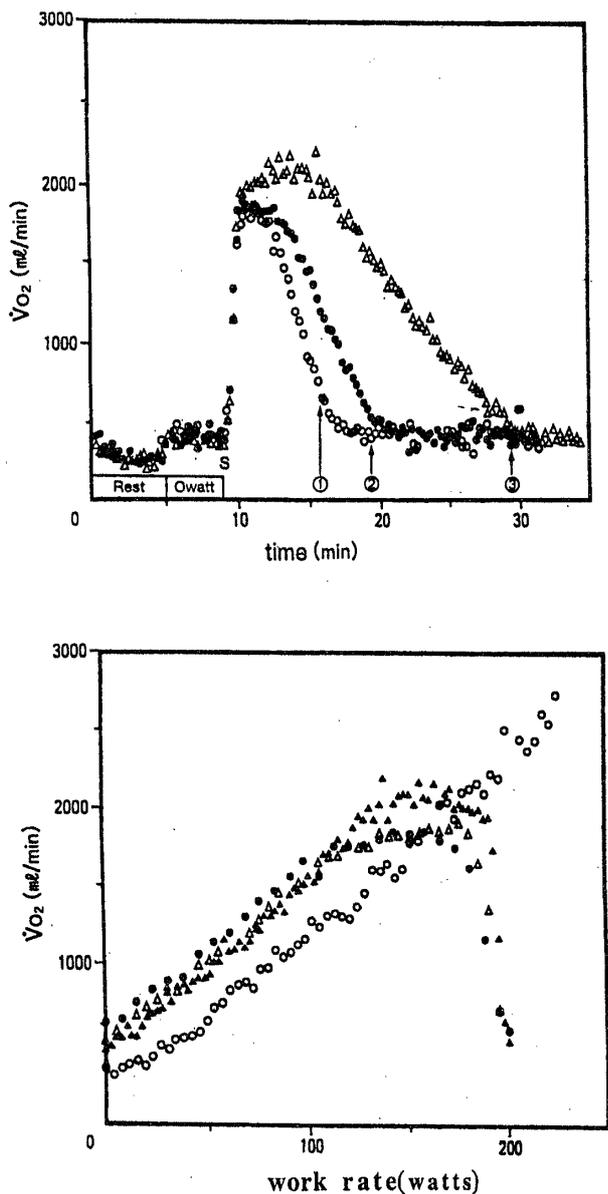


Fig. 3. Kinetics of oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) corresponding to the time course during decremental-load exercise of 30 watts/min (○), 20 watts/min (●) and 10 watts/min (△) (upper panel) and oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) to work rate during incremental (○) and decremental-load exercise of 30 watts/min (●), 20 watts/min (△) and 10 watts/min (▲) (lower panel) for a single subject. ①; end of exercise of 30 watts/min, ②; end of exercise of 20 watts/min, ③; end of exercise of 10 watts/min.

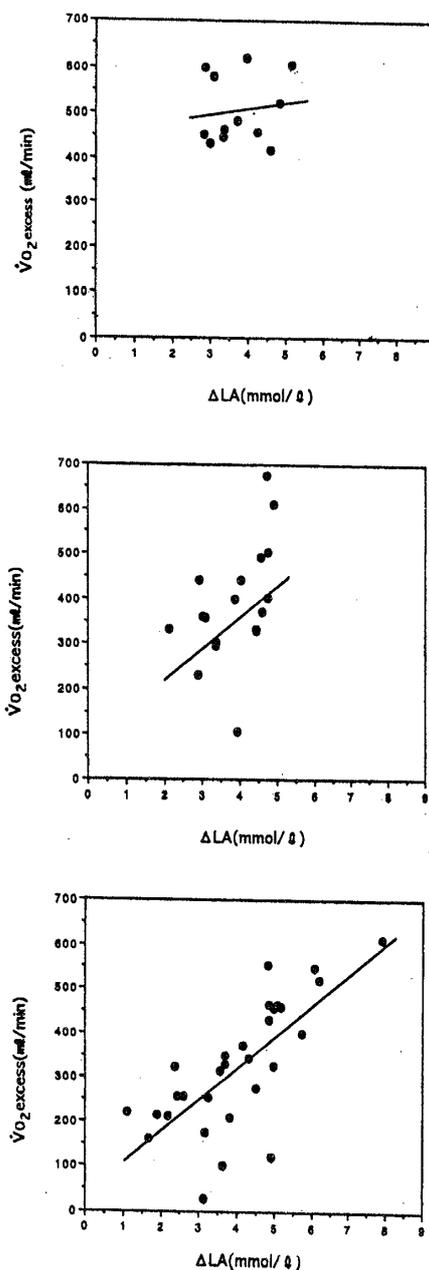


Fig. 4. Relationship between blood lactate accumulation (ΔLA) and excess oxygen uptake ($\dot{V}O_2\text{ excess}$) during decremental-load exercise of 30 watts/min ($r=0.159$, n.s., $y=14.8x+452$, $n=12$; upper panel), 20 watts/min ($r=0.492$, $p<0.05$, $y=77.8x+86.2$, $n=18$; middle panel) and 10 watts/min ($r=0.731$, $p<0.001$, $y=70.2x+42.8$, $n=30$; lower panel). ΔLA ; the difference of blood lactate between rest and exercise, $\dot{V}O_2\text{ excess}$; the difference of oxygen uptake between decremental-and incremental-load exercises.

いる程需要量より少なくなるので^{18,21)}、本実験において算出した $\dot{V}O_2\text{excess}$ は $O_2\text{debt}$ に近似的な値になることが想定される。

このように $\dot{V}O_2\text{excess}$ は $O_2\text{debt}$ に関係していると考えられたので、次にこの $\dot{V}O_2\text{excess}$ を $O_2\text{debt}$ と同様にalacticとlactic $O_2\text{debt}$ に分けて検討したい。

30watts 漸減時ではLAが減少を示さなかったもので、 $\dot{V}O_2\text{excess}$ の成分は乳酸性負債に強く関係しているとは考えにくい。実際、LAの減少は安静回復時では30~40分と時間がかかり、本負荷時のような6~8分の負荷時間では、その回復は少ないのであろう。ただし、本実験で測定したLAは血液中の乳酸濃度であるため時間的な因子を考慮する必要がある。すなわち、一般に筋中で生じた乳酸が血液中へ拡散してくるには3~5分間要することが知られている。30watts 漸減時で測定したLAは、運動開始後3分目および6分目であるため、筋中では運動開始直後および運動開始後1~3分目付近の値を反映していると考えられる。このため30watts 漸減時のとりわけ運動後半の乳酸動態を反映しているとは考えにくい。しかしながら、本実験では運動後の回復時5分目にもLAを測定しているためこの値から30watts 漸減時の乳酸動態をある程度推測することが可能と考えられる。30watts 漸減時の回復時5分目のLAは平均で $2.99 \pm 0.66 \text{ mmol/l}$ であった。前述の拡散時間を考慮すると、この時の値は運動終了直前もしくは運動終了後2分目付近であったことが予測できる。仮に、この値が運動終了直前を反映していると仮定するならば、30watts 漸減時においても乳酸は、LAのピーク値 $4.59 \pm 0.75 \text{ mmol/l}$ と $2.99 \pm 0.66 \text{ mmol/l}$ の差として約 1.5 mmol/l 程度の減少を示していたことになる。しかし、この 1.5 mmol/l は同様の推測で求めた20watts 漸減時のLAのピーク値 $4.98 \pm 0.74 \text{ mmol/l}$ と運動終了後の回復時5分目のLA値 $2.87 \pm 0.72 \text{ mmol/l}$ との差、つまり約 2 mmol/l および10watts 漸減時のLAのピーク値 $6.29 \pm 1.41 \text{ mmol/l}$ と運動終了後の回復時5分目のLA値 $1.84 \pm 0.29 \text{ mmol/l}$ との差、つまり約 4.5 mmol/l と比較すると明らかにその減少分は少ない。したがって、これらのことから30watts 漸減時の $\dot{V}O_2\text{excess}$ はLAとの間に相関関係が認められず、運動時の酸素負債の返却には乳酸も関与しているものの主に非乳酸性負債によっていたと考えられよう。

これに対して10watts 漸減時では、LAが低下していることから、運動時に乳酸性負債が返却されていると考えられる。実際、10watts 漸減時における $\dot{V}O_2\text{excess}$ とLAとの関係においては有意な相関関係が認められた。

運動時には乳酸性負債に加えて非乳酸性負債も生じていると考えられるが、もし10watts 漸減時において非乳酸性負債も返却されていたならば、その分だけ $\dot{V}O_2\text{excess}$ は増えることが予測される。しかし、10watts 漸減時の $\dot{V}O_2\text{excess}$ は回帰直線から求めた同一のLA上で比較するとすると20watts 漸減時より少なかった。また、30watts 漸減時では $\dot{V}O_2\text{excess}$ と ΔLA との関係が有意ではないため、そのまま適用することはできないと考えるが、この時の $\dot{V}O_2\text{excess}$ を図4から判断すると少なく見積もっても約500ml程度あり、10watts 漸減時の $\dot{V}O_2\text{excess}$ よりも多いといえよう。したがって、10watts 漸減時の $\dot{V}O_2\text{excess}$ は他の運動時よりも少なかったと考えられよう。これは漸減時間が長い単位時間当たりの量では10watts 漸減時における非乳酸性負債の返却が少なくなったために $\dot{V}O_2\text{excess}$ が減少したのであろう。

このように、非乳酸性負債と乳酸性負債の面から漸減負荷運動時における $\dot{V}O_2\text{excess}$ を検討してきたが、30watts 漸減時の乳酸性負債が10watts 漸減時のそれより少ないことから、30watts 漸減時における $\dot{V}O_2\text{excess}$ には非乳酸性負債以外の要因も検討しなければならないと考える。Hansen et al. (1988)は、負荷漸増量の異なる三種類の漸増負荷運動を行わせ、その時の $\dot{V}O_2$ 動態を比較している。その結果、負荷漸増量が高い時の $\dot{V}O_2$ は同一の負荷量で比較して漸増量の緩やかな時の $\dot{V}O_2$ よりも低い値を示すことを報告している。これは、漸増量が高いとエネルギー供給系が無酸素的に動員される割合が大きくなり、酸素負債が増加し、その結果 $\dot{V}O_2$ が低くなるのではないかと推測している。また、漸増量が急激であるために $\dot{V}O_2$ の応答が遅延していた可能性も考えられよう。本研究のように漸減量を変化させたときの報告は見当たらないが、Hansen et al. (1988)の報告と考え併せると、30watts 漸減時では漸減量が急激なために $\dot{V}O_2$ の応答が遅延していた可能性も考えられる。したがって、30watts 漸減時における $\dot{V}O_2\text{excess}$ の成因には、非乳酸性負債、乳酸性負債に加えて $\dot{V}O_2$ 応答の遅延の可能性も考えられる。

また、10watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ が高負荷時に高かったのは、次のように考えられる。すなわち、本実験で用いた漸減負荷運動は、AT¹⁷⁾以上の負荷から運動を開始しているため、三種類全ての運動において乳酸はその運動初期から生成されていると考えられる。特に、10watts 漸減時においては、漸減量が10watts/min とゆっくりなため運動初期では相対的に高い負荷強度での運動が続くことになるので、乳酸の生成が多くなりそのためにLA が30watts 漸減時より高くなったと考えられる。さらにLA が高ければその分除去量も増加することが考えられるので、10watts 漸減時の高負荷時では、 $\dot{V}O_2$ excess も多かったものと考えられよう。

これに対して低負荷時では、特にAT¹⁷⁾以下では乳酸の生成は少ないと考えられる。特に10watts 漸減時の後半においては低い負荷強度の運動が長く続くことになるので、負債の返却が増えその結果LA が減少する。このために10watts 漸減時の $\dot{V}O_2$ が30および20watts 漸減時の値より低くなったと考えられよう。

以上のことから、漸減負荷運動の漸減量が低下してくるほど $\dot{V}O_2$ excess は乳酸に強く関係してくることが明らかになった。また、このことから運動時の乳酸蓄積量と過剰酸素摂取量の関係を検討する場合には、低い漸減量の漸減負荷運動を用いることが適切であることが示唆された。

V. まとめ

本研究の目的は、漸減量の低下の差異が漸減負荷運動時のLA および過剰酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$ excess) にいかなる影響をおよぼすかを検討することである。健康な成人大学生1名および大学院生5名の計6名を対象として、漸増負荷運動および漸減量の異なる三種類の漸減負荷運動を行った。漸減負荷運動は、漸増負荷運動時の酸素摂取量の最大値の90%に相当する負荷強度から開始し、それぞれ毎分30watts, 20watts および10watts ずつ漸減させ0 watt まで運動を行った。その結果の概略と結論は以下の通りである。

- (1) 30watts 漸減時のLA は、運動中ほぼ同様な値を示した。一方、20および10watts 漸減時のLA は時間の経過と共に低下する傾向にあった。
- (2) 高負荷時における $\dot{V}O_2$ は10watts 漸減時の値が30および20watts 漸減時の値より有意に大きい

値を示したが、低負荷時では有意に小さい値を示した。

- (3) 漸増負荷運動時と漸減負荷運動時との $\dot{V}O_2$ との差で求めた $\dot{V}O_2$ excess は、30watts 漸減時では ΔLA との間に有意な相関関係が認められなかった ($r=0.159$, n.s.)。一方、20および10watts 漸減時では ΔLA との間に有意な相関関係が認められた (20 watts ; $r=0.492$, $p < 0.05$, 10watts ; $r=0.731$, $p < 0.001$)。
- (4) 以上の結果から、漸減負荷運動の漸減量が低下してくるほど $\dot{V}O_2$ excess は乳酸蓄積量の変化と強く関係してくると思われた。

謝 辞

本研究は文部省科学研究費基盤研究 (B) (課題番号08458013) による援助を受けた。

参考文献

- 1) Asumussen E (1965) Muscular exercise. In: Fenn W O, Rahn H (Eds) Handbook of Physiology. Respiration, Sec.3, vol II, American Physiological Society, Washington DC, pp939-978.
- 2) Barstow T J (1994) Characterization of $\dot{V}O_2$ kinetics during heavy exercise. Med Sci Sports Exerc 26: 1327-1334.
- 3) Casaburi R, Storer T W, Ben Dov I and Wasserman K (1987) Effect of endurance training on possible determinants of $\dot{V}O_2$ during heavy exercise. J Appl Physiol 62: 199-207.
- 4) Gasser G A (1994) Influence of training and catecholamines on exercise $\dot{V}O_2$ response. Med Sci Sports Exerc 26: 1341-1346.
- 5) Hansen J E, Casaburi R, Cooper D M and Wasserman K (1988) Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. Eur J Appl Physiol 57: 140-145.
- 6) 堀内雅弘, 矢野徳郎 (1994) 漸減負荷運動時のガス交換動態 日本運動生理学雑誌1(2) : 33-39.
- 7) Keppel G (1991) Design and analysis: A researcher's handbook (3rd ed.). Englewood Cliffs, NJ; Prentice-Hall, pp173-175.
- 8) Krogh A and Lindhald J (1920) The changes in respiration at the transition from work to rest. J Physiol 53: 431-437.
- 9) Margaria R, Edwards H T and Dill D B (1933) The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lac-

- tic acid in muscular contraction. *Am J Physiol* 106: 689-715.
- 10) 根本 勇, 中村夏実, 黒田善雄 (1996) 漸減負荷運動による乳酸除去能力の非観血的測定法による研究 *デサントスポーツ科学*17: 87-100.
 - 11) Paterson D H and Whipp B J (1991) Asymmetries of oxygen uptake transient at the on- and off-set of heavy exercise in humans. *J Physiol* 443: 575-586.
 - 12) Poole D C, Gladden L B, Kurdak S and Hogan M C (1994) L-(+)-lactate infusion into working dog gastrocnemius: no evidence lactate per se mediates $\dot{V}O_2$ slow component. *J Appl Physiol* 76: 787-792.
 - 13) Poole D C, Schaffartzik W, Knight D R, Derion T, Kennedy B, Guy H J, Prediletto R and Wanger P D (1991) Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol* 71: 1245-1253.
 - 14) Poole D C, Ward S A, Gardner G W and Whipp B J (1988) Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31: 1265-1279.
 - 15) Roston W L, Whipp B J, Davis J A, Cunningham D A, Effros R M and Wasserman K (1987) Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis* 135: 1080-1084.
 - 16) Stringer W, Wasserman K, Casaburi R, Porsaaaz J, Maehara K and French W (1994) Lactic acidosis as a a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *J Appl Physiol* 76: 1462-1467.
 - 17) Wasserman K, Whipp B J, Koyal S N and Beaver W L (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange. *J Appl Physiol* 35: 236-243.
 - 18) Whipp B J (1987) Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation* 76(Suppl IV): IV18-28.
 - 19) Whipp B J, Ward S A 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 (Eds) *Control of Breathing and Its Modeling Perspective*, Plenum Press, New York, pp229-236.
 - 20) Whipp B J and Wasserman K (1986) Effect of anaerobiosis on the kinetics of O_2 uptake during exercise. *Fed Proc* 45: 2942-2947.
 - 21) 矢野徳郎 (1985) 長・中・短距離走者の無氣的作業閾値, 酸素債および酸素摂取量の反応時間 *体力科学*34: 176-182.
(平成9年9月16日受付, 平成10年3月17日受理)