

運動負荷様式が酸素摂取量推定式に及ぼす影響

森澤 桂

福山平成大学 福祉健康学部
(健康スポーツ科学科)

E-mail : morisawa@heisei-u.ac.jp

【要旨】

心拍数 (HR) は運動の強度に比例し, 心拍数 (HR) と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の間に直線的な比例関係が成立することが認められている. しかし, 運動負荷の増減に対するHRと $\dot{V}O_2$ の適応の速さが異なるとの考えから, HR- $\dot{V}O_2$ 関係を求める際の運動の負荷様式によって, この関係式の勾配が変わることが考えられる. そこで異なる負荷様式の一例として, 漸増的な定常状態と非定常状態の運動を実施し, そこで得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係を検討した.

年齢19~20歳の運動部に所属する女子大学生5名を対象に, 自転車エルゴメーターを用いて, いずれの負荷様式の場合にも, 被験者が疲労困憊に至るまで運動を行った.

漸増負荷における定常状態の成立する運動と定常状態の成立しない運動からHR- $\dot{V}O_2$ 関係式を求めたが, これらの2つのHR- $\dot{V}O_2$ 関係式には有意な差が認められなかった. したがって, 漸増負荷の運動であれば, 定常状態の運動負荷であろうと非定常状態の運動負荷であろうとも, HR- $\dot{V}O_2$ 関係式の算出には大差なく, 負荷様式の違いはHR- $\dot{V}O_2$ 関係には影響を与えないと考えられた.

KEY WORDS : 心拍数、酸素摂取量、非定常運動負荷

I 緒言

心拍数 (HR) は運動の強度に比例し、心拍数 (HR) と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の間に直線的な比例関係が成立することが認められている。心拍数から酸素摂取量が推定できるのは心拍数の変化が組織の代謝を反映しているものと考えられているからである。したがって、心拍数を手掛かりとして、トレーニングの強度やエネルギー消費量を推定することができると共に、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の推定が可能になる。

しかしながら、心拍数は、環境条件、活動筋量、情緒的興奮などに影響されることから、このHRと $\dot{V}O_2$ の比例関係も普遍的なものではない。また、心拍数から $\dot{V}O_2$ を推定できる運動強度の理論的範囲は、一回拍出量と動静脈血酸素較差が一定になるか、この2変数が同一範囲内において逆相関を示す範囲、一般的には、心拍数120拍/分以上170拍/分程度までであり、運動は定常状態にあるときのみであると考えられる。

現実的には身体活動は、その強度、期間などが複雑に変化し、生体反応は必ずしも定常的なものであると限らず、むしろ非定常であることが多い。実験的には非定常状態の運動や無酸素的な運動でもHR- $\dot{V}O_2$ の間に一定の関係が認められているが、運動負荷の増減に対するHRと $\dot{V}O_2$ の適応の速さが異なるとの考えから、HR- $\dot{V}O_2$ 関係を求める際の運動の負荷様式によって、この関係式の勾配が変わることが考えられる。

定常状態 (steady state) の成立するような運動で求めたHR- $\dot{V}O_2$ 関係と、定常状態の成立しない (unsteady state) 運動で求めたHR- $\dot{V}O_2$ 関係式の勾配が変わるとするならば、 $\dot{V}O_{2max}$ の推定に用いられる最大下の仕事率、心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式の回帰直線の傾きが変わることになるので、 $\dot{V}O_2$ を過大評価するか、過小評価してしまうことになり、極めて根本的な問題となる。また、定常状態の成立する運動で得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係をそのまま間欠的な運動に当てはめるならば、エネルギー消費からみれば運動の激しさが休止期で薄められて過小な評価が行われ、心拍数の変化から評価すれば、休止期での心拍数の低下が少ないことから過大な評価がなされることが考えられる。

青木と形本¹⁾は運動の負荷方法によって、HR- $\dot{V}O_2$ 関係が異なるとの立場で、漸増負荷と漸減負荷の運動を繰り返し行わせ、HR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係を検討している。彼らの報告によれば、1度目の漸増負荷によって得られたHR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係のみが、他の漸増負荷と漸減負荷で得ら

れたHR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係に比べて、同一-% $\dot{V}O_{2max}$ に対するHRが高いとしているが、その理由は定かではないとしている。北村ら²⁾は、この結果は最初の運動という不安が情緒的興奮をもたらし、その影響が表れたものとし、情緒的興奮を排除すれば、HR- $\dot{V}O_{2max}$ 関係に負荷方法の違いによる影響はほとんどないことを示唆している。

しかし、異なった運動負荷様式で得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係が異なるか否かについての十分な検討はなされていない。そこで異なる負荷様式の一例として、漸増的な定常状態と非定常状態の運動を実施し、そこで得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係を検討した。

II 方法

被験者は、年齢19~20歳の運動部に所属する女子大学生5名で、身長164.2±3.7cm、体重54.4±3.1kgである。

HR- $\dot{V}O_2$ 関係を得るための運動は、自転車エルゴメーターを用いて実施した。ペダルの回転数を50rpmに規定し、定常状態、非定常状態いずれの負荷様式の場合にも、被験者が疲労困憊に至るまで運動を行った。

定常状態の成立する運動として、300kpmの負荷から4分ごとに300kpmずつ負荷を漸増する運動、非定常状態の運動として、0kpmから1分ごと150kpmずつ漸増する運動とした。被験者は5分以上の安静ののち漸増運動を開始した。

運動中の $\dot{V}O_2$ は、被験者にマウスピース (非再呼吸弁、HANS RUDOLPH社製) を用い、呼気ガス分析装置 (AIC社製) により30秒ごとに測定した。運動中のHRは、胸部双極誘導にて心電図を連続記録し、10秒間のR-R間隔の平均値から1分間値に換算した。

定常状態の成立する運動では、各負荷値での3~4分目の値を用いてHR- $\dot{V}O_2$ 関係式を求めた。非定常状態の運動では、運動開始から運動終了まで30秒ごとに得られたすべてのデータを用いた。

実験は、負荷方式ごとに実施日を変えて、同じ時間帯を選んで、室温22~25℃の条件で行った。

このようにして得られた測定値から、被験者全員のデータを用いてHR- $\dot{V}O_2$ 関係式の回帰直線を求めた。それぞれの回帰直線の検定には、回帰係数の差の検定を用い、5%水準をもって有意とした。

III 結果と考察

本実験で実施した漸増負荷における定常状態の成立する運動から求められた回帰直線は

$y = 18.9x - 1022$ ($r = 0.91$) であり、定常状態の成立しない運動から求められた回帰直線は

$y = 18.5x - 975$ ($r = 0.87$) であった。これらのHR- $\dot{V}O_2$ 関係式を図1に示した。

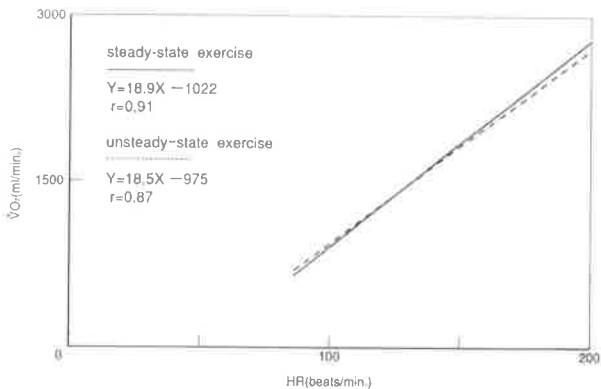


Fig 1. Relationship between heart rate(HR) and oxygen uptake($\dot{V}O_2$) during steady-state and unsteady-state exercise.

これらの2つの回帰直線を比較したところ、傾きのP値は0.312 ($P > 0.05$)、切片のP値は0.401 ($P > 0.05$) であり、2つのHR- $\dot{V}O_2$ 関係式には有意な差が認められなかった。

北村ら²⁾は定常状態と非定常状態の漸増的な運動を行わせ、HR- $\dot{V}O_2$ 関係を検討しているが、負荷方法の違いによるHR- $\dot{V}O_2$ 関係の違いを認めておらず、本研究で得られた結果と同様であった。加賀谷³⁾はPendergastら⁴⁾の報告を引用し、運動開始時の呼吸循環系のパラメーターの適応の速さにずれがあることをあげて、定常状態と非定常状態の運動で得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係が異なるとの立場をとっている。しかし、北村ら²⁾は、彼らが実験に用いた運動強度は、比較的弱い運動であり、運動強度が強まってもその傾向が認められるかどうかについては明らかではない、としている。異なった運動負荷で求めたHR- $\dot{V}O_2$ 関係に差があるとする報告⁵⁾では同様に低強度の運動である。本研究では、最大運動を課せられており、高強度の運動では、定常状態と非定常状態の運動で得られたHR- $\dot{V}O_2$ 関係には差がみられないと考えられる。運動時の心拍数の上昇は、運動強度の低い場合は主として心臓迷走神経活動の減退、運動強度が高くなると心臓交感神経活動の亢進によって達成されることが示唆され、心拍数が運動強度に比例することは、実際には心臓迷走神経活動の減退と心臓交感神経活動の亢進による頻脈効果がうまく切り替わり、結果として心拍数上昇を単に直線的にみせているだけの可能性が指摘されている⁶⁾ことから、心拍数上昇の機序が異なれば、同じ運動負荷様式であっ

てもHR- $\dot{V}O_2$ 関係はその運動強度によって異なることも考えられるが、この点については今後の詳細な検討が必要である。

$\dot{V}O_2$ の測定は、運動効率に影響される仕事率の測定とは異なり、運動の形態によらず生体に対する負荷強度を統一的に評価できる利点がある。一定負荷運動において定常に達した $\dot{V}O_2$ であれば、活動筋レベルでの酸素摂取水準あるいはエネルギー代謝水準を反映していると考えられる。しかしながら、非定常的な漸増負荷運動試験中に測定された $\dot{V}O_2$ がこれらを正確に反映しているとは限らない。

Pendergastら⁴⁾はHRの方が $\dot{V}O_2$ に比べて負荷の増加に対する適応が速いことを示し、Whippら⁷⁾はランプ負荷を用いて、運動負荷変化に対する $\dot{V}O_2$ の応答はその時定数が30~50秒程度遅いことを示している。永田⁴⁾は、ランプ負荷では、ステップ負荷の際みられる心拍応答の振動が負荷をかけはじめた直後にみられるだけで、負荷漸増につれて徐々になくなっていくことや、応答の遅れも若干あるものの、負荷の増大に伴って短縮されていくことを報告している。そして、ランプ負荷を用いた方が、負荷に対する心拍数が生体の応答として妥当な値を示すとしている。ランプ負荷の採用は、定常応答をみるものではなく、これらの考え方からすると、定常状態の成立する運動は、非定常状態の運動に比べて、同じHRに対する $\dot{V}O_2$ は高くなる可能性もある。しかし一方で、HughsonとInman⁸⁾は、ランプ負荷試験による $\dot{V}O_2$ 動態のパラメーター同定に際しては、最低でも数回の測定を行い、それらの集合平均を用いてこれを行うべきであるとしている。このことは、ランプ負荷試験中の $\dot{V}O_2$ 動態自体の再現性がそれほど高くないということを示唆するものであり、ランプ負荷でのHR- $\dot{V}O_2$ 関係については検討が必要であろう。

本試験で用いた非定常状態での漸増負荷方式のプロトコルは、ランプ負荷とは異なり、1分間ごとの多段階的な漸増負荷方式を用いた。佐々木⁶⁾は、生体の負荷への適応能力との関係から1分間ごとの負荷増加の意味を説明しており、1分ごとの漸増では運動強度の増加に対するHRと $\dot{V}O_2$ の応答にそれほどずれが生じなかったと考えられる。

短時間の無酸素的な運動強度の変化は酸素摂取量や心拍数に表れにくいために、例えば、短時間の高強度運動や、間欠的な運動でのHR- $\dot{V}O_2$ 関係も検討が必要と思われるが、少なくとも、漸増負荷の運動であれば、定常状態

の運動負荷であろうと非定常状態の運動負荷であろうとも、 $HR-\dot{V}O_2$ 関係式の算出には大差なく、負荷様式の違いは $HR-\dot{V}O_2$ 関係には影響を与えないと考えられた。

IV 結論

本研究の目的は、異なった運動負荷様式で得られた $HR-\dot{V}O_2$ 関係を比較して、負荷様式の違いが $HR-\dot{V}O_2$ 関係には影響を与えるかどうかを明らかにすることであった。異なる負荷様式の一例として、漸増的な定常状態と非定常状態の運動を実施し、そこで得られた $HR-\dot{V}O_2$ 関係を検討した。その結果、漸増負荷の運動であれば、定常状態の運動負荷であろうと非定常状態の運動負荷であろうとも、 $HR-\dot{V}O_2$ 関係式の算出には大差なく、負荷様式の違いは $HR-\dot{V}O_2$ 関係には影響を与えないと考えられた。

【参考文献】

- 1) 青木純一郎, 形本静雄: 漸増負荷時と漸減負荷時における心拍応答の差, 体育の科学, 27, 243-247, 1977.
- 2) 北村潔和, 鳥羽清司, 布村忠弘, 堀田朋基: 定常状態と非定常状態の運動で得られた $HR-\dot{V}O_2$ 関係, 体力科学, 40, 372-373, 1991.
- 3) 加賀谷淳子: 心拍数に基づいた消費カロリーの算出法とその問題点, 体育の科学, 36, 858-863, 1986.
- 4) D. R. Pendergast, D. Shindell, P. Cerretelli, D. W. Rennie: Role of central and peripheral circulatory adjustments in oxygen transport at the onset of exercise. *Int. J. Sports Med.* 1:160-170, 1980.
- 5) 永田晟: バイオキネティクス. 杏林書院, 東京, 1991, 127-133.
- 6) 佐々木敏: 呼気ガス&心拍数測定の実際, コーチングクリニック, (2), 25-29, 1995.
- 7) B. J. Whipp, J. A. Davis, F. Torres, K. Wasserman: A test to determine Parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol.*: *J. Appl. Physiol.* 50:217-221, 1981.
- 8) R. L. Hughson, M. D. Inman: Oxygen uptake kinetics from ramp work tests : variability of single test values. *J. Appl. Physiol.* 61:373-376, 1986.

Effects of mode of exercise load on the estimated equation for oxygen uptake

Kei MORISAWA

Department of Health and Sport Science,
Faculty of Welfare and Health Science,
Fukuyama Heisei University

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the relationships between HR and $\dot{V}O_2$ during steady-state and unsteady-state exercise.

Five healthy female, aged 19-20 years, completed the following two sessions on different days;

- 1) work load by progressive exercise test which made steady-state on a cycle ergometer until exhaustion,
- 2) work load by progressive exercise test which made unsteady-state on a cycle ergometer until exhaustion.

In both sessions, beat-to-beat R-R intervals and respiratory gas exchange were monitored continuously. The kinetics of HR and $\dot{V}O_2$ during exercise were analyzed by a test of slope parameter in two regression lines.

There was no significant ($P > 0.05$) difference between the two slope parameters relating HR to $\dot{V}O_2$ during steady-state and unsteady-state exercise.

KEY WORDS : HR, $\dot{V}O_2$, unsteady-state exercise.