

氏名(本籍)	ふく おか よし ゆき 福岡義之(福井県)		
学位の種類	博士(体育科学)		
学位記番号	博甲第1153号		
学位授与年月日	平成5年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当		
審査研究科	体育科学研究科		
学位論文題目	正弦波状運動負荷に対するガス交換応答に関する研究		
主査	筑波大学教授	医学博士	池上晴夫
副査	筑波大学教授	医学博士	勝田茂
副査	筑波大学助教授	医学博士	吉岡博英
副査	筑波大学助教授		長洲南海男

論文の要旨

(1) 目的

体力の評価には、最大運動能力や定常運動時の生理的応答量を指標にすることが多いが、実際のスポーツや日常生活における身体活動を考えると、このような指標よりも運動強度の変化に対する動的応答特性が重要ではないかと考えられる。著者は、このような特性を評価するためには正弦波状運動負荷法が適していると考え、正弦波状負荷法を用いてガス交換機能の動的応答特性を明らかにすることを目的とし、以下の課題について検討した。

- ①負荷に対する応答の遅れ時間および振幅と負荷の周期との関係並びに有酸素能力との関係の検討。(実験1)
- ②正弦波状負荷に対するガス交換応答曲線の非対称性の検証。(実験1)
- ③負荷に対する呼吸交換率(R)の応答パターンの実験的および理論的考察。(実験1)
- ④アメリカン・フットボール選手と長距離選手の運動に対するガス交換応答特性の比較。(実験2)
- ⑤無酸素性トレーニングおよび筋力トレーニングによるガス交換応答特性の変化。(実験3)

(2) 方法

実験1では、運動強度を約10%~60% $\dot{V}O_2\max$ 、周期を1~16分とし、正弦波状に運動を反復させた場合の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量($\dot{V}CO_2$)、換気量(\dot{V}_E)、および呼吸交換率(R)をbreath-by-breathに測定し、平滑化処理を施した後、非線形最小二乗法によって正弦波モデルを作成し、その振幅および位相遅れ時間を算出した。振幅および遅れ時間と負荷周期との関係を指数関数モデルを用いて近似させるとともに、応答の非対称性を検討した。またRの応答について正弦波

モデルによる近似を行うとともに、 $\dot{V}O_2$ や $\dot{V}CO_2$ の振幅、遅れ時間を種々に変化させた場合のRに対する影響をシミュレーション法によって検討した。

実験2では、非鍛錬者、アメリカン・フットボール選手および長距離選手を対象にしてステップ状運動及び周期2分の正弦波状運動を行わせた。測定項目は実験1と同様であり、ステップ状負荷時の各パラメーターの応答には指数関数モデルによる近似を行って時定数やむだ時間を算出し、正弦波状負荷時の応答ではデータを加算平均法を用いて平滑化し、調和解析により1次～3次周波数成分の振幅や位相差を算出した。

実験3では、本学の新入学生6名を対象にして、アメリカン・フットボールによる9ヶ月のトレーニング実験を行ない、実験2と同様な項目に対するトレーニングの影響を検討した。

(3) 結果および考察

以上の実験の結果に基づいて考察し、以下の所見を得た。

- ① $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ および \dot{V}_E の振幅および位相遅れ時間と負荷周期との関係は、指数関数モデルによって十分近似できる。応答は、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 \dot{V}_E の順に速い。
- ②遅れ時間は、直線と指数曲線の複合モデルによって最もよく近似できる。その直線成分を閾値による遅れとし、指数成分をInertiality等による遅れとすると、ガス交換応答特性をよく説明することができる。
- ③ $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ および \dot{V}_E における振幅応答や位相応答と $\dot{V}O_{2max}$ との間に密接な関連が認められた。
- ④正弦波状運動に対するガス交換の応答は緩やかな上行脚と急な下行脚を有する歪んだ正弦波を呈する。この歪は周期が大きいときに顕著であり、周期が2分以下のときほとんど認められない。
- ⑤ $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ は正弦波状に変化するのに対して、Rは一般には正弦波とはならない。しかし $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}O_2$ の振幅の比率が1に近く、また両パラメーターの位相の差が小さい場合には、Rの応答に正弦波モデルを採用しても差し支えない。
- ⑥ $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ の振幅は1分周期のとき最小であり、周期の延長にともなって指数関数的に増大するのに対して、Rの振幅は1分周期の場合に最小であり、4分周期のとき最大となり、周期がさらに長くなるとかえって小さくなった。この振幅応答の特徴は、 $\dot{V}CO_2$ や $\dot{V}O_2$ の位相の差や振幅比によって説明可能であった。
- ⑦長距離選手の運動に対するガス交換応答は速く、かつ $\dot{V}O_{2max}$ も高かった。このことから、持久性トレーニングは運動に対するガス交換応答を加速し、有酸素能力を高める効果があると考えられる。
- ⑧実験1の健康な男子学生を対象にした場合、あるいは実験2の全被検者を一群にした場合には、ガス交換の応答速度と $\dot{V}O_{2max}$ との間に高い相関関係が認められた。
- ⑨アメリカン・フットボール選手の $\dot{V}O_{2max}$ は非鍛錬者のそれより高かったが、運動に対するガス交換の応答は両群間に差がなかった。筋力トレーニングや無酸素性トレーニングは、ガス交換応答を改善しないものと考えられる。
- ⑩アメリカン・フットボールのガス交換の応答速度が遅かった原因の一つに、乳酸蓄積が多かった

ことが挙げられる。

⑪アメリカン・フットボールのトレーニングによって有酸素能力は改善したが、ガス交換応答の改善はなかった。ガス交換の応答特性に変化がなかったのは、運動時の乳酸値が改善されなかったためと考えられる。

(4) 結論

正弦波状運動負荷法が、運動に対するガス交換の動特性を評価するのに優れた負荷法であることが明かとなり、この負荷法を用いて持久的競技と間欠的競技の特性の差が検証された。

審 査 の 要 旨

本論文は、運動負荷テストのプロトコールとして運動強度を正弦波状に変化させる正弦波状運動負荷法を用いて、スポーツマンのガス交換応答の特性を明らかにしたものである。正弦波状運動に対する応答を振幅応答と位相応答に分けて、それぞれの大きさと運動周期との関係について検討した結果、従来の運動負荷プロトコールでは明らかにできなかったガス交換の動的特性を評価できることを示した。これは生理機能評価法の注目すべき展開であり、他の生理機能の動的側面の評価法として応用しうるもので、運動生理学における意義は大きい。また、応答特性を決定する要因としてInertialityと閾値の概念を導入することによって応答の生理学的な解釈を容易にした点、トレーニング効果の新しい評価法としての可能性を示した点、および位相応答や振幅応答が有酸素能力と密接に関連していることを明らかにした点などは、学問的に、あるいは実際への応用の点から高く評価できる。問題点として、実験3においては有酸素的トレーニングの関与も否定できないこと、および実際に行われたトレーニング内容と実験結果との関係のより詳細の検討が望まれる、などの意見が出された。しかし、全体としては博士論文の水準に十分達していると判断された。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。