

連続ウェーブレット変換を用いた一定負荷運動時における 酸素摂取応答の時間周波数解析

Time-frequency analysis of $\dot{V}O_2$ response during constant load exercise

齋藤 初恵, 木村 真優子, 渡辺 剛, 伊藤 拳
窪山 泉, 吉岡 耕一

Hatsue SAITO, Mayuko KIMURA, Tsuyoshi WATANABE, Susumu ITO
Izumi KUBOYAMA and Kouichi YOSHIOKA

I はじめに

現在、運動時における呼吸応答の測定では、Breath by breath法による一呼吸毎の計測が主流となっている。このBreath by breath法による実測データは、呼吸毎に変動する¹⁾。したがって、ガス交換の呼吸応答のデータは生理学的応答による成分と、不規則なノイズ成分から成り立っているとみなせる(Lamarraら、1987)^{2) 4)}。

周期性を持つ現象の解析には従来、自己相関関数やスペクトル密度関数などによるスペクトル解析法が使われてきた。しかし、これらの解析法は、現象が定常状態にあることを前提としており、負荷運動時の呼吸応答のような時間的に変動する現象に適用することには問題がある。一方、近年開発されたウェーブレット解析は、時系列データを時間と周波数について同時に解析する方法で、非定常的な現象に適用できる³⁾。

そこで本研究では、連続ウェーブレット変換を用いて一定負荷運動における酸素摂取応答のウェーブレット解析を行い、その周波数特性の時間経過について検討することを目的とした。

II 方法

(1) 被験者

被験者は健康な成人女子2名(身長 172.0 ± 9.9 cm、体重 63.2 ± 8.9 kg、年齢 25.5 ± 2.1 歳)とした。被験者には本研究の目的および危険性についての十分な説明を行い、実験の被験者となることの同意を得た。また、本研究は国士館大学大学院スポーツ・システム研究科研究倫理評価委員会による承認を受けて行った。

(2) 運動負荷

運動は自転車エルゴメーター(REHcor社製Type905901)を用いて行った。運動負荷のプロトコルを図1に示した。2Wでの基底負荷運動を7分間行った後、3分間で任意の負荷に至るように、直線的に負荷を漸増させた。任意の負荷による一定負荷運動を20分間行った後、3分間で2Wに至るように直線的に負荷を漸減させた。負荷漸減の後、再び2Wでの基底負荷運動を27分間行った。20分間の一定負荷運動は22W、42W、62W、82W、102Wおよび122Wとし、計6段階の運動負荷について、それぞれ3回ずつの測定を行った。

なお、被験者にはペダリングの回転速度は60rpmを保つように指示した。

Ⅲ 結 果

(3) 呼気ガス測定

運動中の呼気ガスはbreath-by-breath法により採取し、呼気ガス分析器AE-300S（ミナト医科学社製）および呼気ガス分析ソフトAT for Windows（ミナト医科学社製）を用いて分析した。

(4) データ解析

測定により得られた酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）のデータは、直線補間により1秒間隔にデータ変換した後に、Morletウェーブレットを用いた連続ウェーブレット変換を行った⁵⁾。データの解析には統計解析ソフトKyplot5.0（カイエンス社製）を用いた。

6段階の運動負荷における $\dot{V}O_2$ 応答の例を図2に示した。負荷が増加するにしたがって $\dot{V}O_2$ の応答の変動が大きくなっていくことが分かる。図3～5には連続ウェーブレット変換による2W、62W、122Wの運動負荷時における $\dot{V}O_2$ のパワースペクトルの例を示した。負荷の増加にともなうパワーの増大が0.02～0.2Hzの周波数帯において観察された。

0.05～0.1Hzの周波数帯域における $\dot{V}O_2$ のパワーの時間経過について図-6に示した。一定負荷運動時には負荷の増加にともなってパワーの変動が大きくなっていることが分かる。そこで、運動開始15～25分の周波数分布についてみたところ、各周

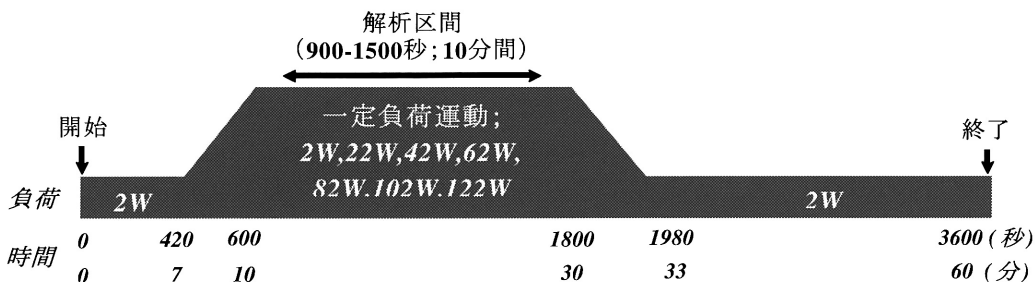


図1 運動プロトコル

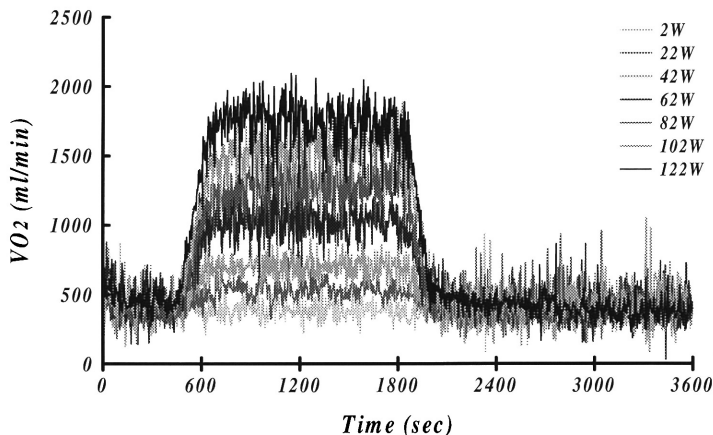


図2 運動負荷時における酸素摂取応答の例

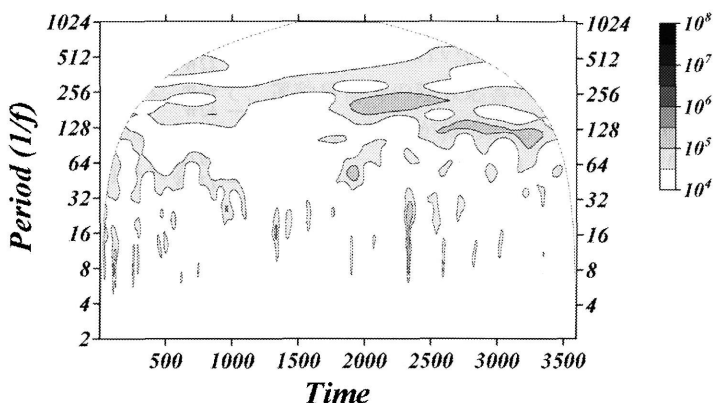


図3 $\dot{V}O_2$ のウェーブレットパワースペクトル (2W)

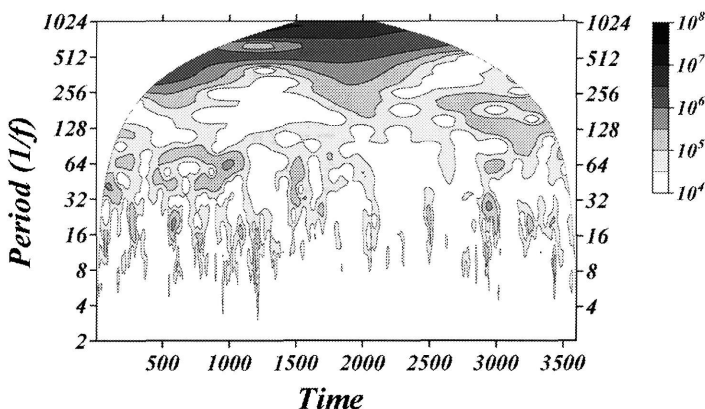


図4 $\dot{V}O_2$ のウェーブレットパワースペクトル (62W)

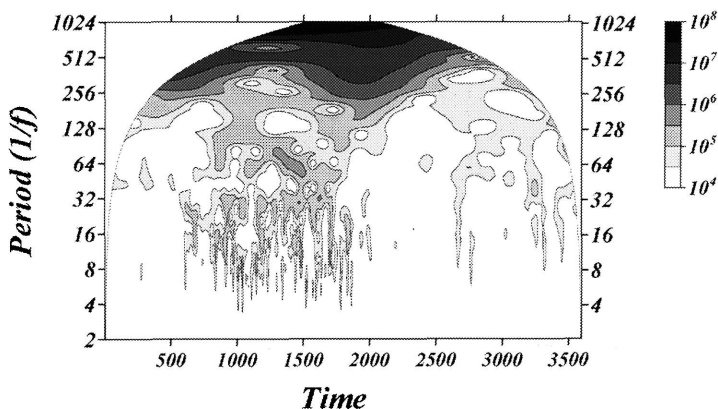


図5 $\dot{V}O_2$ のウェーブレットパワースペクトル (122W)

波数帯域における $\dot{V}O_2$ のパワーは運動負荷に依存していることが示された(図7)。また、0.05~0.1Hzの周波数帯域における運動負荷とパワーとの関係についてみたところ、42~122Wでは運動負荷とパワーに比例関係が認められた(図8)。

IV 考 察

ウェーブレット解析はフーリエ変換を用いた従来のスペクトル解析の欠点を克服することを動機に考えられた手法である。連続ウェーブレット変換は、周波数と時刻の2つの領域について同時に時系列データの性質を調べることができ、周波数成分の変動の時間経過を追うことができるという特徴をもつ。

今回、運動時における酸素摂取応答の変動について、連続ウェーブレット変換を用いて解析を試みたところ、時間経過にともなうパワースペクトルの変化を知ることが可能となった。すなわち、以下の点が明らかになった。1) 一定負荷運動の増加によってパワーの増大が0.02~0.2Hzの周波数帯域に見られた(図3~5)。2) このパワーの増大は負荷開始からの時間経過に伴って著しくなる傾向があった(図6)。3) 0.05~0.01Hzの周波数帯域については42~122Wでは運動負荷とパワーに比例関係が認められた(図8)。

今回の実験では $\dot{V}O_2$ のみのデ

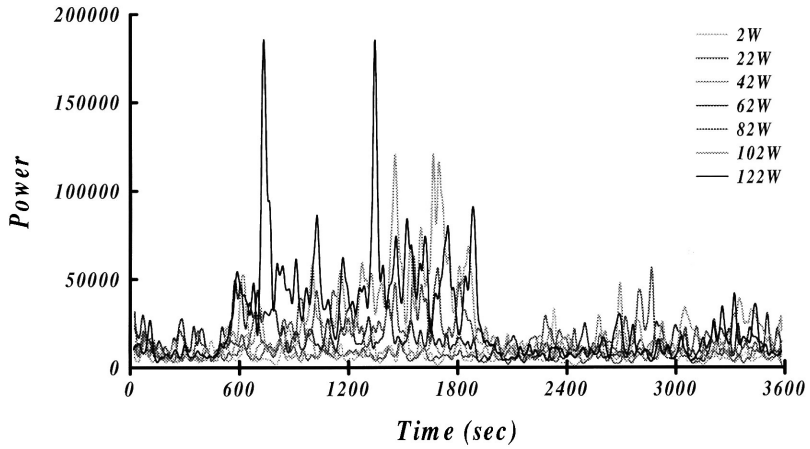


図6 0.05~0.1Hzにおける $\dot{V}O_2$ パワーの時間経過

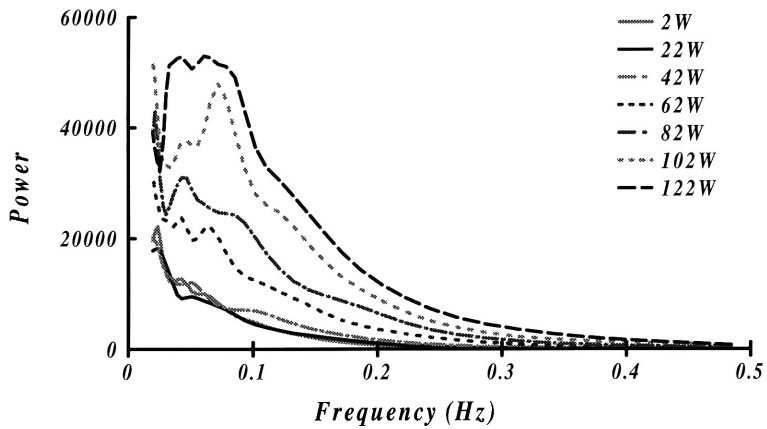


図7 一定負荷運動時における $\dot{V}O_2$ パワーの周波数分布

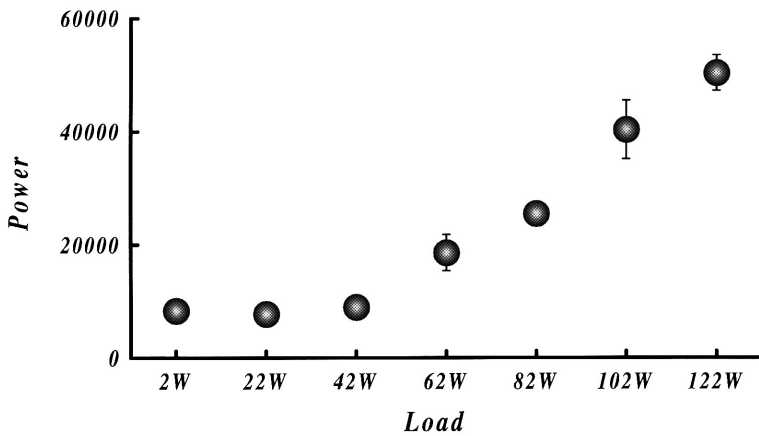


図8 0.05~0.1Hzにおける運動負荷と $\dot{V}O_2$ パワーとの関係

ータについて解析を行ったが、今後、その他の呼吸パラメータについても同様の解析を行い、比較検討することによって、運動負荷時の呼吸応答の生理的調節機構について有意義な情報が得られることが期待される。

参考文献

- 1) B.W. Scheuermann, et. al. : Breathing patterns during slow and fast ramp exercise in man. *Experimental Physiology* **84**, 109-120 (1999)
- 2) C.R.Potter, et. al. : Breath-to-breath "noise" in the ventilatory and gas exchange responses of children to exercise. *European Journal of Applied Physiology* **80**, 188-124 (1999)
- 3) Daubechies I, et. al. : Ten Lectures on Wavelets. *Society for Industrial and Applied Mathematics* pp.357
- 4) Lamarra N., et al. : Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology* **62**(5), 2003-2012 (1987)
- 5) Torrence C. et. al. : A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological* **79**, 61-78 (1998)