



Title	ランブ運動負荷中の心拍変動のスペクトル解析
Author(s)	高橋, 光彦; 加藤, 圭子
Citation	北海道大学医療技術短期大学部紀要, 9, 57-61
Issue Date	1997-01
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/37615
Type	bulletin (article)
File Information	9_57-62.pdf



[Instructions for use](#)

原 著

ランプ運動負荷中の心拍変動のスペクトル解析

高橋 光彦・加藤 圭子*

Spectrum Analysis of Heart Rate Fluctuation during Ramp Exercise

Mitsuhiko Takahashi and Keiko Kato*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the behavior of R-R intervals during ramp exercise using spectral analysis. The ramp exercise using ergometer were studied in 6 male subjects, aging between 21-23 years old.

Electrocardiogram records were obtained from chest wall during ramp exercise. R-R intervals were measured with analog to digital converter and were analysed. The spectral analysis was applied using maximal entropy methods (MEM-Analysis, SUWA-TRUST) every 1 minute during ramp exercise. A low frequency band (0.04-0.15Hz) and high frequency band (0.15-0.4Hz) and these ratio (L/H) were calculated. Ramp exercise did not produce any change in L/H ratio and a low frequency band, but power spectral density (P.S.D) of a high frequency band decreased. These results suggest that heart rate fluctuation during ramp exercise may be caused by decrease in parasympathetic nerve activity.

Key Words: R-R interval, Ramp exercise, Spectrum analysis, ECG, Autonomic nerve activity

要 旨

スペクトル解析を用いてランプ運動負荷中の心拍変動が自律神経機能によりいかに影響されるか検討しました。自転車エルゴメーターでランプ運動負荷を6名の健常成人に行った。最大エントロピー法を用い、1分間毎のR-R間隔の

スペクトル解析をした。R-R間隔のスペクトル解析において低周波成分(0.04-0.15 Hz)と高周波成分(0.15-0.4 Hz)の積分値及びその比(L/H)を求めた。運動開始時と終了時においてL/H比、低周波成分は有意差がなかったが、高周波成分では運動終了時で有意に低下した。以上より、ランプ運動負荷中の心拍変動は副交感

北海道大学医療技術短期大学部 理学療法学科

*北海道大学医療技術短期大学部 看護学科

Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University

*Department of Nursing, College of Medical Technology, Hokkaido University

神経活動の低下が関与する可能性が推察される。

はじめに

一般に、心拍数は健常人において規則正しく洞調律され、運動すれば運動強度の増加とともにある一定の値まで増加すると考えられている。1心拍毎の心周期の時間間隔を1msec単位で測定するとその数値は一定ではなく絶えず変動し、ゆらいている。R-R間隔を時系列データとして考え周期的に変化する波にとらえると、周期成分を分析することが出来る。心拍変動は自律神経系を反映することが報告されている。Akelrodら¹⁾は、イヌの心拍変動のスペクトル解析を行い、低周波成分、高周波成分が自律神経に關与していることを報告した。ヒトにおいても、Pomeranzら²⁾により心拍応答が自律神経に關与していることを示し、高周波成分が迷走神経活動を、低周波と高周波の比(L/H比)が交感神経活動を反映すると報告した。安静時の心拍変動のスペクトル解析の報告はあるが、運動中の心拍変動のスペクトル解析に関する報告は少ない。そこで、本研究はスペクトル解析を用いてランブ運動負荷中の心拍変動が自律神経機能によりいかに影響されているかを検討した。

方 法

被験者6名(平均年齢23±2歳)は心疾患、循環器疾患がなく、この測定の内容を理解し、測定に同意した健康成人である。被験者はエルゴメーター(モナーク社製Elgomic 818)上で坐位になり、呼気ガス分析器(三栄Aerobics processor 371)のフェイスマスクを装着し、心電図モニター誘導(ESr誘導)の電極を左鎖骨遠位端、右12肋骨部に設置した。血圧は心拍同期型血圧計(セルクス社CM-4001)を左上腕より導出した。表面筋電図は塩化銀血電極を右の内側広筋より皮膚抵抗20KΩ以下にしてから

電極間距離を2cmにして装着した。呼吸数は胸郭インピーダンス法を用いて計測した。

閉眼安静坐位5分後、エルゴメーター上で0.4Kp負荷3分間のウォーミングアップの後、1分毎に0.2Kpずつ負荷量を増加し、エンドポイントまで行う。エンドポイントは症候性限界点(自覚症状、予測心拍数の±10、拡張期血圧20mmHg以上、心電図所見ST2mm下降)とした。

予測最大心拍数はKarvonenの式を用いた。

$$-0.92 \times \text{age} + 216.2 \quad (r=0.7)$$

またターゲット心拍数は次式を用いた。

$$\text{Target HR} = (\text{MaxHR} - \text{RestHR}) \times 0.6 + \text{RestHR}$$

得られた心電図、筋電図データはデータレコーダーに保存した。

解析方法

R-R間隔のアナログデータを1KHzサンプリングでAD変換後、波形解析ソフト(ウェーブマスターII)にてカーソルにて1心拍毎のR-R間隔を計測した。R-R間隔の変動係数、及びR-R間隔の時系列データは最大エントロピー法によるスペクトル解析(MEM解析、MEM-Calc 2000、諏訪トラス)で行った。スペクトル解析におけるエントロピー計算においてラグ値の決定は最終予測誤差、赤池の情報基準量、自己回帰変換関数基準、特性相関時間より最適ラグ値を40とした。スペクトル解析において低周波帯域を0.04-0.15Hz、高周波帯域を0.15-0.4Hzとしてスペクトル帯域毎の積分値と低周波帯域と高周波帯域の比(L/H比)を求めた。低周波帯域と高周波帯域の区分について定説はないが0.15~0.2Hzで区分されることが多い³⁾。日本自律神経学会編「自律神経機能検査第2版」の分類では、0.04~0.15Hzを低周波成分、0.15Hz以上を高周波成分としている⁴⁾。

筋電図の波形処理は最大エントロピーによるスペクトル解析(MEM解析、MEM-Calc2000、

諏訪トラスト)を行った。データを1 KHzのサンプリング周期でAD変換後、アスキーファイルに保存しMEM解析用のファイルに変換し2秒間毎(データ点数2000毎)のスペクトル解析を行った。筋電図ではラグ値198で解析し、10-50 Hz, 50-100 Hz, 100-150 Hz, 150-200 Hzの帯域の各々のパワースペクトル密度(P.S.D)の積分値を求めた。

統計処理はpaired Student's t-testを用いて運動開始時と終了時について差異の検定を行った。

統計的有意水準はすべて5%とした。

結 果

被験者全員がランブ運動負荷試験を行えた。最終運動負荷量は平均4.2 kp (3.6~4.4 kp)であり、終了点はすべて予測心拍数を越えた段階で中止した。

ランブ運動負荷中の心拍数は開始直後平均89回/分、終了時平均178回/分であった(図1)。運動負荷中のR-R間隔の変動係数(CVRR)は開始直後 9.1 ± 1.8 であり、負荷と共に低下し終了時は 1.36 ± 0.3 であった(図2)。

R-R間隔のスペクトル解析では低周波帯域0.04-0.15 Hzと高周波帯域0.15-0.4 Hzの積分値の比(L/H比)は開始直後 2.51 ± 1.15 、終了時 1.64 ± 0.44 であり、運動負荷との相関はなかった(図3)。高周波成分帯域の積分値は開始 0.000667 ± 0.00028 、終了時 0.0000016 ± 0.0000012 であり低下傾向であった(図4)。

運動中の呼吸回数は開始時 17 ± 3 回、終了時 24 ± 4 回となり増加傾向であった(図5)。

筋電図スペクトルにおける低周波帯域20-50 Hzと高周波帯域50-100 Hzの比(L/H比)は開始時 166.1 ± 12.4 であり終了時は 118.6 ± 21 になり有意($P < 0.05$)に減少した(図6)。L/H比は有意($P < 0.05$)に減少した(開始後3分間 157.2 ± 11.3 、終了前3分間 107.6 ± 10.1)。

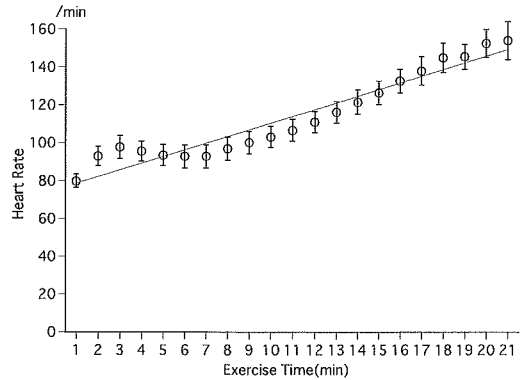


図1 ランブ負荷中の心拍数の経時的変化

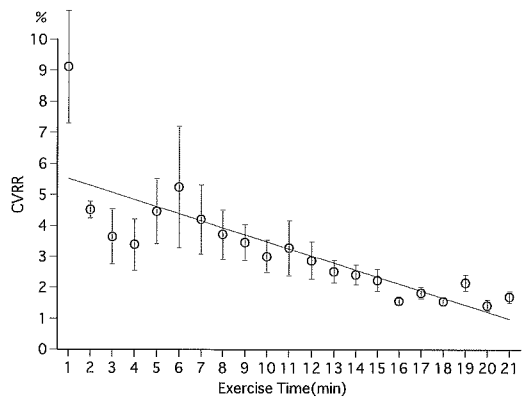


図2 心拍数の変動係数(CVRR)の経時的変化

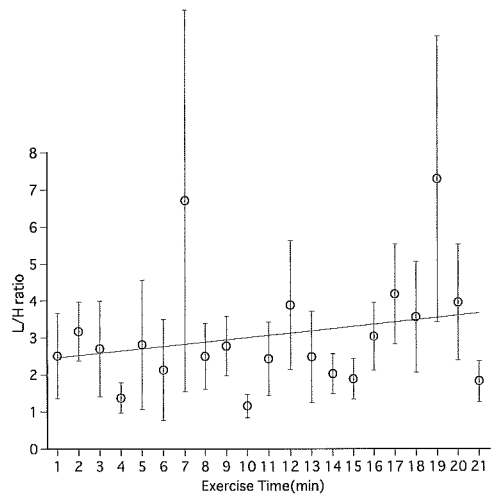


図3 R-R間隔のスペクトル解析における低周波帯域(0.04-0.15 Hz)と高周波帯域(0.15-0.4 Hz)の比(L/H ratio)

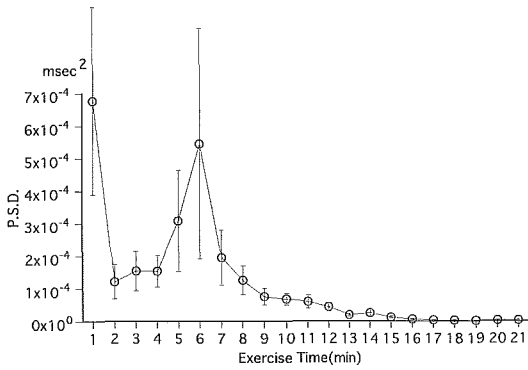


図4 R-R 間隔のスペクトル解析における 0.15-0.4 Hz 帯域のパワー積分値 (P.S.D) の経時的変化

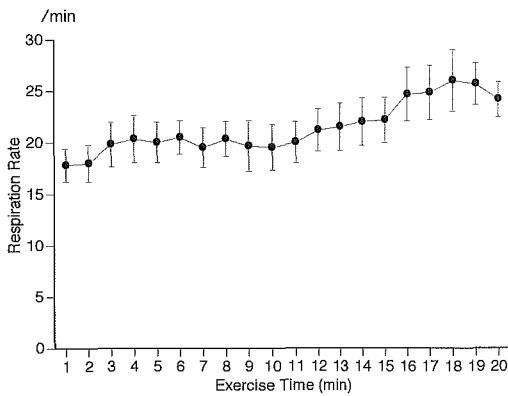


図5 運動中の 1 分間の平均呼吸回数

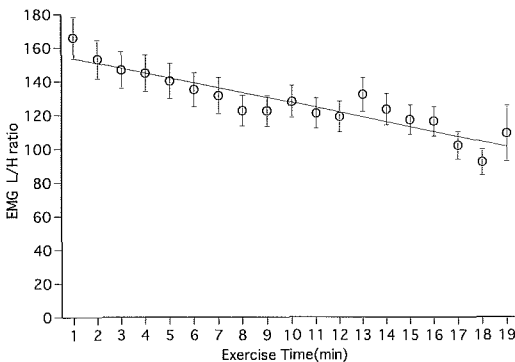


図6 内側広筋の筋電図スペクトル解析における低周波帯域 (20-50 Hz) 高周波帯域 (50-100 Hz) の比 (EMG L/H ratio) の経時的変化

考 察

R-R 間隔変動係数の標準予測値は $-0.066 \times$

年齢 $+6.84$ の予測式⁵⁾ にあてはめると、本研究の対象者の心拍数の変動係数 (CVRR) は平均 5.38 ± 0.05 である。CVRR は安静時には副交感神経の指標とされている⁴⁾。CVRR は運動負荷が増加するに従い、減少傾向を示した。特に開始 5 分以降は CVRR が減少し、心拍数が上昇していることより、交感神経活動が亢進してきたと考えられる。

心拍数の R-R 間隔のスペクトル解析では L/H 比に一定の傾向が見られなかった (図 3)。Pomeeranz ら²⁾ は高周波成分が迷走神経活動を、低周波と高周波の比が交感神経活動を反映することを報告した。本研究において、R-R 間隔のスペクトル解析で 0.15-0.4 Hz の高周波帯域が減少した。しかしながら運動中の呼吸数が毎分約 17-24 回であった。呼吸周波数の帯域が約 0.28-0.4 Hz で高周波帯域に重なることから、呼吸周期性の変動が心拍変動のスペクトル解析の高周波成分に影響する可能性が示唆されるが今後さらに検討する。ランブ運動負荷により L/H 比が変化しなかった。これより、運動中の心拍変動に副交感活動の低下が関与する可能性が考えられる。

筋電波形のスペクトル解析で有意な L/H 比の減少が見られた。筋電波形のスペクトル解析において永田¹⁰⁾ はピーク値の 20 Hz 付近の帯域を低周波成分、80-100 Hz の帯域を高周波成分とし、高周波成分の発生にタイプ「繊維が関与している可能性を示唆した。筋電波形の L/H 比の減少は負荷量の増加によりタイプ「繊維がより多く収縮に参加したと考えられる。

Sisto らは¹¹⁾ 慢性疲労状態において、迷走神経の活動が低下することを報告し、また Appenzeller は¹²⁾ 多発性硬化症患者に運動負荷を行い、交感神経と副交感神経の活動が低下したことを報告した。R-R 間隔のスペクトル解析においてランブ運動終了時における高周波成分の減少と筋電波形のスペクトル解析における終了時の L/H 比の減少は、疲労が副交感神経活動に

関与する可能性が考えられるが、今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は、平成7年度の北海道大学医療技術短期大学部研究助成を得て行ったことを関係者の皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) Akselrod S., Gordon D., Ubel F. A. et al: Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 213: 220-222, 1981.
- 2) Pomeranz B., Maculay R. J. B. et al: Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.* 248: H151-H153, 1985.
- 3) 中村好男, 山本義春: 心拍変動のスペクトルとフラクタル, *体育の科学* 41: 515-523, 1991.
- 4) 日本自律神経学会: 自律神経検査第2版, p 40-64, 文光堂, 1995, 東京.
- 5) 藤本順子, 弘田明成, 畑美智子 他: 心電図RR間隔の変動を用いた自律神経機能の正常参考値及び標準予測式, *糖尿病* 30, p.167-173, 1987.
- 6) Kuroda E., Klissouras V. and Milsum J. H.: Electrical and metabolic activities and fatigue isometric contraction. *J. Appl. Physiol.* 29: 358-367, 1970.
- 7) Serge R., Carlo L. and Jochen S.: Effects of electrode location on myoelectric conduction velocity and median frequency estimates. *J. Appl. Physiol.* 61(4): 1510-1517, 1986.
- 8) Gerdle B., Edstrom M. and Rahm M.: Fatigue in the shoulder muscles during static work at two different torque levels. *Clin Physiol.* 13(5): 469-482, 1993.
- 9) Badier M.: EMG power spectrum of Respiratory and skeletal muscles during static contraction in healthy man. *Muscle Nerve* 16(6): 601-609, 1993.
- 10) 永田 晟: 筋と筋力の科学, p.129-140, 不昧堂, 東京, 1984.
- 11) Sisto SA, Tapp W, Drastal S, Bergen M. et al: Vagal tone is reduced during paced breathing in patients with the chronic fatigue syndrome. *Clinical Autonomic Research.* 5(3): 139-43, 1995.
- 12) Appenzeller O.: The autonomic nervous system and fatigue. *Functional Neurology.* 2(4): 473-85, 1987.