

# 箱根駅伝選手における自律神経活動と 競技成績に関する実践的研究

両角 速 (体育学部競技スポーツ学科) 山下泰裕 (体育学部武道学科)

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

A Practical Study on the Autonomic Nervous Activity and  
the Competitive Performance in the Hakone-Ekiden Athletes

Hayashi MOROZUMI, Yasuhiro YAMASHITA and Tamotsu TERAO



## Abstract

The purpose of this study is to elucidate the relationship between the autonomic nervous activity and the race result during a conditioning period in Hakone-Ekiden athletes. Subjects were five long-distance runners. Sympathetic and parasympathetic activities were evaluated by spectral analysis of heart rate variability. Low frequency power (LF, 0.04-0.15 Hz) and high frequency power (HF, 0.15-0.40 Hz) were obtained. HFnu (HF / (LF+HF) × 100) was used as an indicator of parasympathetic activities. Sleep, diet, fatigue and physical condition level were evaluated by Condition Check Sheet (CCS).

The results are as follows:

- 1) The athletes who had a high HFnu showed a tendency for better race results than the athletes who had a low HFnu athletes.
- 2) The athletes who had a high HFnu showed a tendency for higher CCS evaluations than the athletes who had a low HFnu athletes.
- 3) Slow-running in hypobaric hypoxic environment at 1500m during conditioning period may be a useful method for stimulating the activity of the autonomic nerve system.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 26, 53-58, 2014)

## I. 緒言

関東学生陸上競技連盟に所属している各大学の長距離選手にとって、東京箱根間往復大学駅伝競走（以下、箱根駅伝）は、最も主要な大会の1つである。箱根駅伝は、日本の長距離選手の登竜門ともなっている。箱根駅伝は、日々の完璧なトレーニング成果がなければ、出場への挑戦はできな

い。怪我・故障、体調不良などの徴候（症状）は、出場、或いはシード権獲得への挑戦権を当然失うことになり、トレーニング成果はもとより、精細なコンディションづくりも勝敗に大きく影響してくることになる。したがって、各選手が最高のパフォーマンスを発揮するためには、良好なコンディションで競技大会に臨むことが必要である。通常、競技大会前の調整期には、出場選手一人一人が種々の調整法でコンディションを整えな

から競技大会に備えている。

スポーツ競技におけるコンディションを評価する方法は多様にあるが、自律神経活動の指標も重要な役割をもつと考えられる。自律神経系は、交感神経系と副交感神経系からなり、多くの臓器では、両者の拮抗作用により機能が調節されている。また、両者の活動レベルが、体力や疲労感などの体調の変化、あるいは、睡眠状況等の生体リズムなどに関連して変化することも知られている。自律神経活動の間接的な評価としては、心拍変動解析が利用されている。心拍変動は、非侵襲的苦痛を与えずに評価が可能であり、アスリートのコンディション評価に適した指標であると考えられる<sup>1)</sup>。したがって、長距離選手に対するコンディショニングという観点から自律神経活動のバランスと競技パフォーマンスとを関連させて検討することは有用であると考えられる。

そこで、本研究は、箱根駅伝前の調整期における起床時の自律神経活動（交感神経と副交感神経のバランス）と競技成績と照らし合わせ、それらの関連を明らかにすることで、自律神経活動が競技成績にどのような影響を及ぼすのかを検討した。

## II. 実験方法

本研究は、すべての検査項目が簡便で、被験者の生体に負担の少ない非侵襲的な検査であった。

### 1. 対象者

実験対象は、東海大学陸上部中・長距離ブロックの箱根駅伝（本戦）の代表選手5名（年齢； $20.0 \pm 1.4$ 歳、身長； $166.6 \pm 4.1$ cm、体重； $53.6 \pm 1.0$ kg、体脂肪率； $10.9 \pm 2.1$ %、BMI； $19.5 \pm 1.0$ ）とした。

本研究は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得て実施した。なお、被験者には、実験の概要を十分に説明し実験参加の同意を得た。

### 2. 低圧低酸素環境下の運動(スローランニング)および運動強度の判定

低圧低酸素環境下の運動（スローランニング）は、東海大学スポーツ医科学研究所に設置されている低圧（高地トレーニング）室を使用した。スローランニングは、標高1500mに相当する気圧（634mmHg）、室温を22℃、相対湿度50%にそれぞれ調整して行った。ランニング中は、 $SpO_2$ が90~93%になるよう速度とトレッドミル傾斜角を調整しながら行った。なお、ランニング時間に関しては、調整期なので各選手の自主的な判断に委ねた（40~60分程度）。

### 3. 自律神経機能の測定方法

自律神経活動の測定は、調整期の起床直後、座位にて安静5分間とした。なお、最初と最後の1分間ずつを削除した計3分間を解析した。ランニング（標高1500m）中も各選手の運動時間内で自律神経活動を測定した。

自律神経活動の評価は、心拍変動（R-R 間隔）データを解析した。周波数解析によって求められる心拍変動の低周波帯域（LF:0.04~0.15Hz）は、交感神経活動と副交感神経活動の双方を反映し、高周波帯域（HF:0.15~0.40Hz）については、副交感神経活動を反映すること<sup>2,3)</sup>が定義されている。そこで、HF normalized unit（以下、HFnu、 $HF_n = HF / (LF + HF) \times 100$ ）は、LFに対するHFの大きさを計算することで自律神経活動における副交感神経活動の指標とした<sup>4)</sup>。この指標から自律神経活動のバランスを推定した。

心拍変動の解析は、ハートレートモニターRS800CXN（Polar社）を用いて心拍R-R間隔を記録し、データをPolar ProTrainer 5.3を用いて高速フーリエ解析を行った。なお、心拍変動には呼吸の影響が大きいことから、安静時には呼吸のリズムを一定の周期（1分間に15回前後の呼吸数）に保持するように、運動中はランニングリズムに合わせて呼吸を行うように指示した。

動脈血酸素飽和度は、パルスオキシメータ（Pulsox-300i、コニカミノルタ）を用いて測定し

た。

#### 4. コンディションチェックシートによる評価

起床時座位で心拍変動の測定後、コンディションチェックシートを用い、睡眠状況（5：非常に良い～3：普通～1：非常に悪い）、食事（5：十分食欲あり～3：普通～1：全く食欲なし）、疲労感（5：全く疲労なし～3：普通～1：非常に疲労あり）、体調（5：最良～3：普通～1：最悪）等、5段階評価を行った。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 調整期における HFnu の変化

図1、2、3、4および5に調整期（起床時）における HFnu の変化を示した。HFnu の変化は、R.S: 61.5～69.3（平均値；65.0±3.4）、D.M: 23.0～35.2（平均値；29.0±4.4）、T.T: 53.1～79.81（平均値；69.4±9.4）、S.M: 38.51～55.0（平均値；48.1±6.3）、S.U: 35.16～54.87（平均値；43.5±6.7）をそれぞれ示した。5名の代表選手における比較では、結果が良かったR.SおよびT.Tが際立って高い値を示した。D.Mは、最も低い値を示した。

#### 2. コンディションチェックシートによる評価

睡眠状況は、R.S: 4～5（競技前日: 5）、D.M: 3（競技前日: 3）、T.T: 4～5（競技前日: 5）、S.M: 5（競技前日: 5）、S.U: 3～4（競技前日: 3）であった。食事については、R.S: 4～5（競技前日: 5）、D.M: 3（競技前日: 4）、T.T: 4～5（競技前日: 4）、S.M: 5（競技前日: 5）、S.U: 3～5（競技前日: 5）であった。疲労感は、R.S: 4～5（競技前日: 5）、D.M: 3～4（競技前日: 4）、T.T: 4～5（競技前日: 5）、S.M: 5（競技前日: 5）、S.U: 3～4（競技前日: 4）であった。体調は、R.S: 5（競技前日: 5）、D.M: 3～4（競技前日: 4）、T.T: 4～5（競技前日: 5）、S.M: 5（競技前日: 5）、S.U: 3～4

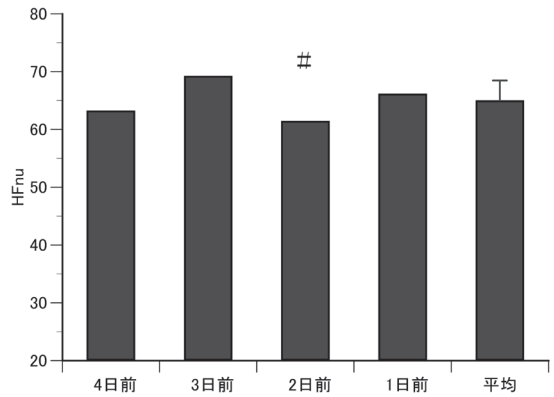


図1 調整期における HFnu の変化 (被験者: R.S)  
#: スローランニング

Fig 1 Changes in HFnu during conditioning period. (Subject: R.S)  
#: Slow-running

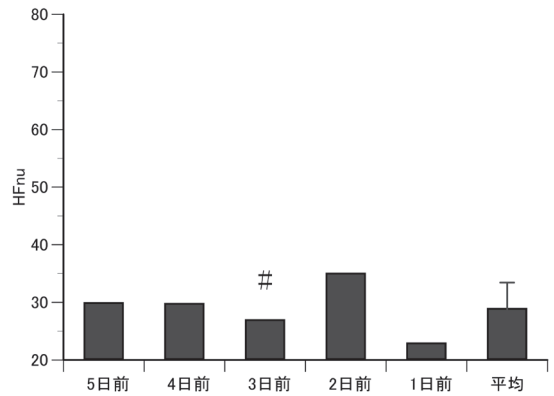


図2 調整期における HFnu の変化 (被験者: D.M)  
#: スローランニング

Fig 2 Changes in HFnu during conditioning period. (Subject: D.M) #: Slow-running

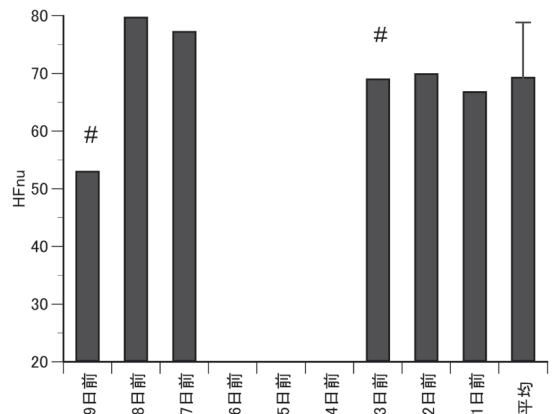


図3 調整期における HFnu の変化 (被験者: T.T)  
#: スローランニング

Fig 3 Changes in HFnu during conditioning period. (Subject: T.T) #: Slow-running

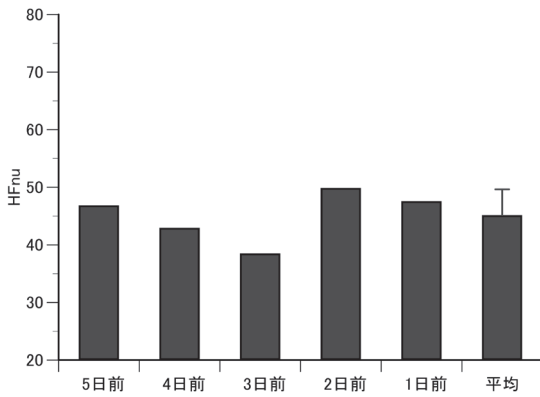


図4 調整期における HFnu の変化 (被験者: S.M)  
Fig 4 Changes in HFnu during conditioning period.  
(Subject:S.M)

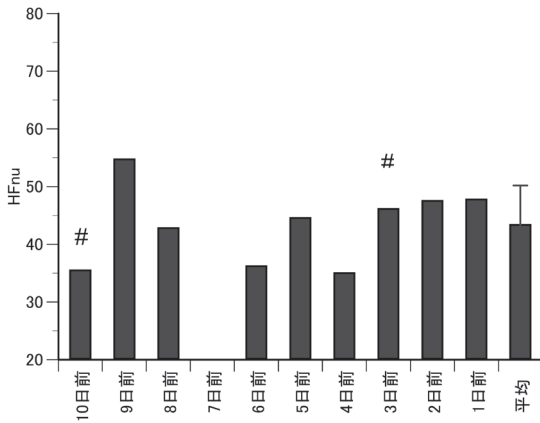


図5 調整期における HFnu の変化 (被験者: S.U)  
#: スローランニング  
Fig 5 Changes in HFnu during conditioning period.  
(Subject:S.U) #: Slow-running

(競技前日: 5) であった。

### 3. 標高 1500 m におけるスローランニング時の HFnu

スローランニング時の HFnu は、R.S : 15、D.M : 15、T.T : 17 及び S.U : 14 をそれぞれ示した (平均値: 15)。スローランニング終了後における翌朝起床時の HFnu は、各選手とも個人差はあるが、スローランニング当日の起床時の HFnu が低いときに高くなる傾向がみられた。

### 4. 箱根駅伝の競技成績

箱根駅伝の競技成績は、R.S : 1 区 7 位 (1 時

間 02 分 41 秒)、D.M : 2 区 17 位 (1 時間 11 分 53 秒)、T.T : 3 区 6 位 (1 時間 04 分 35 秒)、S.M : 5 区 5 位 (1 時間 20 分 06 秒)、S.U : 7 区 12 位 (1 時間 05 分 11 秒) という結果であった。

## IV. 考察

本研究では、箱根駅伝 (本戦) の調整期における起床時の自律神経 (交感神経及び副交感神経) のバランスと競技成績との関連を検討した。

その結果、調整期の起床時、個人差はあるが HFnu の数値が高い選手 (R.S、T.T 及び S.M)、すなわち、副交感神経優位の状態を維持できた選手は競技成績が良く、HFnu の数値が低い選手 (D.M)、すなわち、交感神経優位の状態が続いた選手は競技成績が低くなる傾向を示した。これまでに箱根駅伝の調整期以外に毎週木曜日 (計 8 ~ 10 回) に起床時の自律神経活動の測定を行っている。各選手の HFnu は、R.S :  $48.6 \pm 8.9$ 、D.M :  $34.4 \pm 11.3$ 、T.T :  $62.7 \pm 22.9$ 、S.M :  $43.8 \pm 11.7$ 、S.U :  $37.1 \pm 9.9$  の値であった。これらの値と比較して、今回の調整期の方が高い値を示していた。そこで、自律神経活動のバランスから考えると、調整期は、競技大会に備えてエネルギー源、とくに筋及び肝グリコーゲンをできるだけ多く蓄積する時期 (グリコーゲンローディング) でもあり、グリコーゲンの合成を促進するためには副交感神経が優位に働くことである<sup>5)</sup>。しかし、調整期の安静時に交感神経優位の状態が続いた場合、消化器系の働きが抑制され、消化・吸収が円滑にいかなくなるるとともに、体内のグリコーゲン分解が亢進され、グリコーゲンの消耗を早めることにもなると考えられる。このような状態で競技大会に出場してもグリコーゲンの枯渇などからレース後半の失速に繋がることも考えられる。次に、自律神経と白血球 (リンパ球と好中球) の関係から考えると、交感神経が優位のととき好中球が増加し、副交感神経が優位のとときリンパ球が増加することが知

られている。さらに、競技成績（駅伝チーム）とリンパ球、好中球の数値に関する研究では、好中球の数値が低いときは競技成績が良くなり、高いときには競技成績が低くなること<sup>6)</sup>が報告されている。これらのことから、箱根駅伝の本戦前の調整期は、HFnuの数値を高くして、副交感神経活動を優位の状態に維持することが競技パフォーマンスの向上にも繋がると示唆された。

私たちの先行研究では、一般人を対象に、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における軽運動（歩行）は、運動終了後の翌朝において、自律神経活動のバランスとして副交感神経活動が優位な状態がみられ、末梢血液循環を一時的に改善すること、運動中の心拍変動が環境（標高）の違いによっても影響を受け、標高1500mにおける軽運動中は、平地の歩行運動よりも自律神経活動のバランスとして、副交感神経活動が低下し交感神経活動が優位な状態にシフトし、運動終了後は自律神経系も標高の違いや行った運動の強度等に比例して交感神経優位を維持した後、安静状態になるとともに副交感神経優位になること<sup>7,8)</sup>を報告している。スローランニング中のHFnuは、先行研究と同等の値であった。そこで、今回、初めての試みとして、各選手の自主性に任せ、調整期のコンディショニングの一方策として低圧低酸素環境下でのスローランニングを取り入れた。その結果、各選手とも個人差はあるものの起床時のHFnuが低値になったときに標高1500mでのスローランニングを行うと翌朝起床時の自律神経活動のバランスが改善される傾向がみられた。各選手からは、「気分爽快になった」、「疲労回復ができた」、「調子が良くなった」などの感想があった。

4名の選手（R.S、T.T、S.M及びS.U）は、コンディションシートを用いた睡眠状況、食事、疲労感、体調の評価からも良好なコンディションで箱根駅伝の本戦に臨むことができたと考えられる。D.Mは、調整期において自律神経系のバランスが交感神経活動の優位な状態が継続しており、コンディションシートによる評価で睡眠状況、食事、疲労感、体調のいずれも他の選手と比

較して、低値の傾向がみられた。したがって、起床時の自律神経バランス、コンディションシートの評価からも、箱根駅伝の本戦には、良好なコンディションで臨むことができなかつたと考えられる。

最後に、箱根駅伝の競技成績に対する評価は、1区のR.Sが持ちタイム（10000m：29分07秒88、ハーフマラソン：1時間04分07秒）からみると、出場選手の中で下位6番目であったが、本戦では7位と予想以上の大健闘であった（評価：120点）。2区のD.Mは、持ちタイム（10000m：29分04秒91、ハーフマラソン：1時間03分14秒）からみると、区間17位の成績は本来の力が十分に発揮できなかった走りであった（評価：50点）。3区のT.Tは、持ちタイム（10000m：29分16秒88、ハーフマラソン：1時間04分10秒）からみると、1年生で区間6位の順位は期待通りの成績であった（評価：100点）。5区S.Mは、持ちタイム（10000m：29分39秒61、ハーフマラソン：1時間02分58秒）からみると、区間5位とすべて期待に込めており、区間賞とは50秒しか違わなかつた（評価：120点）。7区のS.Uは、持ちタイム（10000m：29分58秒38、ハーフマラソン：1時間04分51秒）からみると、過去4年間、常に、長い距離には不安を抱いていたが、本戦では区間12位と、自己の能力を十分に発揮した走りであった（評価：100点）。

以上、箱根駅伝の本戦前の調整期には、HFnuの数値が高く副交感神経活動優位であることが競技パフォーマンス、さらには競技成績の向上にも繋がると示唆された。そのため、箱根駅伝の調整期のコンディショニングにおいて、HFnuを高めることは有用であると示唆された。

## V. まとめ

本研究では、箱根駅伝前の調整期の自律神経活動を測定し、競技成績の結果と比較することで、それらの関連を明らかにし、自律神経活動が競技



成績にどのような影響を及ぼすのかを検討した。

その成績を示すと次の通りである。

1) HFnu の値が高い選手ほど競技成績はよい傾向がみられた。

2) HFnu の値が高い選手ほど睡眠状況、食事、疲労感、体調等の評価（5段階評価）は5が多くみられた。

3) 標高1500mにおけるスローランニング時のHFnuは、平均値が15であった。

4) 各選手とも個人差はあるものの起床時のHFnuが低値になったときに標高1500mでのスローランニングを行った方が翌朝起床時の自律神経活動のバランスが改善される傾向がみられた。

以上、箱根駅伝の本戦前の調整期は、HFnuの数値が高く副交感神経活動優位であることが競技パフォーマンス、さらには競技成績の向上にも繋がると示唆された。そのため、箱根駅伝の調整期のコンディショニングにおいて、HFnuを高めることは有用であると示唆された。

#### 参考文献

1) 清水和弘：免疫系指標と自律神経系指標によるコンディション評価, 臨床スポーツ医学, 28(8)：855-859, 2011

2) 早野順一郎：臨床医のための循環器自律神経機能検査法, 51-61, メディカルレビュー社, 1997

3) 日本自律神経学会：自律神経機能検査, 第4版, 文光堂, 2007

4) 飯塚太郎：心拍数・心拍変動, II. コンディショニングの評価とその活用—具体的な評価法とその応用—, 臨床スポーツ医学, 28：166-171, 2011

5) 中野昭一, 佐伯武頼, 足立稜一, 寺尾保, 小林圭子：図説からだの仕組みと働き, 医薬出版株式会社, 2001

6) Matsuo K., Kubota M., Sasaki H., Toyooka J., and Nagatomi R. : The association of the blood lymphocytes to neutrophils ratio with overtraining in endurance athletes. *New Studies in Athletics (IAAF)*, 24(4) : 23-29, 2009

7) 寺尾保, 栗田太作, 小沢秀樹, 瀧澤俊也, 灰田宗孝, 内田晴久, 内田裕久：中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が運動終了後の自律神経系, 末梢血液循環および動脈機能に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 24 : 57-64, 2012

8) 寺尾保, 両角速, 栗田太作, 小沢秀樹, 瀧澤俊也, 灰田宗孝, 内田晴久, 内田裕久：中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が運動中および運動終了後の自律神経系に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 25 : 69-77, 2013