

## 自律神経活動の長期的リズムの測定と疲労に関する調査

電子科 岡田慶雄 三浦 清

### Research of relationship between fatigue and weekly and/or circadian rhythm of Autonomic nervous system.

Yoshio Okada and Kiyoshi Miura

Using a wearable electrocardiograph with three accelerometers which we developed, Electrocardiograms (ECGs) of subjects were measured for analysis of a short term and long term change of autonomous nerve activity in daily life. An electrocardiogram and acceleration data of each subjects were measured, and time series data of an autonomous nerve activity (ANS) index were analyzed with heart rate variability (HRV) power spectrum analysis continuously. Using these indexes, the relationship of long term ANS changes and fatigue were researched.

#### 1. はじめに

ヒトはホメオスタシス (homeostasis) の維持のため、自律神経活動によって身体のアンバランスをコントロールし定常状態を保とうとする働きがある。ヒトの自律神経活動にはサーカディアンリズム (約24時間周期)・ウルトラディアンリズム (約90分周期) 等のリズムが見られる。これは、間欠的ではあるが24時間の血圧・心拍数・深部体温、睡眠時に限定すると脳波・活動量等の測定結果を用いた既存研究によって確認されている<sup>1),2)</sup>。また、これらの自律神経活動は姿勢および活動等による運動成分や、音・熱・光環境等の変化によるストレスによって、被験者がストレスを受けて変化することも良く知られている<sup>3),4)</sup>。我々は日常生活におけるこの自律神経活動を各種センサによって測定しヒトの快・不快を測定・解析することを検討した結果、心拍変動を用いた自律神経活動の解析に適した軽量・小型の加速度センサ付き携帯型心電計を開発した<sup>5)</sup>。この小型心電計を用いることで、被験者の測定場所および入浴時以外の測定条件を制限する必要がなくなり、24時間もしくは複数日に亘る日常生活を通した自律神経活動の変化を測定することが可能となった。また被験者実験の結果から、24時間周期のサーカディアンリズムを確認した。

今回は、この小型心電計を用いて複数名の日常生活における自律神経活動指標の長期的変動を解析し、

被験者による差異や、更に長期的な測定結果から日間差について検証し、疲労との関連について調査を行ったので報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2. 1 被験者実験

自律神経活動の変化を解析するため、心電図および加速度測定の実験を行った。被験者は健康な就労者6名 (41.2±10.8歳) で、勤務内容はデスクワーク中心の軽作業労働者である。被験者は全て非喫煙者であり、測定中はアルコール、カフェインを摂取しないよう指示した。概日リズムを含む長時間の変化を観察するため、測定は24時間を基本とし、被験者によってはさらに時間を延長して最長10日間の複数日について連続測定した。

心電図および活動状況の測定には、我々が開発した小型心電計を使用した (図1)<sup>5)</sup>。心電図および加速度データのA/Dサンプリングは1 kHz・10bitとした。生体電極にはエコーデⅢ (TE-170RT、フクダ電子) を使用し、心電図胸部に、電極を装着して測定した。連続して複数日測定を行った被験者については、入浴時に生体電極を交換し、24時間毎にメモリーカードとバッテリーを交換することで実験を続けた。この際同時に、被験者に対して口頭で疲労度についてのアンケートを行った。

この心電図のデータから、心電図のゆらぎである

## 【報告】

心拍変動を用いて、自律神経活動の変化を解析した。同時に、加速度信号を用いて、被験者のおおよその活動状況について観察を行った。



図1 被験者実験に使用した小型心電計および生体電極

## 2. 2 心拍変動を用いた自律神経活動指標の解析

小型心電計で収録した24時間の心電図データから、心臓の拍動の特徴点であるR波のピーク検出処理を行い心拍間隔（RRI）の時系列データを作成した。次にこのRRIのゆらぎについて時系列データの心拍変動解析を行うため、時間窓で区間を分割しながら、それぞれの区間について周波数解析を行い交感神経・副交感神経指標を算出した。

心拍変動の周波数解析はFFTによる周波数パワースペクトル解析を行った。RRIデータはFFTのために4 Hzでスプライン補間を用いてリサンプリングした。FFTの時間窓関数はHanning窓を使用し、データ長は128秒間（512点）とした。また、60秒毎に連続的にFFTを行った。

自律神経活動指標に用いるゆらぎの周波数成分LF成分およびHF成分の周波数帯域は、自律神経活動解析で一般的に用いられるLF：0.04～0.15Hz、HF：0.15～0.45Hzとし、交感神経および副交感神経活動指標は、それぞれLF/HF、HF/（LF+HF）のパワースペクトルの成分比を用いた<sup>6)</sup>。

## 2. 3 解析結果

以下に被験者実験の解析結果の一例を示す。図2には、加速度の生波形、RRIおよび60秒毎の自律神経活動指標（交感神経および副交感神経活動）の解析結果（24時間）を示す。ほとんどの被験者については、指標の絶対値については個人差・日間差が見られるものの、RRIおよび自律神経活動指標に関し

て図2と同様に概日リズムが確認できた。昼間の活動時には興奮・活動・不快の指標となる交感神経活動が亢進し、夜間の就寝時には安静・休息・快の指標となる副交感神経活動が亢進し、交感神経活動が抑制されていることが確認できた。

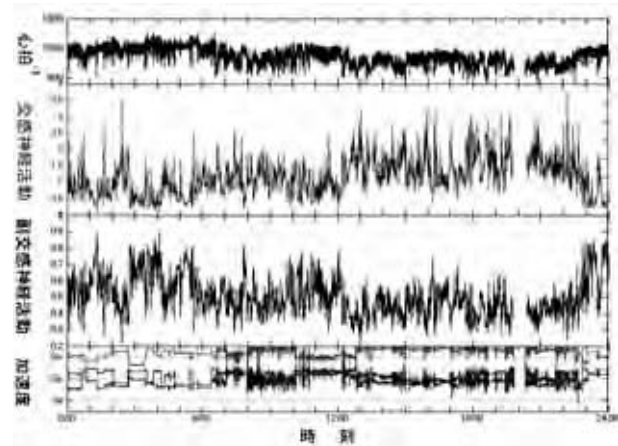


図2 24時間の被験者実験データ  
上より心拍間隔の変動、交感神経活動指標、副交感神経活動指標、加速度（被験者の活動状況）

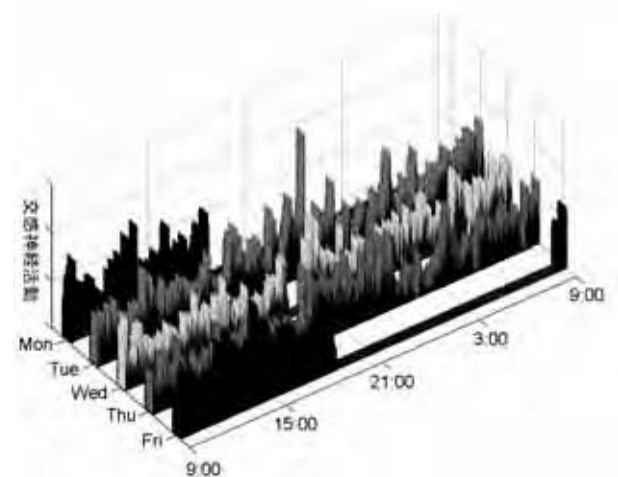


図3 1週間の被験者実験データ（交感神経活動指標）

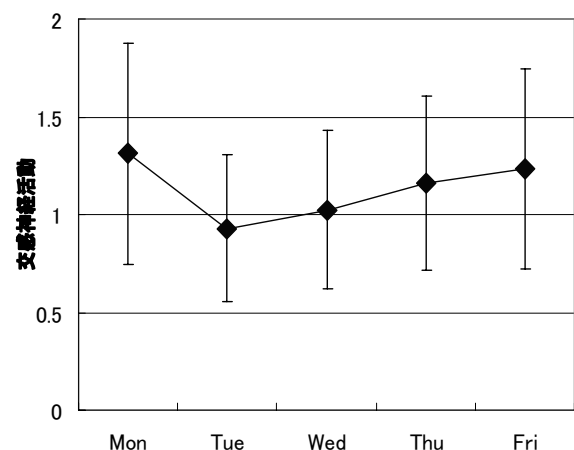


図4 仕事における交感神経活動指標の週内変化  
9:00～17:00の平均値による日間差、エラーバーはSDを示す

図3には1名の1週間(月曜日～金曜日)の交感神経活動指標の解析結果を示す。1週間を通して、全ての日について概日リズムを確認することができた。このうち、仕事(9:00～17:00)の交感神経活動指標について平均値を比較したところ、週初から週末にかけて指標の上昇が見られた(図4)。これは被験者のアンケート結果による疲労度の主観評価と傾向が一致している。このことから、心拍変動を用いた自律神経活動の解析結果から疲労度の相対的指標を測定することが可能であると思われる。

### 3. 考察

ヒトは体内に長期的・短期的な様々なリズムを持っており、多くの研究結果からその存在が明らかになっている。自律神経活動にも見られるこれらのリズムは、様々な内的・外的要因の影響によって乱される。社会生活において、ヒトはさまざまな心理的・化学的・物理的なストレスの影響を受けており、これらが不眠・うつ・自律神経失調症等の疾患の原因になることは広く認められている<sup>7)</sup>。日常生活におけるこれらの影響を評価するためにさまざまな方法<sup>8)</sup>が提案されているが、心拍変動解析を用いた自律神経活動のモニタリングは、非侵襲・非拘束で長時間連続測定が可能で自律神経活動の時系列変化をモニターできるため、長期的な生体リズムの変化についても解析が可能で、自律神経活動の短期的なストレス応答の有無と同時に、疲労等による長期的な異常を予見できると期待される。

今後、自律神経活動を用いたヒトの慢性的な疲労等の評価について、被験者数を増やし統計的解析を行う。

### 参考文献

- 1) 清水徹男：24時間の自律神経活動リズム，生体医工学，46 No. 2, 154-159 (2008).
- 2) 白川修一郎：長時間行動・体温モニタリング，生体医工学，46 No. 2, 160-168 (2008).
- 3) 村田勝敬：環境・産業衛生領域の有害因子による自律神経影響の評価 - 心拍変動の測定，日本衛生学雑誌，54 No.3, 516-525 (1999).
- 4) 日本自律神経学会編：自律神経機能検査 第4版，124-133，文光堂 (2007).
- 5) OKADA Y et al. : Development of a Wearable ECG Recorder for Measuring Daily Stress, The International Conference on Information Science and Applications ICISA 2010, 700-704 (2010).
- 6) Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology : Heart Rate Variability, Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use, Circ., vol.93 No.5, 1043-1065 (1996).
- 7) A. Nakata et al. : Job stress, social support, and prevalence of insomnia in a population of Japanese daytime workers, Soc. Sci. Med., vol.59 Issue8, 1719-1730 (2004).
- 8) T.G Pickering et al. : Environmental influences on blood pressure and the role of job strain, J Hypertens, 14 (Suppl5), S179-S185 (1996).