

## メンタルストレス印加時のRR間隔変動の 複数被験者同時測定

白水 重憲<sup>1)</sup>、瀬野 ゆめか<sup>1)</sup>、飛岡 健<sup>2)</sup>、菅野 久信<sup>3)</sup>

**要旨** 人のメンタルストレスを解除する方法や、人にメンタルストレスを印加する研究を行う上で、被験者に負担を与えない測定法、被験者を拘束しない測定法、更には、多数の被験者の同時測定が行える簡便な測定法の開発が待ち望まれていた。本論文では、開発しウェアラブルな超小型心電・加速度測定デバイス (M-BIT) を使用して、メンタルストレス実験で多数被験者同時測定が可能である事をデモンストレーションした。今後、多数被験者同時測定により、測定条件の均質化とデータ収集の効率化が可能になり、メンタルストレスに関する研究は飛躍的に進むものと期待された。

本研究ではストレス印加課題として5分間のクレペリン検査を使用し、課題前後の5分間の休息時間と合わせて15分間の測定を行った。性別、特徴、年齢分布が大きく異なる2つの被験者群で共通に、クレペリン検査遂行時は、その前後に比して、RR間隔変動そのものが小さくなり、副交感神経活動、交感神経活動の指標とも低下する事が判明した。

**キーワード**：メンタルストレス、印加、解除、自律神経活動、RR間隔変動

### 1. 序論

被験者のメンタルストレスを解除する、或いは、被験者にメンタルストレスを印可するある種の課題を遂行させ、遂行前の休息時、課題遂行中、課題遂行後の休息時の心と体の健康状態を比較する事は、生理心理学の分野では昔から行われてきた。測定手法としては、脳波、心電図、マイクロバイブレーション、血圧脈波、圧脈波、指尖容積脈波等が使用されて来た。我々も、当初は、シールドルームに設置した大型のポリグラフで脳波や心電図等の測定を行ってきたが<sup>1,2)</sup>、測定を重ねるうちに、被験者に発生するそれほど大きくない変化を検出するには、測定する事自体が被験者に与える負担をできるだけ小さくしなければならない事に気がついた。

以来、我々は、装置を小型、簡便化し、被験者を拘束せずに、被験者の活動を制約せずに行える測定法を探求してきた。ポータブル血圧計を改造しての動脈コンプライアンスの測定<sup>3)</sup>、小型簡便な指尖容積脈波測定装置<sup>4-7)</sup>、PVDF膜を使用した被験者に測定している事を悟られない椅子・ベッド設置型のバリトカルジオグラフ測定装置<sup>8,9)</sup>を経て、超小型

ECG・加速度測定装置であるM-BITを開発し、RR間隔変動の時間周波数解析ソフトウェアを確立した<sup>10)</sup>。

この間、メンタルストレスの解除法としては、各種の代替・伝統・補完医療の効能評価<sup>1,11)</sup>、アロマ<sup>2)</sup>等の効果を評価してきた。一方、メンタルストレスの印可方法とは、クレペリン検査、乱数生成等を使用した。これまでの方法では、多数の被験者の測定結果を集積するには時間がかかり、測定条件を均質にする事も難しかった。多数の被験者の測定を同時に行い、測定条件を均質化すると共に、データ収集を効率化する事は、我々の長年の夢であり、M-BITと解析ソフトウェア群の開発により実現できた。

本研究では、10~14名の被験者集団にM-BITを装着させて、遂行課題にクレペリン検査を使用して、課題遂行前の休息時、課題遂行中、遂行後の休息時のRR間隔変動を同時測定した。

### 2. 測定と解析

#### 2-1 M-BIT

M-BITの詳細に関しては既に報告した<sup>10)</sup>。スタンドアロンで心電・加速度を測定し、測定後にパソコンに転送する機能を大きさ40x39x8mm、重量14gの中に詰め込んだウェアラブル測定装置であった。ECGと加速度のサンプリング周波数は128Hzであつ

1) NPO法人セルフケア総合研究所

2) (株)人間と科学の研究所

3) 産業医科大学名誉教授

受付日：2014年x月xx日

採択日：2014年x月xx日

た。2つの電極を使用して被験者の胸部に貼り付ける形で装着した。

## 2-2 クレペリン検査

クレペリン検査とは、一桁の数字が横に長く並んだ行が30行ある検査用紙を使用して、最上行の左端から隣接する2つの数字の足し算を始め、1分間経過したら下の行の左端に移り足し算を続けるという作業を30分間続け(中間に5分間の休憩)、1分ごとの作業量の平均的レベルや作業量の継時的な変化のパターンから能力、性格や適性を診断するものである<sup>13)</sup>。検査においては、できるだけ速く計算をするように指示される<sup>13)</sup>。昔は、精神病の検査手段として日陰の存在であったが、就職活動において適正判断の手段として幅広く使用されている。本研究ではこの検査を5分間だけ実施させた。

## 2-3 被験者と測定

2グループの被験者で、課題遂行前の休息(5分間、以後『前』)、課題遂行中(5分間、以後『遂行中』)、課題遂行後の休息(5分間、『後』)の3つの状態に対応する時間ゾーンに亘っての測定を行った。

第1のグループは講義の一環として本研究に参加した都内の大学の体育学部3年生14名であった。彼等の多くは、関東大学連盟2部リーグに属するサッカーチームや3部リーグのラグビーチームの主力メンバーであった。彼らは健康で、講義にもクラブの練習にも参加していた。平均年齢は20歳であった。10:30の講義開始後すぐにM-BITを装着し、10:50から測定を開始した。唯一であった女子学生の測定結果は除き、男子学生13名のデータを使用した。

第2のグループは四恩学園ナザレ幼稚園(神奈川県横浜市)の先生10名(女性9名、男性1名)であった。幼稚園児が帰宅した後の16:00過ぎに一つの教室に集めM-BITを自分で装着させた後、測定を開始した。測定に成功した女性の先生7名のデータを使用した。年齢は、それぞれ、23、25、25、29、34、38及び42であった。

## 2-4 解析

世界中で広範に使用されている頑健なリアルタイムQRSピーク抽出アルゴリズムをベースにした方法で、心電図波形上でR波の時間位置を求め、RR間隔時系列データを得た<sup>10)</sup>。RR間隔データの分布挙動に着目する事により真のRR間隔データとアーティファクトを分別し、アーティファクトは全て棄却した。その後、RR間隔信号を周波数2Hzでリサンプリングして等間隔時系列とした。

各時間ゾーンの最初から256秒間の0.5秒等間隔リサンブルRR間隔時系列を基に、SPWV(Smoothed

Pseudo Wigner-Ville)法を使用して時間周波数解析を行い、時間周波数MAPを得た<sup>10)</sup>。

各時間ゾーンの時間周波数MAPより、定法に従い低周波領域を0.04Hz~0.15Hz、高周波領域を0.15Hz~0.40Hzとして、各時間の周波数軸に沿った各周波数範囲での積分として低周波成分、高周波成分を求めた。また、高周波領域の瞬時中心周波数として呼吸周波数を求めた。

各時間ゾーンのRR間隔変動を代表する値としては、対応する時間周波数MAPのHFとLF/HFの平均値として、副交感神経活動と交感神経活動の指標を求めた。呼吸周波数はMAP内の変動をモニターし、その値が高周波領域内におさまっている事を確認した。また、時間周波数解析に使用した256秒間の等間隔リサンブルRR間隔の平均値、及び平均値からの標準偏差としてRR間隔変動を求めた。

## 3. 結果と考察

我々は、横軸を副交感神経活動の指標の値、縦軸を交感神経活動の値として自律神経状態点を描画する交感神経活動MAPを提唱し、そのMAP上の状態点の動きとして被験者の自律神経活動の状態の変化を記述する方法を提唱してきた<sup>14,15)</sup>。本研究でも、まず、各被験者のそれぞれ3つの状態点が自律神経活動MAPでどのような挙動をしているかを確認した。

図1と図2に13名の20歳の男子学生と7名の幼稚園の先生の状態点群の挙動をそれぞれ示した。同じ記号(及び色)で示された3つの状態点がそれぞれの被験者のものであり、時間進行の順を矢印で示している。

図1と図2に示された結果は、2つの注目すべき特徴を持っている。

最初のもものは、『前』から『遂行中』にかけての状態点の移動の仕方である。これまでの高校生の定期試験を受けている最中の自律神経活動の測定結

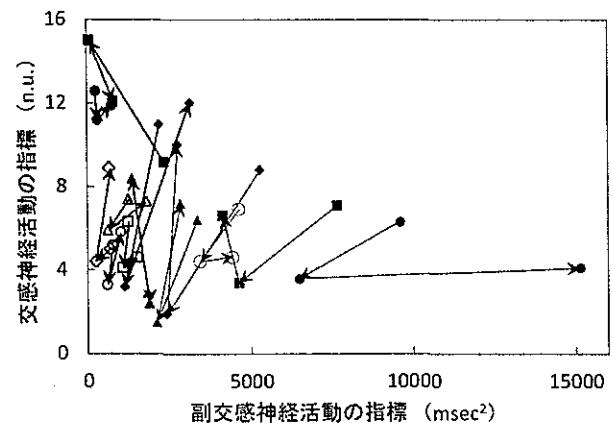


図1 男子大学生の『前』-『遂行中』-『後』における自律神経活動状態の変化

各被験者の3つの点を同一の色と記号で示し、線で結んだ。矢印は時間進行の方向を示した。

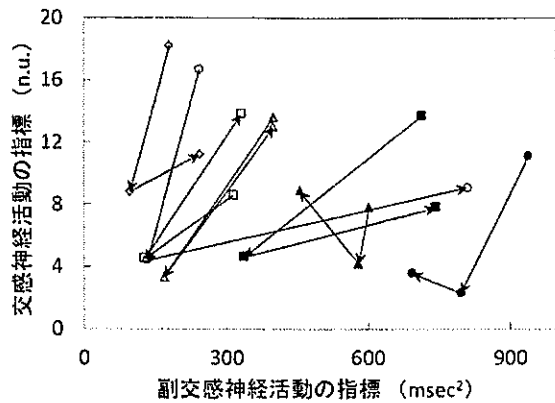


図2 女性の幼稚園の先生の『前』-『遂行中』-『後』に於ける自律神経活動の変化

各被験者の3つの点を同一の色と記号で示し、線で結んだ。矢印は時間進行の方向を示した。

果<sup>14)</sup>や、発電所運転員教育シミュレータでの測定結果<sup>15)</sup>から、我々は、『前』-『遂行中』の点の動きとしては、横軸の副交感神経活動の指標は小さい方に、縦軸の交感神経活動の指標は大きい方に動くことを予想していた。しかしながら、結果は予想とは全く異なり、1例を除いた殆ど全ての結果では、交感神経活動の指標は小さい方に動いた。これについては、後節で議論する。

もう一つは、副交感神経活動と交感神経活動の指標の値の範囲である。副交感神経活動の指標は、図1では5000msec<sup>2</sup>程度までに広がって分布しており、更に、数名の被験者は5000msec<sup>2</sup>よりも大きな値を示している。一方、図2では、1000msec<sup>2</sup>付近までしか分布していない。交感神経活動の指標の分布の範囲は双方でほぼ等しい。

副交感神経活動の指標に関して、我々は、過去の測定例の詳細な文献調査を行い報告している<sup>16)</sup>。一般に、ある年齢範囲の被験者集団では、全体としての分布範囲に比して、大多数のデータは小さな値の所にあつまるといふ歪んだ形の分布をしている<sup>16)</sup>、年齢が高くなるにつれてその分布の上限値は小さくなる事<sup>16)</sup>が知られている。このような知見に基づき、本研究でも、男子大学生群と幼稚園の先生

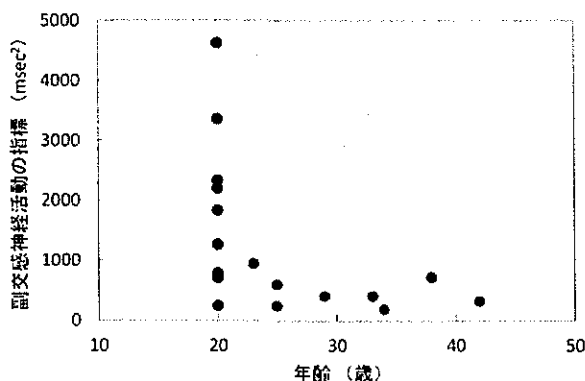


図3 『前』での副交感神経活動の指標の年齢依存性  
黒色：男子大学生、灰色：幼稚園の女性の先生

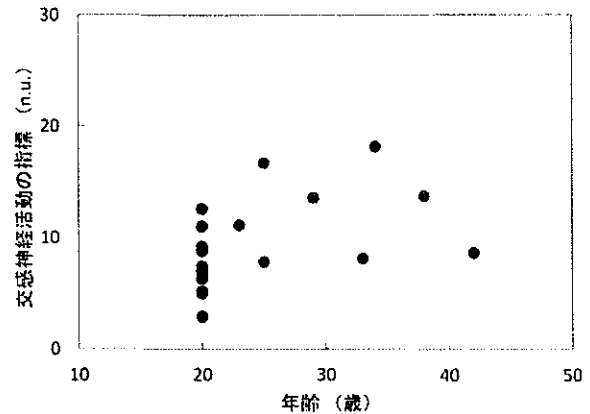


図4 『前』での交感神経活動の指標の年齢依存性  
黒色：男子大学生、灰色：幼稚園の女性の先生

群の前、遂行中、後、それぞれの自律神経活動の指標を年齢依存性の形で示した。

図3と図4に、『前』の副交感神経活動と交感神経活動の指標の値をそれぞれ示す。図3の副交感神経活動の指標では、男子学生は皆年齢が20歳なので20歳の位置に幅広い分布を示す。これと比して、幼稚園の先生の分布は、比較的近い年齢のデータが多いにもかかわらず、男子大学生のものとは大きく異なり小さな値に集中している。ここに、幼稚園の先生群の詳細が判るように、図3の縦軸の上限値は5000msec<sup>2</sup>とした。

図4に、交感神経活動の指標を示した。副交感神経活動の場合とは逆に、幼稚園の先生の交感神経活動の指標の分布は、男子大学生の分布より高い場所に位置する。

図3と図4に示された交感神経活動の相違を年齢によるものとは考えるには両群の年齢は近すぎる。性別は、両群で完全に分かれているが、少なくともこれまで報告されている副交感神経活動の指標の年齢依存性は大きな性差を示していない<sup>16)</sup>。あまりストレスのかからない気楽な生活をしており更に午前中で起きたばかりという状態の学生群と、1日の子どもの世話で疲れ、ストレスも溜まっている幼稚園の先生群という2つの群の性状と状態に基づくものと考えた方が妥当であるように思われる。『前』の交感神経活動の指標は、その瞬間のメンタルストレスの度合いを示す良い尺度と思われる。

図5と図6に、『前』-『遂行中』-『後』のフレームワークでメンタルストレス解除或いは印加実験を行う際に広く使用される方法で、副交感神経活動と交感神経活動の指標の値の変化をそれぞれ示した。図1と2に関する議論で述べた様に、副交感神経活動と交感神経活動の変化は両者とも1、2例の例外を除いて、真ん中の遂行中が一番小さいV字型の変化を示している。これは、『前』-『遂行中』のRR間隔変動の変化が、その周波数成分比で議論できるような自律神経活動バランスの範疇を

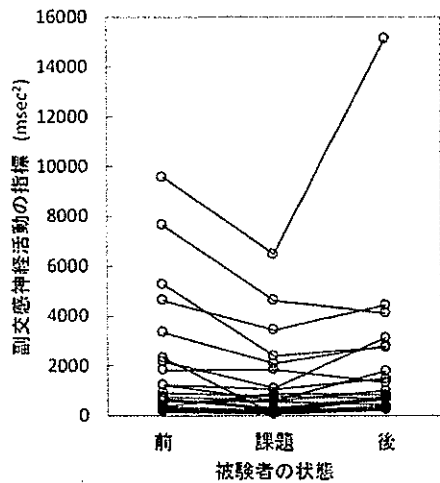


図5 副交感神経活動の指標の変化

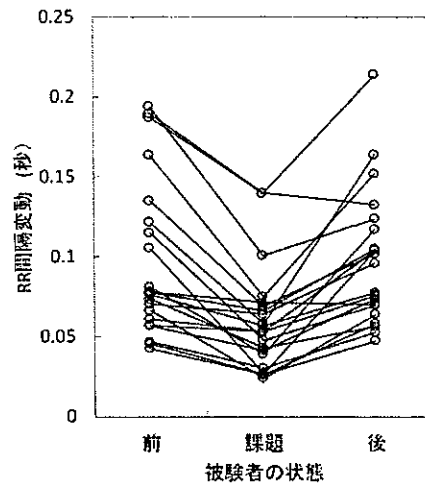


図7 RR間隔変動の変化

超え、RR間隔変動の振幅そのものが減少し、自律神経活動そのものが減衰している状態であることを示唆した。確認の為に、RR間隔の平均値からの標準偏差としてのRR間隔の『前』-『遂行中』-『後』の変化を図7に示した。

『前』-『遂行中』では、すべての被験者においてRR間隔変動の減少が認められた。その後の『遂行中』-『後』では、殆どの被験者が増加を示したが、減少を示さない被験者も数例見られた。図3と図4で示した様に、性状と状態が大きく異なり、性別も異なり、スポーツ選手群と幼稚園の先生群と嗜好・価値観も大きく異なる2つの群で同じ挙動が観察された事は非常に興味深い。

高校生被験者にとっての定期試験<sup>14)</sup>や、発電所運転シミュレータ実験を行った大学院生群<sup>15)</sup>にとってのシミュレーションと違い、本研究に参加した2つの被験者群の双方にとって、クレペリン検査は中枢神経系への負担が大きく、自律神経系へエネルギーをまわすゆとりが無くなったものと考えられる。そして、図7に示されたその後の回復挙動の

相違は、中枢神経系への負担の除かれ方、自律神経系の回復挙動の相違を反映しているのでは無いだろうか？

そのように考えると、クレペリン検査は元来中枢神経の機能の評価を試みたものであった事や、現在は、適性・適職検査の道具として採用側の企業群に活用されている事が理解できる。

自律神経活動の範疇でメンタルストレス印加実験を行うには5分間のクレペリンテストは負担が大きすぎたと言わなければならないだろう。逆に、一度、自律神経系を減衰させて、再び再構築されたフレッシュな状態を出現させ、交感神経活動の指標の小さな状態を得るのが目的であるならば、クレペリン検査をもう少し長く行い、『後』の休息状態もより長く設定し、休息状態の中の変化を追跡する必要がある。残念ながら、本研究の結果では、『前』と比較して『後』の交感神経活動の指標は小さくはならなかった。

本研究では、課題遂行の前後に5分間の休息状態を設定したが、被験者群を観察した結果では、5分間何もしないというのは退屈で結構それもストレスになるようである。リラックス効果のある音楽を聴かせ、リラックス効果のある動画等を見せた方が良いかも知れない。どのような音楽が相応しいか、どのような音楽が相応しいかは、これも研究の対象と考えられる。

現在、それぞれの時間長を5分間から90秒に短縮し、ストレス印加の方法を少し負荷の小さな方法にし、前後の休息中にはリラックスできる音楽と動画を視聴させる方法で、同一被験者群での測定を開始した所である。どのような結果になるか興味深い。

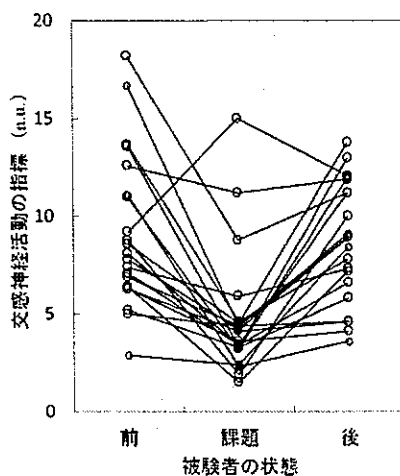


図6 交感神経活動の指標の変化

#### 参考文献

- [1] 津田康民、白水重憲、菅野久信他：脳波パターンのエントロピー時系列解析. 臨床神経生理学 Vol. 30 No. 4, 2002.

- [2] 菅野久信、白水重憲、岡本順子：香りと睡眠. アロマセラピー学雑誌 Vol.4, 2004.
- [3] S. Shirouzu, Y. Tsuda, E. Shirouzu et al. : Chaos and Waveform Analysis of Pulse Waves at Brachial Artery. Proc. of 8th International IMEKO Conference on Measurement in Clinical Medicine, 1998.
- [4] S. Shirouzu and H. Sugano: A Preliminary Computer Simulation Study on Formation Mechanism of Dicrotic Pulse Waves. Proc. of 22nd Ann. Intern. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2002.
- [5] S. Shirouzu, Y. Tsuda, E. Shirouzu et al. : Circulatory Parameter Extraction from Digital Plethysmogram I. Proc. of 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1998.
- [6] S. Shirouzu, Y. Tsuda, E. Shirouzu et al. : Nonlinear Analysis of Digital Plethysmograms. Med. & Bio. Eng. & Comp., Vol.37 Supl.2, 1999.
- [7] S. Shirouzu and H. Sugano: Modeling Finger Photoplethysmogram IV: Second Derivative Wave Fitting Approach, Proc. of IFMBE, MEDICON 2001, 2001.
- [8] S. Shirouzu, K. Hara and H. Sugano: A New Method for Unconstrained Heart Rate Monitoring. Proc. of 23th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2001.
- [9] S. Shirouzu, K. Hara, E. Shirouzu et al. : Unconstrained Monitoring of Heart Rate and Heart Rate Variability. Proceedings of European Medical & Biological Engineering Conference, EMBEC02, 2002.
- [10] 白水重憲、成澤元、片山宗哲他：国際基準に基づいた睡眠ポリグラフ判定と超小型生体センサー(M-BIT)の測定データに基づく睡眠解析結果のケース比較. 全面発達の展開 2: 8-18 2012.
- [11] H. Sugano, S. Shirouzu, Y. Maki et al. : Age Dependence of Chaotic Behavior of Finger Photoplethysmogram. Proc. of Eighth International Conference of Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-base Systems, 2000.
- [12] S. Shirouzu, E. Shirouzu, Y. Tsuda et al. : Correlation Dimensions of Human-Generated Random Numbers. Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.9, 1998
- [13] 土屋書店編集部：就職適性試験 内田クレペリン検査完全理解マニュアル 土屋書店 2011.
- [14] 白水重憲、片山宗哲、白水陽久：定期試験中の高校生の24時間の自律神経活動, 全面発達の展開: 2:65-68, 2012.
- [15] Shirouzu S, Mohamed A S A H, Kim A R et al.: Estimate of Knowledge and Experience Level by Autonomic Nerve Activity During Task Execution, and Follow Up Effect of Education, 全面発達の展開: 2:1-7, 2012.
- [16] 白水重憲:RR 間隔変動の高周波成分と呼吸性洞性不整脈,全面発達の展開: 2:54-60, 2012.

