

心拍変動による精神負荷ストレスの分析

山 口 勝 機

心拍変動に及ぼす精神負荷の影響を検討した。心拍変動はテレメータ方式で記録した。精神負荷とした連続加算作業や運転行動時の RR 間隔時系列を周波数分析した結果、加算作業時には交感神経活動の指標である LH 成分や LH/HF 比の増加が認められた。これに対し、副交感神経活動と関係する HF 成分は減少した。一方、運転行動時には LF 成分や LF/HF 比が安静時より低かったことから、むしろリラックスした状態であった。このように心拍変動の分析は精神的ストレスと自律神経系の関係を明らかにするうえで効果的である。さらに今回のテレメータによる心拍変動の記録は、様々な場面で利用できる適用範囲の広い方式である。

Key Words : ストレス, 心拍変動, RR 間隔, 交感神経, 副交感神経, LF 成分, HF 成分, LF/HF, テレメータ

ストレス反応を見るものとして精神健康調査票 (GHQ), コーネル健康調査票 (CMI), テイラー不安テスト (MAS) や抑うつ尺度を見るものとして自己評価式抑うつ尺度 (SDS) POMS などがあるが、これらはいずれも質問紙に基づいた調査である。

しかしストレスの影響は心身両面にわたって見られることが多く、特にストレスと自律神経系との関係が知られている。従って、ストレス負荷時における自律神経系の状態が明らかに出来ればストレスの程度も客観的に評価できるようになると考えられる。

自律神経系がストレスによりどの程度の影響を受けているかを知る方法として、唾液アミラーゼ活性値を測定する方法がある⁽¹⁾⁽²⁾。唾液アミラーゼ活性は自律神経系の交感神経-副腎髄質系の活動に基づいている。ストレスを受けることによりこの活性値も上昇することから、唾液アミラーゼ活性はストレス負荷の程度をしるうえで有効な指標である。しかもこの方法は非侵襲的方法であり、リアルタイムにストレス状態を知ることが可能である⁽⁴⁾。

さらに心拍変動の分析もストレス負荷の状態をしるうえで優れた方法である⁽³⁾。心臓は交感神経と副交感神経の両方からの影響を受けており、心拍変動の

RR 間隔時系列の周波数成分をパワースペクトル分析することで、ストレス下において心臓の自律神経系のうち交感神経または副交感神経のどちらが優勢であるかを示すことができる。

心拍変動の周波数分析によると主に低周波成分 (LF: Low Frequency) と高周波成分 (HF: High Frequency) が見られる。LF 成分は副交感神経活動よりも主に交感神経活動の影響を受けている。また暗算負荷などの精神的ストレス⁽⁵⁾によって増加することから交感神経活動の指標とされる。一方、HF 成分は呼吸の影響を受け、副交感神経活動と関係するとされる。また、LF/HF や LF/(HF+LF) は交感神経活動の指標として利用されている。このように、唾液アミラーゼ活性や心拍変動の分析はストレス負荷と自律神経系の関係について有効な生体情報を提供してくれる。

本研究の目的は、ストレス負荷時における心拍変動を胸部に装着したテレメータ方式のトランスミッターにより手首につけた時計タイプのレシーバーに送信し、その後赤外線通信によりパソコンに取り込み分析する方式について検討することである。

実験方法

心拍変動の記録は、胸部に装着したトランスミッターにより記録した後、テレメータ方式により手首に装着した時計型レシーバーに RR 間隔信号を送信し保存する方法である (RS800, Polar 社製)。RR データの記録機能は分解能 1 ミリ秒である。なお心電図を安定的に記録するために電極糊 (E-Gel) を使用した。この生体信号の無線送信方式は、被験者の行動を制約することなく心拍信号をリアルタイムに観察記録することが可能である。今回は記録方式についての研究という点から、男性一人の被験者について検討した。

心拍変動の記録は連続加算作業および車の運転時の 2 条件下でおこなった。まず加算作業前に開眼安静着座状態で 5 分間記録した。その後、内田クレバリン精神検査用紙を利用した 1326 回の連続加算作業が完了するまで 7 分間記録した。この作業条件は設定した作業量を出来るだけ速く完了することであった。

次に車の運転を精神負荷とした場合について検討した。まず、コントロールとして室内において開眼安静着座状態で 30 分間の心拍変動を記録した。この後、車の運転席に座り手首に装着しているレシーバーのスタートボタンを押してから運転を開始し、その後 45 分間の運転時における心拍変動を記録した。

時計型レシーバーに記録した心拍変動を詳しく分析するために、USBアダプターを介した赤外線通信ポートによりパソコンに転送した。データ処理に際してフィルターによりアーチファクトの除去をした。RR データは心拍解析ソフト (Polar Pro Trainer5) により 1 ミリ秒の精度で分析した。

分析したのは RR 間隔の最小値，最大値，平均値と心拍変動曲線を周波数分析し，LF 成分 HF 成分のパワー値ならびに LH/LH 比を求めた。なお，低周波成分の周波数範囲は0.04~0.15Hz，高周波成分は0.15~0.40Hz とした。また心拍変動の分布にかんしては散布図を求め比較分析した。

結果と考察

心拍変動によるストレス解析のため，開眼安静着座時と精神的負荷として連続加算作業を課した場合の心拍変動の RR 間隔時系列を比較検討した。Fig.1はコントロールとしての安静時5分間の記録で穏やかなリズムを示している。Fig.2は7分間にわたる精神負荷時の心拍変動である。コントロール時と比較して心拍変動は大きく変動している。

これらの心拍変動にかんして RR 間隔時系列の分析結果を示したのが Table 1 と Table 2 である。コントロール時の RR 間隔の平均が989ミリ秒であるのに対し，精神負荷時には RR 間隔は848ミリ秒へと短縮した。また LH の値は4.4% から16.1% へと，LH/HF の値も14.2% から46.5% へと増加を示し交感神経活動の高まりが認められた。この結果は，精神負荷に暗算を用いた場合，HF 成分がコントロール時に比べほとんど減少し LF 成分が顕著に増加するという実験結果⁽⁵⁾ と共通した点を示している。

次にコントロール時と精神負荷時の RR 間隔についての散布図を示したのが Fig.3 と Fig.4 である。コントロール時では989ミリ秒を中心に精神負荷時には848ミリ秒付近を中心に RR 間隔の分布が見られる。

またコントロールの安静着座時と様々な認知判断状況にある車の運転時における心拍変動の RR 間隔時系列について示したのが Fig.5 と Fig.6 である。全体的に安静時と比較して，運転時には RR 間隔レベルの低下が明らかである。この RR 間隔を分析すると，安静時の RR 間隔の平均値は1011ミリ秒，車の運転時の平均値は908ミリ秒であり，車を運転することにより RR 間隔の短縮が認められた。また RR 間隔時系列 (Fig.6) の3分から15分の間，23分，29分，40分，44分付近の平均値レベルから顕著な低下を示しているところは，運転時の緊張状態のた

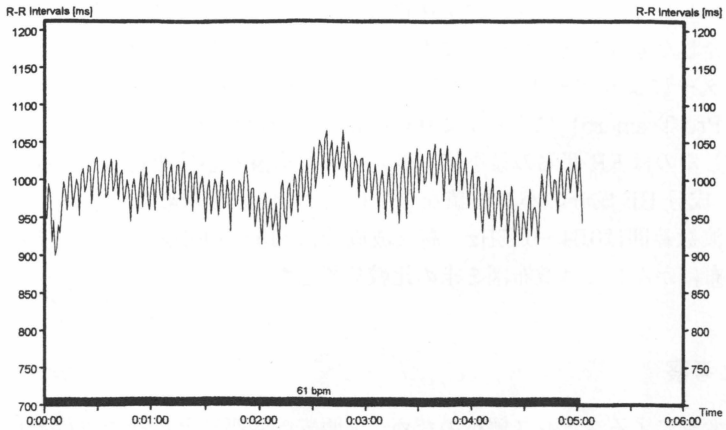


Fig.1 開眼安静時における心拍変動を示す。記録時間は5分間で、被験者は着座位の姿勢であった。図の縦軸は心電図のRR間隔、横軸は時間経過を示している。

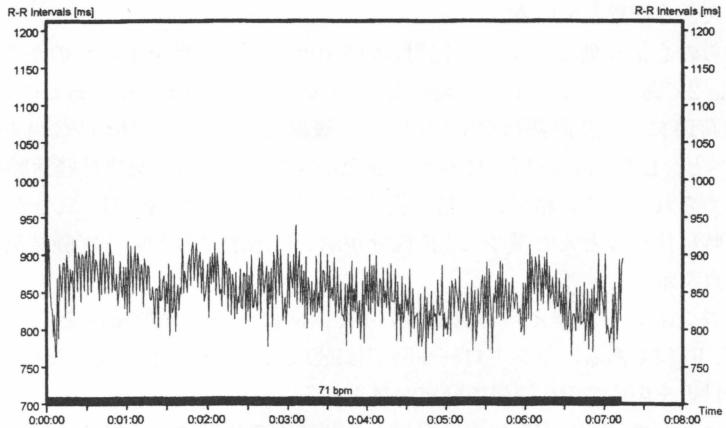


Fig.2 連続加算作業時における心拍変動を示す。記録時間は7分であった。縦軸は心電図のRR間隔、横軸は時間経過を示す。

山口：心拍変動による精神負荷ストレスの分析

Table 1 開眼安静で5分間の着座位状態における心拍変動について、RR間隔の最小値、最大値、平均値ならびに各々の心拍数を示す。心拍変動の周波数分析については、LF成分、HF成分のパワースペクトル値及びLF/HF比を示す。この比は交感神経活動の指標となる。

Data	Value	Unit
Duration	0:05:00	
Sampling Rate	R - R Interval	
Energy Expenditure	6	Kcal
Number of Heart Beats	306	beats
Minimum R-R interval	900	ms [67 bpm]
Average R-R interval	989	ms [61 bpm]
Maximum R-R interval	1066	ms [56 bpm]
RLX baseline	22	ms
Standard Deviation	32.4	ms
Max / min ratio	1.2	
Weighted RR Average	990	ms
SD 1	24.6	ms
SD 2	38.4	ms
RMSSD	34.8	ms
PNN 50	5.6	%
Total Power [0.00 - 0.40Hz]	1512.7	ms ² /Hz
VLF [0.00 - 0.04Hz]	976.1	ms ² /Hz [64.5%]
LF [0.04 - 0.15Hz]	66.6	ms ² /Hz [4.4%]
HF [0.15 - 0.40Hz]	470.1	ms ² /Hz [31.1%]
LF / HF ratio	14.2	%

Table 2 7分間の連続加算作業時における心拍変動について、RR間隔の最小値、最大値、平均値ならびに各々の心拍数を示す。また心拍変動を周波数分析したときに見られるLF成分、HF成分のパワースペクトル値及びLF/HF比を示す。安静時のLF/HF比と比較すると連続加算作業により交感神経活動が高くなっていることを示している。

Data	Value	Unit
Duration	0:07:00	
Sampling Rate	R - R Interval	
Energy Expenditure	11	kcal
Number of Heart Beats	512	beats
Minimum R-R interval	758	ms [79 bpm]
Average R-R interval	848	ms [71 bpm]
Maximum R-R interval	940	ms [64 bpm]
RLX baseline	32	ms
Standard Deviation	36.4	ms
Max / min ratio	1.2	
Weighted RR Average	850	ms
SD 1	36.6	ms
SD 2	36	ms
RMSSD	51.9	ms
PNN 50	19.1	%
Total Power [0.00 - 0.40Hz]	899.7	ms ² /Hz
VLF [0.00 - 0.04Hz]	443.5	ms ² /Hz [49.3%]
LF [0.04 - 0.15Hz]	144.8	ms ² /Hz [16.1%]
HF [0.15 - 0.40Hz]	311.4	ms ² /Hz [34.6%]
LF / HF ratio	46.5	%

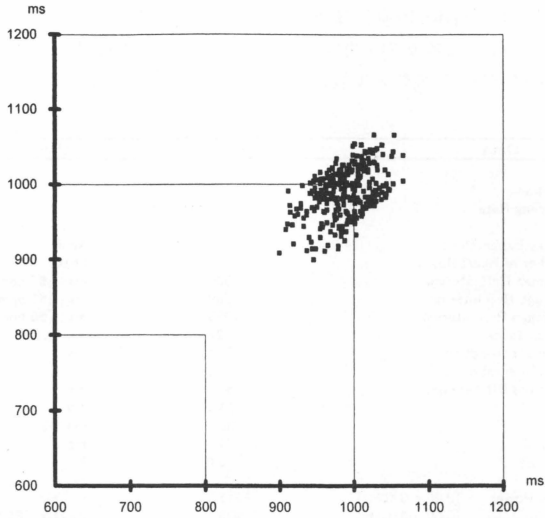


Fig.3 安静時に5分間記録した心電図のRR間隔についての散布図を示す。RR間隔 n を X 軸に, RR 間隔 $n+1$ を Y 軸に 1 拍ずつずらしてプロットした。RR 間隔の平均値989ミリ秒を中心に分布している。

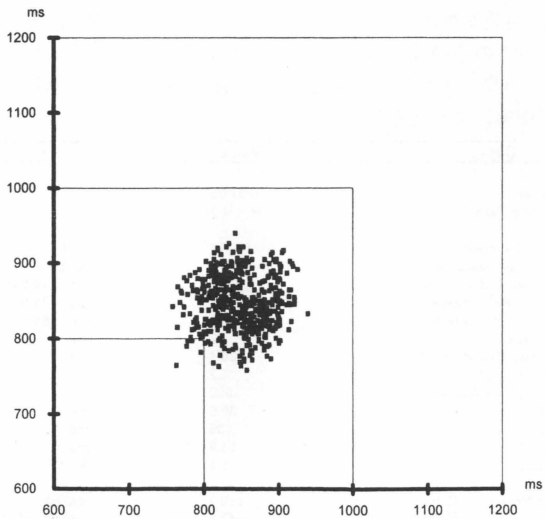


Fig.4 連続加算作業負荷時に7分間記録した心電図のRR間隔についての散布図を示す。RR 間隔の平均値848ミリ秒を中心に分布している。安静時と比較して心拍数が増加しRR 間隔の短縮が認められる。

山口：心拍変動による精神負荷ストレスの分析

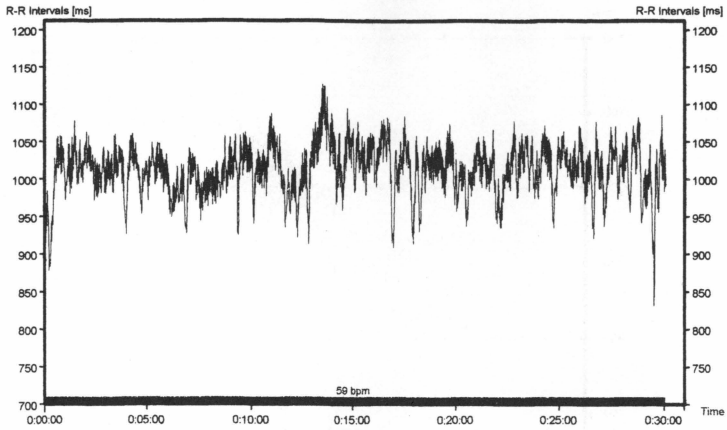


Fig.5 開眼安静時における30分間の心拍変動記録を示す。図の縦軸はRR 間隔、横軸は経過時間を示す。

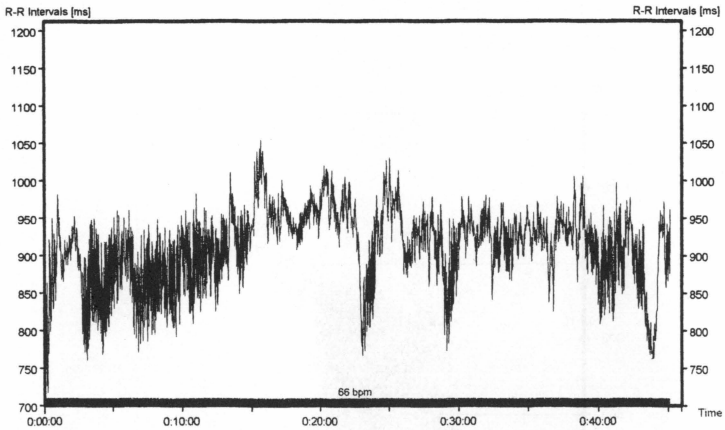


Fig.6 運転行動時における45分間の心拍変動記録を示す。図の縦軸は心電図のRR 間隔、横軸は経過時間を示す。RR 間隔の顕著な低下は、運転時の緊張状態を示す。

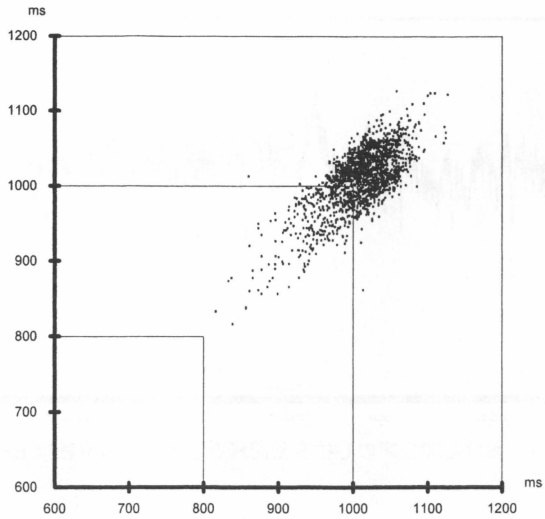


Fig.7 安静着座位で30分間記録した心電図のRR間隔についての散布図を示す。RR間隔 n を X 軸に, RR 間隔 $n+1$ を Y 軸に1拍ずつずらしてプロットした。RR 間隔の平均値 1011ミリ秒を中心に分布している。

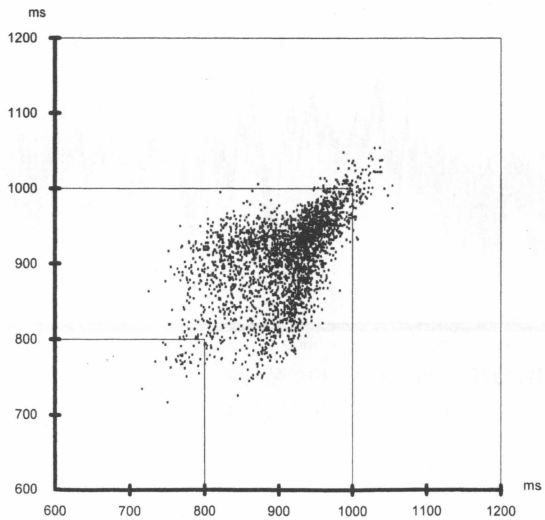


Fig.8 運転行動時に45分間記録した心電図のRR間隔についての散布図を示す。RR 間隔の平均値は908ミリ秒である。安静時と比べてRR 間隔が短縮している。

Table 3 安静時及び運転行動時における RR 間隔時系列の周波数分析結果を示す。全体的には安静時の交感神経活動が高く、運転時はむしろリラックスしている。

CONTROL			
Total Power	[0.00 - 0.40Hz]	2001.1 ms ² /Hz	
VLF	[0.00 - 0.04Hz]	1362.4 ms ² /Hz	[66.6%]
LF	[0.04 - 0.15Hz]	374.2 ms ² /Hz	[18.7%]
HF	[0.15 - 0.40Hz]	294.6 ms ² /Hz	[14.7%]
LF / HF ratio		127.1 %	
DRIVING			
Total Power	[0.00 - 0.40Hz]	1366.5 ms ² /Hz	
VLF	[0.00 - 0.04Hz]	851.8 ms ² /Hz	[63.7%]
LF	[0.04 - 0.15Hz]	169.8 ms ² /Hz	[12.7%]
HF	[0.15 - 0.40Hz]	315 ms ² /Hz	[23.6%]
LF / HF ratio		53.9 %	

め RR 間隔が減少したことを示している。一方、15分から20分にかけて平均値レベルをこえている部分は RR 間隔が増加し、比較的にリラックスした状態にあったことを示している。こうした多様な RR 間隔時系列では連続的なパワースペクトル分析をおこない、LF 成分や HF 成分の変化を求める必要があると思われる。

以上の安静時と運転行動時それぞれの RR 間隔について散布図を示したのが Fig.7と Fig.8である。両方比較しても明らかなように運転行動により RR 間隔の短縮が認められた。さらに運転行動時の散布図に見られる特徴として908ミリ秒を中心とした分布に安静時の分布が一部くっついた形状になっていることである。これは運転が緊張した状態ばかりでなく、時にはリラックスした時もあったことを示しており、前述した3分から15分間の RR 間隔レベルの上昇が反映したと考えられる。

Table 3に示すように LF 成分は安静時の18.7% から運転時は12.7% に減少し、HF 成分は14.7% から23.6% へと増加した。LF/HF 比は127.1% から53.9% へと低くなった。

従って、今回の結果は安静時においては、むしろ交感神経活動が高く、運転時は時々交感神経活動が高くなることはあったとしても、全体的には副交感神経活動の優勢なリラックスした状態だったと考えられる。

以上の連続加算作業と車の運転という異なるタイプの精神負荷時の心拍変動をテレメータ方式により記録し、RR 間隔の分析をおこなったが、いずれの場合も

信頼にたるデータが得られた。特に心拍変動のパワースペクトル分析により得られる LF 成分や HF 成分はそれぞれ交感神経活動や副交感神経活動の指標として、また LF/HF の比は交感神経活動の指標として考えられている。従って、LF 成分、HF 成分及び LF/HF 比はストレス研究に極めて有効な指標であり、メンタルヘルスへの応用なども試みられている⁽⁶⁾。

参 考 文 献

- (1) 水野鉄雄, 山口昌樹, 吉田博: 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になりうるか YAMAHA MOTORTECH-NICAL REVIEW. 2002.
- (2) 山口昌樹, 高井規安: 唾液アミラーゼ活性によるストレスモニタ BIO INDUSTRY. 19 (20) 20-25, 2002
- (3) 林博史編集: 心拍変動の臨床応用—生理的意義, 病態評価, 予後予測— 2007 医学書院
- (4) 山口勝機: 唾液アミラーゼ活性に対するレモンの香りの効果. 志学館大学人間関係学部研究紀要 第30巻 第1号 19-26, 2009.
- (5) Pagani M. Furlan R. Pizzinelli P. et al : Spectral analysis of R-R and arterial variabilities to assess sympatho-vagal interaction during mental stress in humans. J Hypertens 7(Suppl 6): S14-S15, 1989
- (6) 吉岡利忠, 小林康孝他: 心拍の動揺から見た精神的作業負荷の様相. 疲労と休養の科学 Vol.16 No.1 27-38, 2001.