九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

生活環境評価指標としての心拍変動性の評価方法に関する研究 : 外因性及び内因性刺激の自律神経応答に及ぼす相互作用の検討

石橋, 圭太

https://doi.org/10.11501/3168350

出版情報：九州芸術工科大学, 1999, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第 3 章
物理的環境要因と精神的要因に対する自律神経応答の相互作用の検討

3.1.　はじめに

自律神経系は、温熱や光や音といった我々を取り巻く物理的環境要因による外因性の刺激のみならず、我々の精神活動に由来する内因性の刺激にも反応する。これら外因性と内因性のいずれかの刺激に対する HRV の応答は多くの実験から報告されているが、HRV の応答から我々の生活環境を総体的に評価する為には、これら質の異なる刺激に対する相互作用が検討されるべきである。第 3 章(本章)ではこの観点において、物理的環境要因により外因性の刺激に曝されている中での内因性の刺激としての実験的課題を用いた精神負荷に対する HRV への影響を検討した。

従来からの自律神経系の働きに対する考え方として、その働きの基調は副交感神経によって作られ、交感神経は必要に応じてアクセントをつけているというものがある(時実, 1970)。これは自律神経の応答から生活環境を評価する上で基礎的な概念として位置付けられるものであり、HRV を解析する利点として、交感神経と迷走神経の拮抗作用により決定される心拍数からではみることのできない自律神経系の働きの基調に対する考察ができることである。これは HRV において薬理遮断による実験から、椅座位もしくは仰臥位安静では HF 成分と LF 成分の両方が atropine によりほぼ消失することが確認されている(Hayano et al., 1991; 早野, 1998)。しかしながら、副交感神経による

自律神経の基調をみるためには、第 2 章で確認された副交感神経活動の指標である HF 成分に対する測定時の呼吸の影響を考慮なければならない。Grossman et al. (1991)は、HF 成分を迷走神経活動の指標として用いるのであれば、HRV を測定する際に被験者の呼吸をある一定のパターンに統制させることが推奨しているが、同時に、被験者が他のタスクに従事しているときに呼吸統制が難しいことも指摘している。

そこで本実験では、谷口ら(1995)が提唱した心拍数の呼吸性変動係数(Respiratory coefficient of variation: CV_{RESP})を迷走神経活動指標として用いた。これは心拍変動と呼吸曲線のそれぞれの時系列データの相互相関関数の最大値(r-RESP)から算出されるもので、この相互相関は算出に用いられる 2 つの変数のそれぞれの変動の大きさに依存しない。また CV_{RESP} は呼吸と心拍変動との線形結合度から心拍数の呼吸性の変動を選択的に推定されるので、呼吸の変化による影響を受けにくいとされた。第 2 章において、この r-RESP に対する有用性を検討し、呼吸周期が 3 から 5 秒の範囲で一回換気量が被験者の肺活量に対して 10 から 30%の範囲内であれば安定した相関係数を示した。

本実験では、外因性と内因性の刺激による相互作用を検討するために、室温と光源の色温度と騒音を組み合わせた複合環境を設定し、これら物理的環境要因による外因性の刺激に曝された中での実験的課題による精神作業に対する自律神経系の応答を CV_{resp} を用いて評価した。

3.2. 方法

3.2.1. 被験者

被験者は健康な男子学生 7 名(平均年齢 23.1 ± 1.25 歳)であり、身長、体重、及び肺活量は、それぞれ 170.4 ± 4.42 cm、57.7 ± 4.56 kg、及び 3482 ± 440 ml (平均 ± 標準偏差)であった。被験者の実験時の着衣は T シャツ、短パンとした。この着衣による熱抵抗は 0.18 clo と概算された(ASHRAE Thermal Comfort Program Ver. 1.00)。被験者には、実験開始 2 時間前から、飲食、喫煙、及び運動を控えるよう教示した。

3.2.2. 実験条件

環境条件は室温と照明と音の 3 要因から構成され、これら環境要因をそれぞれ 3 水準で変化させた計 27 条件であった。室温条件は比較的中立温度とされる 28°C を中心に、低温域である 21°C と高温域である 35°C を用い、相対湿度はすべて 50%に設定した。照明条件は、3 種類の蛍光灯を用いて 3000K、5000K、及び 7500K の光源の色温度を用い、被験者の目の高さでの水平面照度は 700lx に設定した。音条件は、被験者にヘッドホンを装着させただけで音を提示せず実験室内の騒音のみが聞こえる条件と、ヘッドホンから 5dB(A) のホワイトノイズを提示する条件と 10dB(A)のホワイトノイズを提示する条件の 3 水準に設定した。実験室内の騒音は主に空調によるものであったが、室温条件間に騒音レベルの有意な差はみられなかった(21°C 条件時騒音レベル, 44.4 ± 0.84; 28°C 条件, 44.2 ± 1.02; 35°C 条件, 44.3 ± 1.26 dB(A) (平均 ± 標準偏差))。これら環境条件は以前の研究(石橋, 1998)と同じであり、被験者は各 27 条件を一回ずつ行った。環境条件の順番は被験者ごとにランダムに行った。

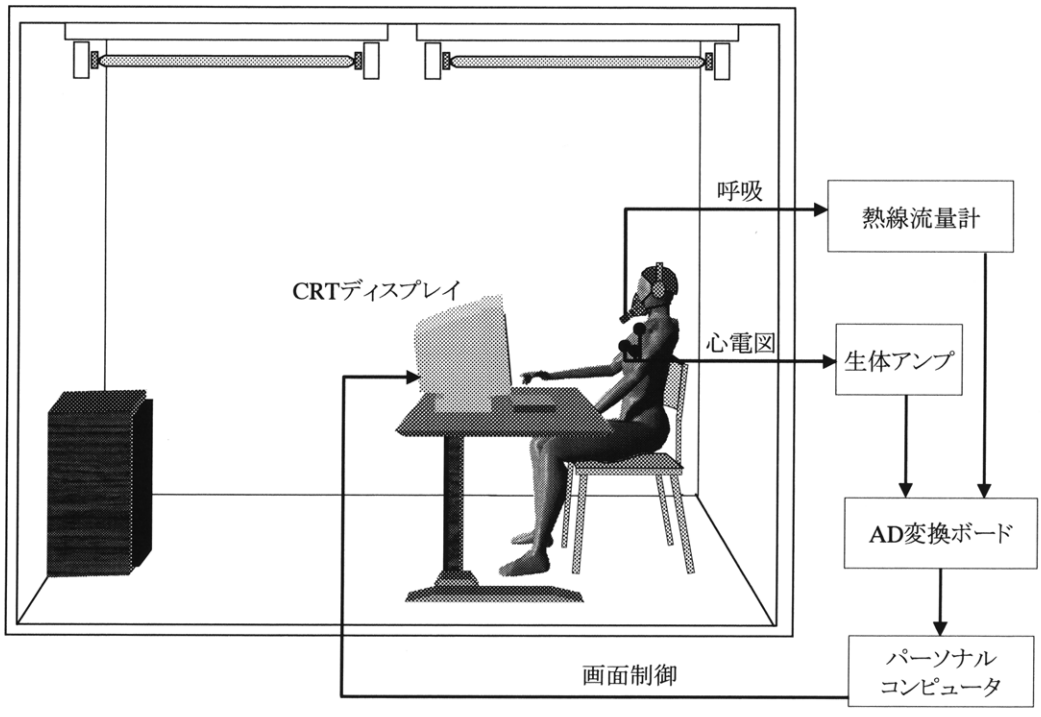
本実験で用いた精神作業は CNV(Contingent negative variation: 随伴性

陰性変動)測定時の弁別反応時間課題であり、課題中は脳波にアーチファクトとして現れる眼球運動を減らすために注視点を見るように被験者に教示し、また同じ理由で被験者のまばたきを抑制させた。

3.2.3.　実験手順

実験は二部屋の人工気象室(九州芸術工科大学 特殊生態実験棟 ホモトロン No.4 と No.5)を用いて行われた。一方の部屋を実験室に入る前に安静時間を設けるための前室(No.5)とした。前室は、温度 28°C、相対湿度 50%に保たれており、被験者は実験開始 30 分前から入室し、そこで椅座位安静を保った。その後、あらかじめ各環境条件に設定された実験室(No.4)へ移動した。

実験室入室後 2 分目から音の提示が始まり、13 分目から精神作業を開始した。精神作業は 81 試行の弁別反応時間課題からなり、約 20 分間連続で行われた。HRV の測定は精神作業の前後と作業中に行い、作業中は作業開始 5 分目、12 分目、及び 19 分目から測定した。精神作業の前後には、被験者の呼吸を第 2 章と同じ方法で呼吸周期を 4 秒に、被験者の肺活量に対して 20%の一回換気量に統制させた。第 2 章で言及したように、被験者にあらかじめこの呼吸統制の方法に十分なれるように練習させた。図 3.1 に実験室と実験装置の概要、及び測定中の被験者の状態について、図 3.2 に実験室でのタイムスケジュールを示す。



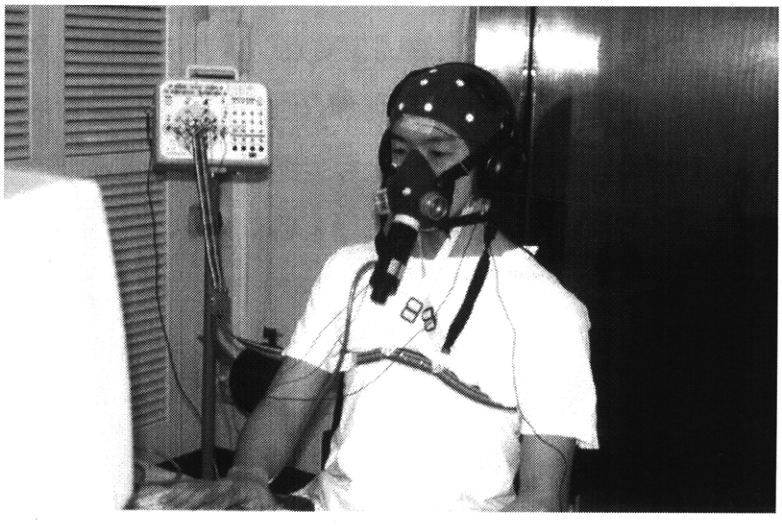


図 3.1　実験室及び実験装置の概要(上図)
精神作業遂行中の被験者(下図)

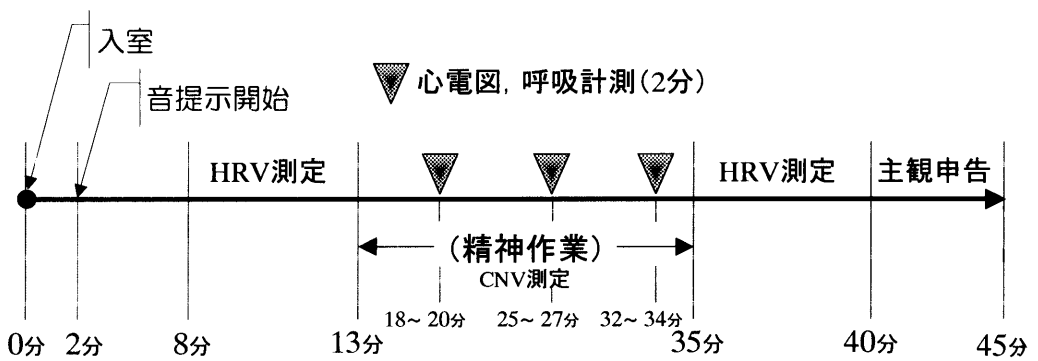


図 3.2　実験室でのタイムスケジュール

3.2.4.　データの記録と解析方法

心電図、及び呼吸の測定、並びに記録方法は第 2 章とほぼ同じであり、生体アンプ(日本電気, EE5518)と熱線流量計(ミナト医科学, RF-2)が 2 章とは異なる。また熱線流量計により測定された呼吸曲線は室温条件により影響されるため、シリンダーを用いて各室温条件での 2 リットルの空気を流量計に通過させて得られた流量との一次回帰によって補正した。

谷口ら(1995)の報告をもとに、式 2.1、及び式 2.2 に示すように、心拍変動の時系列と呼吸の時系列との相互相関関数から呼吸性相関係数(r-RESP)及び呼吸性変動係数(CV_{RESP})を算出した。本実験で精神作業の前後、及び精神作業中を含めた実験を通して用いた 3 つの指標は、心拍変動全体の変動係数である CV_{IHR} と、これに相関係数 r-RESP を乗じ呼吸性の変動のみを選択的に推定した CV_{RESP} と、心拍変動全体の変動係数から呼吸性の変動を除いた $CV_{IHR}-CV_{RESP}$ である。

一方、HF 成分、及び LF 成分は被験者の呼吸を統制させた精神作業の前後のデータからのみ算出した。10Hz 補間で作成した時系列データ 512 点から一次トレンドを除去した後 FFT によりスペクトル推定を行いパワースペクトルを求め、この心拍変動スペクトルの 0.176～0.332Hz の区間を積分したものを HF 成分とし、0.039～0.137Hz の区間を積分したものを LF 成分とした。

3.2.5.　統計処理

結果は平均値 + 標準誤差で示す。室温(21、28、及び 35°C)、光源の色温度(3000、5000、及び 7500K)、騒音(0、5、及び 10dB(A))それぞれ 3 水準と、5 水準の測定区間(精神作業前、精神作業中 1, 2, 3、及び精神作業後)、及び 7 水準の被験者を要因にした、5 元配置の分散分析を用い。有意性の危険水準は 0.05 以下とした。

3.3. 結果

3.3.1. 心拍数

分散分析の結果、心拍数において、高温環境下の心拍数の増大、及び、寒冷環境下での心拍数の減少を反映した室温($F [2, 12] = 38.38$, $p < 0.0001$)の主効果と、精神作業の前後と比較して精神作業中の心拍数の増大を反映した測定区間($F [4, 24] = 8.55$, $p < 0.001$)の主効果が有意であった。一方、この精神作業中の心拍数の増大も室温条件毎に異なっており、心拍数が高い水準にあった高温環境下に精神作業による心拍数の増大は大きく、また低い水準にあった低温環境下において心拍数の増大は小さかった。これら室温条件毎の異なる心拍数の応答を反映して、室温と測定区間の交互作用($F [8, 48] = 6.40$, $p < 0.0001$)は有意であった。しかしながら、光源の色温度($F [2, 12] = 0.03$, N.S.)、及び騒音($F [2, 12] = 1.27$, N.S.)の主効果は有意ではなかった。図 3.3 に、心拍数の室温と測定区間の有意な交互作用のグラフを示す。

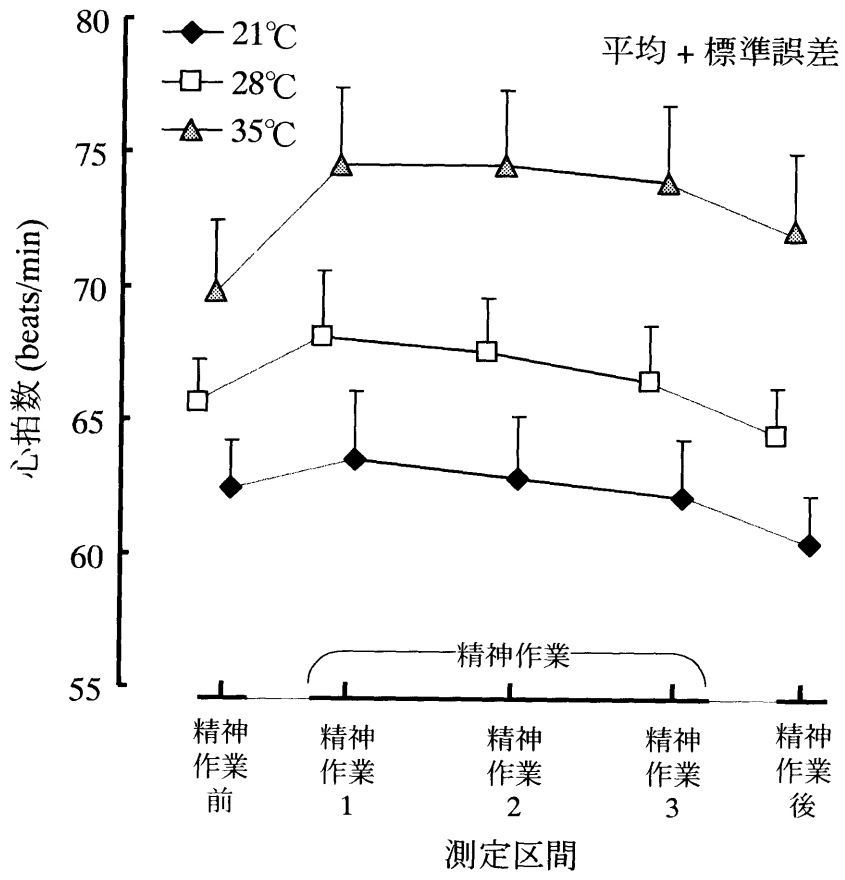


図 3.3　心拍数における室温と測定区間の交互作用

($p < 0.0001$)

3.3.2.　変動係数(1) - CV_{IHR} -

5 元配置の分散分析の結果、心拍変動の変動係数である CV_{IHR} において、室温($F [2, 12] = 7.06, p < 0.01$)の主効果と精神作業の前後と比較して精神作業中の CV_{IHR} の増大を反映した測定区間 ($F [4, 24] = 9.48, p < 0.01$)の主効果が有意であった。一方、光源の色温度($F [2, 12] = 1.50$, N.S.)、及び騒音($F [2, 12] = 0.60$, N.S.)の主効果は有意ではなかった。図 3.4 に CV_{IHR} における各室温条件毎の測定区間に対する変化を示す。

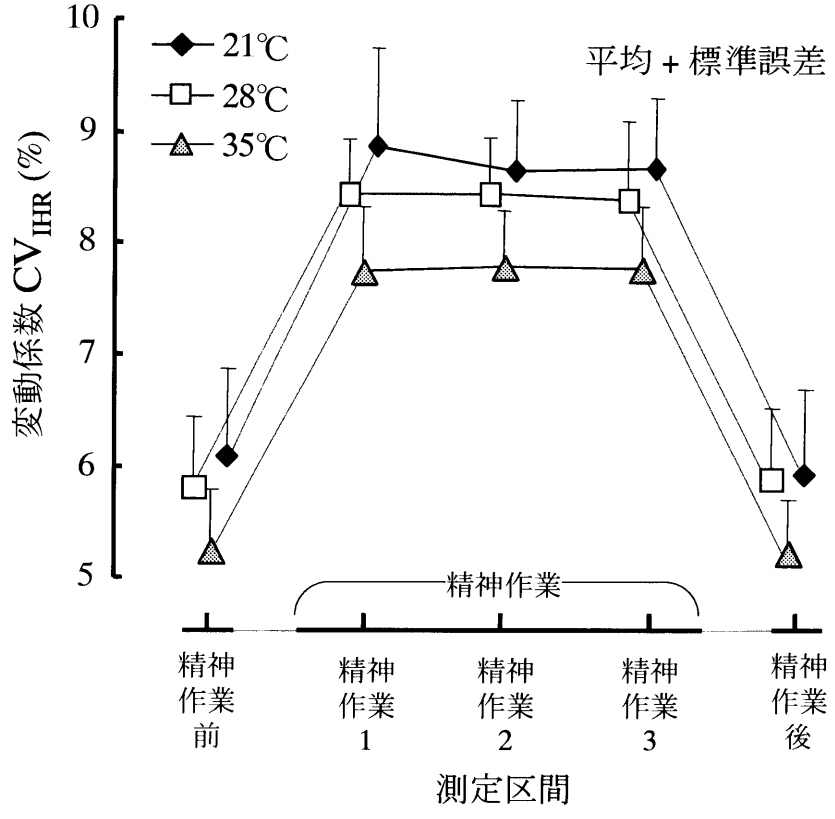


図 3.4　CV_{IHR} の各室温条件毎の測定区間に対する変化。
室温条件間($p < 0.01$)と測定区間($p < 0.01$)に主効果

3.3.3.　変動係数(2) - CV_{RESP} -

心拍変動の呼吸性の変動係数である CV_{RESP} においては、分散分析の結果、室温(F [2, 12] = 18.25, p < 0.001)の有意な主効果が見出されたが、測定区間(F [4, 24] = 0.78, N.S.)、光源の色温度(F [2, 12] = 0.85, N.S.)、及び騒音(F [2, 12] = 0.04, N.S.)の主効果は有意ではなかった。図 3.5 に CV_{RESP} における各室温条件毎の測定区間に対する変化を示す。

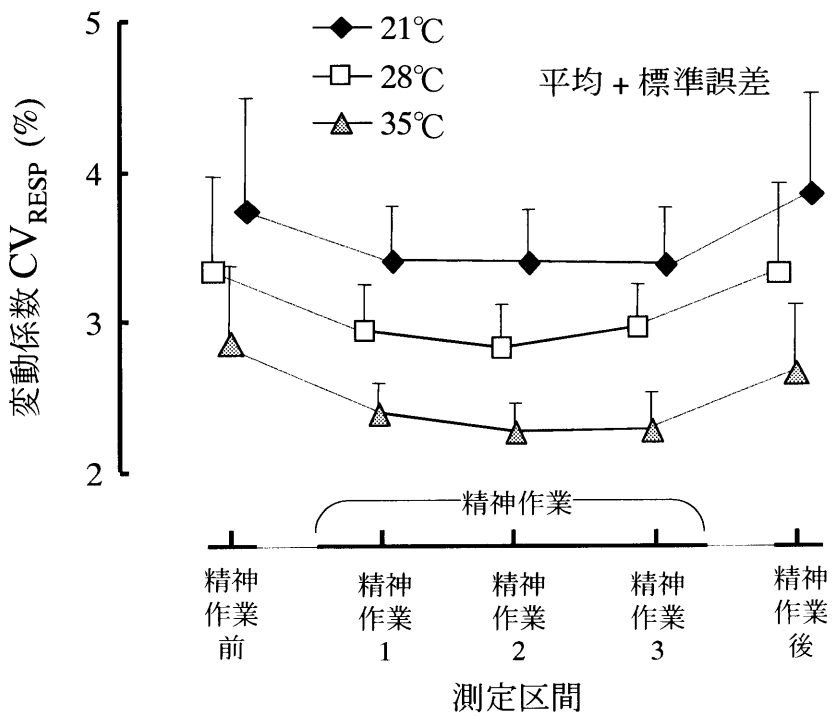


図 3.5　CV_{RESP} の各室温条件毎の測定区間に対する変化。
室温条件間(p < 0.001)に主効果

3.3.4.　変動係数(3) - $CV_{IHR}-CV_{RESP}$-

心拍変動の全体の変動係数から呼吸性の変動係数を引いた$CV_{IHR}-CV_{RESP}$において、分散分析の結果、精神作業の前後と比較して精神作業中の$CV_{IHR}-CV_{RESP}$の増大を反映した測定区間(F [4, 24] = 44.17, $p < 0.0001$)の有意な主効果が見出されたが、室温(F [2, 12] = 0.54, N.S.)、光源の色温度(F [2, 12] = 0.38, N.S.)、及び騒音(F [2, 12] = 1.56, N.S.)の主効果は有意ではなかった。図 3.6 に $CV_{IHR}-CV_{RESP}$の各室温条件毎の測定区間に対する変化を示す。

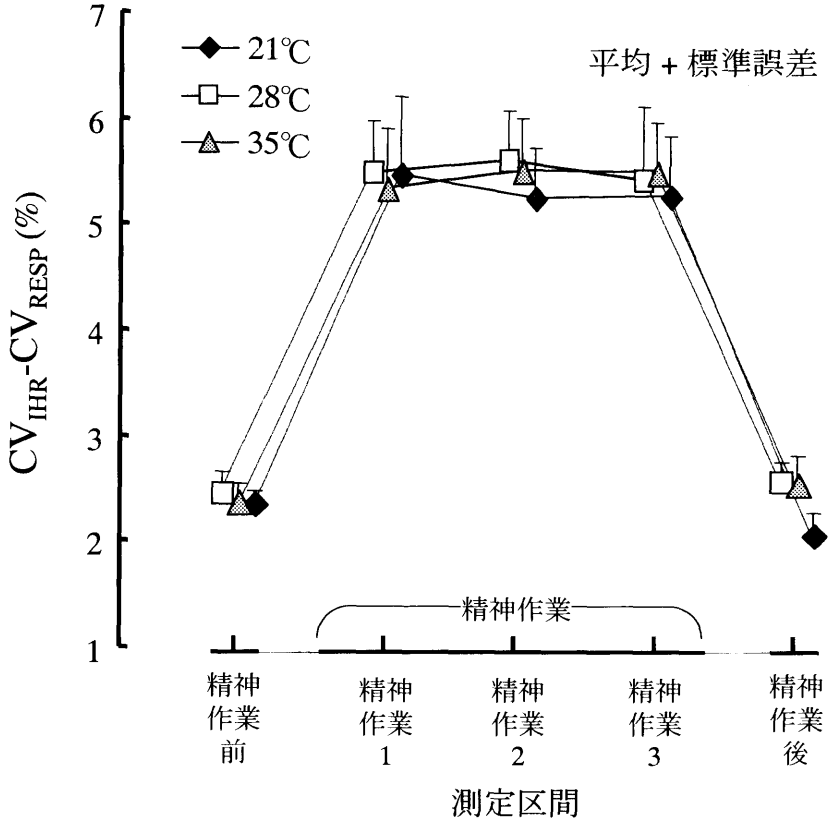


図 3.6　$CV_{IHR}-CV_{RESP}$の各室温条件毎の測定区間に対する変化
測定区間($p < 0.0001$)に主効果

3.3.5.　変動係数からの HRV と周波数解析からの HRV

本実験で用いた迷走神経活動を反映するとされる CV_{RESP} について、従来から用いられている HF 成分との比較から、個人内の相関においてすべての被験者に有意な相関係数が認められた(表 3.1)。同様に非呼吸成分としての LF 成分と心拍変動の全体の変動係数から呼吸性の変動係数を引いた $CV_{IHR}-CV_{RESP}$ との比較から、個人内の相関においてすべての被験者に有意な相関係数が認められた(表 3.2)。

また迷走神経活動の指標として平均心拍数に対して負の相関関係がみられるかについても同様に各被験者毎に回帰分析を行った結果、被験者 7 名中 1 名を除き、精神作業中、及び精神作業の前後ともに有意な負の相関係数が認められた(表 3.3)。

表 3.1　HF 成分と CV_{RESP} の個人内相関係数、及び平均値

被験者:	A	B	C	D	E	F	G	平均 (標準偏差)
作業前後 (n = 54)	0.89 **	0.90 **	0.84 **	0.54 **	0.89 **	0.79 **	0.91 **	0.82 (0.13)

** $p < 0.01$

表 3.2　LF 成分と $CV_{IHR}-CV_{RESP}$ の個人内相関係数、及び平均値

被験者:	A	B	C	D	E	F	G	平均 (標準偏差)
作業前後 (n = 54)	0.62 **	0.90 **	0.78 **	0.87 **	0.76 **	0.66 **	0.59 **	0.74 (0.12)

** $p < 0.01$

表 3.3　心拍数と CV_{RESP} との個人内相関係数、及び平均値

被験者:	A	B	C	D	E	F	G	平均 (標準偏差)
作業前後 (n = 54)	-0.64 **	-0.69 **	-0.69 **	-0.36 **	-0.34 **	-0.48 **	-0.18	-0.48 (0.20)
作業中 (n = 81)	-0.73 **	-0.66 **	-0.49 **	-0.38 **	-0.37 **	-0.46 **	-0.27 *	-0.48 (0.16)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

3.3.6.　作業中の被験者の呼吸パターン

表 3.4 及び、表 3.5 に各被験者の作業中の平均呼吸周期と一回換気量を示す。被験者毎に、呼吸周期、及び一回換気量の違いが見られたが、被験者内において安定した呼吸パターンを示していた。これら被験者毎に異なった呼吸パターンではあったが、第 2 章において検討した呼吸パターンの変化によらずに安定した r-RESP を示した呼吸周期(3 から 5 秒)及び一回換気量(10 から 30%)の範囲内にあったと思われる。

表 3.4　被験者毎の作業中の平均呼吸周期、及び平均値

被験者:	A	B	C	D	E	F	G	平均
呼吸周期 (秒)	2.98	4.61	4.66	5.22	4.21	3.70	4.05	4.21
(標準偏差)	0.22	0.44	1.17	0.90	0.70	0.54	0.52	0.97

表 3.5　被験者毎の作業中の平均一回換気量、及び平均値

被験者:	A	B	C	D	E	F	G	平均
一回換気量 (%)	14.4	16.5	21.2	19.5	17.9	15.5	16.2	17.3
(標準偏差)	0.90	3.02	4.71	3.72	5.20	2.29	1.52	4.03

3.3.7.　反応時間と正解率

分散分析の結果、弁別反応時間課題の反応時間において測定区間の主効果のみが認められ($F[2, 10] = 5.29, p < 0.05$)、その他の要因に対する主効果は有意ではなかった。一方、正解率においては、すべての要因に対して有意な主効果は見出されなかった。

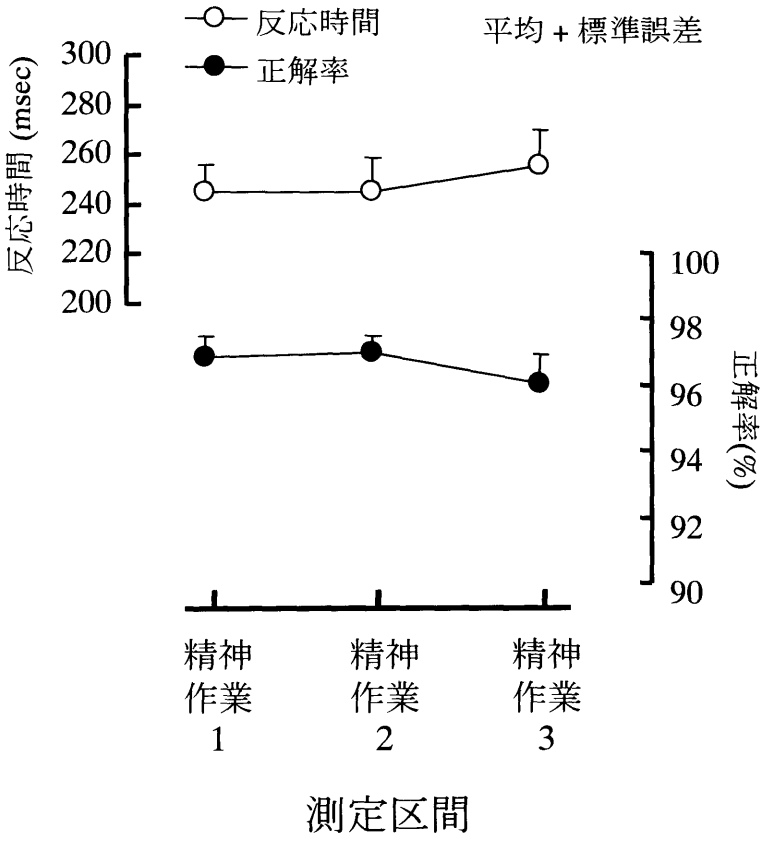


図 3.7　弁別反応時間課題の測定区間に対する反応時間と正解率の変化
反応時間において測定区間($p < 0.05$)に主効果

3.4. 考察

本実験では、前の研究(石橋, 1998)と本実験で用いた物理的環境要因の中で、統計的に最も影響の強い環境要因であった温熱要因に焦点をあて、精神作業中とその前後での測定から、環境要因に曝された中での精神作業時の HRV から外因性の刺激と内因性の刺激との相互作用について検討した。

室温による影響を心臓血管系の反応から見ると、高温に曝された場合、皮膚からの放熱を促進させるために血管が拡張し、静脈還流が減少する。これによる一回拍出量の減少、及び血圧の低下に対して圧受容体反射を介して心拍数が増大する。この室温による心拍数の変化に対して、Hasebe et al. (1995)は、HRV の変動係数から考察し、作用温度 26°C に対して 30°C における $CV_{R\text{-}R}$ の減少を、また作用温度 20°C における $CV_{R\text{-}R}$ の増大を示した。同様の結果は入來ら(1993)によっても報告されており、寒冷環境下に対しては迷走神経活動の亢進を示唆している。本実験で用いた CV_{IHR} は瞬時心拍数の変動係数であり、一般的に用いられている連続する 100 個の RR 間隔の変動係数である $CV_{R\text{-}R}$ とは算出法が異なるが、精神作業前の安静時においては $CV_{R\text{-}R}$ の正常値(平田と片山, 1991)と同様の値を示した。この CV_{IHR} において本実験の結果からは、室温条件間の有意な主効果が認められ前述の Hasebe et al. (1995)と同様の結果を示した。しかしながら、$CV_{R\text{-}R}$ は HF 成分と LF 成分の両方に加算的に影響を受けるとされ(早野, 1988; 横山ら, 1993)、交感神経と迷走神経の両方の寄与を含んでいることが報告されている。本実験で用いた CV_{RESP} は、HRV の周波数解析における HF 成分に相当し、呼吸と同期した心拍変動成分のみを反映する。従って、呼吸と同期する程度をあらわす r-RESP は呼吸性と非呼吸性の変動の割合を示すものであり、その係数は迷走神経遮断薬である atropine によって減少することが報告されている(Bernardi et al., 1989)。本実験の結果、CV_{RESP} の応答において室温条件間の有意な主効果が認められたが、この呼吸性の変動成分を取り除いた$CV_{IHR}-CV_{RESP}$においては室温条件

間に有意な差は見られなかった。従って、$CV_{R\text{-}R}$の解析から入來ら(1993)が示唆している寒冷環境下における迷走神経活動の亢進は、本実験の結果から心拍の変動成分のなかで呼吸性の変動(CV_{RESP})によることが明らかとなった。

一方、精神作業の影響について心拍数の変化から、精神作業中の顕著な増大が認められたが、精神作業の前後の変化からは環境要因による外因性の刺激と、精神作業による内因性の刺激の区別が困難であった。即ち、実験室入室後最初の測定(暴露開始約 10 分後)においてあらわれた温熱による影響が、精神作業のあと(暴露開始約 40 分後)にもそのまま拡大してあらわれたようにみえる。この精神作業の前後からの評価では、環境要因に曝されたなかでの精神作業による影響をみることは難しい。即ち、外部環境の変化に対する自律神経系による調節の利点は迅速な応答性であり(野坂, 1991; 嶋津, 1990)、この観点において、自律神経系に対する外因性の刺激と内因性の刺激の相互作用を検討する上で、両方の刺激が負荷されている状態での評価の必要性が示唆された。

精神作業中の心拍数の増大は、本実験で用いたような反応時間課題だけでなく、暗算課題や、スピーチタスクなど様々な精神負荷において報告されており(Berntson et al., 1994, Grossman et al., 1990)、本実験の結果からは、様々な環境要因に曝された中においても、精神作業中の心拍数の増大は、分散分析による精神作業を挟んだ測定区間の有意な主効果として明らかにされた。この精神作業中の心拍数の増大に対して HRV の応答から報告した研究において、第 2 章で言及した呼吸パターンの変化を考慮したものは少ない。しかしながら、呼吸による影響を考慮した実験による報告からは、精神作業中の HF 成分の減少と心拍数の増大が認められており、精神負荷による迷走神経活動の抑制が示唆されている(Berntson et al., 1994; Patwardhan et al., 1995b)。この精神的要因に対する HF 成分の減少は、その発生因において、精神作業による圧受容体反射感受性の低下が関与するとされ (平柳ら, 1996; Robbe et al., 1987)、この感受性の抑制は、圧受容体反射の中継核である延髄

の弧束核に対するさらに上位の中枢からの影響によるとされている(Berntson et al., 1993)。この内因性の刺激に対する HF 成分の減少は、呼吸による胸郭内圧の変化による機械的な血圧の変動に対する圧受容体反射を介在した RSA (Elghozi et al., 1991; Piepoli et al., 1997; Taylor and Eckberg, 1996)が抑制されていることによるものと思われる。しかしながら、本実験の結果からは、呼吸性の変動である CV_{RESP} の精神作業中の減少は有意ではなく、むしろ、精神作業中の心拍数の増大に寄与したとみられたのは、$CV_{IHR}-CV_{RESP}$の方であった。本実験における、CV_{RESP} の精神作業に対する減少は有意ではなかったが作業前後に測定した HF 成分との有意な相関係数から CV_{RESP} に対する迷走神経活動の指標としての妥当性は示されており、本実験の結果からは、反応時間課題に対する心拍数の亢進が主として迷走神経の抑制ではなく交感神経の亢進によってなされる(Pollak and Obrist, 1988)という可能性も考えられる。

精神作業中の心拍数の変化に対して概して一致した変化がみられた $CV_{IHR}-CV_{RESP}$は、精神作業中の一貫した増大を反映して、精神作業を挟んだ測定区間において有意な主効果が認められた。この$CV_{IHR}-CV_{RESP}$は、心拍数の変動係数から呼吸性の変動を取り除いたものであり、RSA 以外の主な心拍変動成分である MWSA を含んでいるものと思われ、本実験の結果からは $CV_{IHR}-CV_{RESP}$と LF 成分の間に有意な相関係数が示された。MWSA は、動脈血圧の交感神経性の変動である Mayer 波(Hyndman et al., 1971; Preiss and Polosa, 1974)が圧受容体反射を介して迷走神経と交感神経の活動の変動として出現するものと考えられており(Madwed et al., 1989)、交感神経と迷走神経の両方の活動を反映する(Pagani et al., 1986; Pomeranz et al., 1985)。従って、$CV_{IHR}-CV_{RESP}$には交感神経の活動のみならず、迷走神経の活動を反映する変動成分が含まれているものと考えられる。MWSA の発生因において、動脈血の Mayer 波の振幅が一定である場合、前述のように精神作業に対する圧受容体反射感受性の低下により、MWSA は抑制されるものと考えられる。

しかしながら、Pagani et al. (1989, 1991)は、暗算課題によるHRVの応答から、この圧受容体反射による経路ではなく、交感神経活動の亢進によるMWSAの増大を示唆しており、こちらの可能性もMWSAの発生因から十分に考えられる。本研究の結果における、$CV_{IHR}-CV_{RESP}$の精神作業中の一貫した増大は、Pagani et al. (1989)のLF成分の結果と一致しており、この精神作業中の一貫した交感神経活動の亢進は、Stroop課題による精神作業中において交感神経の節前繊維の支配をうける副腎髄質からの血中カテコラミン濃度を測定した侵襲的指標による評価からも同様の結果が報告されている(Freyschuss et al., 1988)。これらのことから、本実験における精神作業に対する$CV_{IHR}-CV_{RESP}$の応答において、作業中の心拍数の増大には主として交感神経活動の反映した結果であると考えられる。

これら環境要因に対する影響と精神作業による自律神経活動への影響をまとめると、心拍数の応答に対して最も影響を及ぼした要因である温熱と精神的要因による影響は、その変動係数であるCV_{IHR}において両方の要因に対する主効果として認められた。しかしながら、室温条件間の主効果はCV_{RESP}に、測定区間における主効果は$CV_{IHR}-CV_{RESP}$にそれぞれ分けられた。これらのことから、精神作業による負荷が加わった時の影響は、室温条件に関係なく交感神経主体によって調節されると思われ、一方、温熱曝露による影響は心臓の変時性調節に対して主として迷走神経によって調節されていることが呼吸性の変動成分であるCV_{RESP}によって示された。従って、外因性の刺激と内因性の刺激の自律神経活動に対する相互作用として、それぞれ異なった機序で心臓を調節していることが明らかとなった。従来からの報告では、自律神経系の働きの基調は副交感神経によって作られ、交感神経は必要に応じてアクセントをつけているという調節の機序があるが、本研究の結果は外因性の刺激としての環境要因に対する自律神経調節は主に副交感神経の活動を反映し、内因性の刺激としての精神作業に対する調節は主として交感神経の活動を反映していることが示唆された。即ち、物理的環境要因による外因性の

刺激に対して自律神経の基調を成す副交感神経に調節され、そのなかで精神的要因に対して交感神経が起動したことが示唆された。

本実験の結果は、3 つの環境要因が組み合わさった複合環境下において、その最も生体に影響を強く及ぼした室温の要因に注目したものに過ぎず、この影響に対して本実験の結果からは有意な主効果として見出されなかった光源の色温度や騒音が複雑に相互作用を及ぼしていることは、同じ環境条件を用いた以前の研究(石橋, 1998)の結果からも十分に示唆される。その中で本研究は、環境要因に曝された中での精神作業時の生理負担を評価する上での基礎的な反応を報告するものであり、興味深い結果を得た。一方、本実験の結果からは物理的環境要因による外因性の刺激として、迷走神経性の調節が行われている中での結果であり、外因性の刺激と内因性の刺激の相互作用を検討する上で、外因性の刺激に対して交感神経の起動がある中での精神的要因に対する更なる検討の必要性が示された。