

暗算の作業成績と生理的ストレス反応の関係

野村 国彦

要旨

暗算課題を精神的負荷として用いた場合、能動的な対処の仕方の違いが作業量変化に影響を及ぼすと考えられる。本研究では暗算に対する作業量特性として、平均回答数、課題実施中の回答数の増減傾向（トレンド）とトレンド周りの回答数の変動幅の3つを取り上げ、これら指標で生理的ストレス反応をどれだけ説明できるかについて検討を行った。これら作業量特性の指標を独立変数、生理指標である唾液アミラーゼ（sAA）あるいは心拍変動の各変数（LF, HF, LF/HF）を従属変数とした重回帰分析の結果、sAAに関しては作業量指標のうちトレンドで説明できること、心拍変動から推定した交感神経活動の指標であるLF/HFに関しては決定係数も低く、作業量指標からは説明が困難であることが示された。一方で副交感神経活動の指標であるHFに関しては作業量指標のうちトレンド周りでの回答数の変動幅で説明できることが示された。これら結果は、能動的な対処を必要とする精神的負荷の場合、作業量の特性からストレスの度合いを推定しうることを示し、生理的ストレス反応の個人差は対処の仕方に影響を受けていることを示唆している。

キーワード：精神的負荷、周波数解析、FFT、重回帰分析、クレペリンテスト

はじめに

過度な精神的負荷、いわゆるストレスが抑うつや心臓病を引き起こすことは良く知られている。後天的な心臓病は、食生活をはじめ生活に関わるさまざまな要素の相互作用によって発症する。社会生活を営むヒトにおいて、心理社会的ストレスや抑うつのある人は、ない人に比べ心筋梗塞になりやすい。中でも東洋人はおよそ2倍も心筋梗塞になりやすい[Rosengren, et al., 2004]。また、冠動脈性心疾患を患い抑うつがある人は、ない人に比べ予後が悪い[May, et al., 2009; Hoen, et al., 2010]。このような背景から、精神的負荷へのストレス反応の動態を理解すること、および簡易測定方法の確立は非常に重要な課題となっている。

ストレス反応は個人差が大きく、同じストレスに対して反応がさまざまであることは良く知られている。そのようなストレス反応を簡易に測定できるバイオマーカーとして唾液アミラーゼ（salivary alpha-amylase, sAA）活性が近年注目を集めている。sAAは、交感神経—副腎髄質系（Sympathetic nervous-adrenal medullary system, SAM）におけるノルエピネフリンの制御を受け、さらには交感神経の直接作用による制御も受けている。こ

の直接神経作用の影響による sAA は 1~数分と応答が短い。この系では、ストレッサーに対して大脳辺縁系から視床を介しての快・不快に関連したストレス反応が sAA に現れると考えられる。

精神的負荷は、能動的な対処を要する課題と受動的な刺激課題の大きく二つに分けられる。前者の例としては計算課題や認知課題など、後者は寒冷昇圧刺激や嫌悪・不快情動喚起映像刺激などが挙げられる。一過性の精神的負荷に対するストレス反応を調べる研究では、暗算課題 (mental arithmetic, MA) を課した研究が多く報告されている [梅野, ほか, 2006; 浜田, ほか, 2006; Skoluda, et al., 2015; Nater, et al., 2006; 藤原 余語, 2011; 萩野 谷 佐伯, 2012; 山田, 三宅, 大須賀, 2012]。sAA の動態を報告したものとして鷺野ら [2011] は、MA 後に有意に sAA が増加した一方で、心拍変動 (Heart rate variability, HRV) から求めた交感神経活動の指標が有意に低下していた。この結果から彼らは MA として用いたクレペリンテスト (Kraepelin Psychodiagnostic Test; KPT) が精神的負荷としての強度が低いと推察した。ここで、KPT とは、1 桁の足し算を数分間行う心理検査の 1 つである。また、鷺野らは、1 分毎にリセットする内田クレペリン精神検査 (Uchida KPT, U-KPT) の手順に従い 15 分間のみの KPT を精神的負荷として用いていた。また一方で、梅野らは、4 桁の整数の加算 [梅野, ほか, 2000] や 1000 から順次 17 を減算 [梅野, ほか, 2006] する 10 分間の MA では HRV から求めた交感神経活動の指標が有意に増加することを報告している。山田ら [2007] も同様に、MA 課題に対して HRV から求めた交感神経活動の指標が有意に増加したと報告した。彼らの研究では、KPT に比べ難易度の高い 1~3 桁の加算もしくは減算で構成された MATH と呼ばれる MA を 10 分間 1 セッションとし複数回行い、4 回目以降で交感神経活動が有意に増加したと報告されている。このことは、1~3 回目の MA では安静に比べ交感神経活動に有意な差がなかったことを示している。また、女子大学生に対して KPT による MA を行った Sugimoto ら [2009] の報告では、sAA だけでなく他の唾液中のストレスマーカーも有意な変化を示さなかったことを報告した。彼らは、U-KPT の手順に従い、2 つの 1 桁数字を足し合わせ、答えの下 1 桁の値だけを記入していき、1 分毎に改行するようにし、15 分を 1 セッションとする課題を 5 分間の休憩後にもう 1 セッション (計 2 セッション) 行った。この方法を用いた結果、若い女性に対しては U-KPT が精神的負荷強度として弱いと結論付けた。このように、KPT を用いた MA による生理的なストレス反応に関しては一貫した結果が報告されていない。

MA の難易度が低いことから、KPT を複数回行った場合、2 回目以降は慣れの効果が生じ、不快感が減少した結果 sAA 反応が低下することも予想される。また、MA を繰り返すことで精神的負荷としてストレスを増加させようとした先行研究では、MA が繰り返されることで主観的な疲労感などの上昇と相まって作業成績が向上することを報告している [山田, 三宅, 大須賀, 2012]。複数回の MA を行った場合、ストレス反応が蓄積・増加しているとすれば、作業量が低下すると考えられる。しかし、MA への慣れが生じていたとすれば、ストレス反応は初回ほど増加せずに作業できるのかもれしれない。

能動的な対象を要するあるストレスとしての課題，例えばMAのようなもの，が与えられた場合，課題に対する成績には個人差が生じる。さらにストレス反応にも個人差が生じる。この個人差が生じる背景には，課題を処理することに関わる能力差だけでなく，課題に取り組むモチベーションやそのときの気分，体調などが大きく影響を与えるものと考えられる。これまでの先行研究においては，個人差を取り扱う変数にとっての誤差要因としてとられ，平均値の差に注目する手法がとられてきた。そもそも，内田クレペリン精神検査は，個人特性を評価することを目的としている。実際，作業曲線などの回答量の時間変化は，個人差が大きい。このことから，KPTの回答量の時間変化とストレス反応には何らかの関係が表出すると考えられる。

一方，HRVに含まれる低周波（Low-Frequency, LF）成分は交感神経および副交感神経の両神経活動が反映され，高周波（High-Frequency, HF）成分は副交感神経活動が反映される [Akselrod, et al., 1985; Pagani, et al., 1986]。MA中のHRVからは，LF成分の増加，HF成分の低下，LF/HFの増加の全てあるいは一部が報告されている [梅野，ほか，2006; 浜田，ほか，2006; 山田 三宅，2007; 大竹，ほか，2003; 山口 勝，2010]。これら先行研究がHRVの結果において一貫していない理由として，ストレス反応に関する個人差および能動的対処を要する課題であることを考慮に入れると，実験対象にしたある集団は課題に積極的に取り組んだ結果大きなストレス反応が出る人が多かった，またある集団では積極的に取り組まないというストレスコーピングによりストレス反応が出ない人が多かったという集団の偏りの可能性も考えられる。この点については，MAの作業量に関する指標とHRVの諸変数との関係を検討することで明らかに出来るかもしれない。そこで本研究は，MAへの取り組み姿勢としての結果である作業量特性とストレス反応の関係を明らかにすることを目的とした。

方法

本研究では，精神的負荷として能動的対処を要するMAを用い，その作業量特性とストレス反応との関係を検討するために，20–21歳の健康な男子大学生12名を対象とした。本研究の趣旨と実験概要を書面と口頭にて説明した後に，実験参加者から承諾を得た上で本研究に参加してもらった。また，実験9時間前からは，激しい運動および喫煙，カフェインの摂取を控えるよう実験参加者をお願いした。本研究を遂行するに当たりヘルシンキ宣言および個人情報の適切な取扱いのための本学ガイドラインを遵守した。

プロトコール

本研究では，MAとしてKPTを用いた。KPT実施においては，内田クレペリン精神検査の手順に従った。1分間のステージを連続15ステージで1セッションになるよう行った。このセッションを5分間の休憩を挟み2回行った。計算課題には，1行に116個の1桁の整数が並んだ検査用紙を用い，隣り合う2つの1桁整数を足し合わせ，答えの下1桁の値だけを隣り合う2つの整数の間に記入し，1分毎の合図に従い改行するよう指示した。実施にあたり，テスト成績が公表されるなどの取り組み意欲にかかわる指示は行わなかった。

また、本研究ではより日常的な状態で行うために自然呼吸下で行った。

実験中の心臓自律神経活動からストレス反応を推定するため、心拍モニター（Polar社製、RS800CX）を用いてRR間隔（R-R interval, RRI）を測定した。また、SAMおよび交感神経の直接神経作用を介して唾液腺に作用したストレス反応を測るため、唾液アミラーゼモニター（ニプロ社製、DM-3.1）〔山口、金森、金丸、水野、吉田、2001；山口、花輪、吉田、2007；山口 昌., 2007〕を用いて、1回目のMA開始前（Pre）と1回目のMA終了直後（Post1）と2回目のMA終了直後（Post2）にsAAを測定した（図1）。

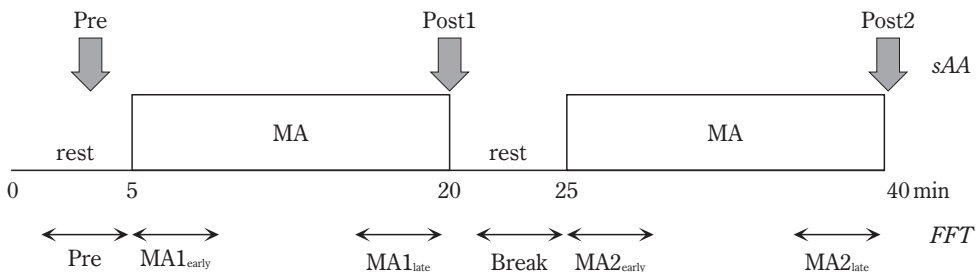


図1 実験手順とsAA採取タイミング、心拍変動のスペクトル解析区間

MA：クレペリンテスト（Kraepelin Psychodiagnostic Test; KPT）を用いた暗算課題を示しており、5分を挟んで2回行うよう内田クレペリン精神検査の方法に則った。唾液アミラーゼ（salivary alpha-amylase, sAA）の計測を下向き矢印が示すタイミングで行った。PreはMA開始1分以上前、Post1は1回目のMA終了時、Post2は2回目のMA終了時のsAA採取タイミングを示している。図下の左右両向き矢印は心拍変動のスペクトル解析として高速フーリエ変換を行った区間を示している。Pre：1回目MA直前、MA1_{early}：1回目MA開始直後、MA1_{late}：MA1終了前、Break：2回目MA直前、MA2_{early}：2回目MA開始直後、MA2_{late}：2回目MA終了前の128秒間を示している。

クレペリンテストの作業特性の評価方法

本研究で用いたU-KPTでは1分毎の回答数の変化を見ることができる。そこで、この作業量の特徴を示す指標として、まず15回分の回答数からの平均回答数（Quantity of Responses, QoR_{ave}）、15回分の回答数から回数を独立変数、回答数を従属変数としたときの回帰直線から回答数の増減傾向を示す傾きの回帰係数（slope）、さらにはこの回帰直線周りでの変動幅を示す偏差平方和からデータ個数で割った値の平方根をとった二乗平均平方根（root mean square, RMS）を求めた。

心拍変動のスペクトル解析

本研究では、ストレス反応として自律神経活動が変化するものと考え、HRVのスペクトル解析から心臓自律神経活動を推定した。

実験には日常的に不整脈を有する者は含まれていなかったため、心拍モニターにより記録されたRRI系列からR波の検出が正しくなされなかったと判断される心拍を削除した。本研究のスペクトル解析対象区間を1回目のMA開始前（Pre）、開始直後（MA1_{early}）終了直前（MA1_{late}）、2回目のMA直前（Break）、開始直後（MA2_{early}）終了直前（MA2_{late}）の計6区間とした（図1）。各解析区間で128秒間のデータに対して高速フーリエ変換（fast Fourier transform, FFT）を用いたスペクトル解析を行った。FFTを行うにあたり、

解析対象区間の時系列に含まれる d/c 成分を除去するために、R の LOWESS 関数を用いて、局所重み付けロバスト回帰平滑化曲線からの偏差を求め [Cleveland, 1979; Ruckstuhl, Jacobson, Field, & Dodd, 2001; Yoshiuchi, Quigley, Ohashi, Yamamoto, & Natelson, 2004], その後の分析用 RRI 系列とした。また、取得および抽出した不等間隔の RRI 時系列に対してスプライン補間を用い 8 Hz の再サンプリングで等時間間隔データに変換した。その後、1 次トレンドの除去およびハニング窓処理を施した。

スペクトル解析の結果からパワースペクトル密度を計算し、その後、心臓自律神経活動の推定を行うために、周波数範囲 0.05~0.15 Hz を LF 領域の成分、0.15~0.5 Hz を HF 領域の成分として、各周波数範囲内の積分値を求めた。また心臓交感神経活動の指標として LF/HF も求めた。

統計的分析

本研究では、MA の作業量特性の指標に関する 1 回目と 2 回目の比較に対する t-検定を用いた。また、本研究で用いた 3 つの作業量特性指標間の相関係数も計算した。

測定および解析タイミング間での差の検定として、1 回目の MA 直前と各セッション終了直後に測定を行った sAA については 3 群間の対比較を、RRI 系列から算出された各変数に関しては 6 回の測定値の各組合せの対比較をそれぞれ Tukey 法により多重比較検定した。統計的検定では、有意水準を 5% とした。

また、MA の作業量特性の指標とストレス反応との関係を検討するために重回帰分析を行った。本研究では、sAA を従属変数、MA の作業量特性の各指標を独立変数とした。また、各変数は、単位やスケールが異なることから変数を標準化した後に分析を行った。MA の作業量特性の指標と HRV の各変数との関係についても同様に行った。

結果

暗算の作業量特性

精神的負荷として U-KPT に従った MA を用いた本研究では、15 分間の MA 課題を 5 分間の休憩をはさみ 2 回行った。15 分間の総回答数に相当する QoR_{ave} 、セッション内での回答数の増減傾向（トレンド）を示す slope、およびトレンド周りでの変動幅を示す RMS の結果は図 2 に示す通りであった。 QoR_{ave} の平均と標準誤差は、1 回目の 53.1 ± 2.7 個から 2 回目の 60.1 ± 3.2 個へと有意に増加した ($P < 0.01$)。slope に関しては 1 回目の 0.10 ± 0.15 から 2 回目の -0.48 ± 0.11 へと有意に低下した ($P < 0.01$)。また、RMS に関しては、それぞれ 3.7 ± 0.4 個と 5.1 ± 0.8 個であり 2 回目に増加したものの有意差は認められなかった ($P = 0.06$)。

唾液アミラーゼおよび心拍変動の時間変化

sAA の結果は、統計的な有意差は見られなかったが、MA 前の平均値と標準誤差は 16.8 ± 3.6 kU/L、1 回目と 2 回目の MA 終了時はそれぞれ 24.1 ± 5.1 , 21.9 ± 4.8 kU/L であった。1 回目 MA 終了時は Pre よりも高くなり、2 回目 MA 終了時は 1 回目に比べ低下を示した (図 3 A)。

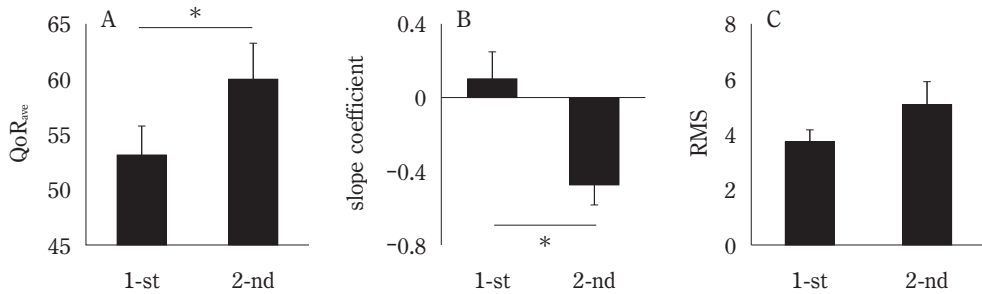


図2 暗算の作業量特性を示す平均回答数, 回答数のトレンドおよび変動幅

A: 平均回答数 (QoR_{ave}), B: 回答数の増減トレンドを示す傾き係数 (slope), C: トレンドを示す回帰直線周りでの偏差平方和の平均の平方根 (RMS)。なお, slope の値が負であることは回答数が減少するトレンドを意味する。
*: $P < 0.01$ を, 誤差バーは標準誤差を示している。

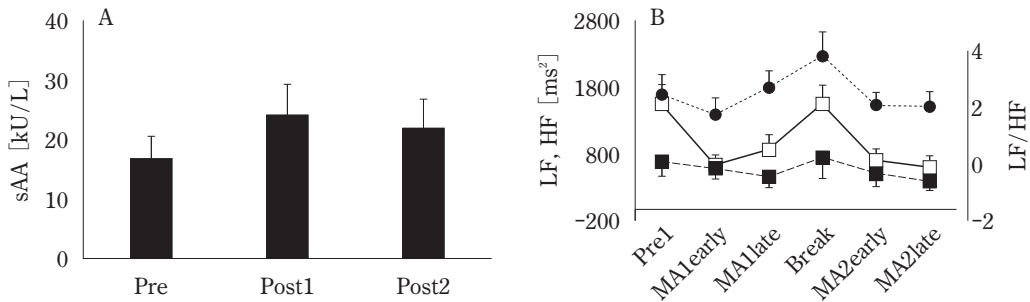


図3 自律神経活動推定値としての sAA と HRV 変数の変化

A: 各唾液採取時の唾液アミラーゼ (sAA) 活性, B: 心拍変動のスペクトル解析における各解析区間での LF/HF (黒丸点線), LF (白四角実線), HF (黒四角破線), についての平均値と標準誤差を示している。sAA については, 暗算終了時は暗算前 (Pre) よりも高く, 2 回目の暗算より 1 回目の暗算の終了時の方が高かった。LF/HF と LF の変化動態は似ており, 1 回目の暗算では暗算前半より後半で上昇し, 2 回目暗算では低下した。HF の変化動態は暗算 1 回目も 2 日目も前半より後半で低下した。また分散分析の結果, LF についてのみ時間の要因で有意差が確認された。

図3Bは心拍変動の解析の結果を示している。交感神経活動の指標である LF/HF と交感神経活動および副交感神経活動の両神経の影響を受ける LF 成分の時間的変化が同傾向であった。MA 中においては, 1 セッションの内の開始直後と終了前の LF/HF および LF 成分が 1 回目 MA 時には両変数ともセッション後半で増加したが, 2 回目 MA 時には低下した。また, MA 中よりも MA 前の安静状態の時の方が両変数とも高い値を示した。一方で, 副交感神経活動の指標である HF 成分については, MA 中に時間とともに低下した。また MA 前の安静に比べても MA 中の方が低かった。また, sAA および HRV 変数に関しての分散分析の結果, LF 成分のみ時間要因に有意差が認められた ($P < 0.05$) が, 多重比較検定では有意差は検出されなかった。

暗算の作業量指標と自律神経活動指標との関係

MA の作業量特性と sAA あるいは各 HRV 変数の関係性を評価するために重回帰分析を行った。その前に, 各作業量指標間での相関を評価した。その結果, 表 1 に示す通り各指標間

の相関係数は低かった。また、有意性検定の結果、有意性も認められなかった。

表1 暗算作業量指標の指標間の相関関係

	QoR _{ave}	slope	RMS
QoR _{ave}	—	-0.246 (-0.223)	-0.031 (-0.274)
slope	—	—	-0.010 (-0.142)

QoR_{ave}：1セッション15ステージにおいてステージ毎に達成した回答数の平均値、slope：1セッション中のステージを独立変数、各ステージの回答数を従属変数としたときの回帰直線から回答数の増減傾向（トレンド）を求めた傾き係数、RMS：slopeを求めたときの回帰直線とステージ毎の回答数との偏差平方和の平均の平方根、上段の相関係数が1回目の暗算、カッコ内の相関係数が2回目の暗算の結果である。また、全ての相関係数は統計的に有意とは認められなかった。

3つのMAの作業量指標を独立変数とし、sAAあるいはHRV変数を従属変数とした重回帰分析の結果、sAAを従属変数としたとき、slopeの標準偏回帰係数が1回目MAに関しては-0.520、2回目のMAに関しては-0.633と他の作業量指標よりも高かった。また2回目のMAに関しては、この標準偏回帰係数の有意性も認められ、決定係数が0.590と1回目比に2倍以上高かった。HRV変数を従属変数としたとき、LF/HFに関しては、どの指標の標準偏回帰係数も低く、決定係数は0.1未満であった。一方、LFあるいはHFを従属変数としたとき、2回目のMAに関しては、RMSの標準偏回帰係数がそれぞれ0.759、0.900と高く有意性も認められ、決定係数もそれぞれ0.754、0.874であった。一方で、1回目のMAに関しては、どの指標も標準偏回帰係数が低く、決定係数も0.1未満であった。

表2 唾液アミラーゼ活性と心拍変動に対する暗算作業量指標の標準偏回帰係数

	QoR _{ave}	slope	RMS	R ²
sAA	-0.021	-0.520	-0.036	0.267
	-0.232	-0.633*	-0.237	0.590
LF	0.178	0.004	-0.210	0.078
	-0.218	-0.150	0.759*	0.754
HF	-0.121	-0.084	0.204	0.060
	-0.118	0.055	0.900*	0.874
LF/HF	0.058	0.154	-0.207	0.067
	-0.065	-0.290	-0.211	0.099

sAA：唾液アミラーゼ活性、LF：心拍変動の低周波成分、HF：心拍変動の高周波成分、LF/HF：低周波成分の高周波成分に対する比、QoR_{ave}：1セッション15ステージにおいてステージ毎に達成した回答数の平均値、slope：1セッション中の回答数の増減傾向を示すトレンドを単回帰直線から求めた傾き係数、RMS：slopeを求めするための回帰直線とステージ毎の回答数との偏差平方和の平均の平方根、各生理的指標の行の上段が1回目の暗算時における暗算作業量特性指標の標準偏回帰係数で下段が2回目の係数、最右列は重回帰式の決定係数、表内の値が0.5を超えたところは太字で強調した。*；有意性検定における確率 $P < 0.05$ を意味している。

考察

本研究では、能動的な対処を必要とする MA を精神的負荷として用いた。この課題は15分間の KPT を5分間の休憩を挟み2回行う U-KPT に従うものであった。その結果、MA の平均回答数および1分毎の作業量の変動幅は2回目の MA で高い値を示した（それぞれ、 $P<0.01$, $P=0.06$ ）。MA の作業量の増減傾向を表すトレンドは2回目の MA で有意に低い値を示した（ $P<0.01$ ）。これらのことは、2回目の MA に対する実験参加者のモチベーションが時間とともに低下した、あるいは緊張からイップスが生じた結果として、回答数の減少トレンドおよび変動幅の増大として表出した可能性が考えられる。一方で、MA に対するストレス反応は、交感神経活動の指標である sAA および LF/HF ともに1回目の MA に比べ2回目の MA の方が低い傾向であった。このように、交感神経系の活動の指標が1回目の MA に比べ2回目の MA で低値を示したことは、実験参加者において課題への順化が生じた結果、ストレスの累積的あるいは持続的反応につながらなかったことを示唆している。これらのことから、本研究の結果は、精神的負荷に対して緊張が続くというよりも、個人差はあるもののモチベーションが低下するあるいは緊張が緩むようなコーピングが生じていたことを示唆している。

暗算の作業量指標と sAA および LF/HF

本研究では、MA の総作業量に相当する平均回答数が向上したにもかかわらず、sAA は低下傾向を示した。山田ら [12] によると、20分間の暗算課題を5セッション行い、各セッション後に評価した日本語版 POMS の結果は、疲労感、眠気、うんざり、憂鬱の項目で主効果が認められた。すなわち MA の回を重ねるごとに精神的疲労が主観的に表れていた。にもかかわらず、MA の総作業量は向上していた。この研究では HRV からみた自律神経活動指標に有意差はなかった。また彼らは MA を10分間6セッションの長時間課題を行った研究でも MA の総作業量は向上していた [山田 三宅, 2007]。また、この研究では長時間課題の影響として HF の有意な低下と LF/HF の有意な増加を報告したが、最初から3セッション目までにおいては MA 前と比較して統計的有意差は認められなかった。すなわち感情状態としての気分は低下するが生理的指標にまで影響を及ぼさないことを示していた。彼らの研究 [山田 三宅, 2007; 山田, 三宅, 大須賀, 2012] では、sAA は評価されていない。MA と唾液中ストレスマーカーの関係についても先行研究で結果が一貫していない。MA に対して sAA は増加するとする報告 [萩野谷 佐伯, 2012], 変化ないとする報告 [Sugimoto, Kanai, & Shoji, 2009], 増加傾向だが統計的な差はないとする報告 [野村, 江藤, 楠本, 中尾, 2016] などがある。これら先行研究では MA 成績を総作業量あるいは正答率しか評価していない。sAA や LF/HF の一貫した結果が得られていないのは能動的対処を要する課題であるため、個人差が影響していると考えられる。

本研究では、MA の作業量特性から sAA あるいは LF/HF などの説明を重回帰分析により試みた。その結果、MA のセッション通しての作業量変化のトレンドを示す slope が特に2回目の MA に関して sAA に強く影響していることを明らかにした。また、HF に関し

てはRMSがこれも特に2回目のMAに関して強く影響し、一方LF/HFに関しては標準偏回帰係数および決定係数ともに低かった。これらは、MAの作業量特性を示す指標のうちsAAを説明できる変数がslopeで、副交感神経の指標であるHFを説明できる変数がRMSであることを示している。すなわちMAの作業量変化のトレンドが負になればなるほどsAAが低い値になり、1セッションの間での作業量の変動幅が大きいとHFが高い値になることを説明する。RMSで表現されるものは1セッション中のステージ毎の作業量の変動幅である。この変動幅は、回答に躓くステージとスムーズに回答したステージが混在すると大きくなる。1桁の足し算は容易に回答できる難易度ではあるが、必ずしもスムーズに回答できるとは限らず、集中の度合いや気分の状態に依存して回答に躓くことが生じる。このことから、RMSが高いのはHFが高いすなわち副交感神経活動が高いため集中度あるいは覚醒度が低い結果であると説明することができる。

自由呼吸下の心拍変動の問題点

HRVのスペクトル解析から計算されたLF、HFおよびLF/HFは、それぞれ交感神経および副交感神経の反映、副交感神経の反映および交感神経の反映と考えられている [Pagani, et al., 1986; Pagani, et al., 1989]。HRVの変動成分には、呼吸に関係した呼吸性洞性不整脈 (respiratory sinus arrhythmia, RSA) が大きな影響を及ぼす。このRSA成分は副交感神経活動の反映であり、その寄与度は高い。そのため、呼吸周波数が低くRSAがLF成分に混入してしまうとLF成分の正確な評価が難しくなる。実際、呼吸統制せずにMAを行った際のHRVにはRSA成分が0.15Hz以下に生じる場合があることが報告されている [大竹, ほか, 2003]。しかし、RSAのLF成分への混入を避けるためにMA中に呼吸統制を行うと課題実施者にとって二重課題となってしまい、ストレス反応がMA課題によるものなのかあるいは二重課題によるものなのか判断できない。そのため、本研究では自然呼吸下で実施した。しかし、MA中より安静時の方がLF/HFが高い傾向にあった。これはLF成分の変化傾向と同じであった。このことは、本研究において呼吸統制を行わなかったためにRSA成分がLF成分に表出してしまったことを意味している。それでも、課題中と安静時で呼吸周波数が変化しないとすればLF/HFを計算する際は相殺されるが、実際に課題中の呼吸周波数は増加し、0.15Hz以上に明確に生じる場合もあった。このことがLF/HFの精度を下げたと考える。HRVの解析でこの問題を解決するには、HRVに含まれる呼吸曲線に相関するトレンドを推定する必要がある。実際に、時間領域においてHRVと呼吸曲線を同時記録しRSA成分をリアルタイムで抽出することで副交感神経活動の推定手法も提案されている [小谷, 齊藤, 立花, 高増, 2005]。しかし、この研究では副交感神経活動の推定に主眼が置かれていた。今後、交感神経活動の推定に関して、自由呼吸下で生じるRSA成分を考慮に入れた精度の高い手法の開発が望まれる。

謝辞

本研究の実験に際し、大阪経済大学情報社会学部第二期生および四期生の野村研究室ゼミ生にお手伝いいただきました。また、大阪経済大学人間科学部藤原健博士にはデータ分

析において有益な助言を賜りました。ここに記して感謝の意を表するとともに、厚く御礼申し上げます。

文献

- Akselrod, S., Gordon, D., Madwed, J. B., Snidman, N., Shannon, D., & Cohen, R. (1985). Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *American Journal of Physiology*, *249*(4), H867-H875.
- Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American statistical association*, *74*(368), 829-836.
- Hoehn, P. W., Whooley, M. A., Martens, E. J., Na, B., van Melle, J. P., & de Jonge, P. (2010). Differential associations between specific depressive symptoms and cardiovascular prognosis in patients with stable coronary heart disease. *Journal of the American College of Cardiology*, *56*(11), 838-844.
- May, H. T., Horne, B. D., Carlquist, J. F., Sheng, X., Joy, E., & Catinella, A. P. (2009). Depression after coronary artery disease is associated with heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, *53*(16), 1440-1447.
- Nater, U. M., Narca, R. L., Florin, L., Moses, A., Langhans, W., Koller, M. M., & Ehlert, U. (2006). Stress-induced changes in human salivary alpha-amylase activity—associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*, *31*(1), 49-58.
- Pagani, M., Furlan, R., Pizzinelli, P., Crivellaro, W., Cerutti, S., & Malliani, A. (1989). Spectral analysis of RR and arterial pressure variabilities to assess sympatho-vagal interaction during mental stress in humans. *Journal of hypertension*, *7*(6), S14-S15.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., ... Piccaluga, E. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation research*, *59*(2), 178-193.
- Rosengren, A., Hawken, S., Ôunpuu, S., Sliwa, K., Zubaid, M., Almahmeed, W. A., ... Yusuf, S. (2004). Association of psychosocial risk factors with risk of acute myocardial infarction in 11 119 cases and 13 648 controls from 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *The Lancet*, *364*(9438), 953-962.
- Ruckstuhl, A. F., Jacobson, M. P., Field, R. W., & Dodd, J. A. (2001). Baseline subtraction using robust local regression estimation. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, *68*(2), 179-193.
- Skoluda, N., Strahler, J., Schlotz, W., Niederberger, L., Marques, S., Fischer, S., ... Ehlert, U. (2015). Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity. *Psychoneuroendocrinology*, *51*, 227-236.
- Sugimoto, K., Kanai, A., & Shoji, N. (2009). The effectiveness of the Uchida-Kraepelin test for psychological stress: An analysis of plasma and salivary stress substances. *BioPsychoSocial medicine*, *3*(5).
- Yoshiuchi, K., Quigley, K. S., Ohashi, K., Yamamoto, Y., & Natelson, B. H. (2004). Use of time-frequency analysis to investigate temporal patterns of cardiac autonomic response during head-up tilt in chronic fatigue syndrome. *Autonomic Neuroscience*, *113*(1), 55-62.

- 山口勝機. (2010). 心拍変動による精神負荷ストレスの分析. 志學館大学研究紀要, 31(1), 1-10.
- 山口昌樹. (2007). 唾液マーカーでストレスを測る. 日本薬理学雑誌, 129(2), 80-84.
- 山口昌樹, 花輪尚子, 吉田博. (2007). 唾液アミラーゼ式交感神経モニタの基礎的性能. 生体医工学, 45(2), 161-168.
- 山口昌樹, 金森貴裕, 金丸正史, 水野康文, 吉田博. (2001). 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか. 医用電子と生体工学, 39(3), 234-239.
- 山田晋平, 三宅晋司. (2007). 長時間暗算の生理指標, 主観指標, 作業成績におよぼす影響. 産業医科大学雑誌, 29(1), 27-38.
- 山田晋平, 三宅晋司, 大須賀美恵子. (2012). 精神疲労を評価する指標の探索. 人間工学, 48(6), 295-303.
- 小谷潔, 斉藤毅, 立花誠, 高増潔. (2005). リアルタイム呼吸性洞性不整脈抽出法を用いた作業負荷の制御. 生体医工学, 43(2), 252-260.
- 大竹由香, 浜田敏彦, 斎藤実, 吉田治義, 高橋哲也, 村田哲人, 和田有司. (2003). 携帯型心電血圧記録器 (ABPM) を用いた暗算負荷によるストレス評価の基礎的検討. 医学検査, 52(8), 1038-1042.
- 藤原修治, 余語真夫. (2011). 急性ストレス負荷による唾液中分泌型免疫グロブリン A の時系列的変化. 生理心理学と精神生理学, 29(3), 193-203.
- 梅野克身, 永嶋義直, 高倉大匡, 矢田幸博, 堀悦郎, 小野武年, 西条寿夫. (2000). 暗算負荷中の呼吸循環動態および脳波の線形解析. 自律神経, 37(5), 572-579.
- 梅野克身, 浜出絵理子, 横井秀輔, 堀悦郎, 小野武年, 西条寿夫. (2006). 精神ストレス負荷時の自律神経反応と手掌からの皮膚喪失水分量 (TEWL) との相関性. 自律神経, 43(5), 416-423.
- 萩野谷浩美, 佐伯由香. (2012). ストレス評価における唾液 α アミラーゼ活性の有用性. 日本看護技術学会誌, 10(3), 19-28.
- 浜田敏彦, 村田哲人, 高橋哲也, 大竹由香, 斎藤実, 木村秀樹, ... 吉田治義. (2006). 暗算負荷による自律神経機能および脳波の変化と両者の関連性について. 臨床病理, 54(4), 329-334.
- 野村国彦, 江藤幹, 楠本秀忠, 中尾美喜夫. (2016). 暗算負荷に対する唾液アミラーゼ活性と心拍変動. 大阪経大論集, 66(6), 105-118.
- 鷺野嘉映, 西田弘之. (2011). 計算負荷の非浸襲的ストレス評価への影響. 岐阜聖徳学園大学短期大学部紀要, 43, 51-57.