能動的対処作業における交感・副交感神経興奮と 心臓血管系反応パターンの関係¹

北海道教育大学 田 中 豪 ²

The relationships between sympathetic and parasympathetic tones and cardiovascular responses during active coping

Gohichi Tanaka (*Department of Health Education, Faculty of Education, Sapporo Campus, Hokkaido University of Education, Sapporo, Hokkaido 002*)

The relationships between sympathetic and parasympathetic tones and a variety of cardiovascular measures were examined in 27 male college students subjected to an active coping, namely a reaction time task, for five minutes. The results demonstrated an enhanced sympathetic tone during the first one minute (P1), indicating the decreases of pre-ejection period (PEP), left ventricular ejection time, and electromechanical systole (QS2), and the increase of QT/QS2. The reactivities of QT/QS2 and PEP defined by mean changes in the P1 period differed in their relationship with cardiovascular responses in the last four minutes. Although the PEP reactivity was associated with the cardiac performance (stroke volume and PEP/LVET), the QT/QS2 reactivity was correlated with the mean blood pressure (MBP). The reactivities of respiratory sinus arrhythmia (RSA) were defined by the residual difference obtained by subtracting values estimated by baseline RSAs from the mean value of changes during five minutes period. Subjects with high RSA reactivity (vagal withdrawal) showed higher heart rate and MBP than those with low RSA reactivity. The results are discussed with respect to the cardiac loading factors and hemodynamics.

Key words: active coping, sympathetic nervous system, parasympathetic nervous system, systolic time intervals, respiratory sinus arrhythmia.

有害刺激提示に際して有効な対処方法のない場合に見られる受動的対処に対比すると、能動的回避や、作業成績への報酬が与えられる食餌性動機づけの事態では、ストレスへの能動的対処に伴って β アドレナリン作動性の交感神経活動が典型的に誘発される。この β 交感型の心臓血管系の反応性が、本態性高血圧症と虚血性心疾患の発症と関連づけられ (Obrist, Light, Langer, & Koepke, 1986), 心臓血管系を対象とする最近の生理心理学研究の焦点となった。諸研究はストレス反応の全容を捉えた上でその生理機序を探ろうとしてきた。そのた

め、生理学的背景が確固としていて心理学実験にも応用できる無侵襲のパラメータが望まれてきた。

心臓の β_1 アドレナリン作動性交感神経興奮は、 β 交感型反応性の基礎になる特に重要な生理機能で、その変時作用によって心拍数が上昇、変力作用によって心筋の収縮力が高められる。この交感神経興奮に調節された心筋収縮力の程度のことを心収縮性というが、そのパラメータのひとつが心収縮時相 (Systolic Time Intervals; STI と略記) の一種、前駆出期 (Pre-ejection Period; PEP と略記) である。PEP は、左心室の脱分極開始を起点として、機械的に心室が収縮し、大動脈弁開放と駆血開始に至るまでの遅延時間を意味する。交感神経興奮が高まると心収縮性が増加するため、より速やかに駆血がはじまるのである。PEP に関連する他の STI としては、駆血開始から大動脈弁閉鎖つまり駆血終了までの左室駆出期 (Left Ventricular Ejection Time; LVET と略記) や PEP と LVET を合算した電気機械的全収縮期 (Electromechanical Systole; この期のはじまりに心電図 Q 波、終わりに第 2 心音が記録されるという意味で QS2 と略記) などがある。

¹ 本研究は一部、平成元年度文部省科学研究費奨励研究 A (課題番号 01710035) 及び平成 2 年度 (課題番号 02851012) の助成によるものである。また、結果の一部は平成 3 年度日本生理心理学会で発表した。

² 本論文作成にあたり御助言頂いた、札幌学院大学澤田幸展教授に感謝致します。また、呼吸流量計の借用に快諾頂いた北海道教育大学札幌分校藤井力夫助教授、並びに実験実施に協力頂いた飯田真弓・佐々木浩子・白石美佳さん (平成 2 年度同学教育学部卒業) に感謝致します。

心臓の機能全体から見れば、心収縮性以外にも、前荷重、心拍数、後荷重、といった内因性調節因子が協同して働き心臓の挙動 (performance) を決定づけている。PEP は心収縮性のパラメータとして有望視されてきたが、正確には、より総合的な機能である挙動をむしろ反映する (Lewis, Leighton, Forester, & Weissler, 1974)。従って、これまでの生理心理学実験では、ストレス下で PEP が減少することを示すだけでなく、 β 遮断薬を投与する統制条件と対比させることで、 β アドレナリン作動性交感神経興奮の有無を評価してきた。しかし、この方法には投与自体が自然の循環調節をも変えてしまうという困難な問題がある上に、実験計画への制約も残す。第2の方策として、内因性諸因子の影響が既知の各種 STI を同時に測定し、そのパターンから心収縮性変化を質的に推測することが行われた (例えば, McCubbin, Richardson, Langer, Kizer, & Obrist, 1983)。

拡張期の血液充満により心筋が収縮に先立ち伸展させられているほど、つまり拡張末期の心室容積が大きいほど、収縮心筋に発生する張力は大きくなる (Starling の法則)。これが前荷重因子である。前荷重の増加は PEP の減少と LVET の増加をもたらす。PEP と LVET の比である PEP / LVET を減少させるが、PEP と LVET の和である QS2 への影響は無視できる。一方、心収縮性の増加は、PEP, LVET, QS2 をすべて減少させる (Lewis et al., 1974)。従って、QS2 は心収縮性への感受性を保ったまま、前荷重の影響を考慮しなくてもよい、より特異性に優れたパラメータとして有望視される。さらに新しく推賞された心電図の QT 間隔と QS2 の比 (QT / QS2 と略記) (Boudoulas, Geleris, Lewis, & Leier, 1981; De Caprio, Ferro, Cuomo, Volpe, Artiaco, De Luca, & Ricciardelli, 1984) は、心拍数とも独立で副交感神経の影響を避けられることから注目になる。QT / QS2 は心収縮性と正に関係する。これまでの心臓血管系ストレス反応性研究では、PEP と QS2 の減少が大きい場合でも、LVET はほとんど変化しない結果がほとんどであり、荷重因子の影響なしとはいいいきれない。QT / QS2 の変動についてはまだ報告がない。

一方、呼吸と心臓副交感神経 (迷走神経) 活動は交感神経活動を抑制・干渉することで心血管疾患への保護と予防機能を果たすのではないかと再評価され、新たな注目を集めることになった (Allen & Crowell, 1989; Allen, Sherwood, & Obrist, 1986; Grossman & Wientjes, 1986)。心理的ストレス下の心臓交感神経と迷走神経反応性の相互関係の研究は、呼吸性不整脈 (Respiratory Sinus Arrhythmia; RSA と略記) が迷走神経興奮の無侵襲のパラメータとして確立したことで本格化してきた。しかし、現状では、交感と副交感機能の関係が拮抗的なか相互抑制的であるかについて評価するのは困難

である。

本研究の第1の目的は、能動的対処ストレス下で、 β 交感系反応性指標としての PEP と QT / QS2 変動の相互比較を行うことである。第2の目的は、呼吸及び RSA の変動と交感神経反応性との関係を血行動態の上で明らかにすることである。目的の1に関わって次の仮説を吟味する。

仮説：ストレスの負荷直後の β 交感活動が明瞭に引き起こされる時期には、相対的に心臓の挙動に対する心収縮性の寄与が大きくなるので、特異的な STI の変動パターン (PEP と LVET が両方とも減少) が見られ、各々の減少量の間には正相関関係が示されるだろう。また、QT / QS2 と PEP 変化量間に負の相関関係が最も強く現れるだろう。

上記仮説が正しければ、この時期の反応性を β 交感系反応性とするのがもっとも妥当な方法と考えられよう。従って、この時期の PEP と QT / QS2 の反応性を別個に求め、他の血行動態指標との相関パターンを比較することで、PEP と QT / QS2 の特徴を評価できると考えられる。

方 法

被験者 男子大学生 27 名 (年齢 18—26 歳平均 20.9 歳)。

実験作業 1 kHz・70 dB(A)・持続時間 0.1 s の短音を提示しキー押し反応を求める反応時間作業である。間隔 3—9 s の一様分布でランダムに刺激を与えた。反応時間を折れ線グラフの時系列としてディスプレイ上に表示した。過去 5 試行分の反応速度の平均値を次の試行の目標値とし、その時間換算値も同グラフ上に表示した。被験者には最初持ち点 500 点を与え、各試行の反応速度と目標値の差に比例した得点を加算した。ただし、目標を上回った試行では 2 倍の得点を加算した。累積得点を画面右上に常時表示した。毎回、目標を上回るよう努力を求め、終了後に累積得点を円にして支払うことを教示した。

装 置 室温 27°C・湿度 40% に維持した防音シールド室を使用した。高さを調節した椅子に座った被験者の 1.2 m 前方に、実験作業のフィードバックを提示するディスプレイを設置した。被験者とディスプレイ間の机の上にキーボードを置いた。被験者の右前方 2.5 m の監視カメラで姿勢と覚醒状態を監視した。

心電図 (ECG) は、右の第一肋間と左右の第五肋間に銀・塩化銀ディスク電極を装置し、標準第 II 誘導、時定数 3.2 s、高域遮断周波数 150 Hz の心電計 (日本電気三栄 2E83) で測定した。胸部インピーダンス脈波用のアルミテープ電極は、頸部最下端及び胸骨剣状突起の高さに、各々刺激用と測定用の 2 本を 3 cm 離して体に巻

Table 1
Mean baseline levels and change scores during stress periods

Period	HR (bpm)	PEP (ms)	LVET (ms)	QS2 (ms)	QT/QS2
Baseline	77.3 (10.6) ^{a)}	102.2 (17.6)	260.5 (19.0)	362.7 (19.7)	.952 (.050)
P1 ^{a)}	7.4 (11.3)**	-9.0 (11.0)**	-4.3 (12.9)	-13.4 (20.7)**	.021 (.037)**
P2 ^{b)}	1.7 (7.3)	-6.0 (9.5)**	3.7 (9.3)	-2.3 (13.1)	-.001 (.017)
Period	PEP/LVET	SV (ml)	CO (l/m)	TPR (dyne-s/cm ⁻⁵)	MBP (mmHg)
Baseline	.397 (.083)	69.8 (19.2)	5.31 (1.37)	1469 (442)	90.6 (9.8)
P1	-.029 (.039)**	-3.1 (7.6)*	.31 (1.03)	190 (244)**	15.4 (8.9)**
P2	-.029 (.042)**	-.7 (7.2)	.10 (0.91)	242 (291)**	16.0 (10.3)**

* $p < .05$, ** $p < .01$

^{a)} P1 indicates the first 1 min of task period.

^{b)} P2 indicates the last 4 min of task period.

^{c)} Values in parentheses indicate standard deviations.

きつけた。胸部インピーダンスの一次微分 (dZ/dt) は、生体インピーダンスアンプ (日本電気三栄 4134) の出力を時定数 0.001 s に設定した生体電気アンプ (日本電気三栄 1253A) に通すことで得た。血圧 (BP) は、容積補償法を原理とする連続血圧測定装置 (ウェダ USM-802 型) で測定した。呼吸流量波形 (RV) は熱線式の呼吸流量計 (ミナト医科学 RF-L) で測定した。

パソコン (EPSON PC286VG) に接続した AD 変換ボード (カノーブス ADJ-98) で、ECG, dZ/dt , BP, RV 各反応をサンプリング間隔 3 ms・12 ビットで AD 変換した。以下の手順でパラメータを読み取った。① 微分と平滑化後 ECG の Q 波の位置を同定した。② アーチファクト除去後 ECG, dZ/dt , BP 波形を Q 波で同期させ 15 s 毎に加算平均処理した。③ 平均波形を平滑化後、QT, PEP, LVET, QS2, 収縮期血圧 (SBP), 拡張期血圧 (DBP) を読み、SV, QT / QS2, PEP / LVET, 心拍出量 (CO), 平均血圧 (MBP), 総末梢抵抗 (TPR) を算出した。なお、SV 算出は Kubicek 法によった。詳細は米国精神生理学会作成のガイドラインに記載がある (Sherwood, Allen, Fahrenberg, Kelsey, Lovallo, & Van Doornen, 1990)。さらに、これらを 2 個ずつ平均し 30 s 毎の代表値とした。心拍数 (HR) は、30 s の区間の Q 波間隔の平均値から求めた。

呼吸変数は、RV 波形を平滑化後、吸期のはじまりから次の吸期のはじまりまでの間隔から呼吸数 (RR [cpm]) を求め、吸気相において一回換気量 (TV [ml]) を決定した。また、RR と TV の積から毎分換気量 (MV [l/m]) を得た。RSA (ms) は、Grossman & Wientjes (1986) に準じ、呼吸相の Q 波間隔の最大値から吸気相の Q 波間隔の最小値を減じた値を一呼吸毎に求めた。これらは 30 s 毎の平均値にまとめた。

手続き 実験目的を告げ同意を得た後、上半身の衣服を脱がせ、防音シールド室の椅子に座らせた。電極類を装着し実験者は退室した。血圧計カフの加圧及び圧変動に慣らすため、測定操作を 1 度行った後安静を指示した。安静の最初の 5 min は順応のため開眼、続く 10 min は閉眼とした。閉眼安静の最後の 3 min の記録をベースラインとした。続いて、作業方法を説明、10 試行の練習をさせた。この後半 5 試行の反応速度の平均値を求め続く作業の最初の目標値とした。練習終了後血圧計のカフ動作に入り、約 2 min 後測定状態になってから実験作業の開始を告げ、5 min の作業を行わせた。

資料整理方法 作業 5 min を 30 s のブロック (BL1-10 と略記) に分けた。各ブロックの値からベースラインの値を引いた差値を反応変化量とした。ブロック毎の時間的変動に意味があるので検定はブロック毎に行い、平均値の検定には t 検定を、また分散が同質でない時はコクラン・コックス法を用いた。有意水準を 5% と 1% にした。

結 果

交感神経反応性 PEP は全ブロックでベースラインに比べ有意な減少を示した。LVET は BL1 でのみ有意な減少を示したが ($t=2.29$, $p<.05$), 2 分目前後では逆に有意な増加を示した (BL4: $t=3.37$, $p<.01$, BL5: $t=2.77$, $p<.05$)。QS2 と QT は 1 分目まで有意な減少を示し (QS2 [BL1: $t=3.43$, $p<.01$, BL2: $t=2.97$, $p<.01$], QT [BL1: $t=2.48$, $p<.05$, BL2: $t=2.61$, $p<.05$]), QT / QS2 は増加した (BL1: $t=3.03$, $p<.01$, BL2: $t=2.34$, $p<.01$)。

PEP 変化量と LVET 変化量の相関係数は 1 分目までにだけ有意性が認められた (BL1: $r=.45$, $p<.05$, BL2:

Table 2
Correlations among QT/QS2, PEP reactivities and cardiovascular parameters

Period	HR	PEP	LVET	QS2	QT/QS2	PEP/LVET	SV	CO	TPR	MBP
Correlations between QT/QS2 reactivity during P1 and cardiovascular parameters										
P1 ^{a)}	.71**	-.80**	-.66**	-.85**		-.64**	.06	.70**	-.54**	.21
P2 ^{b)}	.50**	-.68**	-.28	-.70**	.58**	-.56**	.32	.56**	-.21	.49*
Correlations between PEP reactivity during P1 and cardiovascular parameters										
P1	-.77**		.50**	.84**	-.80**	.91**	.09	-.69**	.69**	-.01
P2	-.59**	.91**	.10	.73**	-.56**	.81**	-.59**	-.74**	.74**	-.27

* $p < .05$, ** $p < .01$

a) P1 indicates the first 1 min of task period.

b) P2 indicates the last 4 min of task period.

$r = .51, p < .01$). PEP 変化量と QT / QS2 変化量の相関係数は中程度で, BL3 を除き全ブロックで有意性を示したが, 1 分目までには強い相関が認められた (BL1: $r = -.78, p < .01$, BL2: $r = -.81, p < .01$).

これらの結果は概ね仮説を支持し, 作業開始直後に生ずる明瞭な交感神経活動が STI の変動パターンの主因になると考えられた. そこで BL1 と 2 を選択し, この時期の PEP と QT / QS2 変化量の各々の平均値を算出して PEP 反応性及び QT / QS2 反応性と定義した. 次に, 作業を最初の 1 分目まで (Period 1: P1 と略記) と残り 4 分間 (Period 2: P2 と略記) の区間に分けて, 全てのパラメータの変化量について P1 と P2 の別に平均値を求めた.

PEP 反応性と QT / QS2 反応性の比較 Table 1 には, P1 と P2 別に求めた STI と主な循環パラメータ変化量の平均値を安静値と共に示す. PEP と同様の作業中一貫した有意な変化は, PEP / LVET の減少 (P1: $t = 3.81, p < .01$, P2: $t = 3.48, p < .01$), TPR の増加 (P1: $t = 3.98, p < .01$, P2: $t = 4.24, p < .01$), MBP の増加 (P1: $t = 8.80, p < .01$, P2: $t = 7.88, p < .01$) だった.

Table 2 には, QT / QS2 反応性及び PEP 反応性と他のパラメータの変化量との相関関係を各々示す. QT / QS2 反応性と PEP 反応性は高い相関 ($r = -.80$) を示し, HR などとの関係は類似していたが, 次の相違が見られた. まず, QT / QS2 反応性では P2 の QT / QS2 変化量との関係が中程度に留まる ($r = .58$) のに比べ, PEP 反応性では P2 の PEP 変化量との関係が強かった ($r = .91$). PEP 反応性は QT / QS2 反応性に比べ, PEP / LVET 変化量とより強い関係 (P1: $r = .91$ 対 $-.64$, P2: $r = .81$ 対 $-.56$), P2 の SV 及び CO 変化量とより強い関係 (SV: $r = -.59$ 対 $.32$, CO: $r = -.74$ 対 $.56$), TPR 変化量とより強い関係 (P1: $r = .69$ 対 $-.54$, P2: $r = .47$

対 $-.20$) を示した. MBP は QT / QS2 反応性との関係の方が強かった (P2: $r = .49$ 対 $-.27$).

交感神経反応性と RSA 反応性の対比 安静時平均 82.9 (標準偏差 45.1) からの RSA(ms) の変化量は BL1 でのみ有意だった (平均 -17.1 , 標準偏差 38.3, $t = 2.27, p < .05$). この結果は, RSA 変動に時間経過による変化が少なく, 個人差が大きいことを示している. そこで, RSA 反応性はすべてのブロックの RSA 変化量を平均して求めることにした. 算出した RSA 反応性は安静時 RSA と有意な相関関係 ($r = -.56, p < .01$) を示すことが判明した. この初期値の法則に従う関係を除くために, 生の RSA 反応性から回帰関係によって説明できる変動を引いた残差を求めた (残差 RSA 反応性: 以下 RSA 反応性と略記).

RSA 反応性と循環系パラメータの関係は, HR 及び MBP との各々中程度の相関以外に有意な相関は認められなかった. そこで, 反応性の高低により被験者を分類し反応性群を構成して検討した. 被験者 27 名の内, 反応性が高い者及び低い者を 13 名ずつを選択した. 交感神経指標として QT / QS2 反応性を用い, 高交感型群 (HS 群と略記) と低交感型群 (LS 群と略記) を得た. また, RSA 反応性を用い高副交感型群 (HP 群と略記) と低副交感型群 (LP 群と略記) を得た. HP 群は RSA の減少が大きい者 (LP 群はその逆) を指す. 被験者の群への所属内訳は, 同一人が HS 群と HP 群に属したのが 7 名, 以下同じく, HS 群と LP 群 6 名, LS 群と HP 群 6 名, LS 群と LP 群 6 名, 他 2 名であった. QT / QS2 と RSA の安静値には何れも群間差はなかった. QT / QS2 反応性の平均 $\pm$ 標準偏差は HS 群 ($.048 \pm .034$), LS 群 ($-.007 \pm .013$), HP 群 ($.029 \pm .045$), LP 群 ($.015 \pm .025$) で, RSA 反応性 (ms) のそれは, HS 群 (-6.7 ± 30.7), LS 群 (-1.6 ± 22.1), HP 群 ($-22.2 \pm$

20.8), LP 群 (19.2 ± 22.3) であった。

以上4群の HR 及び MBP 変化量について、平均値の時間的推移を示すのが Figure 1・2 である。HS 群は LS 群に比し、安静時でも有意に大きい HR (bpm) を示し (平均 81.1 対 72.7, $t=2.10$, $p<.05$), BL1 では有意に高い反応性を示した ($t=2.50$, $p<.05$)。これに対して、HP 群と LP 群間の HR 安静値に差はないが (平均 78.4

Figure 1. Time course of mean HR changes in four reactor groups, i.e., High or Low QT/QS2 reactive, and High or Low RSA reactive subjects.

Figure 2. Time course of mean MBP changes in four reactor groups, i.e., High or Low QT/QS2 reactive, and High or Low RSA reactive subjects.

Table 3
Mean baseline levels and change scores for reactor groups

Reactor groups	Minute Ventilation (l/m)	Respiration Rate (cpm)
Mean baseline levels		
HS	7.96 (1.19) ^{a)}	16.3 (3.5)
LS	7.07 (1.29)	14.6 (3.7)
HP	7.62 (1.25)	13.9 (2.8)
LP	7.31 (1.29)	16.8 (4.0)
Mean changes from baseline		
HS	2.24 (.92)	4.4 (3.2)
LS	1.30 (1.12)	2.6 (3.1)
HP	2.28 (.76)	5.2 (3.5)
LP	1.15 (1.28)	1.7 (1.9)

a) Values in parentheses indicate standard deviations.

Note:

HS, LS=High vs. Low QT/QS2 reactor groups
HP, LP=High vs. Low RSA reactor groups

対 76.9, $t=.33$, $p>.1$), 変化量の有意差が一貫して認められた (BL2: [$t=2.54$, $p<.05$], BL3: [$t=2.54$, $p<.05$], BL4: [$t=2.68$, $p<.05$], BL5: [$t=2.40$, $p<.05$], BL7: [$t=2.46$, $p<.05$], BL8: [$t=2.41$, $p<.05$]). HR 変化量の群間差は BL1 を除いて HP 群対 LP 群の方に大きく、全ブロックの平均では HP 群と LP 群に約 7 bpm の差があった。

HS 群と LS 群間の MBP (mmHg) の安静値に差はないが (平均 89.5 対 90.8, $t=.31$, $p>.1$), 変化量の有意差が BL3 以降に認められた (BL3: [$t=2.20$, $p<.05$], BL4: [$t=2.79$, $p<.05$], BL5: [$t=2.98$, $p<.01$], BL6: [$t=2.42$, $p<.05$], BL7: [$t=3.60$, $p<.01$], BL8: [$t=3.63$, $p<.01$], BL9: [$t=3.88$, $p<.01$], BL10: [$t=3.23$, $p<.01$]). 時間経過と共に MBP 変化量の平均値は、HS 群で上昇、LS 群で下降を示し、その差が開いた。HP 群と LP 群間の MBP の安静値に差はないが (平均 89.5 対 90.9, $t=.35$, $p>.1$), 変化量の有意差が前半部に認められた (BL3: [$t=2.47$, $p<.05$], BL4: [$t=2.20$, $p<.05$]). その前後には有意傾向が見られた (BL1: [$t=1.81$, $p<.1$], BL2: [$t=2.02$, $p<.1$], BL5: [$t=1.81$, $p<.1$]).

呼吸反応 呼吸変数 MV・RR・TV は時間的な変動パターンが明確ではなかった。そこで、全ブロックの変化量の平均を求めて反応性群間の分析の対象とした。MV と RR の安静値と安静値からの変化量を示すのが Table 3 である。HS 群は LS 群より、安静時で MV

が大きい傾向を示し ($t=1.76, p<.1$), 作業時に有意に大きい変化量を示した ($t=2.25, p<.05$). しかし, RR と TV は安静時作業時ともに有意な群間差を示さなかった. HP 群と LP 群間の MV 安静値に差はなかったが, HP 群は作業時に有意に大きい変化量を示した ($t=2.63, p<.05$). HP 群は安静時 RR が低い傾向を示し ($t=2.06, p<.1$), 作業時に有意に大きい変化量を示した ($t=3.03, p<.05$). しかし, TV は安静時作業時ともに有意な群間差を示さなかった.

考 察

作業開始直後 1 分目までの急性期に, QT / QS2 増加と PEP 減少が顕著でこれらの相関も高かった. STI の特異的な変化パターン (PEP, LVET, QS2 全部の減少と QT / QS2 増加), PEP と LVET 変化量の有意な正相関が認められた. これは, 能動的対処作業中の明瞭な交感反応を, QT / QS2 を含む STI の変化パターンに基づいてはじめて実証した報告である. しかし, 1 分を過ぎた後半部では, STI のこうした変化パターンが消失した. これまでの研究が特異的な STI 変化パターンを認めなかったのはこのためであろう.

QT / QS2 が前荷重の影響を受けにくいことは前述した. もう 1 つの内因性因子 HR も QT / QS2 に影響を与えない (De Caprio et al., 1984). 残る内因性因子の後荷重は心筋収縮が始まった後の負荷つまり大動脈圧であり, 無傷のヒトで血圧の上昇が起こると QS2 は増加する (Lewis et al., 1974). ストレス実験では血圧が増加するので QT / QS2 を減少させると予測されるが, これは交感神経の影響を相殺することになる. つまり, このパラメータの感受性を低下させるのである. 結果は, 急性期の後荷重推定値 MBP と QT / QS2 の相関はないことを示しており, 急性期に限れば後荷重の影響が実際には少ないことを意味する. しかし後半部では, QT / QS2 反応性は MBP と正相関を示し, QT / QS2 反応性群 (HS と LS) 間で MBP に有意差を生じた. 急性期 QT / QS2 増加の大きい者には, 後半の後荷重増加により QT / QS2 を低下させる影響がより大きく加わる. 故に, QT / QS2 が急速に安静値に復帰したと推定でき, 実際の交感神経の影響は後半部にも持続していたと思われる.

交感神経による皮膚と内臓の静脈収縮は全身性の血管収縮の重要な要素である. これは静脈還流を促し血流を静脈から心臓に向かって偏位させる. こうして増加した拡張末期容積は, 交感神経の影響による収縮性増加と相まって心筋挙動を増加させ, そのパラメータである PEP / LVET を減少, SV を増加させる. 交感神経影響が相対的に低下する後半部でも, PEP と SV 及び PEP と PEP / LVET の相関が高く維持された結果からみ

て, 実は交感神経活動と前荷重の両方によって高められた心臓の挙動に依存して PEP が減少することが示唆されよう.

血行動態変化に問題を経ると, CO は有意に増加せず, TPR と MBP が一貫して増加した. つまり, β アドレナリン作動性の心臓反応に比して α アドレナリン作動性血管収縮が優勢であったことを示している. Schneiderman & McCabe (1989) はこの両者を, 行動要因に伴う 2 つの心臓血管反応型とした. しかしこの型分類は, 実験条件に応じて実際には混合した反応が観察される. Van Doornen & De Geus (1989) は過去の報告を分析し, 能動的対処を典型的に引き出す反応時間作業であっても刺激密度が高い場合には, 連続的ビジラント注意により血管反応が増加すると結論している. 従って, 本研究の MBP の一貫した増加は混合した反応型によっていたと見なせる.

PEP 反応性は CO 変化量とは負相関, TPR 変化量とは正相関を示した. つまり, 混合した反応型を誘発する作業下でも, PEP 反応性者は β_1 交感系の心臓反応だけでなく, 副腎髄質から分泌されたエピネフリンによる β_2 交感系の骨格筋血管拡張も大きいと推測される. 従って, 汎性 β アドレナリン作動性反応性 (Sherwood, Allen, Obrist, & Langer, 1986) に個体反応特異性が強く, また, PEP はその最適なパラメータと考えられる. しかしこれとは対照的に, QT / QS2 反応性は血圧と正相関関係にあり, β 型と α 型の交感神経活動の両方を総合的に反映すると考えられる. Goldstein, Eisenhofer, Sax, Keiser, & Kopin (1987) は, 心理的な挑戦の場面では, 全身に分布する交感神経終末から一斉に放出されるノルエピネフリンが, 血行動態反応を決定づけると報告した. 澤田 (1990) は, 心理的負荷に最も良い量-反応関係を示すのは, CO と TPR の両者に決定される血圧であると結論づけた. これらは, 過去の研究の焦点となってきた主に CO 上昇に関連深い汎性 β アドレナリン作動性反応性よりも, より混合型で心臓血管系に限定されないより広範な交感神経影響, いわば汎性交感神経活動の方がむしろ意義深い可能性を示している. QT / QS2 はそうした β 型とは別種の反応型のパラメータとして, 血圧と共に有望なものと考えられる.

RSA は, ストレス負荷後 30 秒の時期を除き減少しなかった. 暗算作業に比べ RSA の減少が少ないのは反応時間作業の特徴である (Allen & Crowell, 1989). それにもかかわらず RSA 反応性が高い群は一貫して HR を増加させた. この差は平均 7 bpm と少なくない. また作業中盤の MBP 反応にも同様の差があった. これは圧受容体反射によって説明できる. RSA に反映する迷走神経興奮は一部, 圧受容体反射依存の迷走神経興奮と共変し, 興奮の低下による HR 増加が圧受容体反射の目的

とする減圧を無効にし、その結果 MBP 増加が起こったと思われる。交感-副交感バランスが初期の高血圧の発症に関与するとの考え（例えば、Julius, Pascual, & London, 1971）と調和する結果であろう。また、RSA 変動が概ね交感神経変動とは独立であったのは、Allen & Crowell (1989) の報告と一致した。逆制止、拮抗、独立といった様々な交感-副交感バランスが作業特異的に変化するのかもしれない。

MV は、高 QT / QS2 反応性群と高 RSA 反応性群とも各々の低反応性群に比べ増加した。高 QT / QS2 反応性群の MV は安静時にすでに大きい傾向がある上に、増加量も有意に大きかった。この交感神経反応性と換気の関係は、有意に達しない平均値の違い (Allen et al., 1986) を実証するものである。しかし、RR の群間差がなく、交感神経反応性者の RR 増加の報告 (Allen et al., 1986; Allen & Crowell, 1989) と一致しなかった。一方、高 RSA 反応性群では RR 増加量と MV 増加量の両者が大きかった。このことは RSA の RR 依存性 (Grossman & Wientjes, 1986) によると考えられる。また、MV のより大きい増加は RR 増加の結果であろう。いずれにせよ、RSA 反応性が交感神経反応性とは独立に MBP と MV の増加と関係していた事実は、呼吸と循環を結ぶさらに大きいシステムの枠組みを考える必要性を示している。呼吸ガス分析を含む今後の研究の課題となる。

結 論

以上のように、作業開始直後 1 分目までの急性期に、 β 交感型に特異的な STI の変化パターンが認められた。急性期の QT / QS2 反応性は PEP 反応性に比して、より特異性に優れた β 交感型の反応性推定値となる。急性期を過ぎた後半部では、前荷重が PEP 減少に、後荷重が QT / QS2 減少に寄与してくると推定された。一方、RSA 反応性が高く迷走神経興奮を低下させる者は、圧受容体反射感度の低下によって、HR と MBP を増加させると考えられた。高交感神経反応性者と高副交感神経反応性者は、共に MV の増加を示していた。

引用文献

- Allen, M. T., & Crowell, M. D. 1989 Patterns of autonomic response during laboratory stressors. *Psychophysiology*, **26**, 603-614.
- Allen, M. T., Sherwood, A., & Obrist, P. A. 1986 Interactions of respiratory and cardiovascular adjustments to behavioral stressors. *Psychophysiology*, **23**, 532-541.
- Boudoulas, H., Geleris, P., Lewis, R. P., & Leier, C. V. 1981 Effect of increased adrenergic activity on the relationship between electrical and mechanical systole. *Circulation*, **64**, 28-33.
- De Caprio, L., Ferro, G., Cuomo, S., Volpe, M., Artiaco, D., De Luca, N., & Ricciardelli, B. 1984 QT / QS2 ratio as an index of autonomic tone changes. *American Journal of Cardiology*, **53**, 818-822.
- Goldstein, D. S., Eisenhofer, G. E., Sax, F. L., Keiser, H. R., & Kopin, I. J. 1987 Plasma norepinephrine pharmacokinetics during mental challenges. *Psychosomatic Medicine*, **49**, 591-605.
- Grossman, P., & Wientjes, K. 1986 Respiratory sinus arrhythmia and parasympathetic cardiac control: Some basic issues concerning quantification, applications and implications. In P. Grossman, K.H.L. Janssen & D. Vaitl (Eds.), *Cardiorespiratory and cardiosomatic psychophysiology*. New York: Plenum Press. Pp. 117-138.
- Julius, S., Pascual, A. V., & London, R. 1971 Role of parasympathetic inhibition in the hyperkinetic type of borderline hypertension. *Circulation*, **44**, 413-418.
- Lewis, R. P., Leighton, R. F., Forester, W. F., & Weissler, A. M. 1974 Systolic time intervals. In A. M. Weissler (Ed.), *Noninvasive cardiology*. New York: Grune & Stratton. Pp. 301-368.
- McCubbin, J. A., Richardson, J. E., Langer, A. W., Kizer, J. S., & Obrist, P. A. 1983 Sympathetic neuronal function and left ventricular performance during behavioral stress in humans: The relationship between plasma catecholamines and systolic time intervals. *Psychophysiology*, **20**, 102-110.
- Obrist, P. A., Light, K. C., Langer, A. W., & Koepke, J. P. 1986 Psychosomatics. In M.G.H. Coles, E. Donchin & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*. New York: Guilford Press. Pp. 626-645.
- 澤田幸展 1990 血圧反応性——仮説群の構築とその評価 心理学評論, **33**, 209-238.
- Schneiderman, N., & McCabe, P. M. 1989 Psychophysiological strategies in laboratory research. In N. Schneiderman, S. M. Weiss & P. G. Kaufman (Eds.), *Handbook of research methods in cardiovascular behavioral medicine*. New York: Plenum Press. Pp. 349-364.
- Sherwood, A., Allen, M. T., Fahrenberg, J., Kelsey, R. M., Lovallo, W. R., & Van Doornen, L. J. P. 1990 Methodological guidelines for impedance cardiography. *Psychophysiology*, **27**, 1-23.
- Sherwood, A., Allen, M. T., Obrist, P. A., & Langer, A. W. 1986 Evaluation of beta-adrenergic influences on cardiovascular and metabolic adjustments to physical and psychological stress. *Psychophysiology*, **23**, 89-104.
- Van Doornen, L. J. P., & De Geus, E. J. C. 1989 Aero-

bic fitness and the cardiovascular response to stress.
Psychophysiology, **26**, 17-28.

——1991. 4. 17. 受稿, 1992. 1. 18. 受理——