

## 自律神経平衡の二次元的評価方法の検討

## “2 Way Classification Model of Autonomic Balance”

Seiji OHSAWA

## Abstract

The purpose of the study is to explore the method to measure autonomic balance noninvasively and dynamically and to evaluate it. Autonomic Balance Score have been calculated through a factorial analysis of electrocardiographs (RR,PQ,QT,P.T). Moreover, Autonomic Balance Scores have been plotted on the coordinates with axes of Sympathetic Factor and Parasympathetic Factor. The Autonomic Balance of a subject at the time of measurement can be evaluated from the location of the plotted point on the coordinates. The following conclusions have been drawn.

1. The Autonomic Balance can be classified with 2 way model (shown in Fig.2), and the classification is more detailed than that of Bipolar Factor Model (shown in Fig. 1).
2. Though Gagel used 4 categorical types, Autonomic Balance is classified to 9 categories with author's method.
3. One of the advantage of this evaluational method is that it can be used in any situation where electrocardiographs can be applied.
4. Sympathetic facilitation and parasympathetic suppression are found when the subjects are in standing position, compared to the resting supine position. Moreover sympathetic suppression and parasympathetic facilitation are found under breath holding condition.

## 緒 言

自律神経系を交感と副交感の神経系に分ち、どちらか一方に継続的に傾いている個体を Sympathicotonia または Parasympathicotonia と呼ぶことが自律神経学研究的の諸家により首肯されている。しかし、この概念を生体で計量化することは容易ではないために、一般には、漠然とした臨床所見として観察・評価されている。Wenger<sup>26) 27) 28) 29) 30)</sup>

(1941~43)はこの全機的でかつ漠然とした概念を非観血的・因子分析の方法によって計量化し、それによって自律神経平衡を客観的、総合的に測定評価する方法を考案した。Wenger の方法は“Wenger の自律神経緊張度測定法”として冲中<sup>17)</sup>により絶賛され、我が国で広く受け入れられた<sup>13)</sup>。しかし、その後、高橋ら<sup>22)</sup>はこの方法を批判し、Wenger の基本モデルをも否定した。今日、Wenger 法は宇尾野<sup>24)</sup>によれば「操作の煩雑さと因子分析

の困難さから現在ではあまり用いられない。」のであるが、著者<sup>18)</sup>によれば高橋らの批判を克服できなかったからであると考えている。大沢<sup>18)</sup>は先に「Wenger法」の弱点、矛盾点を明らかにし、これらを改良する方法を提案し、その方法(改良Wenger法)によって小中学生の自律神経平衡を計量化することを試みた。それによって、Wengerとその追試者たちが支持したEppingerとHessのモデルを否定し、Bergmannの学説を基本的には支持した。

そこで小論文では、自律神経系における交感と副交感のantagonismをBergmann説に添って認めたうえで、大沢の提案した「改良Wenger法」をより実用的で、かつ動態的な自律神経平衡の測定評価方法とするために、2次元空間内で交感、副交感の緊張状態を測定評価することを検討し、さらに負荷条件下での測定評価の方法を探った。

## 研究方法

### i) 対象および測定方法

対象は小中学生1175名であったがECGが少しでも不鮮明であった者、ECGに異常所見を認めた者、負荷試験を不完全にしか課せられなかった者を除外し、解析の対象としたのは男女625名である。測定方法は5分間の安静仰臥位の後に心電図(I, II, III, V<sub>1</sub>, V<sub>6</sub>)、心音図(肺動脈口、心尖部、胸骨左縁第4肋間)、血圧を測定し、併せて深呼吸を5回行い、この時のECG(II)を撮る。次に10分間の起立試験を課し試験終了直後、立位にて安静時と同様の測定をする。つづいて仰臥位にて安静時に回得するのを待って努責試験を課し、試験中、及び終了後15秒迄ECG(II)を撮る。なお小学1～2年生は30秒間、3年生以上は40秒間を負荷時間とし、努責は最大吸気直後に開始した。努責時間は循環-自律神経系の反射をうかがうに十分な負荷時間として設定した。心電計は直記式で記録速度を50mm/sとし、血圧計は自動血圧測定装置を使用した。測定期間は昭和48年12月～49年2月に実施され、全て午前中に行われた。なお、小論で解析の対象とした資料はECG(II)である。ECGのRR, PQ, QT間隔、P, T高は安静時、起立時、努責時のそれぞれで各棘波とも15個の計測値の中央値を用いた。呼吸性不

整脈および深呼吸時の最大、最小RR間隔は30秒間の記録の最大、最小値を用いた。

### ii) 「改良Wenger法」<sup>18)</sup>

本法はWenger法的方法的な弱点(変量選択、因子分析上の欠点、計算上の誤謬、動的評価不可能)を改善するために自律神経中枢との対応が明瞭である測定項目として、ECG波形成分(Rehfish<sup>20)</sup>, Henderson<sup>10)</sup>, Einthoven<sup>7)</sup>, Hering<sup>11)</sup>, Samojhoff<sup>21)</sup>, 畑<sup>9)</sup>, 沖中<sup>16)</sup>, Yuasa<sup>31)</sup>)を主として用い、この成分に含まれている自律神経情報を因子分析により交感と副交感に分離して抽出し、この両因子によって自律神経平衡を計量化し、定義する。本法は非観血的で安全性が高く、動態的条件下でも測定評価できる可能性がある。

### iii) 分析方法

前報<sup>18)</sup>で2因子モデルが適当であることが見出されたが、この中よりECGの波形成分19個の変量を用いて、各種因子分析、回転(主因子解→バリマックス回転・ダイレクトコーチミン回転・コーディマックス回転、最尤推定解→バリマックス回転)を行った。さらに安静時の変量のみについて主因子解→バリマックス回転を施し、因子スコアを求める方程式を導き、これに負荷条件下でのデータを代入して各負荷時の自律神経得点を求めた。なお、この解析に先だって基本的な自律神経平衡モデルの検討を行った。

## 結 果

従来のEppinger, Hessら<sup>8)</sup>らによって主張された自律神経平衡の基本モデルを図化すると図1のようである。このモデルはbipolar factor theoremと呼ぶことができる。Wenger法の自律神経平衡モデルは1本の因子の双極に交感および副交感の緊張度が表現されているという点からして、基本的には図1のモデルに等しいと考えられる。しかし、生体においては交感と副交感が同時に亢進(抑制)している場合があり、このモデルではこのような状態を表現することが困難であるばかりか、大沢<sup>18)</sup>の研究結果からすると、生体情報から自律神経平衡因子を抽出した際に様々の不合理を生ずる。そこで著者は交感と副交感の2因子からなる座標空間を設定し、この2因子の緊張状態

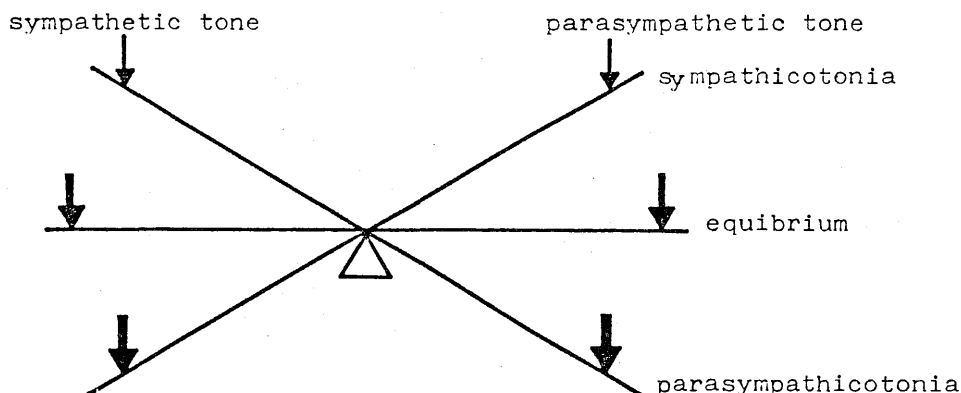


Fig. 1 Bipolar Autonomic Factor Model

の座標上の位置によって自律神経平衡を測定評価する方法を提案する(図2)。

この2因子モデルが因子分析的に因子構造として安定しているか否か、また、Wengerの指摘による、使用された自律神経平衡テストバッテリーと抽出された因子の因子負荷量との対応の存否、すなわち「physiological pattern」<sup>23)</sup>の検討を行う

ために主因子解からバリマックス回転、ダイレクトローティミン回転、ローティマックス回転、および最尤推定解からバリマックス回転を行った。その結果、表1が得られた。これによれば「Physiological pattern」が各因子分析、回転に見出された。すなわち、ECG上のRR間隔はいずれの回転でも第1因子(副交感神経緊張因子)に高い

— (symp. hypertonia) —				— (parasymp. hypertonia) — parasymp. factor
+SP-	+S	+S	+SP+	
(a)	(b)	(c)	(d)	
P-			P+	
(e)	(f)	(g)	(h)	(parasymp. hypertonia) parasymp. factor
P-			P+	
(i)	(j)	(k)	(l)	
-SP-	-S	-S	-SP+	
(m)	(n)	(o)	(p)	
— (symp. hypotonia) —				
sympathetic factor				
				+S: Symp. Hypertonia -S: Symp. Hypotonia +P: Parasymp. Hypertonia -P: Parasymp. Hypotonia

Fig. 2 Two Way Classification Table of Autonomic Balance

Table 1. Autonomic factor from several solution

		varimax		direct quartimin		quartimax		maximum likelihood	
		factor 1	factor 2	factor 1	factor 2	factor 1	factor 2	factor 1	factor 2
resting supine	RR	0.882	-0.126	0.884	-0.066	0.888	-0.065	0.932	0.249
	PQ	0.024	0.748	0.025	0.750	-0.028	0.748	-0.093	0.053
	QT	0.638	-0.153	0.639	-0.109	0.647	-0.108	0.596	0.094
	P	-0.388	0.565	-0.388	0.539	-0.426	0.537	-0.388	-0.094
	T	0.576	0.244	0.577	0.284	0.558	0.283	0.168	0.919
breath holding	RR	0.780	-0.095	0.782	-0.042	0.785	-0.042	0.702	0.202
	PQ	0.141	0.711	0.141	0.721	0.091	0.719	0.026	0.085
	QT	0.682	-0.121	0.684	-0.074	0.689	-0.073	0.602	0.114
	P	-0.244	0.483	-0.244	0.466	-0.277	0.465	-0.202	-0.077
	T	0.533	0.284	0.534	0.321	0.512	0.320	0.109	0.876
standing	RR	0.735	-0.124	0.737	-0.073	0.742	-0.073	0.587	0.285
	PQ	0.192	0.577	0.193	0.591	0.152	0.589	0.067	0.102
	QT	0.494	-0.211	0.495	-0.177	0.508	-0.177	0.443	0.037
	P	-0.265	0.498	-0.266	0.471	-0.298	0.470	-0.221	-0.071
	T	0.502	0.220	0.503	0.255	0.485	0.254	0.115	0.748
sinus arrhythmia max.	RR	-0.875	-0.116	0.877	-0.056	0.881	-0.055	0.919	0.239
	min. RR	0.860	-0.044	0.862	0.015	0.861	0.015	0.837	0.301
max. inspiratory	RR	0.698	0.045	0.700	0.093	0.694	0.093	0.632	0.191
max. expiratory	RR	0.408	-0.188	0.409	-0.160	0.420	-0.160	0.379	0.062

因子負荷を示し、QT 間隔も同様である。P 高は第 1 因子で負の因子負荷を、第 2 因子で正の因子負荷を示し、T 高は P 高とベクトルの方向が逆の負荷を示した。この因子負荷量（ベクトル）は副交感神経緊張で ECG 上の変化として、RR 間隔と QT 間隔の延長、P 減高、T 増高が発現し、交感神経緊張で RR 間隔、QT 間隔の短縮、P 増高、T 減高が発現することに対応している。ただし、PQ 間隔については最尤解→バリマック回転での結果はともかく、他の回転によるものでは「Physiological pattern」と因子負荷量に明瞭な一致を見出したとはいえない。

次いで、動態的評価を行うための手続として、安静時における ECG 波形成分から 2 因子を抽出し、この因子負荷量が自律神経学的な知見と矛盾しないことを確かめた。表 2 は安静時における因子分析結果であり、これから 19 個の変量で得られたときのパターンと全んど一致していることがわかる。また、努責時、起立時に於ても「Physiological pattern」を明瞭に見出すことができる。

表 2 の安静時 ECG の因子負荷量から、第 1 因子の副交感神経緊張得点（P）と第 2 因子の交感神経緊張得点（S）を算出する方程式は以下のようであった。

$$\begin{aligned}
 P &= 0.456 \text{ RR} + 0.200 \text{ PQ} + 0.404 \text{ QT} \\
 &\quad - 0.079 \text{ P} + 0.397 \text{ T} \\
 S &= -0.046 \text{ RR} + 0.693 \text{ PQ} + 0.021 \text{ QT} \\
 &\quad + 0.519 \text{ P} + 0.170 \text{ T}
 \end{aligned}$$

この方程式に個体の ECG 計測結果を外捜することで、P と S が得られる。P と S は図 2 の 2 次元空間に布置される。副交感神経緊張の亢進している者ほど横軸の原点（平均点）よりプラス方向に遠く、抑制的であるほどマイナス方向に遠くなる。一方交感神経緊張の亢進している者は縦軸のプラス方向に、抑制されている者はマイナス方向に布置される。

上記方程式に個体 625 名のデータを外捜して P、

Table 2 Factor loadings of autonomic balance

	resting supine		breath holding		standing	
	factor 1	factor 2	factor 1	factor 2	factor 1	factor 2
RR	.85	-.23	.89	-.13	.98	-.19
PQ	.12	.87	.15	.64	.04	-.10
QT	.73	-.12	.70	-.07	.48	.05
P	-.33	.73	-.25	.35	-.30	.32
T	.67	.09	.32	.06	.33	-.16
	parasymp. factor	symp. factor	parasymp. factor	symp. factor	parasymp. factor	symp. factor

Sの得点を求め、図2の座標上に得点を布置して個体の自律神経平衡状態を観察した(図2)。本研究では交感亢進(抑制)を $+S(-S)$ とし、副交感亢進(抑制)を $P+(P-)$ で表現し、この組合せで個体の自律神経平衡状態を交感・副交感亢進( $+SP+$ )、交感抑制・副交感亢進( $-SP+$ )のように分類した。また、ドイツ学派の分類<sup>23)</sup>を著者の分類に対応させたものが図2のカッコ内に示されている。

著者の分類、ドイツ学派の分類を図2の分類記法に対応させつつ625名の標本を分類したものが

表3である。

次に、P、Sを求める前掲の方程式に負荷条件下のECG波形成分の計測値を外挿して、これらの負荷条件下で自律神経系がどのように変化するかを図2の2次元表示によって集団的に概観したものが図3である。努責負荷によると、安静時の平均得点の座標(0, 0)より副交感神経系亢進の方向へ0.217、交感神経系抑制の方向へ0.033それぞれ平均値が動いている。また、起立負荷10分後の自律神経系は副交感神経系が強く抑制され、交感神経系は亢進している。

Table 3 Frequency in 2 way classification table

2 way classification	autonomic balance	2 way model classification	frequency	German classification	frequency
(a)	+SP-	symp. hypertonia - parasymp hypertonia	(20)	symp. hypertonia	
(b,c)	+S	symp. hypertonia	(65)		
(d)	+SP+	symp. hypertonia - parasymp hypotonia	(17)		102
(h,l)	P+	parasymp. hypertonia	(58)	parasymp. hypertonia	
P	-SP+	symp. hypotonia/parasymp hypertonia	(3)		61
(m)	-SP-	vegetative ataxia	( 8)	(vegetative ataxia)	
(n,o)	-S	symp. hypotonia	(25)	symp. hypotonia	33
(e,i)	P-	parasymp. hypotonia	(63)		63
(f,g,j,k)		equilibrium	(391)		391

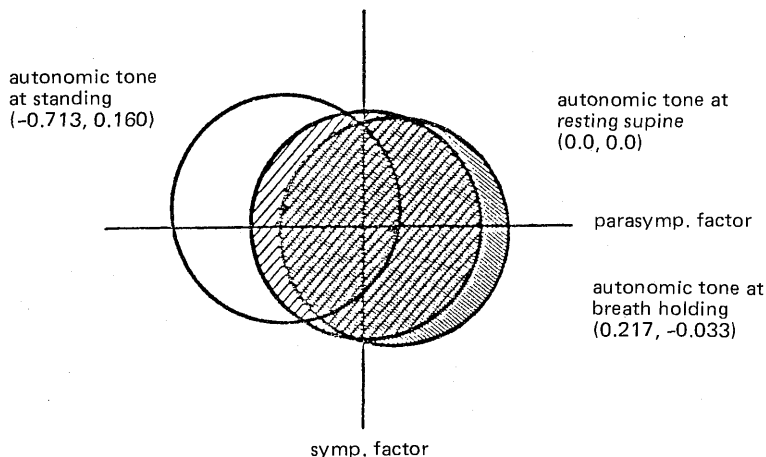


Fig. 3 Configuration of Autonomic Score

## 議 論

### a) 自律神経系の antagonism について

Sympathicotonia または Parasympathicotonia の概念は、もっぱら臨床医家が患者を注意深く観察することによって形成されてきた。古くは Noorden (1891) の Histerie 性迷走神経ノイローゼ、Oaelzer (1908) の迷走神経異常状態の報告であり、また自律神経学を体系化した、Eppinger and Hess<sup>8)</sup> (1908) の Sympathicotonia と Vagotonia 学説にそれを見ることができる。

Eppinger と Hess は、自律神経系は交感神経と副交感神経が互いに絶対的な antagonism system をもち、この拮抗性によって生体が維持されていること、更に、人類は例外なく、Sympathicotonia か、もしくは Vagotonia (Parasympathicotonia) のどちらかに分類できるとした。しかし、冲中<sup>15)</sup> (1949) によれば (この学説を) 「学界は一応驚異の目を以て迎え、当然の結果として多くの追試が行われた。」が、必ずしも全面的に肯定されなかったと評価されるように、adrenaline と pirocarpine による無条件的な antagonism はすべての個体に認めることは出来ないという主張が学界の大勢であった。

Dresel<sup>5) 6)</sup> (1923, 1924) は Eppinger と Hess が末梢性平衡を問題としたのに対して、自律神経

高位中枢平衡から上述の問題に取り組み、交感・副交感の両神経系に完全な antagonism を認めなかったが、個体における交感神経素質と副交感神経素質なる分類を認めた。

ドイツの内科医 Bergmann<sup>1)</sup> (1928) はバセドウ氏病や甲状腺機能亢進状態の研究から、中枢の交感性緊張と副交感性緊張の差が外から認識可能なものとして潜在しているのではなく、両者の協調性が崩れている状態としての Vegetative Stigma (自律神経系不安定徴候) を示す個体が存在することを見出した。この、Bergmann の学説を顕在性二元支配説、Eppinger と Hess の学説を潜在性二元支配説と呼ぶ<sup>23)</sup> ことがあるが、いずれにしても個体における自律神経中枢の全身的支配と構造的な交感・副交感神経の antagonism を認めるという点で共通している。Hoff<sup>12)</sup> (1934) は、Sympathicotonia と Vagotonia を詳細に観察し、自律神経系は、局所的、一過性に傾くことを見出した。Cannon<sup>2) 3) 4)</sup> (1930, 1931, 1933) は、両神経系の antagonism を認めつつも、両神経系に反発的な antagonism を認めなかった。即ち一方の系統の亢進が他系統を抑制することではなく、交感神経系と副交感神経系は、互いに独立に臓器に作用を及ぼしていることを指摘した。

これらの諸説は今日に至るまで、様々に議論されているが、基本的には、Sympathicotonia と

Parasympathycotonia に分割して個体の自律神経平衡状態を表現することが首肯されている。

b) Wenger<sup>26) 27) 28) 29) 30)</sup>の方法について

この漠然とした概念に Wenger (1941) は、因子分析法を用いて客観的解釈を与えた。即ち、k 個の自律神経検査法が m 次元空間内で、一本の軸に沿っており、この限りに於て Eppinger と Hess の学説は支持された。

この立場は、図 1 のように、個体を Sympathiconia か Parasympathiconia のどちらか一方に傾くか、あるいは平衡状態にあるかで理解する。この考え方は様々に批判されたにもかかわらず、Wenger とその学説を支持する人々<sup>13) 17)</sup>にあっては基本的公理になっている。よって Wenger 法の研究では、bipolar factor theorem が基本モデルとして採用されている。このモデルは 1 本の自律神経平衡因子の中に、交感・副交感神経緊張の両者が混在しており、この両者の亢進・抑制の程度は 1 個の数として示され、図 1 に対応させると天秤の傾斜角度に類似する。しかし、このモデルでは交感神経系または、副交感神経系の緊張が互いにどの程度でその結果として自律神経平衡がどのようなであるという説明がなされていない。

c) 二因子モデル

Wenger の方法に対して著者は、自律神経平衡を交感と副交感神経系の独立な緊張因子から表現する。この考え方は、Bergmann や Cannon の立場に近く、交感、副交感神経系が互いに独立して臓器を支配し、効果として Sympathicotonia, Parasympathicotonia を、または equilibrium を示していると考ええる。従って図 2 のような直交する因子空間の一点として、ある個体のある時点の自律神経平衡が表示されていることになる。

このモデルの基礎情報をもってこれから抽出せられる自律神経平衡因子について検討した。なお ECG 情報から自律神経平衡を推定する論拠については既に大沢<sup>18)</sup>が論述している。

Wenger は、自律神経平衡を計量する際に、自律神経検査のテストバッテリーと因子分析結果との間に対応関係があるとき因子分析結果に「physiological pattern」が認められると考えた。この立場は、両者の対応が保証される場合にはそ

の因子モデルを採用することができるが、大沢<sup>18)</sup>の検討によれば Wenger 法では必ずしも対応関係が成立しておらずモデルとしての有効性を失っていた。そこで、本論では表 1 の左欄にある循環系テストバッテリーを用いて因子分析を試みたところ 2 因子モデルによって「physiological pattern」と解析結果とが対応すること、換言すれば、自律神経平衡を計量するモデルとして 2 因子モデルが適当であることを見出した。

そこでこの 2 因子モデルが各種因子回転の結果、互いに近似したパターンを示すか否かを検討し、更に、そのパターンが「physiological pattern」に一致するかどうかをみたところ、表 1 が得られた。これによれば「physiological pattern」と各因子負荷量は大きく一致している。ECG 上の RR 間隔は、いずれの回転でも第 1 因子（副交感神経緊張因子）に高い負荷量を示し、QT 間隔も同様である。P 高は第 1 因子で負の因子負荷を、第 2 因子で正の因子負荷を示し、T 高は P 高とベクトルの方向が逆の負荷を示した。この因子負荷量は、副交感神経緊張で ECG 上の変化として、RR 間隔と QT 間隔の延長、P 減高、T 増高が発現し、交感神経緊張で RR 間隔、QT 間隔の短縮、P 増高、T 減高が発現することに対応している<sup>7) 9) 10) 11) 14) 16) 20) 21) 25)</sup>。

上記の方法では 19 個の ECG 上の波型成分から自律神経平衡状態を計量することができるが、本研究では、自律神経平衡状態を動的に測定、評価する実用的評価方法を探ることを目標としている。即ち、交感と副交感神経緊張因子の軸によって描かれる 2 次元空間の中で個体の自律神経平衡がどのような行動をとるかということを客観的に計量可能なものにするための基礎を与えようとしている。その為にまず、安静時における因子モデルが 2 因子モデルとして妥当性をもつか否かを検討した。それによって妥当性がある場合には、その因子モデルを自律神経平衡を計量する基本モデルとして採用し、この 2 因子によって張られる 2 次元空間の中である個体の自律神経平衡状態が定義される。しかる後に、このモデルに他の条件下で得られた測定値（計測値）を外捜すれば、その個体の自律神経平衡状態の動的観察が可能にな

るはずである。

#### d) 動態的評価方法

いま心拍調律を(R)としたとき、(R)は交感神経系の影響(S)、副交感神経系の影響(P)、及び心臓固有の効果(I)からなると考えられ、

$$R = S + P + I$$

と表わせる。(I)は自律神経系の影響から独立な情報でPorges<sup>19)</sup>(1976)によれば、ある個人内の(R)に含まれる(I)は自律神経系の影響に対して無作為であるから、これは一定と考えておく。

米国のPsychophysiolgistsはこのモデルにSpectral解析を施して自律神経緊張を抽出しようとしているが、著者はこの(S)と(P)をECG波形成分の因子分析から抽出することを試みた。このとき、因子分析的には(I)はECG波形成分の独自成分として理解される。

表2は、安静時における因子分析結果である。2因子による累積寄与率は63.7%であり、前述の「physiological pattern」との対応が存在していた。これらを3因子に拡張すると80%の説明力が得られる。しかし、「physiological pattern」との対応が失われ、自律神経学と因子分析法のlinkageが不可能になる。かつECGや血圧情報の何%が自律神経情報であるという保証も存在しないので80%ならば最適であるとは断定できない。つまりECGや血圧情報の全てが自律神経情報ではなく、ECG波形成分は心筋の収縮力や心臓の形態、電解質の平衡性などの影響を、血圧ならば電解質平衡、循環系調節ホルモン(renin-angiotensin-aldosterone系)、末梢血管抵抗その他様々の生体情報を含んでいると考えられる。よってこれらの循環系情報から自律神経の情報を抽出し得たか否かの判断は生理学的知見を手掛りとして、合理的に因子分析結果を解釈することが本研究では重要な観点である。もし、得られた第1または第2因子が自律神経因子と考えられず、第3と第4の因子がそう解釈可能ならば(生理学的知見と大略一致すれば)それらの因子を自律神経平衡因子とする。本研究では第1因子を副交感神経緊張因子、第2因子を交感神経緊張因子と理解す

ることが妥当であった。参考として起立時、努責時の因子分析を行うと(表2参照)いずれも「physiological pattern」に合致しており、前述の(R)成分中の(S)と(P)を適切に抽出していると考えられた。ただし、小論では、安静時によって得られた平衡因子を基準とし、これから負荷的条件下でどの方向に、どの程度変動するかを測定、評価することがねらいなので起立時、努責時の解析結果については負荷的条件下でも因子構造が著しく変化しないことを記してこれ以上の検討を控えた。

#### e) 自律神経平衡状態の分類

BergmannのVegetative Stigmatisierteは、交感・副交感の両神経系の平衡異常を総称したものと考えられる。これを更に細分化するとGagelのSymp. Hypertonia(交感神経緊張)、Parasymp. Hypertonia(副交感神経緊張)、Symp. Hypotonia(交感神経低緊張)、Vegetative Ataxia(自律神経運動失調)なる分類がドイツ学派では一般的である。

いま、交感・副交感神経緊張因子とも得点 $\pm 1.0$ を統計的な目安として図2の座標上の区画を考えると、自律神経平衡の分類は図2のa~pの16分類で得られる。得点 $\pm 1.0$ 以内は標準偏差以内に含まれることから正常範囲内と考え、 $\pm 1.0$ 以外を亢進または、抑制が過度な状態を推定すると、(f, g, j, k)は正常範囲となる。一方、(a, b, c, d, e, h, i, l, m, n, o, p)の空間は正常範囲外にあるので平衡が失われていることになる。すなわち、(a, b, c, d)の集合は交感神経が過度に亢進しており、(m, n, o, p)は逆に抑制されている。(d, h, l, p)は副交感神経の亢進であり、(a, e, i, m)は抑制されている。続いて、ドイツ学派の分類と図4を対応させると、Symp. Hypertoniaは図2の(a, b, c, d)、Parasymp. Hypertoniaは(d, h, l, p)、Symp. Hypotoniaは(m, n, o, p)、Vegetative Ataxiaは(m)にそれぞれ対応する。しかし、形式的には(a, e, i, m)という系もParasymp. Hypotoniaとして分類されるべきであろうし、更に(m)のみが単独で意義づけられるとすれば当然、(d)のみの分類もあってよいであろう。本論では仮りに交感神



経亢進・抑制を (+S), (-S), 副交感神経亢進・抑制を (P+), (P-) とする。小論では, この (P) と (S) の組み合わせをもって自律神経平衡状態を分類するから, 図2の如く, ドイツ学派の Symp. Hypertonia は (+SP-), (+S), (+SP-) に細分化され, より詳細な分類が可能になる。ここで (+SP-) は交感神経亢進, 副交感神経抑制の状態である。同様に, (P-), (P+), (-SP-), (-S), (-SP+) 等の平衡異常の分類が可能である。

表3は, 児童生徒650名の自律神経平衡状態を計量した結果である。これによれば, 当然集団の過半数が (f, g, j, k) に属し, これらに分類される児童の自律神経系平衡は安静時においては安定している。ドイツ学派の分類に図2の分類を併せてみると, Symp. Hypertonia は102名であるが副交感神経の抑制を伴ったもの20名と亢進を伴ったもの17名が含まれており, 異質の緊張状態を包摂した Symp. Hypertonia なる概念より, 表3右欄のように Symp. Hypertonia-Parasymp. Hypotonia, Symp. Hypertonia, Symp. Hypertonia-Parasymp. Hypotonia と分類したほうが正確である。Parasymp. Hypertonia は Parasymp. Hypertonia 58名, Symp. Hypotonia-Parasymp. Hypertonia 3名にそれぞれ分類される。Vegetative Ataxia は8名, Symp. Hypotonia は25名, Parasymp. Hypotonia は63名であった。これらの頻度はP得点, S得点の分類境界線をどこに引くかということで相対的に変化するが, 既説<sup>13)</sup>によれば±1.0が採用されており, 小論ではこれを採用した。

図3は, 安静時に比較したときの努責負荷, 起立負荷時の自律神経平衡の変化である。ここでは, 変化を集団的に表現しているので個体についての情報を提供していないが, 本法では基本的には様々な負荷状態での自律神経平衡を計量化することが可能であるので, 今後この方面の検討を急ぎたい。

## 要約と結論

自律神経平衡を非観血的に動態的に測定し, 評価することを目的として本研究を行った。そのため

に ECG 波形成分から交感, 副交感神経緊張得点を因子分析によって推計した。また, この得点を直交する交感と副交感神経緊張因子空間内にプロットし, ある時点のある個人の自律神経平衡を測定, 評価する方法を検討した。

著者の方法によって次の結論を得た。

- 1) 2次元表示による自律神経平衡の分類は図2のようであり, これによると図1の Bipolar Factor model より詳細な分類が可能になった。
- 2) 従来の自律神経平衡の分類 (Gagelの4分類) に新たに5分類を加えた分類法を提案した。
- 3) 著者の方法によれば自律神経平衡の測定・評価は ECG 記録が可能なあらゆる動態的状态で可能である。その前提として, 2次元表示法は適切な方法であった。
- 4) 起立負荷によって自律神経系は安静時に比較して著しい副交感抑制と若干の交感亢進状態となる。また, 努責負荷によっては, 副交感亢進, 交感抑制の方向に傾いていた。

## 謝 辞

本研究に御指導いただいた松浦義行教授 (筑波大体育科学系), 船川幡夫教授 (日女大), 高石昌弘博士 (国立公衆衛生院), 諏訪邦夫助教授, 東郷正美助教授 (東大医) に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) von Bergmann, G. "Die vegetativ Stigmatisierten," *Zeitschrift für klinische Medizin*, 108; 90~99, 1928.
- 2) Cannon, W.B. "Linacre lecture on autonomic nervous system an interpretation," *Lancet* 1; 1109~1115, 1930.
- 3) Cannon, W.B. and Bacq Z.M. "Studies on conditions of activity in endocrine organs; hormone produced by sympathetic action on smooth muscle," *American Journal of Physiology* 96; 393~412, 1931.
- 4) Cannon, W.B. "Chemical mediators of autonomic nerve impulses," *Science* 78; 43~48, 1933.
- 5) Dresel K. "Experimentelle Untersuchungen zur Anatomie und Physiologie des peripheren und Zentralen vegetativen Nerven Systems," *Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin* xxxvii; 373~425, 1923.

- 6) Dresel K. "Zur Pathogenese und Differentialdiagnose vegetativen Störungen. Die Ionenverschiebungen bei der vagotonischen und sympathikotonischen Disposition sowie bei der Tetanie und ihre Beziehungen zur Spasmophilie", *Klinische Wochenschrift* 3; 311~313, 1924.
- 7) Einthoven W., "Weiteres über das Elektrokardiogramm" *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 122: 517~584, 1908.
- 8) Eppinger H. und Hess L. "Zur Pathologie des vegetativen Nerven Systems. *Zeitschrift für klinische Medizin* 67; 345~351. 1908-9.
- 9) 畑 義雄, 「左右促進神経刺激の房室刺激伝達に及ぼす影響について」 *東京医学雑誌*, 39 : pp 1737 -1776 , 1925.
- 10) Henderson Y. et al., "The volume curve of the ventricles of the mammalian heart-beat, and the significance of this curve in respect to the mechanics of the heart-beat and the filling of the ventricles," *American Journal of physiology*, 16: 325~367, 1906.
- 11) Hering H.E., "Experimentelle Studien an Säugethieren über das Elektrokardiogramm," *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 127: 155~171, 1909.
- 12) Hoff F. *Klinische Wochenschrift*, 519 (1934). 冲中重雄, 自律神経系と臨床 pp 131~153, より引用.
- 13) 木村隆夫, 「小児体質と自律神経機能に関する研究」 *米子医学雑誌* 8 - 1 : 129~168, 1957.
- 14) Leon D.F. et al., "Reflex heart rate control in man," *American Heart Journal*. 80: 729~739. 1970
- 15) 冲中重雄, 自律神経系と臨床 pp 131-153, 杏林書院, 1949.
- 16) 冲中重雄他, 「迷走神経の電心図に及ぼす影響」 *日本循環器病学*, 10 - 2 : 39~40, 1944.
- 17) 冲中重夫・葛谷信貞, 「人体自律神経緊張状態の測定法について」, *日新医学*, 37 - 7 : 249~256 , 1950.
- 18) 大沢清二, 「自律神経の計量化に関する Wenger 法的方法的検討」 *筑波大学体育科学系紀要* 2; 47~59. 1979.
- 19) Porges S.W., "Peripheral and neurochemical parallels of psychopathology: A psychophysiological model relating autonomic imbalance to hyperactivity, psychopathy and autism," *Advances in Child Development and Behavior*, 11: 35~65, 1976.
- 20) Rehfish E., "Über die Reizung des Herzvagus bei Warmblutern mit Einzelinduktionsschlagen," *Archiv für die gesamte Physiologie*, suppl, 152~172, 1906.
- 21) Samojhoff, A., "Die Vagus- und Muskalin Wirkung auf die Stromkurve des Froschherzens," *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 155: 471~522, 1913.
- 22) 高橋暁正・柏木 力, 「因子分析による現象解析」 *日新医学*, 44 - 6 : 295~305, 1957.
- 23) 高橋暁正, 「個体レベルの調節」須田勇他〔編〕*生理学研究法*, pp823~830, 医学書院, 1975.
- 24) 宇尾野公義, 「自律神経機能検査法」市橋保雄他〔編〕*起立性調節障害* pp 71, 中外医学社, 1974.
- 25) Walter C. et al., "Regional vasosympathetic control of the heart," *American Journal of Physiology*, 227: 442~452, 1974.
- 26) Wenger M.A. "The measurement of individual differences in autonomic balance," *Psychosomatic Medicine*, 3: 427~434, 1941.
- 27) Wenger M.A., "A study of physiological factors. The autonomic nervous system and the skeletal musculature," *Human Biology*, 14: 69~84, 1942.
- 28) Wenger M.A., "The stability of measurement of autonomic balance," *Psychosomatic Medicine*, 4: 94~95, 1942.
- 29) Wenger M.A., "A further note on the measurement of autonomic balance," *Psychosomatic Medicine*, 5: 148~151, 1943.
- 30) Wenger M.A., "The measurement of autonomic balance in children. Method and normative data," *Psychosomatic Medicine*, 5 :241~253, 1943.
- 31) Yuasa R. et al., "Studies on the electrocardiographic changes during the electrical stimulation of the hypothalamus of rabbit," *Medical Journal of Osaka University*, 5-1: 41~158, 1957.