末梢血流量のゆらぎからみた老人の体温調節能

豊橋技術科学大学 安田好文

Effect of Aging on the Thermoregulatory Ability Evaluated from the Fluctuation of Cutaneous Circulation

by

Yoshifumi Yasuda Research Center of Physical Fitness, Sports and Health, Toyohashi University of Technology

ABSTRACT

The aim of the present study is to evaluate the thermoregulatory ability of the aged by the fluctuation of cutaneous circulation. Twenty-two aged and 14 young subjects participated in the study. The fluctuation of the heart rate and forehead skin blood flow was estimated by the spectral analysis.

The magnitude of the HR fluctuation was significantly reduced in the aged. Two oscillatory components the HR fluctuation corresponding to respiration and the Mayer wave were also reduced in the aged subjects. Variation of the forehead skin blood flow was larger in the aged. No significant correlation was observed in the fluctuation between HR and skin blood flow. Aging could not be observed on the fluctuation of the cutaneous circulation.

要 旨

本研究では、老化に伴う体温調節能の機能低下 を皮膚血流量のゆらぎから推測できるか否かを検 討することを目的とした。年齢61から83歳の高齢 者22名(A群)と健康な大学生14名(Y群)を被 験者とし、安静下における心拍変動および前額皮 膚血流量のゆらぎをスペクトル解析し、その成分 分離と各成分の積分値からゆらぎの強さを判定し た.

心拍ゆらぎはA群に比べY群が有意に大きい. また低周波ゆらぎ (LFF), 呼吸性ゆらぎ (RSF) の積分値もY群が有意に高かった. LFF/RSF の 値はA群が高い傾向にある. 一方皮膚血流量につ いては, 平均血流量, 各ゆらぎ成分の積分値とも A群が高い傾向を示し, とくに心拍同期ゆらぎ (CSF) がY群に比べ有意に高かった. 心拍ゆら ぎと皮膚血流のゆらぎの大きさには, 有意な関係 は認められない. 以上から, 皮膚血流のゆらぎか ら老化による体温調節機能の低下を認めることは できなかった.

緒 言

最近、脳波、心拍、呼吸、血圧、末梢血流量等の生体信号におけるゆらぎが注目されるようになってきた。これらはそれぞれ別々の調節系をもち、そのためゆらぎ発生の機構も異なると予想される。ゆらぎの解析には通常スペクトル解析法を用いて、その成分分離とパワーの積分値からゆらぎの大きさを評価する方法が一般的である。また、これらの解析法と薬理的な手法を併用することにより、ゆらぎ発生のメカニズムが明らかにされてきた10,110.

たとえば心拍ゆらぎにおいては、心臓迷走神経 遮断薬であるアトロピン投与により呼吸に同期し たゆらぎが消失することから、このゆらぎ成分が 心臓迷走神経を介した反射によるものと同定する ことができる。しかしながら、このようなゆらぎ が生体にとってどのような意義をもつかについて は、現時点では明らかでない。田原はは、指尖容 積脈波のゆらぎをカオスアトラクターより眺め、 健常者に比べて、高齢者や病人のアトラクターが 小さく、かつ単純化することを明らかにしている。 このことから、ゆらぎの大きさは生体の動的な適 応能力、すなわち健康を示す良きバロメータにな り得ることを示唆している.

一方、体温調節能は寒冷下における熱産生能力 および皮膚血管収縮による体熱放散抑制能力と, 高温下における皮膚血流量の増大および発汗に よる熱放散能力に大別することができる。この ため皮膚血流調節は体熱放散、および体熱遮断両 面において体温調節上重要な働きを担うと考えら れる。これまで皮膚血流量の調節においては、細 動脈における収縮性調節とともに, とくに皮膚 に特異的に存在する動静脈吻合(arteriovenous anastomoses) の果す役割が大きいことが示唆さ れている5.16. 岩瀬ら6)は、皮膚交感神経の電気 活動を直接記録し、その活動が周期的に起こるこ と, またこれら活動が皮膚血流量の減少に先行し て起こることから交感神経を介した反応であるこ とを明らかにしている。しかしながら、皮膚血流 量は部位差も大きく、とくに有毛部と無毛部とで そのパターンが異なるなど、その調節機構につい ては未だ不明のことが多い.

われわれは最近、レーザドプラー血流計を用いて、ヒトの前額部血流量を測定し、そのスペクトル解析結果から主に3つのゆらぎ成分、すなわち心拍同期成分、呼吸同期成分、および皮膚血流量特有の約7秒の周期を持つリズムが存在することを明らかにした¹⁷⁷. とくに約7秒の周期を持つゆらぎは、血管拡張に伴ってそのパワーを減少させることから、血管収縮性の活動に関係していることを示唆した。しかしながら、これらのゆらぎの大きさから末梢血管の血流調節能を評価しうるか否かについては、これまでまったく検討されていない。

そこで本研究では、高齢者および成人の心拍ならびに皮膚血流量のゆらぎの比較から、老化による自律神経機能、ひいては体温調節能への影響を検討することを目的とした.

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は高齢者群(A群)として現在,豊橋市内某老人ホームに入居中の22名(男性3名,女性19名)であり、その平均年齢は74歳(56~82歳)であった。また対照群(Y群)は健康な学生14名(男子6名,女子8名)であり、年齢は18~21歳であった。実験はすべて午後に行い、少なくとも食事後1時間以上経過してから行った。また当日は激しい運動を行わないよう指示した。実験場所は、A群が老人ホーム、Y群は大学の実験室にて行った。

1.2 実験手順

被験者は、測定室に入室、十分な安静を保持した後に、心電図電極および前額にはレーザ血流計のプローブを装着し、座位姿勢において10分間の測定を行った。測定中はできるだけ動かないように、また通常の呼吸パターンを維持するように指示した。

心電図計測にはハンディ型生体アンプ(MEG-1200,日本光電)を用い、標準胸部双極誘導法により測定した。また皮膚血流量の測定にはレーザドプラー血流計(アドバアンス、ALF-21)を用い、前額中央部において測定した。学生を被験者とした対照実験時には、呼吸リズム確認のためにサーミスタ温度計(D921、宝工業)を用い、鼻孔前部の温度を測定した。またA群に対しては実験に先立ち血圧測定(CBM-7000、日本コーリン)を行った。心電図、皮膚血流量の測定データは、いったんデータレコーダ(RD-129 TE、TEAC)に記録し、後日解析した。

なお実験の期日は、A群が平成7年8月10~11 日であり、Y群は同年9月中に実施した。測定室 の室温は、中立温を目標としたが、老人ホームに おいては外気温が高かったため空調機の効果が十 分でなくおよそ27~29℃であった。大学の実験室 では目標とした24~26℃の範囲に調節した.

1.3 データ解析

心電図および前額皮膚血流量のデータは、A/ D 変換器 (AB 98-05, ADTEC) を介してそれぞ れサンプリング周波数 400 Hz および 10 Hz にて コンピュータ (PC 9801 VM, NEC) に取り込み, データファイルを作成した. 心電図におけるR波 の検出には、電圧閾値および時間閾値の2種類の 閾値を測定した。すなわちR波を認識するために は心電図波計が閾値電圧を上回ること, および直 前のR波の認識から今回のR波までに閾値時間以 上経過しなければならない条件とした。閾値電圧 については個々の再生データから視覚的に判断し たが、閾値時間については、0.4秒に設定した。 検出したR-R間隔は、心拍数(beats/min)に 変換し、さらに直線補間法により0.2秒間隔の等 間隔データ列に再変換した後、解析に用いた。ま た皮膚血流量データは、血流量単位として出力さ れている値をそのまま解析に用いた.

ゆらぎの解析には高速フーリエ変換法(FFT)を用い、パワースペクトル密度(PSD)を算出した。得られたパワースペクトログラムから、心拍変動については呼吸に同期すると考えられる周波数帯域(呼吸性成分:RSF)および5秒から20秒の間に存在するパワー(低周波成分:LFF)の積分値からゆらぎの強さを定量的に求めた。同様に、皮膚血流量のパワースペクトログラムから、心拍同期成分(高周波成分:CSF)、呼吸に同期した成分(呼吸性成分:RSF)および約5秒から20秒に存在する低周波成分(LFF)の積分値を算出した。解析に用いたデータは心拍、皮膚血流量ともに409.6秒であった。

一方,変動の動的側面を観察するために,カオス解析の一手法であるアトラクターを参考データにおいて算出した.アトラクターの再構成には,Takens の手法を用いた. A 群と Y 群の群間比較には Welch の t-test を用い, 5 %を有意差

の基準とした.

2. 結 果

高齢者における心拍(上段),皮膚血流量(下段)の時間に伴う変動と、そのスペクトル解析結果の代表的な一例を図1に示す.心拍数はおよそ70から80拍/分の間で変動し、時間に伴う有意な増減は認められない。そのスペクトログラムから呼吸に同期したと考えられるゆらぎ(RSF)、約10秒周期のゆらぎ、さらには40秒にピークがある強いゆらぎが観察された。皮膚血流量においても、全体としては定常を維持しながら常に変動していることが観察された。そのスペクトログラムから、0.8秒にピークを持つ心拍同期ゆらぎ(CSF)、呼吸に同期したゆらぎ(RSF)、さらには11.4秒、6.5秒にピークをもつゆらぎ等が観察された。

図2は、図1と同程度の平均心拍数、平均皮膚 血流量を有する大学生における呼吸(上段)、心 拍(中段)および皮膚血流量(下段)の時間変化 とそのスペクトル解析結果の一例を示す. サーミ スタによる呼吸曲線のスペクトル解析から呼吸周期はおよそ2.8秒から6.3秒にあることが分かる. 心拍数はおよそ70拍/分から90拍/分の範囲で変動し、そのスペクトル解析から呼吸性ゆらぎ、10秒ゆらぎが観察された. 心拍全体のゆらぎは、図1に示した高齢者のデータに比べて大きいことが分かる. また皮膚血流量のスペクトル解析から、呼吸性ゆらぎ、および8.6秒をピークとする成分が認められた.

図3, 4は, これらの両被験者の心拍, 皮膚血流量のデータを3次元に埋め込んだ場合のアトラクターを示す. 心拍データにおいては高齢者に比べ, 対照群のデータがより複雑で広がりも大きいことが理解できる. しかし血流のアトラクターには明らかな違いは認められない.

表 1 および表 2 は、スペクトル解析結果を各グループごとに整理したものである。 平均心拍数 (±SD) は A 群が77.4 (8.2) 拍/分、 Y 群が70.6 (10.8) 拍/分で、前者がやや高かったが、統計的に有意の差ではなかった。 しかしながら各被験

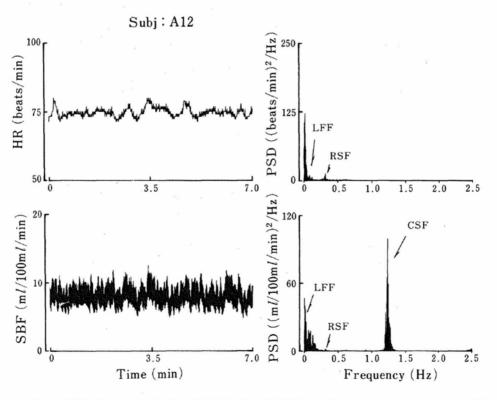
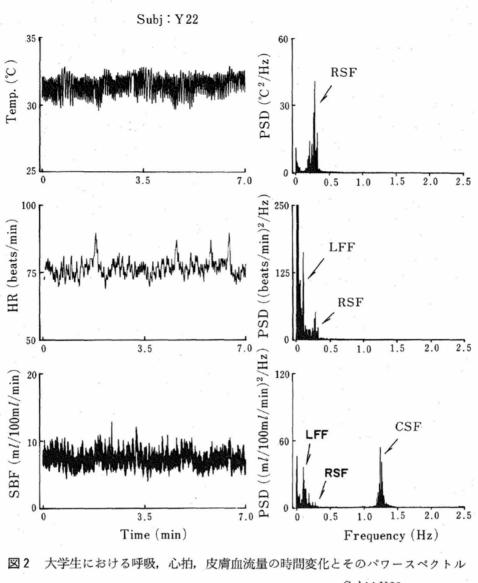


図1 高齢者における心拍、皮膚血流量の時間変化とそのパワースペクトルの一例



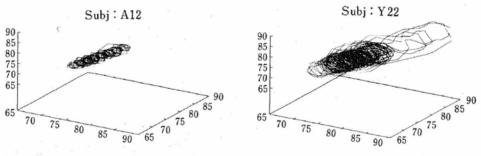


図3 図1,2の心拍変動から求めたアトラクター

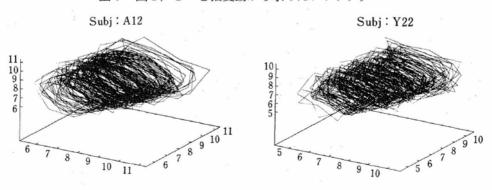


図4 図1,2の皮膚血流量時系列データから求めたアトラクター

表1 高齢者群の心拍ゆらぎ、皮膚血流量ゆらぎの解析結果

			(心拍ゆらぎ)				(皮膚血流量ゆらぎ)					4 5
験者	年齢	性別	平均	±SD	LFF	RSF	平均	±SD	CSF	LFF	RSF	血圧
. 11	67	女	86.0	2.4	95	34	10.4	1.0	48	19	1	125/ 74
. 12	74	女	74.7	1.6	10	15	8.1	1.3	74	26	2	119/ 74
. 13	69	女	83.3	2.1	38	57	4.7	1.0	13	36	5	178/ 90
14	74	女	88.2	1.2	14	12	5.7	0.8	31	5	5	162/ 88
15	77	女	80.5	1.9	20	64	7.9	2.0	181	47	4	145/ 71
116	75	女	74.3	1.6	20	49	5.5	1.5	54	104	1	199/105
. 17	81	女	79.5	2.4	31	10	9.7	1.5	120	2	1	163/ 89
. 18	76	女	83.1	2.4	37	65	12.5	3.0	265	191	48	171/ 83
19	83	男	90.5	2.5	53	13	14.9	2.3	322	29	20	183/ 94
20	71	女	88.9	2.8	28	23	7.0	0.9	31	11	1	131/ 75
. 21	82	女	61.0	1.5	28	20	4.1	0.5	5	3	1	130/ 68
22	75	女	72.6	1.1	29	18	14.4	2.8	406	45	5	132/ 64
23	82	女	64.9	1.5	3	5	7.7	1.1	55	4	2	141/ 74
24	75	女	78.0	2.2	5	12	7.6	1.7	180	29	3	160/108
25	78	男	76.7	2.6	55	23	13.5	1.5	90	39	3	174/ 75
26	62	男	81.3	1.9	78	19	8.0	1.6	58	88	1	136/ 82
27	61	女	71.8	1.7	31	48	3.6	0.7	17	7	1	152/ 90
. 28	77	女	71.1	1.7	15	20	8.4	2.4	181	240	1	176/ 78
29	66	女	74.8	1.4	37	14	3.7	1.0	58	7	2	96/ 56
30	74	女	62.1	1.3	11	29	4.4	0.6	11	4	1	116/ 59
. 31	71	女	77.2	1.4	10	8	9.0	2.5	398	18	2	152/ 77
. 32	81	女	83.0	1.2	3	8	10.4	2.6	408	16	1	122/ 63
均	74		77.4	1.8	29.6	25.7	8.2	1.6	137	44	5	
B D	6.2		8.2	0.5	23.7	18.8	3.4	0.8	137	61	10	
	11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32	111 67 112 74 113 69 114 74 115 77 116 75 117 81 118 76 119 83 120 71 121 82 122 75 123 82 124 75 125 78 126 62 127 61 128 77 129 66 130 74 131 71 132 81	111 67 女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女女	111 67 女 86.0 112 74 女 74.7 113 69 女 83.3 114 74 女 88.2 115 77 女 80.5 116 75 女 74.3 117 81 女 79.5 118 76 女 83.1 119 83 男 90.5 120 71 女 88.9 121 82 女 61.0 122 75 女 72.6 123 82 女 64.9 124 75 女 78.0 125 78 男 76.7 126 62 男 81.3 127 61 女 71.8 128 77 女 71.1 129 66 女 74.8 130 74 女 62.1 131 71 女 77.2 132 81 女 83.0	験者 年齢 性別 平均 ±SD 11 67 女 86.0 2.4 12 74 女 74.7 1.6 13 69 女 83.3 2.1 14 74 女 88.2 1.2 15 77 女 80.5 1.9 16 75 女 74.3 1.6 17 81 女 79.5 2.4 18 76 女 83.1 2.4 19 83 男 90.5 2.5 20 71 女 88.9 2.8 21 82 女 61.0 1.5 22 75 女 72.6 1.1 23 82 女 64.9 1.5 24 75 女 78.0 2.2 25 78 男 76.7 2.6 26 62 男 81.3 1.9 <td>験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF 11 67 女 86.0 2.4 95 12 74 女 74.7 1.6 10 13 69 女 83.3 2.1 38 14 74 女 88.2 1.2 14 15 77 女 80.5 1.9 20 16 75 女 74.3 1.6 20 17 81 女 79.5 2.4 31 18 76 女 83.1 2.4 37 19 83 男 90.5 2.5 53 20 71 女 88.9 2.8 28 21 82 女 61.0 1.5 28 22 75 女 72.6 1.1 29 23 82 女 64.9 1.5 3 24 75 女 78.0 2.2 5 25 78 男 76.7 2.6 55 26 62 男 81.3 1.9 78 27 61 女 71.8 1.7 31 28 77 女 71.1 1.7 15 29 66 女 74.8 1.4 37 30 74 女 62.1 1.3 11 31 71 女 77.2 1.4 10 32 81 女 83.0 1.2 3</td> <td>映者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 11 67 女 86.0 2.4 95 34 112 74 女 74.7 1.6 10 15 13 69 女 83.3 2.1 38 57 14 74 女 88.2 1.2 14 12 15 77 女 80.5 1.9 20 64 16 75 女 74.3 1.6 20 49 17 81 女 79.5 2.4 31 10 18 76 女 83.1 2.4 37 65 19 83 男 90.5 2.5 53 13 120 71 女 88.9 2.8 28 23 121 82 女 61.0 1.5 28 20 122 75 女 72.6 1.1 29 18 123 82 女 64.9 1.5 3 5 124 75 女 78.0 2.2 5 12 125 78 男 76.7 2.6 55 23 126 62 男 81.3 1.9 78 19 127 61 女 71.8 1.7 31 48 128 77 女 71.1 1.7 15 20 129 66 女 74.8 1.4 37 14 130 74 女 62.1 1.3 11 29 131 71 女 77.2 1.4 10 8 132 81 女 83.0 1.2 3 8 14 77.4 1.8 29.6 25.7</td> <td>験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 11 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 17 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 18 76 女 83.1 2.4 37 65 12.5 19 83 男 90.5 2.5 53 13 14.9 20 71 女 88.9 2.8 28 23 7.0 21 82 女 61.0 1.5 28 20 4.1 22 75 女 72.6 1.1 29 18 14.4 23 82 女 64.9 1.5 3 5 7.7 24 75 女 78.0 2.2 5 12 7.6 25 78 男 76.7 2.6 55 23 13.5 26 62 男 81.3 1.9 78 19 8.0 27 61 女 71.8 1.7 31 48 3.6 28 77 女 71.1 1.7 15 20 8.4 29 66 女 74.8 1.4 37 14 3.7 30 74 女 62.1 1.3 11 29 4.4 31 71 女 77.2 1.4 10 8 9.0 32 81 女 83.0 1.2 3 8 10.4</td> <td>験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 ±SD 11 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 1.0 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 1.3 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 1.0 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 0.8 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 2.0 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 1.5 1.7 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 1.5 18 76 女 83.1 2.4 37 65 12.5 3.0 19 83 男 90.5 2.5 53 13 14.9 2.3 12.0 71 女 88.9 2.8 28 23 7.0 0.9 12.1 82 女 61.0 1.5 28 20 4.1 0.5 12.2 75 女 72.6 1.1 29 18 14.4 2.8 12.2 75 女 78.0 2.2 5 12 7.6 1.7 1.1 22 78 男 76.7 2.6 55 23 13.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1</td> <td> Y 均</td> <td>験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 ±SD CSF LFF 111 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 1.0 48 19 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 1.3 74 26 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 1.0 13 36 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 0.8 31 5 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 2.0 181 47 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 1.5 54 104 17 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 1.5 120 2 18 76 女 83.1 2.4 37<!--</td--><td> Y 均</td></td>	験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF 11 67 女 86.0 2.4 95 12 74 女 74.7 1.6 10 13 69 女 83.3 2.1 38 14 74 女 88.2 1.2 14 15 77 女 80.5 1.9 20 16 75 女 74.3 1.6 20 17 81 女 79.5 2.4 31 18 76 女 83.1 2.4 37 19 83 男 90.5 2.5 53 20 71 女 88.9 2.8 28 21 82 女 61.0 1.5 28 22 75 女 72.6 1.1 29 23 82 女 64.9 1.5 3 24 75 女 78.0 2.2 5 25 78 男 76.7 2.6 55 26 62 男 81.3 1.9 78 27 61 女 71.8 1.7 31 28 77 女 71.1 1.7 15 29 66 女 74.8 1.4 37 30 74 女 62.1 1.3 11 31 71 女 77.2 1.4 10 32 81 女 83.0 1.2 3	映者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 11 67 女 86.0 2.4 95 34 112 74 女 74.7 1.6 10 15 13 69 女 83.3 2.1 38 57 14 74 女 88.2 1.2 14 12 15 77 女 80.5 1.9 20 64 16 75 女 74.3 1.6 20 49 17 81 女 79.5 2.4 31 10 18 76 女 83.1 2.4 37 65 19 83 男 90.5 2.5 53 13 120 71 女 88.9 2.8 28 23 121 82 女 61.0 1.5 28 20 122 75 女 72.6 1.1 29 18 123 82 女 64.9 1.5 3 5 124 75 女 78.0 2.2 5 12 125 78 男 76.7 2.6 55 23 126 62 男 81.3 1.9 78 19 127 61 女 71.8 1.7 31 48 128 77 女 71.1 1.7 15 20 129 66 女 74.8 1.4 37 14 130 74 女 62.1 1.3 11 29 131 71 女 77.2 1.4 10 8 132 81 女 83.0 1.2 3 8 14 77.4 1.8 29.6 25.7	験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 11 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 17 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 18 76 女 83.1 2.4 37 65 12.5 19 83 男 90.5 2.5 53 13 14.9 20 71 女 88.9 2.8 28 23 7.0 21 82 女 61.0 1.5 28 20 4.1 22 75 女 72.6 1.1 29 18 14.4 23 82 女 64.9 1.5 3 5 7.7 24 75 女 78.0 2.2 5 12 7.6 25 78 男 76.7 2.6 55 23 13.5 26 62 男 81.3 1.9 78 19 8.0 27 61 女 71.8 1.7 31 48 3.6 28 77 女 71.1 1.7 15 20 8.4 29 66 女 74.8 1.4 37 14 3.7 30 74 女 62.1 1.3 11 29 4.4 31 71 女 77.2 1.4 10 8 9.0 32 81 女 83.0 1.2 3 8 10.4	験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 ±SD 11 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 1.0 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 1.3 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 1.0 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 0.8 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 2.0 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 1.5 1.7 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 1.5 18 76 女 83.1 2.4 37 65 12.5 3.0 19 83 男 90.5 2.5 53 13 14.9 2.3 12.0 71 女 88.9 2.8 28 23 7.0 0.9 12.1 82 女 61.0 1.5 28 20 4.1 0.5 12.2 75 女 72.6 1.1 29 18 14.4 2.8 12.2 75 女 78.0 2.2 5 12 7.6 1.7 1.1 22 78 男 76.7 2.6 55 23 13.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1	Y 均	験者 年齢 性別 平均 ±SD LFF RSF 平均 ±SD CSF LFF 111 67 女 86.0 2.4 95 34 10.4 1.0 48 19 12 74 女 74.7 1.6 10 15 8.1 1.3 74 26 13 69 女 83.3 2.1 38 57 4.7 1.0 13 36 14 74 女 88.2 1.2 14 12 5.7 0.8 31 5 15 77 女 80.5 1.9 20 64 7.9 2.0 181 47 16 75 女 74.3 1.6 20 49 5.5 1.5 54 104 17 81 女 79.5 2.4 31 10 9.7 1.5 120 2 18 76 女 83.1 2.4 37 </td <td> Y 均</td>	Y 均

表 2 対照群の心拍ゆらぎ、皮膚血流量ゆらぎの解析結果

ν				(心拍)	ゆらぎ)		(皮膚血流量ゆらぎ)					
被験者	年齢	性別	平均	$\pm SD$	LFF	RSF	平均	±SD	CSF	LFF	RSF	
Y 11	19	男	59.9	3.1	85	163	11.1	1.3	57	10	9	
Y 12	19	男	73.7	3.5	81	117	7.4	1.3	55	13	3	
Y 13	18	女	82.4	6.3	648	924	10.3	1.6	65	10	9	
Y 14	19	女	66.0	2.4	63	207	6.5	1.2	48	15	3	
Y 15	19	女	92.0	4.8	337	642	7.0	0.9	18	17	2	
Y 16	19	男	77.4	4.3	479	726	6.5	0.9	23	10	23	
Y 17	19	男	82.1	3.4	257	62	4.6	0.7	12	5	1	
Y 18	21	男	52.6	4.0	203	138	7.7	1.3	74	12	12	
Y 19	19	男	72.9	5.9	1071	676	6.8	0.7	17	4	8	
Y 20	20	女	62.5	5.6	233	1531	3.7	0.8	20	5	. 3	
Y 21	19	女	63.1	3.2	89	476	9.3	1.6	64	67	5	
Y 22	20	女	76.5	3.1	183	108	7.5	1.2	45	26	8	
Y 23	21	女	66.8	5.5	663	630	5.0	0.9	36	9	3	
Y 24	20	女	61.0	2.3	124	83	4.3	0.7	31	4	0	
平均	19		70.6	4.1	322	463	7.0	1.1	40	15	6	
SD	0.9		10.8	1.3	294	424	2.2	0.3	21	16	6	

者の心拍変動の標準偏差の平均値は、A群1.8拍 /分に対し、Y群は4.1拍/分で、両群間に0.1% 水準の有意の差が認められた。また変動係数(標準偏差/平均心拍数×100)についても、A群が2.4に対し、Y群では5.8となり、両群間に0.1%水準の有意の差が認められた。各ゆらぎ成分の比較でもA群のパワーレベルはY群の1/10、あるいはそれ以下と極めて低い。しかし、交感神経と副交感神経の相対的な強さを示すと考えられているLFF/RSF値については、A群の平均が1.15、Y群が0.7であったが、両群間に有意の差は認められなかった。

一方,皮膚血流量の平均値については,A群が $8.2\,\mathrm{m}l/100\,\mathrm{m}l/\mathrm{min}$, Y群が $7.0\,\mathrm{m}l/100\,\mathrm{m}l/\mathrm{min}$ で,A群がやや高い傾向を示したが,有意の差ではなかった.また標準偏差,さらには変動変数についてもA群がY群に比べやや高い傾向を示したが,いずれも有意の差ではなかった.また各ゆらぎ成分の比較では LFF,RSF については両群に差は認められなかったが,CSF 成分についてはA群が有意に高い結果を示した.平均皮膚血流量と心拍同期ゆらぎとの関係については,A群(r=0.69), Y群(r=0.70)でいずれにおいても有意

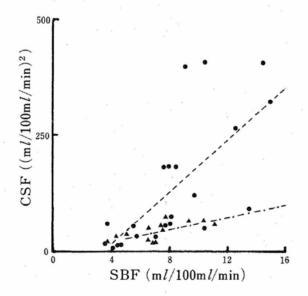


図5 全被験者における平均皮膚血流量と心拍 同期ゆらぎのパワー積分値との関係

(●:高齢者群 ▲:対照群)

の相関が認められた(図5). しかしながら他のゆらぎ成分と平均皮膚血流量値との間には有意の相関関係は認められなかった.

つぎに、心拍ゆらぎと血流ゆらぎの関係を各変動係数から検討したが、 Y群 (r=0.10), A群 (r=-0.40), 全被験者 (r=-0.31) となり、有意の関係は認められなかった。

3. 考察

近年心拍変動のスペクトル解析から、心臓機能を調節している自律神経の活動を評価する試みが報告されるようになってきた。心拍変動のスペクトログラムにおいて、これまで呼吸リズムに同期したゆらぎ成分(呼吸性ゆらぎ)、約10秒の周期をもつゆらぎ(10秒ゆらぎ)、およびそれよりさらに低周波領域に存在する低周波ゆらぎが報告されている。)

この中で低周波ゆらぎについては、Kobayashi ら⁹⁾が提唱する 1/f ゆらぎとも関係すると考え られるが、その生理的な背景は現在のところほと んど明らかにされてはいない、呼吸性ゆらぎは、 心臓迷走神経の遮断薬である atropin の投与に より消失すること (Pomerantz ら¹¹⁾) から、呼吸 中枢の興奮リズムが同じ延髄内に位置する循環調 節中枢に伝播し、それが心臓迷走神経を介して心 拍動に影響していると考えられている. また10秒 ゆらぎは,血圧に見られるいわゆる Mayer 波に 相当するもので, 血圧調節系と密接に関係し, 交 感神経系の関与が強いとされている10. このため スペクトログラム上の呼吸および10秒ゆらぎの面 積,あるいはその相対比から自律神経活動の評価 が行われてきた。しかしながら、各ゆらぎ成分の 周波数帯域に関する厳密な規定はなく、10秒ゆら ぎについて0.05~0.25 Hz, 呼吸性ゆらぎについ ては 0.15 Hz 以上を目安にしていることが多い¹). 本研究では、心拍変動のパワースペクトログラム から著者らが各成分の周波数帯域を先の基準を目

安にして決定した.

結果に示したように心拍数の平均値においては. A群がY群に比べてやや高い傾向を示したものの 有意の差ではなかった。しかしながら、 各被験者 の心拍変動の標準偏差についてはA群値はY群値 の約44%と低く、グループ間に有意の差が認めら れた. このため、標準偏差を平均心拍数で除して 求めた変動係数においてもA群とY群間に有意の 差が認められた。また10秒ゆらぎ、呼吸ゆらぎの 各面積値についても高齢者群の値は対照群のそれ と比べて小さな値であった。これらはいずれも高 齢者に比べ若い世代において心拍ゆらぎが大きい ことを示している. この結果は先行研究とも一致 する2,3)、10秒ゆらぎと呼吸性ゆらぎの面積比は、 高齢者群では1.15であったが、対照群では0.70と なり、両成分の相対比が逆転した。このことは相 対的に迷走神経の機能低下が大きいことを意味し たものと考えられる。

以上の結果から, 高齢者においては心拍動を調節している交感神経, 迷走神経ともに, その活動度が低下しており, 中でも迷走神経の機能低下が大きいことが推測される.

一方,心拍ゆらぎと比べ,皮膚血流量のゆらぎに関する研究はこれまで少なく,したがって,そのメカニズムについても不明なことが多い $^{7.12}$. 沢田 13 は反射式光電プレチスモグラフを用いて身体各部の皮膚血流量を測定し,基本的に4種類のゆらぎ成分,すなわち 1)心拍同期成分 2) 呼吸同期成分 3)約 $7\sim8$ 秒の規則的な周期成分 4)不規則な鋸波状成分が観察されたと報告している.

Kano ら⁵⁾ はレーザドプラー血流計を用いて、 手足の指の血流量を測定し、呼吸同期成分を除く 他の3種類のゆらぎ成分を観察し、このうち上記 3), 4) については交感神経由来であることを 示唆している。ただし彼らは 3) のリズムは、 血圧 Mayer 波と一致したと述べている。安田 デサントスポーツ科学 Vol. 17 らっち、レーザドプラー血流計による前額皮膚血流量のスペクトル解析から、上記1), 2), 3) のゆらぎ成分の存在を確認している。そして運動により皮膚血流量が増大したときには、3)が減少したことから、この低周波成分は血管収縮に関係するリズムと推測した。しかしながら本実験結果によると、約8秒ゆらぎと Mayer 波が混在しているケースも多く、これらを一括して低周波ゆらぎ(LFF)とし、血管収縮性のトーンと考えた。

皮膚血流量全体のゆらぎでは、統計的に有意の差は認められないものの、Y群に比べA群が高い傾向を示し、また心拍同期ゆらぎ(CSF)がA群において有意に高い結果が得られた。これまでCSF ゆらぎの振幅と血流量との間に密接な関係が存在するといわれているが、本研究結果もこの事実を再確認した。

われわれはすでに、アルコール摂取による皮膚 血流量増大時には、LFFが減少して CSF 成分が 増大することを確認している。したがって、CSF は心拍出量と血管抵抗によって相対的に決定され るパラメータで、直接調節されたものでないと考 えることができる。しかしながら本結果により、 血管抵抗を強めると考えられ LFF 成分が有意の 差ではなかったものの、Y群に比べA群が高い傾 向を示したことは、当初の仮説を覆す結果といえ る。この原因については現時点では不明である。

さらに心拍変動係数と皮膚血流量の変動係数と の間に有意の相関関係は認められなかったことか ら、心拍ゆらぎと皮膚血流量のゆらぎとは直接の 因果関係がないことを予想させる. 心拍ゆらぎと 皮膚血流ゆらぎとの関係については、さらに詳細 な検討が必要であろう.

4. まとめ

本研究では心拍変動おび皮膚血流量のゆらぎから,その支配系である自律神経の活動性を評価し, 同時にこれらの機能に対する老化の影響を明らか にしようとした. その結果,心拍ゆらぎについては,先行研究において明らかなように1.2),老化によるゆらぎの減少を認めることができた. しかしながら,皮膚血流量のゆらぎについては個人差も大きく,老化に伴う有意の変化は確認できなかった. 今後は皮膚血流のゆらぎの大きな被験者とそうでない被験者を抽出し,寒冷刺激や暑熱刺激時の皮膚血流量の動特性との関連を追及する必要があると思われる.

本研究は当初、安田が単独で進める予定で申請したが、外部機関を使用しての実験でもあり、共同研究者として豊橋技術科学大学 非常勤講師 伊藤智式先生に協力をいただいた。またカオスアトラクターの算出においては、本学知識情報工学専攻 大平昌義君に協力いただいた。記してお礼を申し上げる。

文 献

- Akselrod, S., D. Gorden, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Barger, R. J. Cohen; Power spectral analysis of heart rate fluctuation:
 A quantitative probe of beat to beat cardiovascular control, Science, 213, 220-222 (1981)
- Hellman, J. B., R. W. Stancy; Variation of respiratory sinus arrhythmia with age, J. Appl. Physiol., 41, 734-738 (1976)
- 3) Hrushesky, W. J. M., D. Fader; The respiratory sinus arrhythmia: a measure of cardiac age, *Science*, 224, 1001-1004 (1984)
- 4) 市原清志 ; バイオサイエンスの統計学, 南江堂 (1990)
- 5) Kono, T., O. Shimoda, K. Higashi, M. Sadanaga, M. Sakamoto; Fundamental patterns and characteristics of the laser-Doppler skin blood flow waves recorded from finger or toe, J. Autonom. Nerv. Sys., 45, 191-199 (1993)
- 6)岩瀬 敏,杉山由樹,松川俊義,美和千尋,間野 忠明;各種皮膚交感神経活動賦活化法が末梢皮膚 血流量減少に及ぼす影響,環研年報,44,309-31

- 3 (1993)
- Kellogg, D. L., J. M. Johnson, W. A. Kosiba;
 Selective abolition of adrenergic vasoconstrictor responses in skin by local iontophoresis of bretylium, Am. J. Physiol., 26, H 1599 H 1606 (1989)
- 8) Kitney, R. I., O. Rompelman; The study of the HR variability, *Clarendon Press*, Oxford (1980)
- 9) Kobayashi, M., T. Musha; 1/f fluctuation of heartbeat period, *IEEE Trans. Biomed.* Eng., 29, 456-457 (1982)
- 10) Pagani, M., F. Lombardi, S. Guzzetti, O. Rimoldi, R. Furlan, P. Pizzinelli, G. Malfat to, S. Dell'Orto, E. Piccaluga, M. Turiel, G. Baselli, S. Cerutti, A. Malliani; Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog, Circ. Res., 59, 178-193 (1986)
- 11) Pomeranz, B., R. J. B. Macaulay, M. A. Caudill, I. Kutz, D. Adam, D. Gordon, K. M. Kilborn, A. C. Barger, D. C. Shannon, R. J. Cohen, H. Benson; Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis, Am. J. Physiol., 253, H151-H153 (1985)
- 12) Salerud, E. G., T. Tenland, G. Nilsson, P. A. Oberg; Rhythmic variations in human skin blood flow, Int. J. Microcirc. Clin. Exp., 2, 91-102 (1983)
- 13) 沢田又一; 皮膚容積脈波の基線動揺の部位的特性, 呼吸と循環, **6**, 57-64 (1958)
- 14) 田原孝, カオスと健康, からだの科学, 161, 94-102 (1991)
- 15) Takens, F.; Detecting strange attractors in turbulence, in dynamical systems and turbulence, *Lecture notes in mathematics*, 898, 366-381 (1981)
- 16) Thoresen, M., L. Walløe; Skin blood flow in humans as a function of environmental temperature measured by ultrasound, Acta. Physiol., Scand., 109, 333-341 (1980)
- 17) Yasuda, Y., M. Yoshizawa, H. Nishino; Effect of exercise intensity on the spectral properties of skin blood flow, Jpn. J. Physiol., 44, 533-546 (1994)