

森林内における自律神経機能と1/f ゆらぎの傾き

Influences in forest on changes of autonomic nervous activities and the slope of 1/f fluctuation

永吉英記*, 渡辺剛**, 川村協平***

Hideki NAGAYOSHI *, Tsuyoshi WATANABE ** and Kyohei KAWAMURA ***

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the autonomic nervous activities and the slope of 1/f fluctuation in forest. R-R interval variability of active and sleep periods were analyzed respectively with power spectral analysis by maximum entropy method. HF was used as an indicator of parasympathetic nervous function and LF/HF was used as a reflection of sympathetic nervous function. The slope of 1/f fluctuation was estimated and used an indicator of well-balanced activity of autonomic nervous systems. As for the HF, that in forest accepted more high activity than in room. As for LF/HF, that was not seen different from autonomic nervous activities in forest, and in room. The slope of 1/f fluctuation accept no change autonomic nervous activities in forest, and in room. However, it was suggested that there is random nature in the slope of 1/f fluctuation of forest.

Key words; R-R interval variability, the slope of 1/f fluctuation, autonomic nervous system, forest

はじめに

我々が人となってからの500万年という長い期間、自然環境と密接に関わり合いながら暮らしてきた²³⁾。その長い歴史の中で、産業革命以降を都市化とした場合、人の歴史は99.996%を自然の中で暮らしてことになる。

生理人類学的にみると、生体機能は自然の中で暮らすように進化し、現代人でも自然の中で暮らすための情報を多く持っていると考えられている²³⁾。自律神経機能は生体の恒常性を保つ働きがあ

り、人が長い進化の過程で築き上げた多くの情報を持っている機能の一つであろう。

これまでに著者らは、自然環境下での自律神経機能変化及び心拍変動における1/fゆらぎとの関連について報告¹⁰⁾してきた。

自然環境下で日常生活をおくっている民族（アフリカ牧畜・農耕民：バンバラ族）の1/fゆらぎの傾き、及び自律神経機能は、日本人と比較して、1日（約24時間）の周期変動をおこない、緩やかな振幅の傾向であったことから、自然環境下での暮らしが、自律神経機能を安定させる要因となっ

* 国土舘大学体育学部附属研究所 (Institute of Health, Physical Education and Sport Science School of Physical Education, Kokushikan University)

** 国土舘大学体育学部運動生理学教室 (Lab. of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

*** 山梨大学教育人間科学部体育学教室 (Lab. of Outdoor Education, Faculty of Physical Education, Yamanashi University)

ていることが推察された。また、キャンプ活動のような一時的な自然環境下での生活では、自律神経機能は1日（約24時間）の周期変動を行っていたものの、日常生活よりさらに高低差の多い振幅を経時的に行っていた。その中で、キャンプ中の森林内における身体活動量の少ない時間帯での自律神経機能が、交感神経、副交感神経ともに穏やかに変化を行っていた²⁵⁾。したがって、本調査では、森林内での自律神経機能の変化に着目し、森林内での調査を行う。

森林浴による精神的なストレスの解消は、感覚的には理解できるものの、生体機能の変化としての研究報告は少ない。また、自然環境変化におけるゆらぎ現象と生体機能との関係性を考察するにあたり、心拍変動から1/fゆらぎを算出する。評価および、1/fゆらぎの分析は、心血管系の循環調節機能を反映しているとされている、心拍変動の周波数解析^{1) 4) 9) 11) 12) 13) 14) 16) 17)}を用いた。

研究 方 法

I. 被験者

被験者は、次の6名とした（表1）。全員、健康診断及び心電図による検査に異常を認めていない。被験者には測定前日から激しい運動と欠食及び多量の飲酒を禁止し、普段の日常生活と大きく変わらないように指示し測定に参加させた。

表1 被験者の年齢および身体的特徴

名前	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
R.Y	22	170	63
Y.M	20	169	61
S.M	20	172	64
J.Y	21	171	64
Y.S	22	168	60
T.U	22	170	67
平均	21.17	170.00	63.17
標準偏差	0.98	1.41	2.48

II. 実験の手順

測定において、環境設定を室内と森林内の2つの条件に分けて行った。

1. 室内条件：山梨県内Y大学の大学図書室を使用し、壁までの距離を2 mとして、壁に向かい合うように椅子を固定した。室内の温度は23.4度、湿度は54パーセントであった。
2. 森林内条件：山梨県内Y大学学内の森林内に椅子を固定した。室内と森林内の温度は25.1度、湿度は34パーセントであった。風量は心地よい程度であった。

測定は、座位安静の状態です10分間の心電図R-R間隔を連続測定した。まず、室内条件にて被験者1名ずつ室内に入室し測定した。その後、森林内条件にて測定した。

実験実施日時は2000年9月17日であった。

III. 測定項目および分析方法

1. 心拍数、心電図R-R間隔の測定は、ジー・エム・エス社製アクティブトレーサー AC-300を用い、日常動作に支障をきたさないように腰部に固定し、胸部双極誘導により、24時間の心拍数、R-R間隔を連続測定・記録した。
2. 心拍数の解析は、心拍数自動解析システムCHRAMを用いて解析¹⁴⁾した。
3. 自律神経機能の解析は、R-R間隔の周波数解析及び1/fの傾きは、諏訪トラスト社製解析ソフトMemCalkを用いて、R-R間隔の時系列データを900secごとのセグメントに分け、各セグメントごとにMEM（最大エントロピー法）^{12) 13)}による周波数領域解析を行った。周波数における低周波数領域（0.04～0.15hz）、高周波領域（0.15～0.40hz）のパワーをそれぞれLF、HFとし、HFを副交感神経機能、LF/HF値を交感神経機能とした^{9) 10) 11) 15) 18)}。
4. 心拍変動1/fゆらぎの傾きの解析は、R-R間隔時系列データを900secごとのセグメントに分

割して最大エントロピー法により周波数領域解析を行い、周波数領域0.0001から0.01までのパワースペクトルの縦軸横軸を対数表示(log10-log10)して、このほぼ直線に近づいたスペクトルの回帰直線方程式を求め、その直線の傾きを評価^{8) 14)}した。

結 果

I. 心拍数

各被験者の室内及び森林内の平均心拍数は、室内では、R.Yが69.34±3.12bpm、Y.Mが72.64±2.44bpm、S.Mが65.82±3.12bpm、J.Yが62.18±4.12bpm、Y.Sが68.42±1.12bpm、T.Uが62.66±2.67bpmであった。森林内ではR.Yが66.21±3.66bpm、Y.Mが68.11±3.54bpm、S.Mが67.32±

3.72bpm、J.Yが65.46±3.98bpm、Y.Sが67.26±3.12bpm、T.Uが64.77±3.02bpmであった。

各被験者の室内と森林内における平均心拍数に有意な差は認められなかった(図1)。

被験者全員の室内・森林内の平均心拍数は室内で66.33±5.24bpm、森林内で66.16±5.35bpmであった。室内・森林内の平均心拍数に有意な差は認められなかった(図2)。

II. 自律神経活動

1. HF値

各被験者における室内、森林内の平均HF値(msec²)及び標準偏差(SD)は表2に示す。

各被験者におけるHF値を、室内と森林内とで比較を行った。比較は対応のあるt検定で行った(図3)。

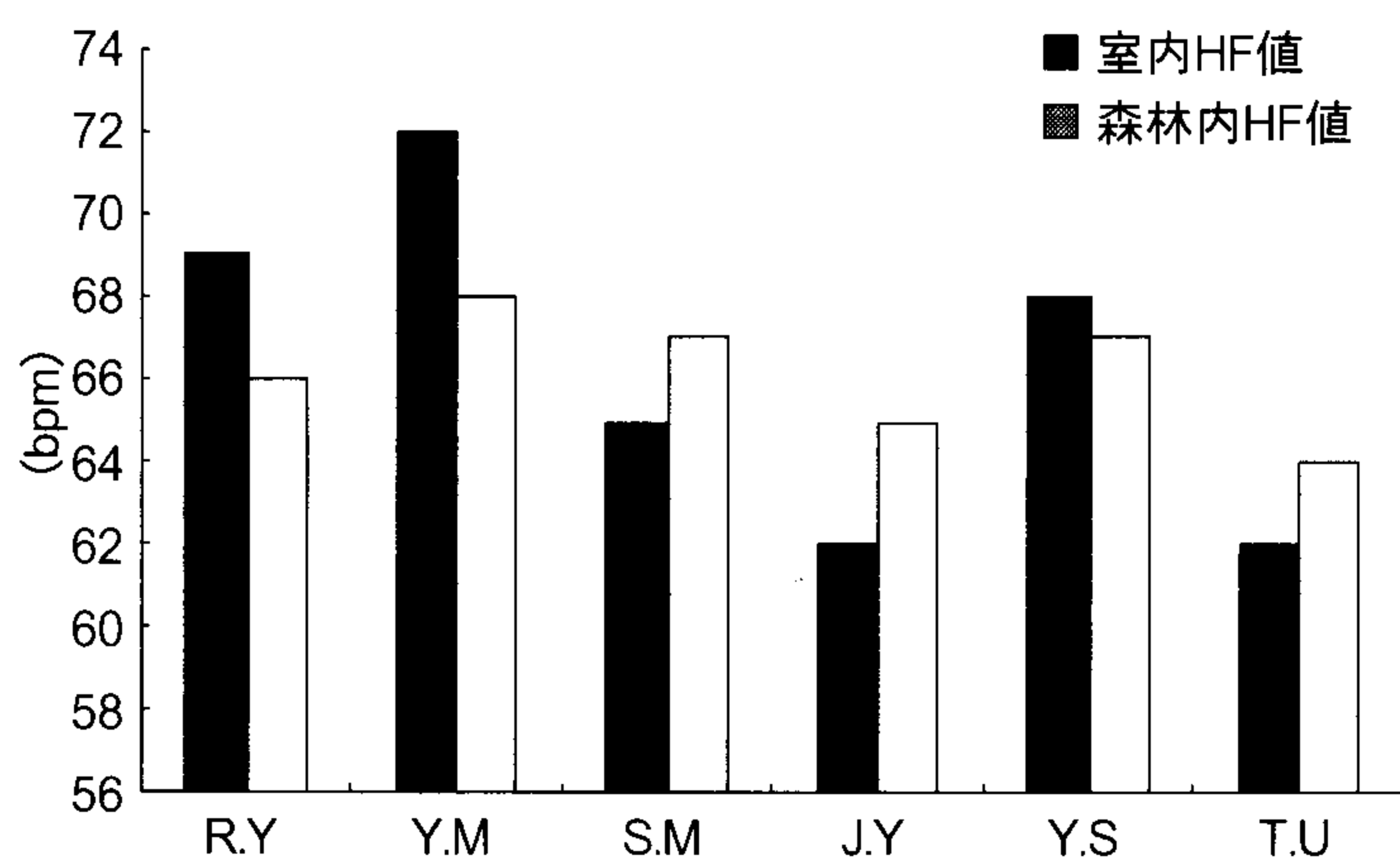


図1 各被験者の平均心拍数

表2 各被験者の平均HF値と標準偏差

	室内HF値 (msec ²)	標準偏差 (SD)	森林内HF値 (msec ²)	標準偏差 (SD)
R.Y	100.18	±106.36	68.24	±59.15
Y.M	432.83	±146.40	564.08	±271.51
S.M	83.87	±41.93	106.87	±109.86
J.Y	325.87	±102.42	435.51	±168.89
Y.S	145.06	±86.96	255.83	±109.61
T.U	451.76	±118.76	524.57	±186.42

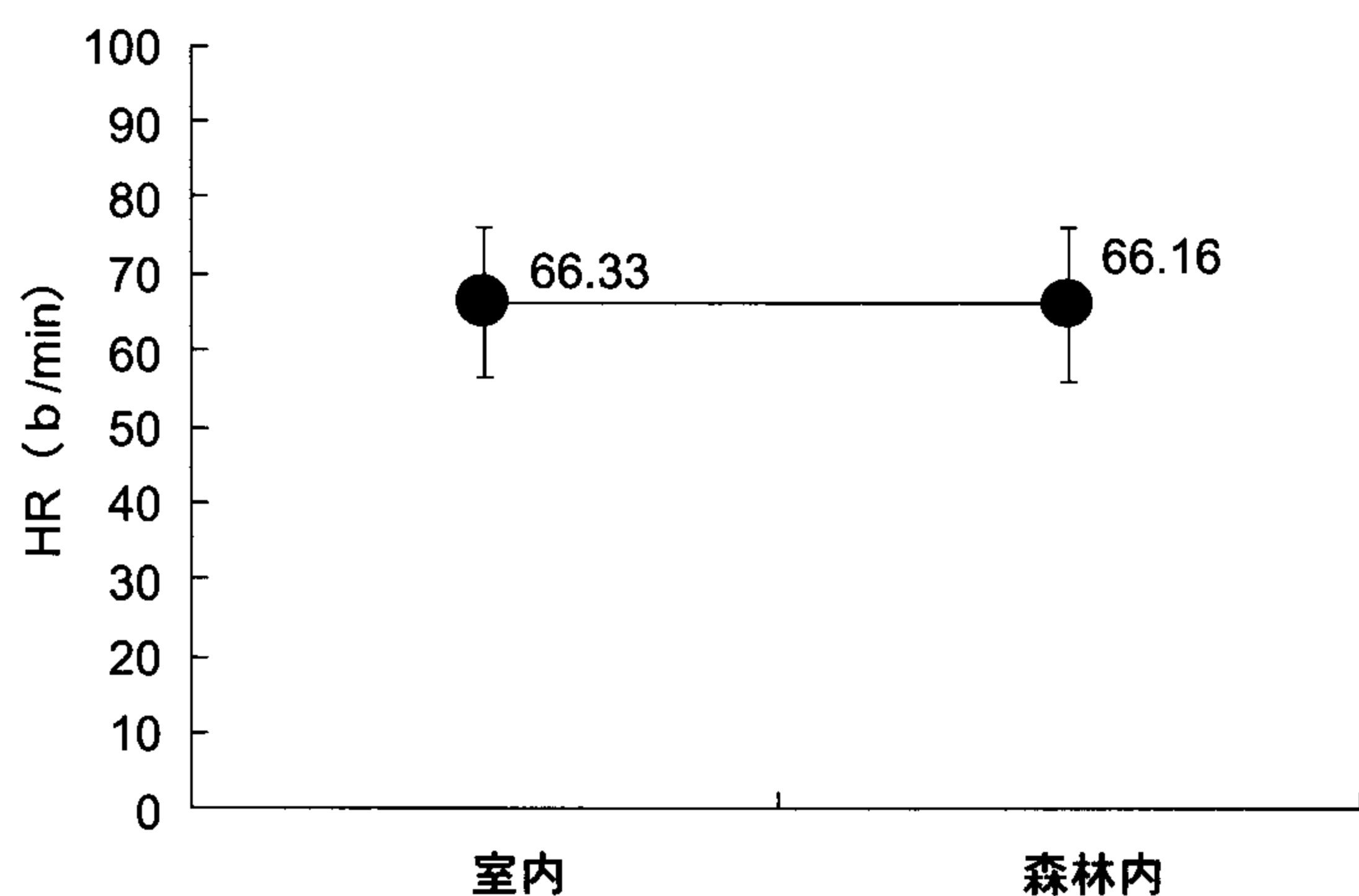
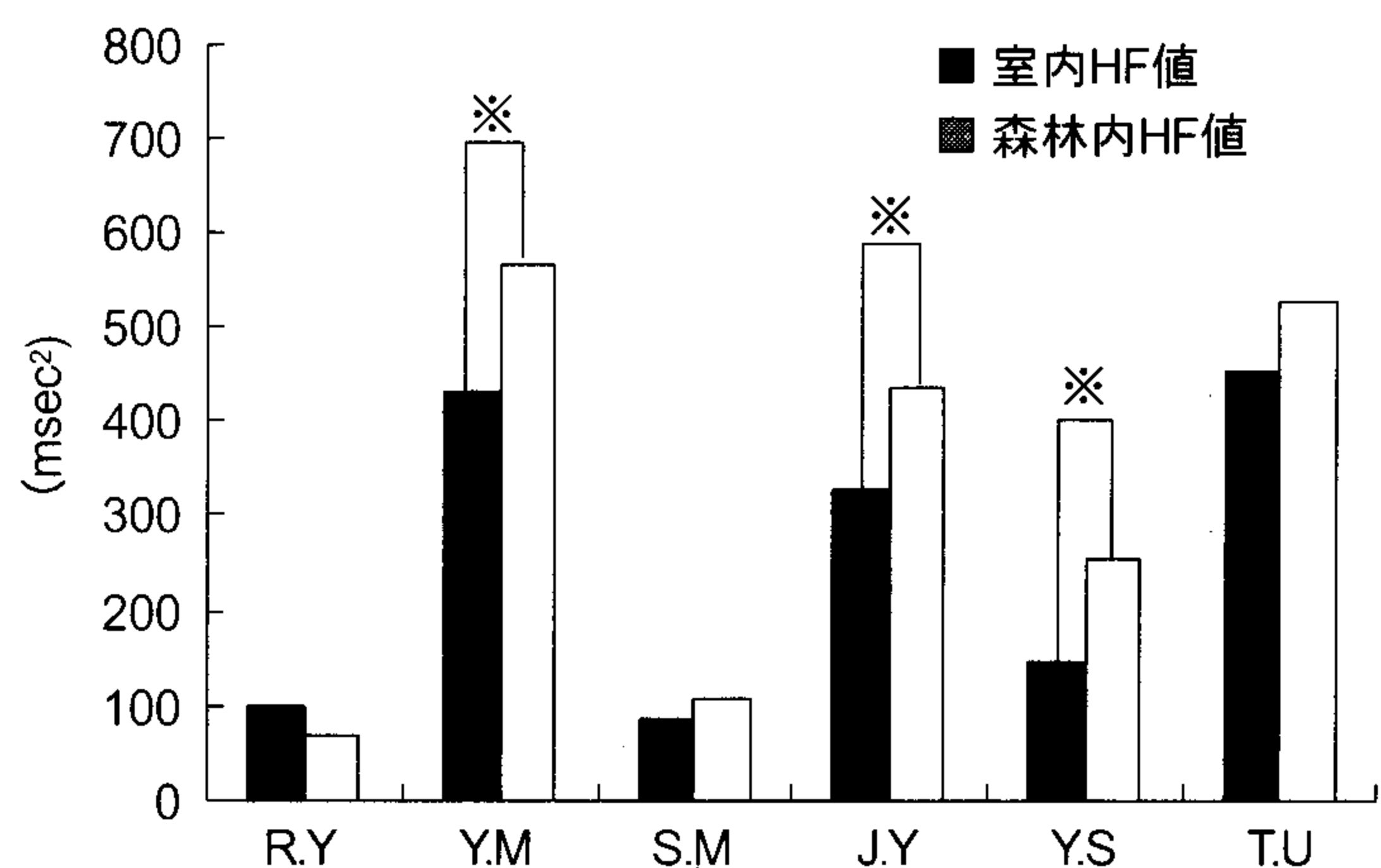


図2 室内・森林内の平均心拍数



※p<0.05

図3 各被験者における平均HF値

被検者Y.M、被検者J.Y、被検者Y.Sの3名で室内と森林内で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。有意な差が認められた3名の被検者は、いずれも森林内でのHF値が高く、被検者S.M、被検者T.Uも有意な差はなかったものの、森林内でのHF値が、室内と比較して高い傾向であった。

2. LF/HF値

各被検者における室内、森林内の平均LF/HF値及び標準偏差 (SD) を表3に示す。

各被検者におけるLF/HF値を、室内と森林内とで比較を行った。比較は対応のあるt検定で行った(図4)。

被検者R.Yにおける室内と森林内のLF/HF値に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。被検者S.M、被検者J.Y、被検者Y.S、被検者T.Uの4名も有意な差はなかったものの、森林内でのLF/HF値が、室内と比較して高い傾向であった。

表3 各被験者の平均LF/HF値と標準偏差

	室内	標準偏差 (SD)	森林内	標準偏差 (SD)
R.Y	2.43	±1.85	4.79	±2.45
Y.M	3.02	±2.33	2.19	±2.98
S.M	2.45	±1.00	3.57	±3.92
J.Y	3.36	±1.44	4.01	±3.18
Y.S	2.98	±2.54	3.86	±3.09
T.U	3.01	±1.94	3.22	±2.04

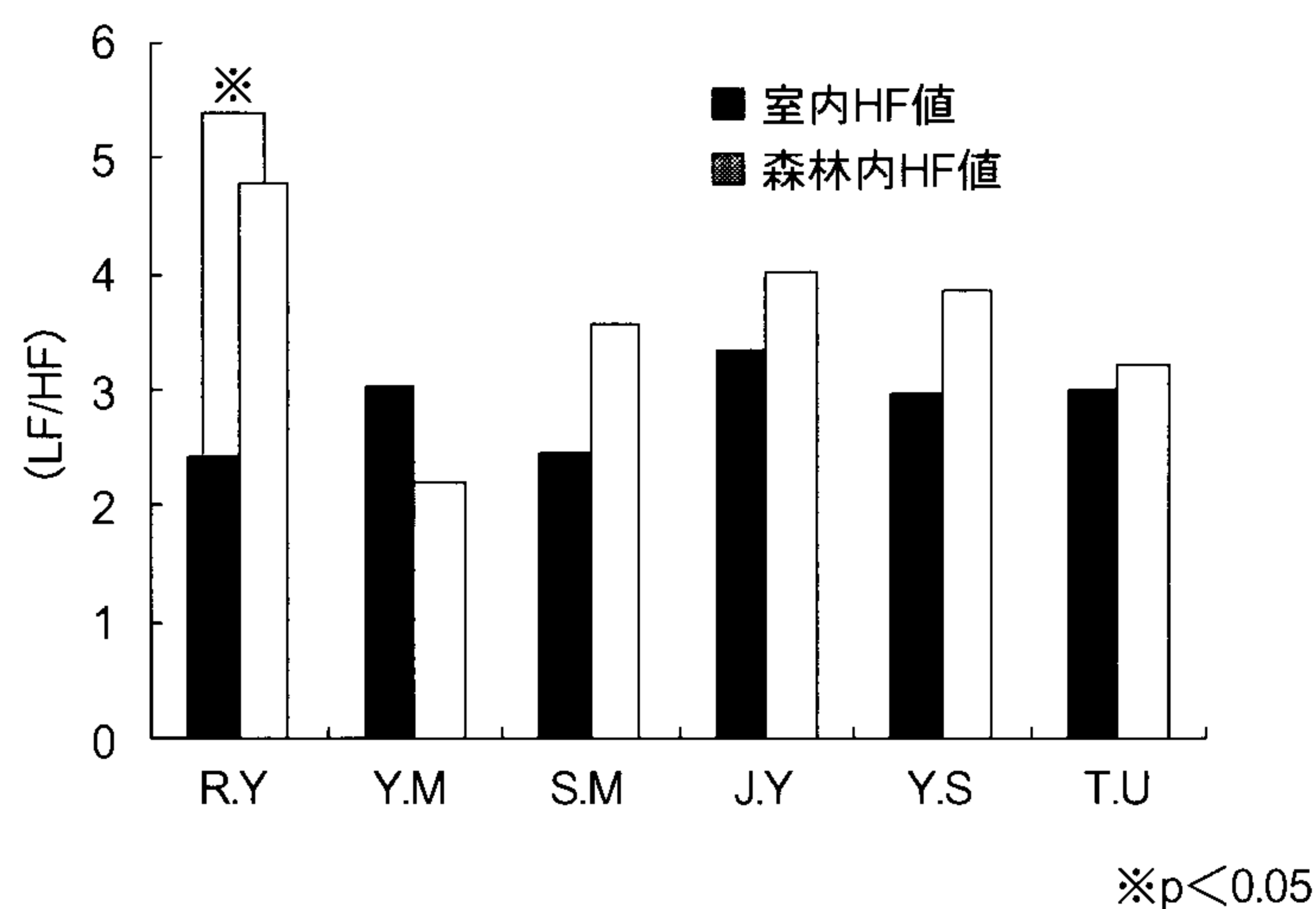


図4 各被験者における平均LF/HF値

3. 1/fゆらぎの傾き

各被検者における室内、森林内の平均1/fゆらぎの傾き及び標準偏差 (SD) を表4に示す。

各被検者における1/fゆらぎの傾きの値を、室内と森林内とで比較を行った。比較は対応のあるt検定で行った(図5)。

被検者R.Y被検者Y.M、被検者S.M、被検者J.Y、被検者Y.Sのどの被検者においても有意な差は認められなかったが、森林内において室内より1/fゆらぎの傾きの値が、ややマイナス傾向にあることが示唆された。

考 察

I. 心拍数

平均心拍数の結果を見ると、被検者6名の室内、森林内のどちらにおいても安静状態であったと考

表4 各被験者の平均1/fゆらぎの傾きと標準偏差

	室内	標準偏差 (SD)	森林内	標準偏差 (SD)
R.Y	-0.92	0.32	-0.93	0.34
Y.M	-0.94	0.21	-1.02	0.34
S.M	-1.12	0.17	-1.09	0.12
J.Y	-1.07	0.22	-1.22	0.2
Y.S	-0.87	0.3	-1.07	0.17
T.U	-0.93	0.27	-0.97	0.19

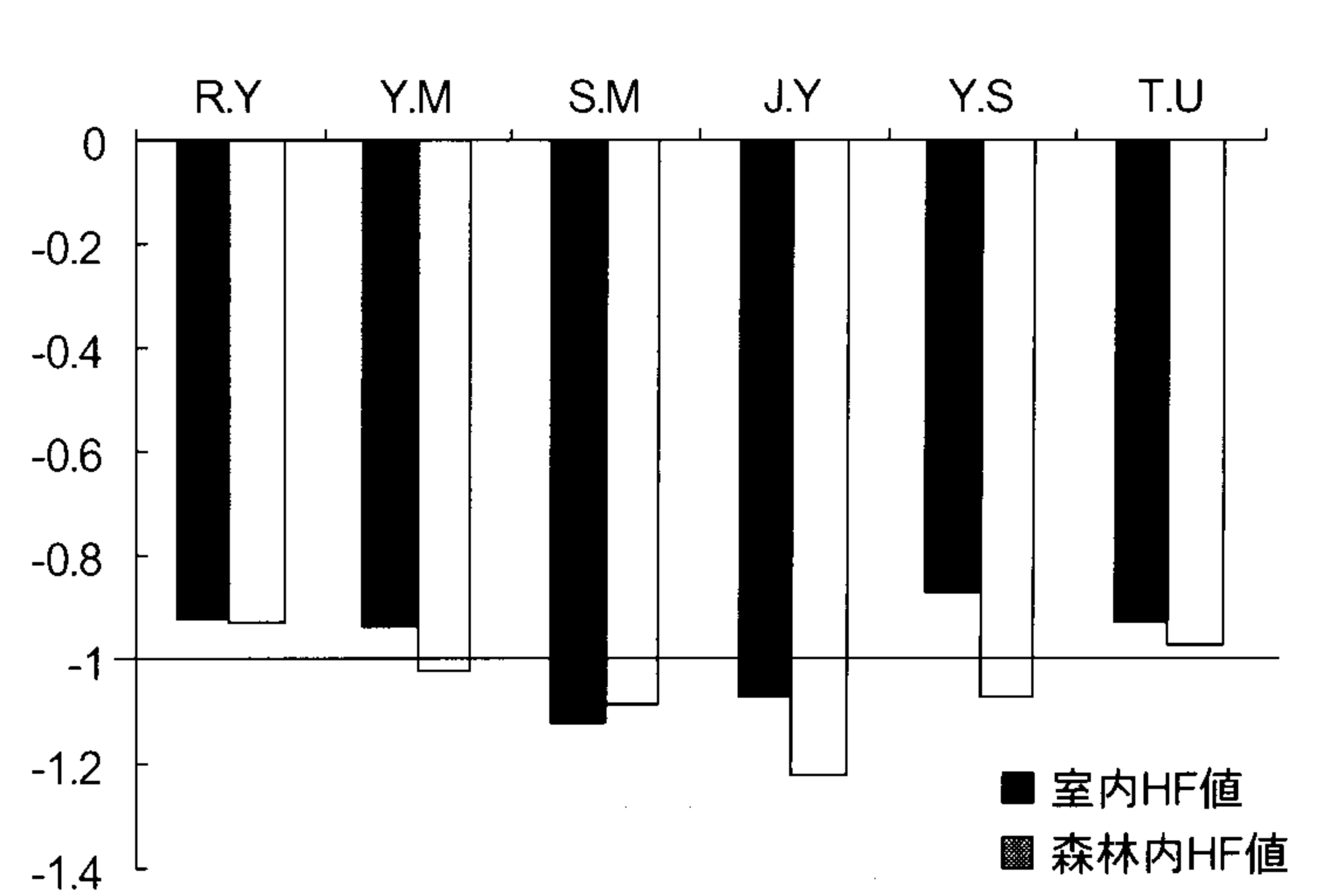


図5 各被験者の平均1/fゆらぎの傾き

えられる。有意差検定において被検者6名とも室内、森林内に差は認められず、被験者R.Y、被験者Y.M、被験者Y.Sは室内でやや高い傾向にあり、被験者S.M、被験者J.Y、被験者T.Uは森林内でやや高い傾向にあった。

心拍数の上昇と交感神経活動レベルの上昇との関係性は、心拍数の結果と、LF/HF値の結果より、室内と森林内のLF/HF値に有意な差が認められた被験者R.Yは、室内LF/HF値 2.43 ± 1.85 に対し、森林内LF/HF値 4.79 ± 2.45 と森林内で高い値を示している。被検者R.Yの平均心拍数は室内で高いことから、安静状態での心拍変動による心拍上昇とLF/HF値に関係性が少ないものと考えられる^{7) 9) 22)}。

II. 室内・森林内での自律神経機能

1. 室内・森林内での副交感神経

HF値は、被検者Y.M、被検者J.Y、被検者Y.Sの3名において有意な差 ($P < 0.05$) が認められた。また、被検者6名の平均HF値を室内、森林内とで比較をおこなった (図6)。

被検者6名の平均HF値は、室内で $256.56 \pm 167.74 \text{ msec}^2$ 、森林内で $325.85 \pm 213.3074 \text{ msec}^2$ であった。

大塚¹⁷⁾によると、20歳から24歳までの24時間平均HF値は 1446 msec^2 と報告しており、渡辺らによ

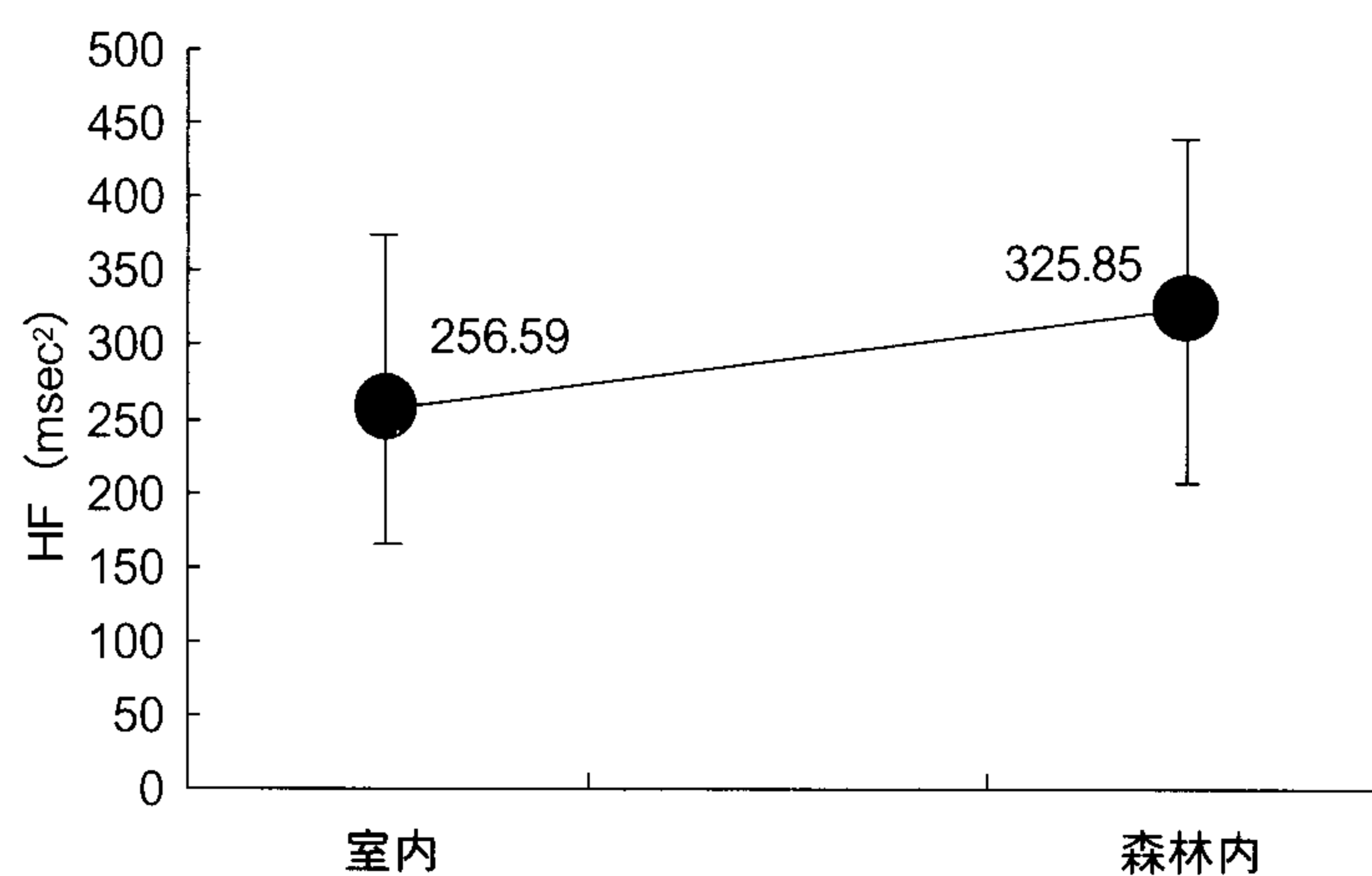


図6 室内、森林内のHF値

ると活動期の平均HF値を 4434 msec^2 と報告している。本調査における被検者6名のHF値は室内で 256.60 msec^2 、森林内で 325.85 msec^2 であり、室内森林内のどちらにおいてもやや低い傾向であった。

HF値は、心臓に分布する副交感神経の活動の変化を単独に伝達すると考えられており²⁰⁾、その中枢は延髄にあって循環器系の圧受容体、肺内伸展受容器からの求心性入力をうけて遠心性の調節をすることが知られている^{9) 20) 22)}。この経路の間でおきている循環調節と呼吸調節との相互作用が呼吸性洞性不整脈のもとになっているとされている^{3) 14)}。従って、HF値の評価にあたっては、心臓副交感神経固有の興奮度の変化、動脈洞などにある圧受容器が感知した変化、呼吸に関連する変化の3つの観点から検討する必要がある。

本研究では、座位による安静状態での条件であるため、呼吸調節に関わるHF値の変化の影響は少ない。可能性が高いものとしては、森林内による風の影響を含め、温度、湿度、変化に対応した体温調節機能との関係である。本研究では、経時的変化に対応する温度、湿度を測定していないため検討は難しいが、温度変化に対応した血圧変動が関係していることが考えられる。

2. 室内・森林内での交感神経

被検者6名の平均LF/HF値を室内、森林内とで比較をおこなった (図7)。

被検者6名において平均LF/HF値は、室内で 2.87 ± 0.36 、森林内で 3.60 ± 0.87 であった。

被検者6名における室内、森林内のLF/HF値に有意な差は認められなかった。

大塚¹⁷⁾によると、20歳から24歳までの24時間平均LF/HF値は 2.29 と報告しており、渡辺ら²³⁾によると活動期の平均LF/HF値を 4.76 と報告している。本調査における被検者6名のLF/HF値は室内で 2.87 、森林内で 3.60 であった。本調査は10分間の座位による安静状態の測定であったため24時間平均値や活動期の平均的な値と比較することはで

きないが、安静状態としてはほぼ平均的な値と考えることができる。

LF/HF値は呼吸・圧受容体機能・末梢血管運動・体温調節機構など数種類の交感神経経路の要因が関係していることが知られている^{9) 20) 22)}。心拍数の数値からみても呼吸・圧受容体機能・末梢血管運動によるLF/HF値の変動が少なく、HF値同様に体温調節機構との関係性が考えられたが、被検者らの値には違いはみられなかった。HF値が森林内において室内より有意に高い値を示したことから、LF/HF値は低い値になることが考えられたが、LF/HF値の上昇にまではいたらなかった。

3. 森林内の自律神経機能

自律神経機能の変動には呼吸性不整脈反映する成分、血圧調節系の周期性変動を反映する成分、体温調節系に関与する成分の3種類のリズムが存在することが判明している^{9) 20) 22)}。森林内における副交感神経機能の向上の要因は、自然環境における風や温度変化に伴う体温調節系の反応との関係性が高い。また、森林内のリラクゼーション効果による呼吸数や内因性の調節機能が関係していると考えることができる。森林内のリラクゼーション効果は、香りや色彩による影響、フィトンチットと呼ばれる樹木からの物質による影響が考えられている¹²⁾。また、武者ら^{8) 12)}によれば、自然界における太陽の光や風、水の流れ、など多くの

自然現象からに含まれる1/fゆらぎが人に心地よさや安らぎを与えていると述べている。このような心理的な効果やゆらぎとの関係性をふまえて研究を継続する必要があると考えられる。

Ⅲ. 1/fゆらぎの傾き

1/fゆらぎは近年様々な研究がされている理由の一つに、生体になじむという特徴が見られる点にある。例えば、1/f雑音と白色雑音とを耳で聞き比べてみると、その差異が非常によくわかるといわれている⁵⁴⁾。白色雑音に比べると1/f雑音は刺激的でなくて、かなり気持ちのよい感じがする。じっと耳をすまして聴いていると、何やら意味のある言葉の断片がまぎれ込んでいるような感じがするという報告がある。自然環境との接点で言えば、小川のせせらぎが1/f雑音と全く同形のスペクトルをもっている⁵⁴⁾。

また、IBMのワトソン研究所のVoss⁵⁴⁾は、音楽のスペクトルを調べた。音楽の波形そのものははっきりしたスペクトル形を示さないが、その音響パワーの変動及び波形のZero crossingから求めた周波数の変動は、ほぼ1/fスペクトルをもつが、中でも古典音楽はきれいな1/fスペクトルをもっている。人間の話し声もほぼ1/fスペクトルになる⁸⁾。と報告している。生体が「1/fゆらぎ」と非常に「なじみ」がよいということから武者¹²⁾らは人体に流す電流パルスをもつ1/fのリズムにした実験をおこなった。パルスの繰り返し周波数を20、23、28、33、40、47、56、67、80ppsの9段階に分け、またそれぞれのパルス列の継続時間を0.5、1、2、4秒の4段階に分け、これらを1/fゆらぎをする乱数によって選択した。乱数の発生方法はなにか適当なロマン派の音楽をレコードで演奏し、0.5秒間のZero crossingの数を数えて数列をつくれればよい。または擬似乱数を計算機で発生させこれを適当なデジタルフィルターに通せばよい。この方法を5名の患者に試みた。これらの患者は従来の電気刺激による除痛法では全く効果がなかった例で

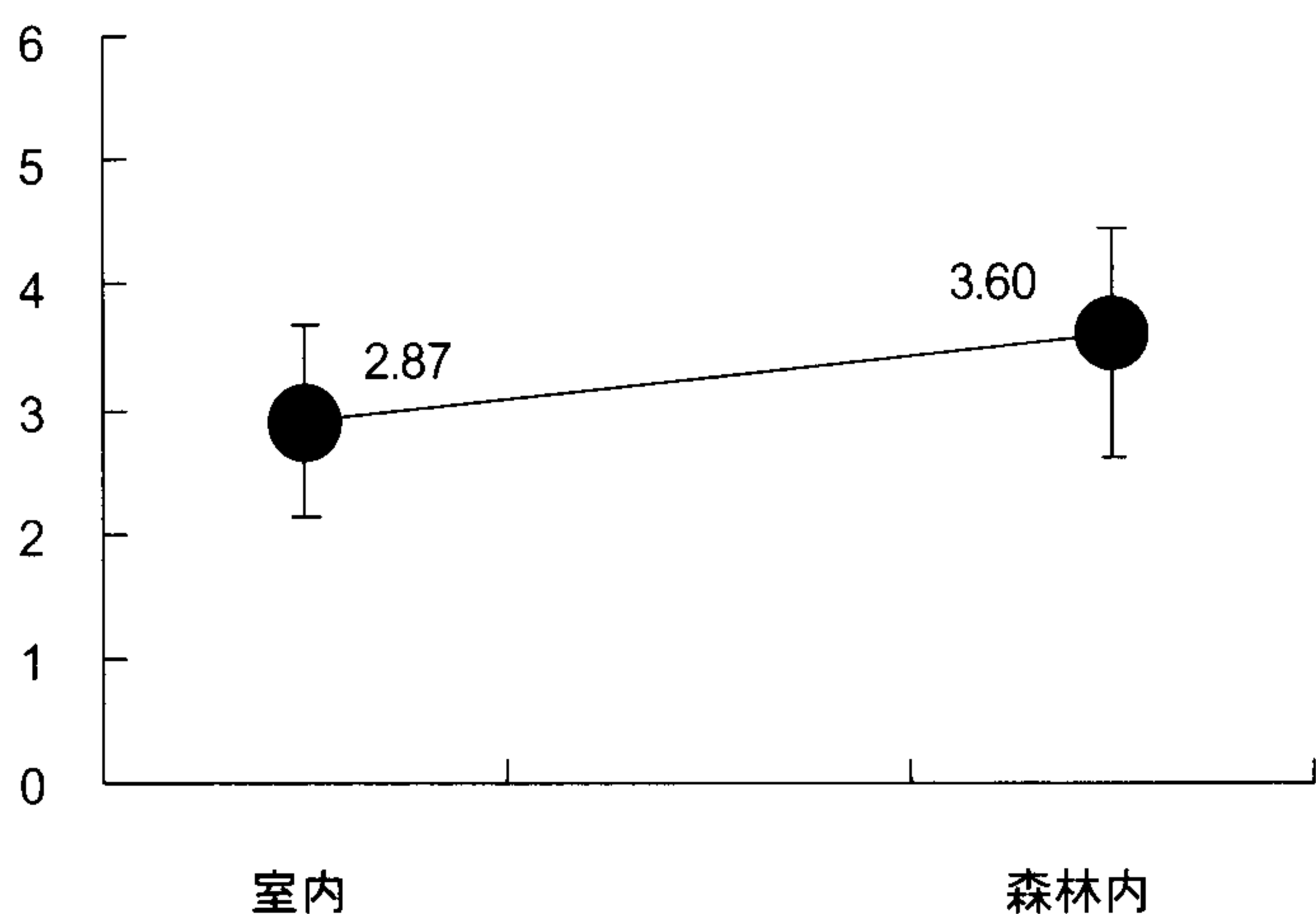


図7 室内・森林内の平均LF/HF値

あるが、このうち4例は1/f刺激で除痛に成功した。原因は不明であるが、1/fゆらぎが人体のリズムと何らかの関係があることを暗示していると考えられる。

これらのことから、森林内の環境条件として考えられる温度、湿度、光量、香り、風、音などの自然環境変化が、感覚器に受容される量的な経時変化が1/fゆらぎとなって、リラクゼーションや癒しと呼ばれている効果とともに自律神経に何らかの影響を与えている可能性は高いと考えられる。

本調査においては、室内、森林内での1/fゆらぎの傾きは、被検者6名においてだれひとり有意な差はみられなかった。しかし、被検者R.Y被検者Y.M、被検者J.Y、被検者Y.Sの5名の1/fゆらぎの傾きは森林内で-1に近い値に近づいていることから何らかの影響があったとも考えられる。自律神経との関係でいえば、HF値が被検者6名のうち3名で森林内において有意に高い値を示しており、したがって副交感神経と1/fゆらぎとの関係性が示唆される。

ま と め

被験者6名において、室内・森林内の2つの環境条件で座位による10分間の安静状態で測定を行った。測定は心拍変動R-R間隔の周波数解析による自律神経機能とR-R間隔時系列データを900secごとのセグメントに分割して最大エントロピー法により周波数領域解析を行い、0.001hz~0.4hzまでの低周波領域から高周波領域の区間におけるパワースペクトル(PSD)から1/fゆらぎの傾きを算出した。分析の結果から以下のような結果を得た。

1. 心拍数は各被験者の室内と森林内の値で有意な差は認められなかった。被検者6名の室内と森林内の平均心拍数は、室内で66.33±5.24bpm、森林内で66.16±5.35bpmであった。

心拍数の値から被検者6名は室内・森林内ともに安静状態であった。

2. HF値は被検者Y.M、被検者J.Y、被検者Y.Sの3名において有意な差($P < 0.05$)が認められた。被検者6名の平均HF値は、室内で $256.56 \pm 167.74 \text{ msec}^2$ 、森林内で $325.85 \pm 213.3074 \text{ msec}^2$ であった。HF値は室内より森林内で高い値を示した。
3. LF/HF値は、被検者6名の平均LF/HF値において、室内で 2.87 ± 0.36 、森林内で 3.60 ± 0.87 であった。
4. 1/fゆらぎの傾きは、いずれの被検者も室内と森林内とで有意な差は認められなかったが、室内より森林内の1/fゆらぎの傾きが-1に近づいている傾向であった。

以上の結果より、森林内における副交感神経活動の覚醒と、その覚醒の要因として、自然環境変化特性の一つである1/fゆらぎが関わっていることが示唆された。

本研究は国士舘大学体育学部附属体育研究所の2000年度研究助成によって実施された。

引用・参考文献

- 1) Aldredge JL, Weich AJ: Variations of heart rate during dynamics to clinical cardiology. *Ann N. M. Acad. Sci.* 504, 1973.
- 2) Eckberg, D. I.: Human sinus arrhythmia as an index of vagal outflow, *J. Appl. physiol.; Respiration. Environ. Exercise Physiol.* 54(4), 961-966, 1983.
- 3) Fouad, F. M., Tarazi, R. C., Farrano, C., M. Fighaley, S. & Alicandri, C.: Assessment of parasympathetic control of heart rate by a noninvasive method, *Am. J. Physiol.*, 246:H838-H842, 1984.
- 4) Goldberger AL, West BJ: Applications of nonlinear, 1987.
- 5) 早野順一郎: 心拍変動の自己回帰スペクトル分析による自律神経機能の評価—RR間隔変動係数(CV-RR)との比較—, *自律神経*, 25(3):334-342, 1988.
- 6) Hirsch, J. A. & Bishop, B.: Respiratory sinus arrhythmia in humans; how breathing pattern modulates heart rate, *Am. J. Physiol.*, 241:H620-H629, 1981.

- 7) Katona, P. G. & Jih, F.: Respiratory sinus arrhythmia ; noninvasive measure of parasympathetic cardiac control., *J. Appl. Physiol.*, **39**:801-805, 1975.
- 8) Kobayashi, M., Musha, T.: 1/f fluctuation of heartbeat period. *IEEE Transactions Biomedical Engineering BME-29*:456-457, 1982.
- 9) 奈津井悌次郎：神経性調節（自律神経）；生理学，415-418，医学書院，東京，1982.
- 10) 永吉英記，川村協平，渡辺剛：アフリカ牧畜・農耕民と日本人大学生の生活リズムと自律神経機能—R-R間隔変動の周波数解析と1/fゆらぎの傾き—，日本体育学会，1999.
- 11) 南 茂夫：最大エントロピー法；科学計測のための波形データ処理，166-180，CQ出版，東京，1986.
- 12) 武者利光：ゆらぎの世界—自然界の1/fゆらぎの不思議—，講談社，東京，1991.
- 13) 中村好男，玉木啓一，篠原 稔，木村裕一，村岡功：漸増負荷運動中の心拍揺動パワースペクトルの推移，*体力科学*，**38**:204-208, 1989.
- 14) 中村好男，林直亨：心拍数の神経性調節および心拍変動の定量的意義，*J. J. Sports Sa*，**12**(8):489-493, 1993.
- 15) 大友詔雄，田中幸雄：最大エントロピー法の基礎理論とMemCalc，生体時系列データ解析に関する最近の進歩—MemCalcの基礎と医学・生物学への応用—講演，要旨集2-3，生体時系列データ解析研究会，1993.
- 16) 大友詔雄，田中幸雄：最大エントロピー法の基礎理論とMemCalc，生体時系列データ解析に関する最近の進歩—MemCalcの基礎と医学・生物学への応用—講演要旨集2-3，生体時系列データ解析研究会，1993.
- 17) 大塚邦明，山中崇，久保豊，中島茂子，渡辺晴雄，小沢利男：自律神経と生体リズム—1/f揺らぎの臨床的意義とそのサーカディアンリズム—，クリニカ，東京，1993.
- 18) Pagani, M. et al: Power spectrum analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and in conscious dog, *Cir. Res.*, **59**:178-193, 1986.
- 19) Sano, Y., Kataoka, Y., Ikuyama, T., Wada, M., Imano, H., Kawamura, K., Watanabe, T., Nishida, A. and Osanai, H.: Evaluation of peripheral circulation with accelerated plethymography and its practical application, *Bulletin of Physical Fitness Research Institute*, **63**:1-13, 1986.
- 20) Saul, J. P., Berger, R.D., Chen M. H. & Cohen R. J.: Transfer function analysis of autonomic regulation ; 2. Respiratory sinus arrhythmia, *Am. J. Physiol.*, **256**: H153-H161, 1989.
- 21) Sleep as a function of the sleep cycle. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology* **3**
- 22) Smith, J. J. & Kampie, J. P., 村松 準 (訳)：血流の中樞性調節；循環の生理，141-153，医学書院，東京，1983.
- 23) 高畑尚之：進化とゆらぎ，*数理科学*，**349**:53-59, 1992.
- 24) 渡辺剛，峯岸由紀子，永吉英記，内藤祐子，吉田久士，市川公一：睡眠・覚醒の日内リズムの相違による自律神経機能と血液成分の変化，*国士舘大学体育研究所報*，**17**:29-36, 1998.
- 25) 渡辺剛，永吉英記，川村協平：キャンプにおける自律神経活動と1/fゆらぎの傾きの変化—心電図R-R間隔変動と周波数解析—，*国士舘大学体育研究所報*，**18**:27-34, 1999.
- 26) 山路啓司，梅野克身，塚原勝之，川崎 匡：トレッドミル走行時における心拍変動のパワースペクトル解析，*J. J. Sports Sa*，**12**(8):531-537, 1993.