掌握作業と温熱負荷が心拍変動に及ぼす影響

李 傳房¹⁾, 勝浦 哲夫²⁾, 原田 一²⁾, 菊池 安行²⁾

1) 千葉大学自然科学研究科人間工学教室

2) 千葉大学工学部人間工学教室

Effects of Handgrip Work and Heat Load on Heart Rate Variability

Chang-fanw LEE¹⁾, Tetsuo KATSUURA²⁾, Hajime HARADA²⁾
and Yasuyuki KIKUCHI²⁾

1) *Dept. of Ergonomics, Graduate School of Science and Technology, Chiba University*

2) *Dept. of Ergonomics, Faculty of Engineering, Chiba University*

The purpose of the present study was to evaluate cardiac sympathetic (SNS) and parasympathetic (PNS) nervous system activities during isometric continuous and intermittent handgrip with power spectrum analysis of heart rate variability (HRV). Eight healthy men performed work at 10% maximum voluntary contraction. The sequence of tests included three different work patterns: 1) the continuous handgrip for 30 min, 2) the intermittent handgrip (10 sec contraction +5 sec relaxation) for 45 min, 3) the intermittent handgrip (10 sec contraction +10 sec relaxation) for 60 min. These experiments were performed at two different heat loads (25°C and 40°C, R.H. 50%). To evaluate HRV, low frequency component (0.03-0.15Hz: LFP) and high frequency component (0.15-0.5Hz: HFP) power were calculated. The SNS and PNS activities were evaluated by LFP/HFP and HFP/(HFP+LFP), respectively. Summary of the results was shown below.

- 1) The change of the SNS and PNS activities were not significant among the different work patterns, due to the lower work load in the present experiment.
- 2) The increase of HR at 25°C was mediated primarily by the decrease of the PNS activities during the work periods.
- 3) The effects of heat loads on the SNS and PNS activities were significant. Briefly, at the same work pattern, the SNS activities at 40°C were higher than those at 25°C, but the PNS activities at 40°C were lower than those at 25°C.

(Ann. Physiol. Anthropol. 13(5): 233-243, 1994)

Key words: Heart rate variability, Autonomic nervous system activity, Handgrip, Heat load

心拍数は心臓の交感神経及び副交感神経のバランスによって決定されている。一方、その情報は心臓血管系を通して心臓中枢にフィードバックされる (Mal-

liani ら, 1991; Saul, 1990)。また、その際、高次中枢や呼吸中枢からも心臓中枢に情報が行くため、心拍は常に一定とはならず、瞬時な変動性を持つようになる

Fig. 1 Schematic representation of short-term HR control

Higher-order CNS, respiratory center and feedback from cardiovascular system modulate cardiac sympathetic and parasympathetic efferent activity. HR response depends on sympathoparasymphathetic balance at the sinoatrial node. So HR fluctuation is instantaneously caused by those factors mentioned above.

(図1)。このことから心拍の変動性を用い、心臓の自律神経活動の評価が多くなされてきた (Sayers, 1973; Akselrod ら, 1981; Pomeranz ら, 1985; Pagani ら, 1986) が、心臓の自律神経活動に関する心拍変動の各周波数帯域ははっきり定義されていない。最近の研究によると、心拍の変動性を示す周波数は下記のように3つの成分に分けられることが報告されている (Saul, 1990; Malliani ら, 1991)。

1) High frequency component (HF; $0.15\text{Hz} \leq \text{HF}$) : ピークは 0.25Hz の近くにある。この周波数成分は呼吸周波数と同じであり、心臓の副交感神経の活動を反映する。

2) Low frequency component (LF; $0.03 \leq \text{LF} < 0.15\text{Hz}$) : ピークは 0.1Hz の近くにある。この周波数成分は圧受容体反射を介し、心臓の交感神経と副交感

神経の活動を反映する。

3) Very low frequency component (VLF; $0 < \text{VLF} < 0.03\text{Hz}$) : 末梢血管調節と関連がある、と言われている。

今まで、身体的負荷に関する心拍変動の研究はいくつかある (Nakamura ら (1993), Yamamoto ら (1991), Arai ら (1989), Perini ら (1990)) が、精神負荷に関する心拍変動の研究に比べると数少ない。特に、現代の職場の作業に近似した身体的負荷 (低出力化, 局所化) あるいは環境条件による研究はほとんど見られない。したがって、本論文では心拍変動の交感, 副交感神経活動指標を用い, 異なる作業パターンあるいは温熱負荷による心臓の自律神経への働きを検討することを目的とした。

方 法

1) 被験者

被験者は、心臓の機能に異常がない健康な男性8名であった。被験者の平均年齢は 24 ± 3.5 歳、身長は 171 ± 2.2 cm、体重は 67 ± 7.8 kgであった。被験者は少なくとも実験の3日前に、作業と同じ姿勢で右手の最大握力を測定された。本実験の作業負荷は最大握力の10%とし、その値は 40.74 ± 3.43 kgfであった。

2) 実験条件

実験条件は、表1に示された3つの作業パターンと2つの温熱負荷から構成されていた。いずれの条件も筋収縮時間の合計は30分間であった。

Table 1 Experimental conditions

Three different combinations of contraction-relaxation (Cont., C10R5, C10R10) and two temperature levels (25°C and 40°C) were performed in this study giving six experiments.

Condition	Work pattern	Air temperature	Duration
25 (Cont.)	Continuous	25 °C	30 min
25 (C10R5)	10sec contraction + 5sec relaxation	25 °C	45 min
25 (C10R10)	10sec contraction + 10sec relaxation	25 °C	60 min
40 (Cont.)	Continuous	40 °C	30 min
40 (C10R5)	10sec contraction + 5sec relaxation	40 °C	45 min
40 (C10R10)	10sec contraction + 10sec relaxation	40 °C	60 min

3) 手続き

実験は、気温25°Cまたは40°C、相対湿度50%に設定された人工気象室で行なった。被験者は常温(22~25°C)の前室で電極を装着した後、人工気象室に入室した。作業に先立ち30分間の安静をとった。被験者は上半身裸、下半身は短パンで、実験中の姿勢は椅座位であった。各実験条件は、ラテン方格法によりランダムに配置され、各実験は少なくとも2日間離して行なった。

4) 測定項目及びデータ解析

本実験では筋電図、心電図、血圧、前腕血流量及び主観評価を測定したが、心電図以外の指標については、今後の報告で論じ、本論文ではふれない。

心電図は胸部誘導3電極法により導出し、生体電気用アンプ(日本光電製、AB-620G)を通してPCMデータレコーダ(TEAC, RD130T)に記録された。

得られた心電図のデータは、サンプリング周波数100 HzでA/D変換し、波形処理ソフト(カノーブス社製、Wave Master II)によりパソコン(EPSON, PC-286

Table 2 Numbers and periods of analyzed data at different experimental conditions

Total net work of the same number was kept constant in all experimental conditions. The numbers were the same as shown in all figures of this study.

	Number	25&40(Cont.)	25&40(C10R5)	25&40(C10R10)
Rest	0	-2.5 ~ -0.5	-2.5 ~ -0.5	-2.5 ~ -0.5
Work	1	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
Work	2	4 ~ 5	7 ~ 8	9 ~ 10
Work	3	9 ~ 10	14 ~ 15	19 ~ 20
Work	4	14 ~ 15	21 ~ 22	29 ~ 30
Work	5	19 ~ 20	29 ~ 30	39 ~ 40
Work	6	24 ~ 25	36 ~ 37	49 ~ 50
Work	7	29 ~ 30	44 ~ 45	59 ~ 60
Recovery	8	30.5 ~ 32.5	45.5 ~ 47.5	60.5 ~ 62.5
Recovery	9	34 ~ 35	49 ~ 50	64 ~ 65
Recovery	10	35.5 ~ 37.5	50.5 ~ 52.5	65.5 ~ 67.5
Recovery	11	39 ~ 40	54 ~ 55	69 ~ 70

(min)

V)上に再生して各処理を行った。表2に分析を行った期間(2分間)を示した。各期間には0から11までの番号を付けた。その際、休息時間を除く作業の始めから分析する期間までの総仕事量は、各条件とも同じであった。心拍数は、各期間における毎分のR波の数を算出し、その平均値を求めた。また心電図から得られたR-R間隔を図2に示した方法によって自己回帰モデルを用いてスペクトル解析を行なった。本研究の自己回帰モデルの次数は40が用いられた(心拍データ数は113~236)。また、自己回帰モデルによるスペクトルのピークの高さを量的に比較することは理論上できない(日野, 1977)ので、各周波数帯域のパワー値を求めるために積分を行うのは本来正しい方法ではない。しかしながら、この方法により十分な精度で周波数帯域のパワー値を推定できることが知られており、これを用いた文献もある(Pagani, 1986; Mallianiら, 1991)。従って、本研究では積分で各周波数帯域のパワー値を求めた。本論文では $LF(0.03\text{Hz} \leq LF < 0.15\text{Hz})$ のパワー値をLFP, $HF(0.15\text{Hz} \leq HF \leq 0.5\text{Hz})$ のパワー値をHFPとして示した。さらにLFP/HFP, HFP/(HFP+LFP)を自律神経活動の指標(武井ら, 1992; Nakamuraら, 1993)として論じた。

本実験には被験者の呼吸が制限されなかったが、呼吸周波数は0.25~0.42Hzであり、HFの範囲内に収まっていた。

Fig. 2 Schematic outline of the method used for computation of the power spectra of heart rate variability

From electrocardiogram recorded, the series of R-R intervals are detected as shown in a tachogram. Power spectral density (PSD) is computed with autoregressive algorithm by the computer program in this study. Finally, the power of individual spectral components (i.e., area, obtained over any given frequency range) are integrated in this study.

5) 統計処理

作業時(番号1~7)のデータに対し四元配置(母数模型:作業パターン, 温熱負荷, 経過時間; 変量模型:被験者)の分散分析(鳥居ら, 1973)を行った。すべての統計処理において $P < 0.05$ を有意とした。

結果

1) 心拍数の変化 (ΔHR)

図3に各条件における心拍数の変化を示した。データは測定した0回目(作業前の安静時)の値を基準値とした変化量で示してある。条件25(Cont.), 25(C10R5), 25(C10R10), 40(Cont.), 40(C10R5), 40(C10R10)の基準値はそれぞれ70.5, 67.2, 70.4, 75.6, 77.7, 71.9拍/分とかなりばらついた値を示した。しかし, 気温25℃条件より気温40℃条件の方が高かった。

分散分析によって, 温熱負荷, 経過時間及び被験者の有意な主効果が示された($P < 0.01$; 表3)。また, 温熱負荷と経過時間の有意な交互作用が示された($P < 0.01$)。表3に示したように, 他の要因間の有意な交互作用も示されたが, その分散比は各主効果より低いので, 本論文ではふれなかった。気温40℃における作業中の心拍数は経過時間とともに上昇傾向が見られた。条件25(Cont.)と条件25(C10R5)の作業中における心拍数は条件25(C10R10)より明らかに上昇する傾向が見られた。同じ作業パターンにおける心拍数の比較では気温40℃の方が気温25℃よりも高い水準で変化していた。連続的筋収縮である条件25(Cont.)と条件40(Cont.)の心拍数は, 作業終了直後に著しく低下する

Table 3 Results of analysis of variance on different factors

W: Work pattern; H: Heat load; T: Elapsed time; S: Subject

(*: $p < 0.05$, **: $P < 0.01$, -: not significant)

	ΔHR	HFP	LFP	LFP/HFP	HFP/(HFP+LFP)
W	-	-	-	-	-
H	**	**	**	**	**
T	**	**	-	**	**
S	**	**	**	**	**
W x H	-	-	-	-	-
W x T	*	-	-	-	-
W x S	**	**	**	**	**
H x T	**	-	-	*	-
H x S	**	**	**	**	**
T x S	*	**	-	-	*
W x H x T	-	-	-	-	-
W x H x S	**	**	-	*	*
W x T x S	-	-	-	-	-
H x T x S	-	-	-	-	-

Fig. 3 Average responses of heart rate (ΔHR) at different experimental conditions

$$\Delta HR = HR_w - HR_r$$

HR_w : heart rate during the work and recovery periods

HR_r : heart rate during the resting periods

傾向があったが、断続的筋収縮である25(C10R10)と条件40(C10R10)の心拍数は低下傾向を示さなかった。

2) HFP の変化

図4にHFPの変化を示した。HFPは温熱負荷、経過時間及び被験者に有意な主効果が示された ($P < 0.01$)。温熱負荷と被験者の有意な交互作用も示された ($P < 0.01$)。HFPは、いずれの条件でも経過時間ともない下降傾向がみられた。同じ作業パターンでは気温40℃より気温25℃の方が高い水準で変化していた。また、同じ温熱負荷における各被験者のHFPは個人差が大きかった。

3) LFP の変化

図5にLFPの変化を示した。LFPは温熱負荷及び被験者に有意な主効果が示された ($P < 0.01$)。とりわけ、気温40℃における作業中のLFPは気温25℃より高い水準で変化していた。また、各被験者のLFPは個人差が大きかった。

4) LFP/HFP の変化

図6にLFP/HFPを示した。温熱負荷、経過時間及

び被験者の有意な主効果が示された ($P < 0.01$)。また、温熱負荷と経過時間の有意な交互作用も示された ($P < 0.05$)。気温40℃における作業中のLFP/HFPには経過時間とともに上昇傾向が見られたが、気温25℃においては同様な傾向はみられなかった。同じ作業パターンにおけるLFP/HFPの比較では、気温40℃の方が気温25℃よりも高い水準で変化していた。

5) HFP/(HFP+LFP) の変化

図7にHFP/(HFP+LFP)の変化を示した。HFP/(HFP+LFP)は温熱負荷、経過時間及び被験者の有意な主効果が示された ($P < 0.01$)。作業中のHFP/(HFP+LFP)は経過時間とともに下降傾向が示された。また同じ作業パターンにおけるHFP/(HFP+LFP)の比較では、気温40℃の方が気温25℃よりも低い水準で変化していた。さらに条件25(C10R10)の作業中のHFP/(HFP+LFP)は、条件25(C10R5)より高い水準で変化していた。条件40(C10R5)と条件40(C10R10)の作業中のHFP/(HFP+LFP)は条件40(Cont.)より高い水準で変化していた。

Fig. 4 Average responses of power of high frequency component (HFP) at different experimental conditions

Fig. 5 Average responses of power of low frequency component (LFP) at different experimental conditions

Fig. 6 Average responses of LFP/HFP at different experimental conditions

Fig. 7 Average responses of HFP/(HFP+LFP) at different experimental conditions

6) 心拍数と LFP/HFP または HFP/(HFP+LFP) との相関

図 8 に作業中の心拍数と LFP/HFP または HFP/(HFP+LFP) との相関を示した。心拍数と LFP/HFP との間の相関係数は 0.60 であり、統計的に有意な正の相関が示された ($P < 0.001$, $n = 336$)。また、心拍数と HFP/(HFP+LFP) との間の相関係数は -0.52 であり、統計的に有意な負の相関が示された ($P < 0.001$, $n = 336$)。

Fig. 8 Relationships between HR and LFP/HFP, HFP/(HFP+LFP) during the work periods For graph A, there is a significant linear relationship between HR and LFP/HFP ($p < 0.001$). For graph B, there is a significant linear relationship between HR and HFP/(HFP+LFP) ($p < 0.001$).

考 察

心臓への自律神経活動を評価するために種々の指標が用いられてきた (Pagani ら, 1986; Arai ら, 1989; Yamamoto, 1991) が、本論文では、武井ら (1992) 及び Nakamura ら (1993) の研究で用いられている指標を用いて自律神経活動を論じることとする。この指標は、Nakamura ら (1993) の研究により、自律神経活動が血漿のノルエピネフリンとエピエフリンの濃度及び心拍変動のフラクタル次元の変動傾向を明らかに反映することが示されている。

作業負荷が増加すると、心拍数は増加を示すが、心拍変動成分である HFP 及び LFP は、減少することが報告されている (Arai ら, 1989; Perini ら, 1990)。事実、Nakamura ら (1993) は、自転車エルゴメータを用いた最大酸素摂取量の 38%、57% と 93% の運動負荷時の HFP と LFP の比較を行っている。それによると、HFP と LFP は共に負荷が 93% の時に最も低く、38% の時に最も高かった。すなわち、強い作業負荷時には心拍数の水準が高く R-R 間隔の変動量が低下しパワースペクトルは低くなる。一方、弱い作業負荷時には心拍数の水準が低いため、R-R 間隔の変動量が高くなることによって、パワースペクトルも高くなるのである。また、作業終了後における HFP と LFP は増加する傾向を示すとも言われている (Arai ら, 1989)。

本研究においては、HFP は全条件で作業の経過に従って減少傾向を示したが、回復時には、条件 25 (Cont.) 及び 40 (Cont.) においてのみ HFP は増加傾向を示した (図 4)。また、LFP においては、作業時も回復時もはっきりした変動傾向は見られなかった (図 5)。今回、LFP がはっきりした変動を示さなかったのは、作業強度が以前の研究 (Arai ら, 1989; Perini ら, 1990) に比べ低かったことによるものと思われる。

概して、HFP は心臓の副交感神経の活動を反映し、LFP は心臓の交感神経及び副交感神経の両方の活動を反映していると言われてきた (Akselrod ら, 1981; Pagani ら, 1986; Pomeranz ら, 1985)。しかし、上述の議論の通り、作業強度が強くなるにつれて HFP 及び LFP の水準が低くなり、結果として交感神経活動が高くなると HFP はもちろん、LFP さえも低下してしまうと言う矛盾を生じてしまう。したがって、HFP を心臓の副交感神経、LFP を交感神経及び副交感神経の活動と評価する指標とするのは、不適切と思われる。

Malliani ら (1991) は心臓の交感神経と副交感神経の拮抗性に注目して、それらの相互作用を考慮する必要があると述べている。一方、Levy (1978) は、交感神経活動による心拍数の増加は副交感神経支配を受けない時の方がより大きい、副交感神経活動による心拍数の減少は副交感神経支配だけの時よりも交感神経支配を受けている時により大きいことを報告している。また、自律神経遮断剤を用いて運動時の心拍数への影響を調べた Robinson ら (1966) は、副交感神経遮断、交感・副交感神経遮断、遮断剤投与なし、交感神経遮断の順で心拍数の水準が減少することを報告している。以上の結果から、心臓の交感神経と副交感神経の関係は拮抗性を持つとしても、交感神経活動が増加すれば副交感神経活動が減少し、その逆も成り立つという単純な関係では説明ができないようである。

以上の議論から本研究では、同時に心臓の交感神経活動、副交感神経活動及びそれらの拮抗性を考慮するために、LFP/HFP、HFP/(HFP+LFP) を心臓の自律神経活動の指標として検討した。その結果、図 8 に示したように、心拍数と LFP/HFP 間に正の相関、心拍数と HFP/(HFP+LFP) との間に負の相関が示された。このことから、LFP/HFP は心臓の交感神経活動、HFP/(HFP+LFP) は心臓の副交感神経活動を反映する指標とする武井ら (1992)、Nakamura ら (1993) の結果と一致することが示唆された。

自転車エルゴメータを用いて心拍変動を検討した研究がいくつかある。Christensen ら (1973) は、運動開始時の心拍数の増加量が 30 拍/分までは副交感神経活動の低下によるものであり、それ以上の増加量を示す場合は交感神経活動の増大によるものであると報告している。また、Orizio ら (1988) は最大酸素摂取量の 23% の作業強度における心拍数の増加が副交感神経活動の減少と関連があり、最大酸素摂取量の 45% や 65% における心拍数の増加は交感神経活動の増加と関連があると報告している。さらに、Nakamura ら (1993) は、漸増する負荷に伴い心拍数は線形的に増加するが、負荷が最大酸素摂取量の 50% までは副交感神経活動が優位であり、60% 以上では交感神経活動が優位になることを報告している。

以上のエルゴメータ作業の結果を本論文の掌握作業の結果と直接比較することはできないが、作業中の低い心拍数は副交感神経活動によって支配され、より高

い心拍数は交感神経活動によって支配されていると考えられる。本研究の LFP/HFP 及び HFP/(HFP+LFP) の結果から、交感神経活動及び副交感神経活動は作業パターン間に有意差が認められなかった。これは、作業負荷が低かったことに起因していると考えられる。

一方、気温 25℃ において経過時間に伴い心拍数が増大し、その際、副交感神経活動を示す HFP/(HFP+LFP) が有意に減少したが、交感神経活動を示す LFP/HFP には有意差は示されてなかった。この結果は、主に副交感神経活動の減少が原因であると考えられる。

このことを圧反射 (Rowell ら, 1990) からみると、作業の開始時は、中枢命令によって圧反射点がより高い値にセットされており、さらに心臓への副交感神経の活動を減少させて、心拍数や血圧が高い状態にある。この時、血圧の増加が新しい圧反射点に至らない場合には、心臓への交感神経活動を増加させるので、心拍数及び血圧がさらに高くなることが知られている。従って本研究の結果は、気温 25℃ において中枢命令が副交感神経活動を減少させることを介して、血圧を新しい圧反射点にすばやくシフトさせたため、副交感神経活動の減少により心拍数が増加するとの説明もできよう。

本実験の LFP/HFP 及び HFP/(HFP+LFP) の結果から、すべての条件で気温 40℃ の交感神経活動の水準は気温 25℃ より高く、副交感神経活動の水準は気温 25℃ より低いことが示唆された。また、気温 25℃ と 40℃ の副交感神経活動は経過時間とともに減少傾向を示していた。さらに気温 40℃ の交感神経活動は経過時間に伴って著しい増加傾向を示していたが、25℃ の交感神経活動には同様な傾向は見られなかった。したがって、これらのことから本研究の温熱負荷は、交感神経活動をより増大させていたことが明らかになったと言える。

このことを心臓血管系からみると、高温時には皮膚静脈のコンプライアンスが減少するので、末梢血液量が多くなり、心臓への静脈還流が低下する (Rowell, 1977)。そして、それは心臓内及び大動脈の圧力の減少をもたらす。圧受容器から心臓の促進中枢にフィードバックされ、交感神経活動を増加させることが知られている。したがって、このことから本研究の温熱負荷がより交感神経活動を増大させていることが説明で

きよう.

結 語

本研究は、LFP/HFPを心臓の交感神経活動の指標、HFP/(HFP+LFP)を心臓の副交感神経活動の指標とした結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 交感神経活動及び副交感神経活動は作業パターン間で差が認められない。
- 2) 気温25℃において経過時間と共に心拍数は増加するが、これは主に副交感神経活動の減少が原因であると考えられる。
- 3) 温熱負荷は副交感神経活動にも影響を与えるが、交感神経活動により大きく影響することが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究の日本語の訂正、助言をしていただいた佐々木司さんに心から感謝いたします。

参考文献

- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.A., Shannon, D.C., Barger, A.C. and Cohen, R.J., 1981: Power spectrum analysis of heart fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213: 220-222
- Arai, Y., Saul, P., Albrecht, P., Hartley, L.H., Lilly, L.S., Cohen, R.J. and Colucci, W.S., 1989: Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American J. Physiology*, 256 (Heart Circ. Physiol. 25): H132-H141
- Christensen, N.J. and Brandsborg, O., 1973: The relationship between plasma catecholamine concentration and pulse rate during exercise and standing. *European J. Clinical Investigation*, 3: 299-306
- 日野幹雄, 1977: スペクトル解析, 朝倉書店, 222-226
- Levy, M.N., 1978: Neural control of the heart: sympathetic-vagal interactions. In: Baan J. et al, *Cardiovascular system dynamics*. MIT Press, Cambridge, 365-370
- Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F. and Cerutti, S., 1991: Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 84: 482-492
- Nakamura, Y., Yamamoto, Y. and Muraoka, I., 1993: Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *J. Appl. Physiology* 74(2): 875-881
- Orizio, C., Perini, R., Comandè, A., Castellano, M., Beschi, M., and Veicsteinas, A., 1988: Plasma catecholamines and heart rate at the beginning of muscular exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57: 644-651
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, G., Dell'Orto, S., Piccaluga, E., Turiet, M., Baselli, G., Cerutti, S. and Malliani, A., 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
- Perini, R., Orizio, C., Baselli, G., Cerutti, S. and Veicsteinas, A., 1990: The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61: 141-148
- Pomeranz, B., Macaulay, R.J.B., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J. and Benson, H., 1985: Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American J. Physiology*, 248 (Heart Circ. Physiol. 17): H151-H153
- Robinson, B.F., Epstein, S.E., Beiser, G.D. and Braunwald, E., 1966: Control of heart rate by the autonomic nervous system. *Studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise*. *Circulation Research*, 19: 400-411
- Rowell, L.B., 1977: Competition between skin and muscle for blood flow during exercise. In: Nadel, E.R., *Problems with temperature regulation during exercise*. Academic Press Inc., 49-76
- Rowell, L.B. and O'Leary, D.S., 1990: Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J. Appl. Physiology*, 69(2):

- 407-418
Saul, J.P., 1990: Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *News in Physiological Sciences*, 5: 32-37
Sayers, B.M., 1973: Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*: 16(1): 17-32
武井義明, 吉田敬義, 近藤徳彦, 1992: ランプ負荷運動中の心拍変動, 生理人類学会第29回大会梗概集, 168
鳥居敏雄, 高橋暁正, 土肥一郎, 1973: 医学・生物学のための推計学, 東京大学出版会, 266-279
Yamamoto, Y., Hughson, R.L. and Peterson, J.C., 1991: Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J. Appl. Physiology*, 71(3): 1136-1142
(1993年11月19日受付)
(1994年6月5日受理)
-

李 傳房
Chang-franw LEE

〒263 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学自然科学研究科人間工学教室
Dept. of Ergonomics, Graduate School of Science and Technology, Chiba University
1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263, Japan