

## キャンプ中の自律神経日内変動が白血球動態に与える影響

### Effect to leukocyte dynamic phase by a circadian rhythm of autonomic nervous system by a camp

永吉英記

Hideki NAGAYOSHI

#### はじめに

キャンプのような、自然環境からの影響が多く、日常と異なった生活環境や人間関係において、キャンパーの生体は多くのストレスにさらされる。キャンプ中のキャンパーの生体機能に与えるストレスとして、主に物理的ストレス(暑さ、寒さ、風の音、雨など)、生物学的ストレス(ウイルスや細菌の感染、過度の疲労、睡眠不足など)、精神的ストレス(友人関係、家族関係、キャンプスタッフとの関係、自分自身との関係など)などが挙げられるが、キャンプ中はこれら様々なストレスに対してスムーズに生体機能調節をおこなわなければならない。これらのストレスなどが要因となってキャンプ中様々な症状を訴える者は少なくない<sup>7)</sup>。

ストレスに対する生体機能のコントロールは脳を中心として、自律神経系、内分泌系、免疫系の3つのコントロール系によって調節されている<sup>8)</sup>。

自律神経は、脳を胃腸や心臓などの筋肉と結び、情報のやり取りをおこなうことで、心拍数、血圧、胃酸分泌などを調節している。自律神経の機能は交感神経と副交感神経に分類され、それぞれ、交感神経は積極的に活動しているとき、副交感神経

は睡眠中や体を安静にしているときに優位に働く。交感神経は内分泌のノルアドレナリン・アドレナリンを末端から分泌し内臓の筋肉を活発にし、副交感神経はアセチルコリンによって筋肉の抑制をおこなう。これら自律神経機能の調節は、自然環境の温度や湿度、太陽の位置などの様々な変化に対応したリズムを持ち、環境変化に対応して、活動、食事、休息のリズムや、活動・休息水準の変化、食欲、排便などの機能的調節をおこなっている。

一方、免疫機能は体内に入り込んだ細菌やウイルスを排除し体を病気から守っている。キャンプ中の風邪や下痢、アトピーや喘息などの症状の悪化などは、これら免疫機能が環境変化によって十分に働いていないためである。血液中の白血球には顆粒球(60%)、単球(35%)、リンパ球(5%未満)が存在し、さらに顆粒球は好中球、好酸球、好塩基球として、リンパ球はB細胞、T細胞に、単球は組織内でマクロファージとなり、様々な細菌やウイルスへの対応をとっている。近年、白血球やリンパ球サブセットにaderenergeticレセプターを多く出すものとcholinergicレセプターを多く出すものとの2種類があり、それぞれ交感神経興奮時、副交感神経興奮時に免疫細胞数が増加する

ことが報告された<sup>1,2)</sup>。このことによって、自律神経と免疫との密接な関係が注目された。

著者らは、これまでに、キャンプにおける自律神経機能の調査<sup>7) 19)</sup>をおこなってきた。自律神経活動の評価は、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<sup>3, 4, 5, 6, 14, 15, 16)</sup>を用いた。児童を対象にした4泊5日のキャンプでは、キャンプ活動中の交感神経活動の上昇と睡眠期の副交感神経活動の上昇がみられ、日内リズムと共に大きな機能変化がみられた<sup>19)</sup>。また、キャンプ中の自律神経機能は日常生活と比較してサーガディアンリズム(日内変動)による周期が強く生起していた<sup>19)</sup>。これから考察できることは、adrenergicレセプターとcholinergicレセプターをもつ、それぞれの免疫細胞が自律神経活動のレベルと共に変化し、キャンプが与える生体への影響を知る手掛かりとなることが考えられる。

## 研究方法

### I. 被験者

被験者は、次の3名とした(表1)。全員特に激しい運動を日常していない者で、加速度脈派測定により末梢循環良好で、医師による問診、心電図による検査、及び血液学的検査で以上を認めていない。被験者には測定前日から激しい運動と欠食及び多量な飲酒を禁止し、実験の趣旨を十分に説明して理解させ測定に参加させた。また、全員

表1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	加速度脈波
T.T	22	173.2	65.3	A
Y.S	21	169.1	61.4	B
K.O	20	172.4	64.7	A
Mean	21.00	171.57	63.80	
S.D	1.00	2.17	2.10	

より血液学検査内容を含む参加承諾書を得た。

### II. 実験の手順

キャンプ前日からキャンプ終了翌日までの4日間、午前10時から翌日の午前10時までの24時間、心拍数および心電図R-R間隔を連続測定・記録した。いずれの被検者も金曜日から月曜日にかけて行った。

採血は、キャンプ前日からキャンプ終了翌日までの5日間(表2)、被検者に30分間座位安静をとらせ、午前10時におこなった。採血は医師の立会いのもと、看護師によって行われた。

### III. 測定項目および分析方法

#### 1. キャンプ中の心拍数及び心電図及び心電図R-R間隔

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. キャンプ中の自律神経機能

自律神経機能の評価は、心血管系の循環調節機

表2 キャンププログラムと採血の時間帯

	キャンプ前日	キャンプ1日目	キャンプ2日目	キャンプ終了日
	通常生活	通常生活	キャンプ生活	通常生活
6:30	起床	起床	起床	起床
7:00			散歩	起床
7:30				
8:00		朝食	朝食	朝食
9:00				
10:00			採血	
12:00				
12:30		昼食	昼食	昼食
13:00				
13:30			昼休み	昼休み
14:00				
15:00			ハイキング	釣り
16:00				
17:30			夕食作り	夕食作り
18:00				
19:00			夕食	夕食
20:00				
21:00				
22:00				
23:00				
23:30	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠

能を反映しているとされている、心拍変動の周波数解析を用いた。自律神経機能の解析は、諏訪トラス社製解析ソフトMemCalk/Win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、セグメントごとにMEMCalk法<sup>11, 12, 13)</sup>による周波数領域解析を行った。周波数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<sup>10)</sup>とした。

3. キャンプ中の血液成分の変化

血液成分は、アクティブトレーサー AC-300スイッチOFF後の安静座位にて採血し、以下の成分を三菱化学ピー・シー・エルに依託分析した。

4. 血液学検査

白血球数、赤血球数、血小板数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値。

5. 生化学検査

血清ナトリウム・クロール濃度、血清鉄。

6. 内分泌検査

血漿アドレナリン・ノルアドレナリン濃度。(高速液体クロマトグラフィ法)

7. 免疫学検査

<白血球像>

好中球、単球 リンパ球

<リンパ球サブセット>

(CD3及びCD16の二重染色法)

胸腺外分化T細胞 (NKT cell)、ナチュラルキラー細胞 (NK cell)、通常T細胞 (T cell)

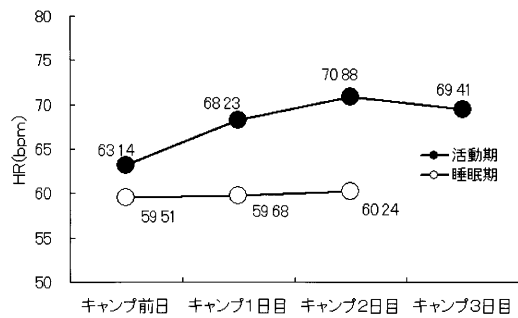


図1 活動期と睡眠期の心拍数

表3 各被験者の活動期・睡眠期平均心拍数

	被験者1		被験者2		被験者3	
	活動期 HR (bpm)	睡眠期 HR (bpm)	活動期 HR (bpm)	睡眠期 HR (bpm)	活動期 HR (bpm)	睡眠期 HR (bpm)
前日	Mean 61.19 S.D ±3.37	Mean 60.73 S.D ±1.94	Mean 66.65 S.D ±2.84	Mean 60.66 S.D ±1.13	Mean 61.57 S.D ±1.82	Mean 57.13 S.D ±1.49
1日目	Mean 70.48 S.D ±4.93	Mean 60.50 S.D ±2.83	Mean 70.93 S.D ±2.03	Mean 59.93 S.D ±1.47	Mean 63.29 S.D ±1.72	Mean 58.62 S.D ±0.92
2日目	Mean 71.48 S.D ±4.65	Mean 61.26 S.D ±3.32	Mean 77.65 S.D ±8.15	Mean 60.68 S.D ±2.24	Mean 63.51 S.D ±1.49	Mean 58.78 S.D ±2.48
3日目	Mean 67.50 S.D ±3.37		Mean 76.08 S.D ±5.22		Mean 64.66 S.D ±2.03	

表4 各被験者の活動期・睡眠期における平均HF・LF/HF値

	被験者1				被験者2				被験者3			
	活動期		睡眠期		活動期		睡眠期		活動期		睡眠期	
	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF	HF (msec <sup>2</sup> )	LF/HF
前日	Mean 1070.33 S.D 153.87	1.80 0.45	Mean 1572.46 S.D 233.66	1.02 0.28	Mean 725.13 S.D 272.69	725.13 272.69	Mean 1116.88 S.D 328.12	1116.88 328.12	Mean 1055.27 S.D 286.05	1055.27 286.05	Mean 1491.38 S.D 250.81	1491.38 250.81
1日目	Mean 969.03 S.D 187.58	2.25 0.95	Mean 2123.17 S.D 254.05	0.61 0.16	Mean 494.52 S.D 157.91	494.52 157.91	Mean 1817.81 S.D 363.65	1817.81 363.65	Mean 859.59 S.D 200.76	859.59 200.76	Mean 1449.52 S.D 189.65	1449.52 189.65
2日目	Mean 941.57 S.D 290.60	2.38 1.07	Mean 1780.61 S.D 407.03	0.79 0.39	Mean 547.97 S.D 196.16	547.97 196.16	Mean 1814.35 S.D 451.70	1814.35 451.70	Mean 851.62 S.D 184.03	851.62 184.03	Mean 1454.41 S.D 235.64	1454.41 235.64
3日目	Mean 867.17 S.D 314.41	-9.00 0.79			Mean 517.92 S.D 129.71	517.92 129.71			Mean 754.92 S.D 237.07	754.92 237.07		

## 結 果

### I. 心拍数

各被検者における、キャンプ前日、キャンプ1日目、キャンプ2日目、キャンプ終了日の活動期及び睡眠期の平均心拍数、標準偏差を表3に示す。被験者3名の平均心拍数は、活動期、睡眠期において、キャンプ前日は $63.14 \pm 2.49$ bpm、 $59.51 \pm 1.68$ bpm、キャンプ1日目は $68.23 \pm 3.50$ bpm、 $59.68 \pm 0.79$ bpm、キャンプ2日目は $70.88 \pm 5.79$ bpm、 $60.24 \pm 1.06$ bpm、キャンプ終了日は $69.41 \pm 4.85$ bpmであった(図1)。

### II. HF・LF/HF値

各被検者における、キャンプ前日、キャンプ1日目、キャンプ2日目、キャンプ終了日の活動期及び睡眠期のLF/HF、HF平均値及び標準偏差を表4に示す。

活動期において、キャンプ前日は $1.70 \pm 2.49$ 、 $950.24 \pm 1.68$ msec<sup>2</sup>、キャンプ1日目は $2.62 \pm 3.50$ 、 $774.38 \pm 0.79$ msec<sup>2</sup>、キャンプ2日目は $3.03 \pm 5.79$ 、 $796.74 \pm 1.06$ msec<sup>2</sup>、キャンプ終了日は $3.96 \pm 4.8$ 、 $713.34 \pm 1.06$ msec<sup>2</sup>であった。

睡眠期において、キャンプ前日は $0.88 \pm 2.49$ 、 $1393.57 \pm 1.68$ msec<sup>2</sup>、キャンプ1日目は $0.52 \pm 3.50$ 、 $1796.83 \pm 0.79$ msec<sup>2</sup>、キャンプ2日目は $0.68 \pm 5.79$ 、 $1683.12 \pm 1.06$ msec<sup>2</sup>であった。

### III. 血液成分

#### 1. 好中球

好中球の平均値及び標準偏差を図4に示す。キャンプ前日 $0.55 \pm 3.75\%$ 、キャンプ1日目 $61.70 \pm 3.21\%$ 、キャンプ2日目 $63.83 \pm 3.21\%$ 、キャンプ終了日 $58.17 \pm 3.07\%$ であった。

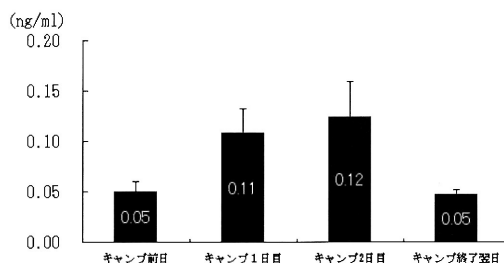


図2 血漿アドレナリン濃度の変化

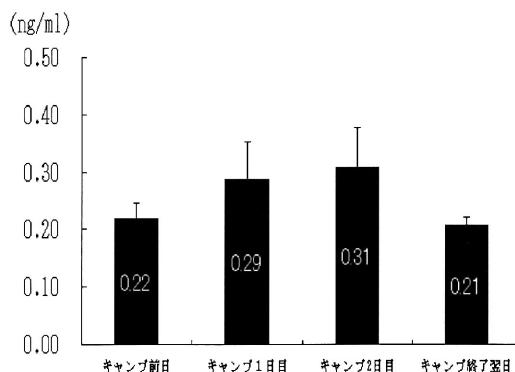


図3 血漿ノルアドレナリン濃度変化

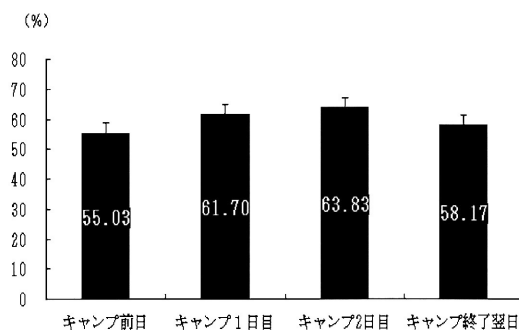


図4 好中球比率の変化

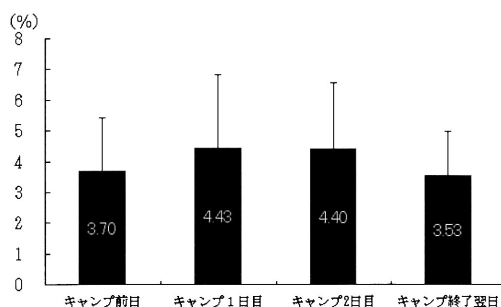


図5 単球比率の変化

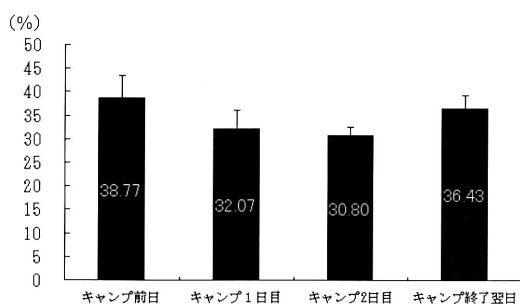


図6 リンパ球比率の変化

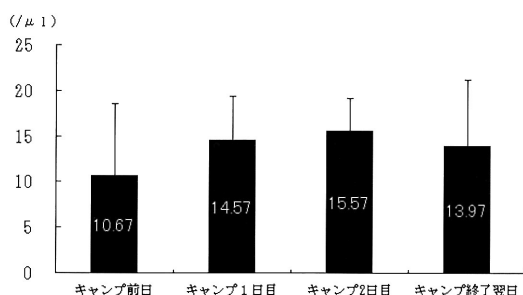


図7 NK細胞比率の変化

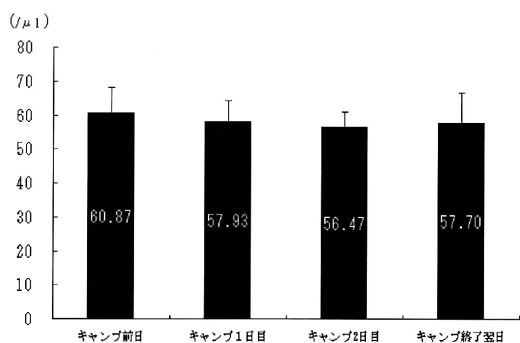


図8 T細胞球比率の変化

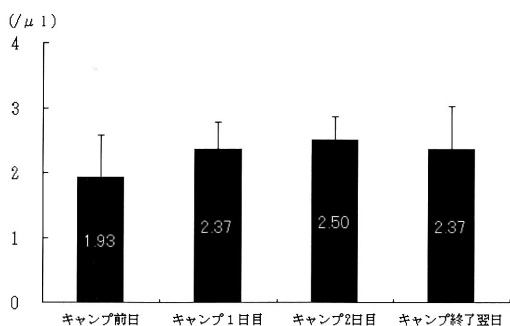


図9 NKT細胞比率の変化

## 2. 単球

単球の平均値及び標準偏差を図5に示す。キャンプ前日 $3.70 \pm 1.37\%$ 、キャンプ1日目 $4.43 \pm 2.40\%$ 、キャンプ2日目 $4.40 \pm 2.17\%$ 、キャンプ終了日 $3.53 \pm 1.45\%$ であった。

## 3. リンパ球

リンパ球の平均値及び標準偏差を図6に示す。キャンプ前日 $38.77 \pm 4.65\%$ 、キャンプ1日目 $32.07 \pm 4.04\%$ 、キャンプ2日目 $30.80 \pm 1.73\%$ 、キャンプ終了日 $36.43 \pm 2.93\%$ であった。

## 4. NK細胞

NK細胞の平均値及び標準偏差を図7に示す。キャンプ前日 $10.67 \pm 7.89 / \mu\text{l}$ 、キャンプ1日目 $14.57 \pm 4.48 / \mu\text{l}$ 、キャンプ2日目 $15.57 \pm 3.58 / \mu\text{l}$ 、キャンプ終了日 $13.97 \pm 7.25 / \mu\text{l}$ であった。

## 5. T細胞

T細胞の平均値及び標準偏差を図8に示す。キャンプ前日 $60.87 \pm 7.42 / \mu\text{l}$ 、キャンプ1日目 $57.93 \pm 6.39 / \mu\text{l}$ 、キャンプ2日目 $56.47 \pm 4.59 / \mu\text{l}$ 、キャンプ終了日 $57.70 \pm 8.86 / \mu\text{l}$ であった。

## 6. NKT細胞

NKT細胞の平均値及び標準偏差を図9に示す。キャンプ前日 $1.93 \pm 0.64 / \mu\text{l}$ 、キャンプ1日目 $2.37 \pm 0.40 / \mu\text{l}$ 、キャンプ2日目 $2.50 \pm 0.36 / \mu\text{l}$ 、キャンプ終了日 $2.37 \pm 0.65 / \mu\text{l}$ であった。

## 考 察

### 1. 活動期と睡眠期のLF/HF・HF値の高低差の変化

これまでの調査において、キャンプによる日中の活動水準の上昇や、不慣れな人間関係、自然環境に伴うストレスなどの影響により、交感神経の指標となるLF/HF値の活動期の上昇、また、睡眠期のHF値の上昇が日常での値と比較して顕著に

高い値を示した。本調査においても、同じような結果が得られた。これらの結果から、自律神経機能における周期性の発動が活発になると考えることができる。周期性の発動因子<sup>8)</sup>として考えられる、光量などの検討は今回の調査においてはしていないが、LF/HF値、HF値の時系列データにおいて、MEM法による24時間の周期成分の検討が必要であろう。

副交感神経及び交感神経の指標とされるHF・LF/HF値の日内変動は、被験者個々から導かれる周波数解析によって基準値となる日内標準値が決定するため、一般的な基準値との評価が出来ない<sup>13)</sup>にしろ、日内変動をするHF・LF/HF値の高低差がキャンプ中顕著であったことは、内分泌機能、免疫機能の活性との関係から、キャンプの生理的な効果として考えられる。

## 2. キャンプ中の交感神経と免疫

白血球における顆粒球、NK細胞、胸腺外分化T細胞は膜上にadrenergicレセプターをもち、逆にT細胞、B細胞はcholinergicレセプターをもっている。このため、日中、運動時、ストレス時の交感神経刺激状態で顆粒球、NK細胞、胸腺外分化T細胞は活性化する。また、副交感神経優位の体調になるとT細胞、B細胞が活性化する。本調査においても同様の結果が表されたが、日常生活との比較が今後の課題とされる。

## ま と め

本研究では、男子大学生3名を対象に、2泊3日のキャンプを行ない、キャンプ前日からキャンプ終了翌日までの5日間、午前10時から翌日の午前10時までの24時間、心拍数および心電図R-R間隔を連続測定・記録し解析後、自律神経機能の指標とした。また、内分泌、免疫機能の評価として、キャンプ前日からキャンプ終了翌日までの4日間、被検者に30分間座位安静をとらせ、午前10時に採血をおこなった。以上の調査内容から次のこ

とが明らかとなった。

1. キャンプ中の自律神経機能は、活動期の交感神経、睡眠期の副交感神経機能がそれぞれ顕著に変化し、高低差のある日内周期変動を行っていることがわかった。
2. キャンプ中の内分泌機能は、血漿ノルアドレナリンの上昇がみられた。
3. キャンプ中の免疫機能は、好中球比率の上昇、リンパ球比率の低下、胸腺外分下T細胞比率の上昇がみられ、T細胞、NK細胞の変化はみられなかった。

本研究は国士舘大学体育学部附属体育研究所の2003年度研究助成によって実施された。

## 引用・参考文献

- 1) 安保 徹、鳥谷部真一、鈴木 晋：白血球の自律神経レセプターとその働き、炎症と免疫、4(5)、102-108、1996。
- 2) 安保 徹、川村俊彦：環境、体調によって変化する免疫系そして疾患群、臨床病理、45(1);3-12、1997。
- 3) AldredgeJL, WeichAJ：Variations of heart rate during dynamics to clinical cardiology. Ann N.M.Acad.Sci.504、1973。
- 4) 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。
- 5) Hirsch, J.A. & Bishop, B.：Respiratory sinus arrhythmia in humans；how breathing Pattern modulates heart rate, Am. J. Physiol., 241：H620-H629、1981。
- 6) Katona, P. G. & Jih, F.：Respiratory sinus arrhythmia；noninvasive measure of parasympathetic cardiac control., J. Appl. Physiol., 39:801-805、1975。
- 7) 川村協平、永吉英記、若杉純子、小林恵里香：野外活動と健康(その2)：山梨小児保健学会報、1998。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 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、JJ. Sports Sa,12(8):489-493、1993。
- 11) 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。
- 12) 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23, 生体時系列データ解析研究会, 1993.
- 13) 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ゆらぎの臨床  
 的意義とそのサーカディアンリズム—, クリニカ,  
 東京, 1993.
- 14) 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.
- 15) Sano, Y., Kataoka, Y., Ikuyama, T., Wada, M., Imano, H.,  
 Kawamura, K., Watana be, 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.
- 16) 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.
- 17) Sleep as a function of the sleep cycle.  
*Electroencephalography Clinical Neurophysiology* **3**
- 18) 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.
- 19) 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.