

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間隔変動と周波数領域解析—

Influences of camp on changes of autonomic nervous activities  
and the slope of 1/f fluctuation  
— Changes of R-R interval variability and power spectral analysis—

渡 辺 剛\*, 永 吉 英 記\*\*, 川 村 協 平\*\*\*

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

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the autonomic nervous activities and the slope of 1/f fluctuation of camp in a child six and nine years old (Subject A and Subject B). 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 HF, that camp activity term is more significantly [ than the other day of a camp ] high accepted Subject A and Subject B. The HF rhythm of camp activity term was not confused. As for LF/HF, that camp activity term is more significantly [ than the other day of a camp ] high accepted Subject A and Subject B. The LF/HF of camp activity term changed greatly. The slope of 1/f fluctuation was not seen different from the other day of a camp, and the camp activity term. However, it was suggested that there is random nature in the slope of 1/f fluctuation of the camp activity term. These result indicated, it was suggested that the autonomous nervous system activities of the subjects in this research makes with-time change remarkable by camp activity term. Moreover, it was suggested that the slope of 1/f fluctuation has random character in camp activity term.

*Key wards; R-R interval variability, the slope of 1/f fluctuation, autonomic nervous system, camp,*

はじめに

1/f ゆらぎは、周波数 (f) に反比例してパワー・スペクトル密度が増加するかたちをとるゆらぎをさし、規則的性質と不規則的性質のどちらに

も属さない中間的な性質がある<sup>8)</sup>。1/f ゆらぎは自然界に存在する現象で、生体に快適感をあたえるものとして知られている<sup>9)14)</sup>。Kobayashiとmusha<sup>5)</sup>は1982年、1/f ゆらぎが心拍変動に存在することを始めて報告した。その後、自然界と

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

\*\* 国士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)

\*\*\* 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)

生体との同調要因として $1/f$ ゆらぎが考察されたが、生活レベルでの研究報告は少ない。

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<sup>6)</sup>してきた。自律神経機能評価および、 $1/f$ 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<sup>1) 2) 4) 9) 11) 12) 18)</sup>を用いた。前回までの報告では、自然環境下で暮らしつづける民族（アフリカ牧畜民）の調査において、 $1/f$ ゆらぎの傾き、及び自律神経機能は、自然環境の影響による周期変動をおこない、振幅が短い傾向であった。自然環境下で暮らしつづける民族の身体活動量が、都会的な暮らしより多いことから推測しても、自律神経機能の経時変化の振幅が短いことは、精神活動などによる自律神経機能調節における内因性要素が影響していると考えられる。

本研究では、自然環境下での活動として、キャンプに着目した。都会的な日常の生活から、自然環境の影響が強く、非日常的なキャンプにおいて、自律神経機能及び $1/f$ ゆらぎの傾きがどのように変動していくのかを調査する。キャンプでの身体活動量は日常生活と比較し多いこと、精神活動においては、非日常的な体験によるストレスと、森林など自然環境によるリラクゼーションなどの影響から、自律神経機能及び $1/f$ ゆらぎの変動が著しいと推測される。

## 研究方法

### I. 被験者

被験者は、9歳の男児1名、6歳の女児1名の2名である。9歳男児のこれまでのキャンプ歴は、6歳時に4泊5日のキャンプに参加し、今回で宿泊を伴うキャンプは2回目である。6歳女児は今回初めてのキャンプである。

被験者らには、実験の内容、装着する電極と機材の説明を十分に行い、測定の前1ヶ月前から、短

時間の装着を行った。また、被験者および、その保護者に承諾書を得た。

### II. 実験の手順

測定は、キャンプ開始前日の午前10時からキャンプ終了日の午後3時の間、心拍数および心電図R-R間隔を連続測定・記録した。連続測定・記録に使用するジー・エム・エス社製アクティブトレーサーAC300の電池交換および記録データ保存のため、被験者らの活動に支障のきたさないように電極・機材を交換した。また、キャンプのプログラムによって、電極装着の困難な場合や被験者らに過度なストレスが生じた場合は、一時的に電極を取り除いた。

また、被験者らの生活行動内容を記録用紙に記入した。

### 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HRAを用いて解析<sup>14)</sup>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）<sup>12) 13)</sup>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<sup>9) 10) 11) 15) 18)</sup>。
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 ( $\log_{10}-\log_{10}$ ) 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<sup>8)14)</sup>した。

## 結 果

### I. 心拍数

被験者Aにおけるキャンプ前日の活動期の平均心拍数は79.5±18.20bpm、睡眠期の平均心拍数は57.3±3.10bpm、キャンプ中の活動期の平均心拍数は92.5±32.25bpm、睡眠期の平均心拍数は52.1±3.56bpmであった。キャンプ前日とキャンプ中の活動期は有意な差が認められた (図 I-1)。心拍数の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期30.25hour、振幅18.2bpm、パワー比42.5%であった。キャンプ中では、周期22.68hour、振幅25.9bpm、パワー比51.3%であった。

被験者Bにおけるキャンプ前日の活動期の平均心拍数は82.4±21.27bpm、睡眠期の平均心拍数は59.5±4.22bpm、キャンプ中の活動期の平均心拍数は98.6±33.61bpm、睡眠期の平均心拍数は53.8±3.64bpmであった。キャンプ前日とキャンプ中の

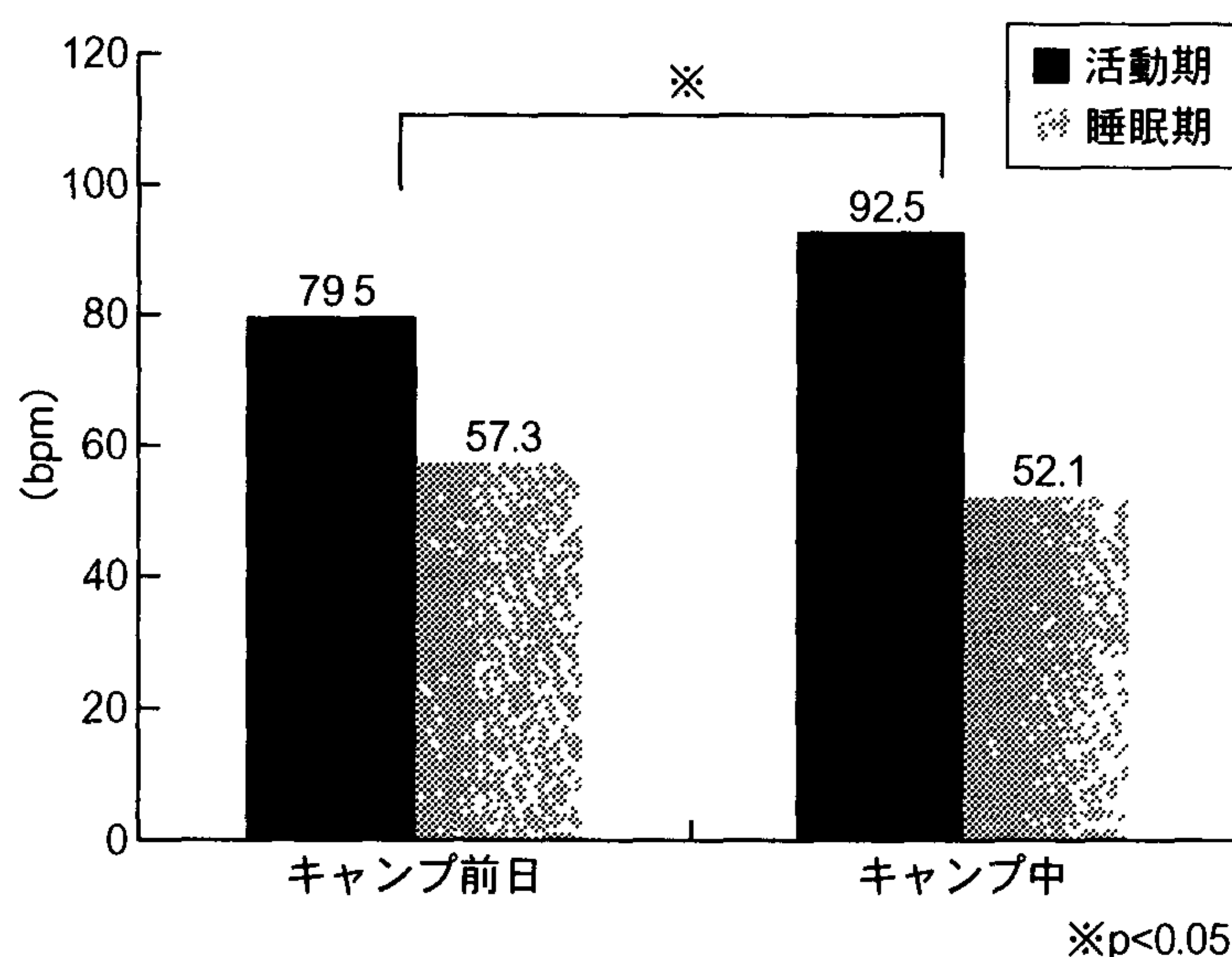
活動期は有意な差が認められた (図 I-2)。心拍数の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期22.37hour、振幅16.8bpm、パワー比31.8%であった。キャンプ中では、周期25.26hour、振幅23.7bpm、パワー比46.3%であった。

## II. 自律神経活動

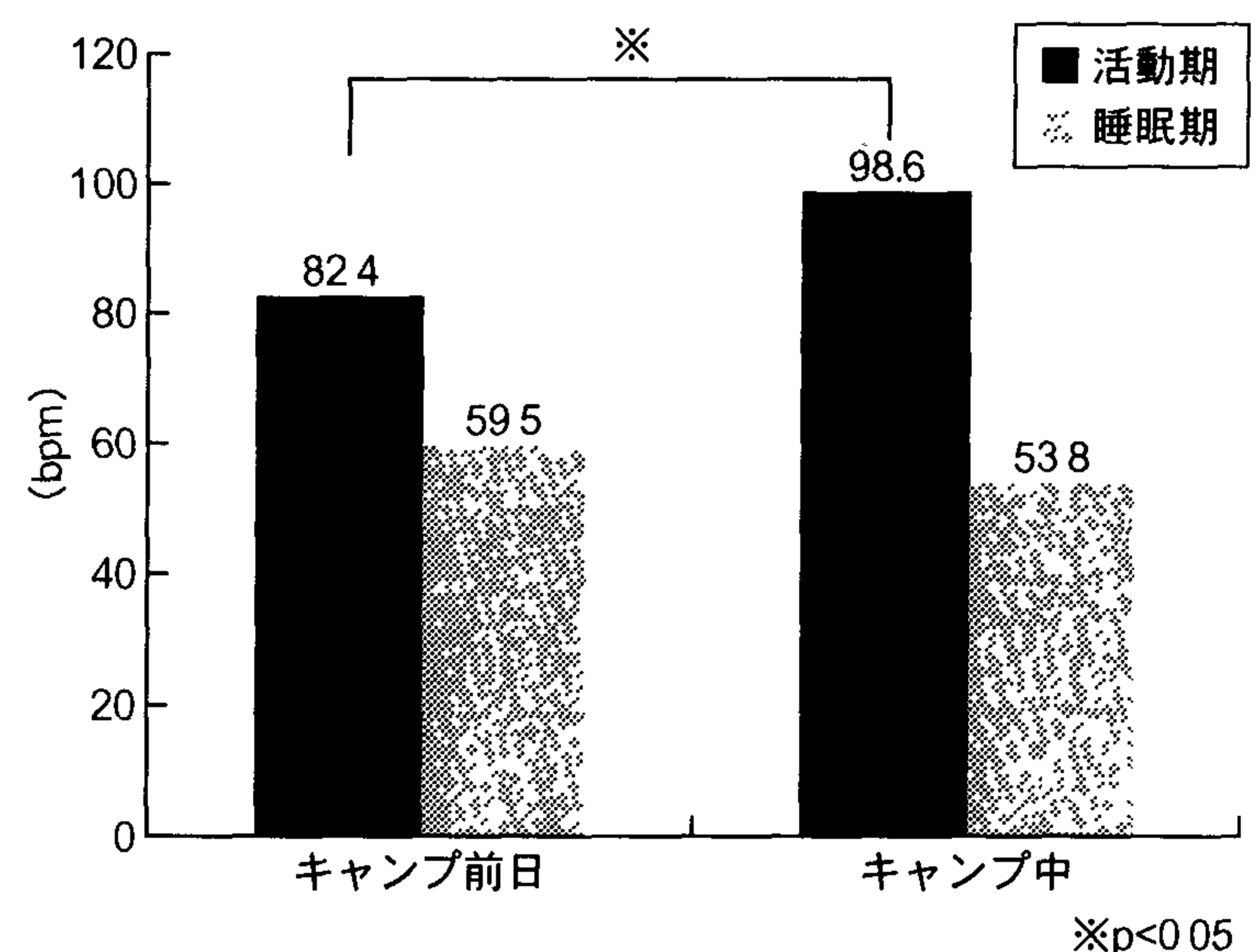
### 1. HF値

被験者Aにおけるキャンプ前日の活動期の平均HF値は395.9±112.4 msec<sup>2</sup>、睡眠期の平均HF値は1606.0±426.8 msec<sup>2</sup>、キャンプ中の活動期の平均HF値は962.4±309.5msec<sup>2</sup>、睡眠期の平均HF値2052.4±825.9msec<sup>2</sup>はであった。キャンプ前日とキャンプ中の活動期、及び睡眠期に有意な差が認められた (図 II-1)。HF値の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前では、周期25.43hour、振幅1504.6bpm、パワー比44.7%であった。キャンプ中では、周期24.15hour、振幅1780.4bpm、パワー比51.1%であった。

被験者Bにおけるキャンプ前日の活動期の平均HF値は433.9 ±109.5msec<sup>2</sup>、睡眠期の平均HF値は1897.1±290.6 msec<sup>2</sup>、キャンプ中の活動期の平均HF値は920.2±612.4 msec<sup>2</sup>、睡眠期の平均HF値は2892.3±826.9 msec<sup>2</sup>であった。キャンプ前日とキャンプ中の活動期、及び睡眠期に有意な



図I-1 被験者Aのキャンプ前日、キャンプ中の平均心拍数



図I-2 被験者Bのキャンプ前、キャンプ中の平均心拍数

差が認められた (図 II-1)。HF 値の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期30.68hour、振幅232.7bpm、パワー比27.9%であった。キャンプ中では、周期22.91hour、振幅947.1bpm、パワー比51.8%であった。

## 2. LF/HF 値

被験者 A におけるキャンプ前日の活動期の平均 LF/HF 値は  $2.97 \pm 0.95$ 、睡眠期の平均 LF/HF 値は  $0.98 \pm 0.42$ 、キャンプ中の活動期の平均 LF/HF 値は  $4.57 \pm 2.35$ 、睡眠期の平均 LF/HF 値は  $1.96 \pm 0.98$  であった。キャンプ前日とキャンプ中の活動期、及び睡眠期に有意な差が認められた (図

II-3)。LF/HF 値の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期21.80hour、振幅1.81、パワー比23.6%であった。キャンプ中では、周期24.38hour、振幅1.56、パワー比24.1%であった。

被験者 B におけるキャンプ前日の活動期の平均 LF/HF 値は  $2.62 \pm 1.10$ 、睡眠期の平均 HF 値は  $0.94 \pm 0.22$ 、キャンプ中の活動期の平均 LF/HF 値は  $5.27 \pm 3.49$ 、睡眠期の平均 LF/HF 値は  $2.27 \pm 1.24$  であった。キャンプ前日とキャンプ中の活動期、及び睡眠期に有意な差が認められた (図 II-4)。LF/HF 値の変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期27.05hour、

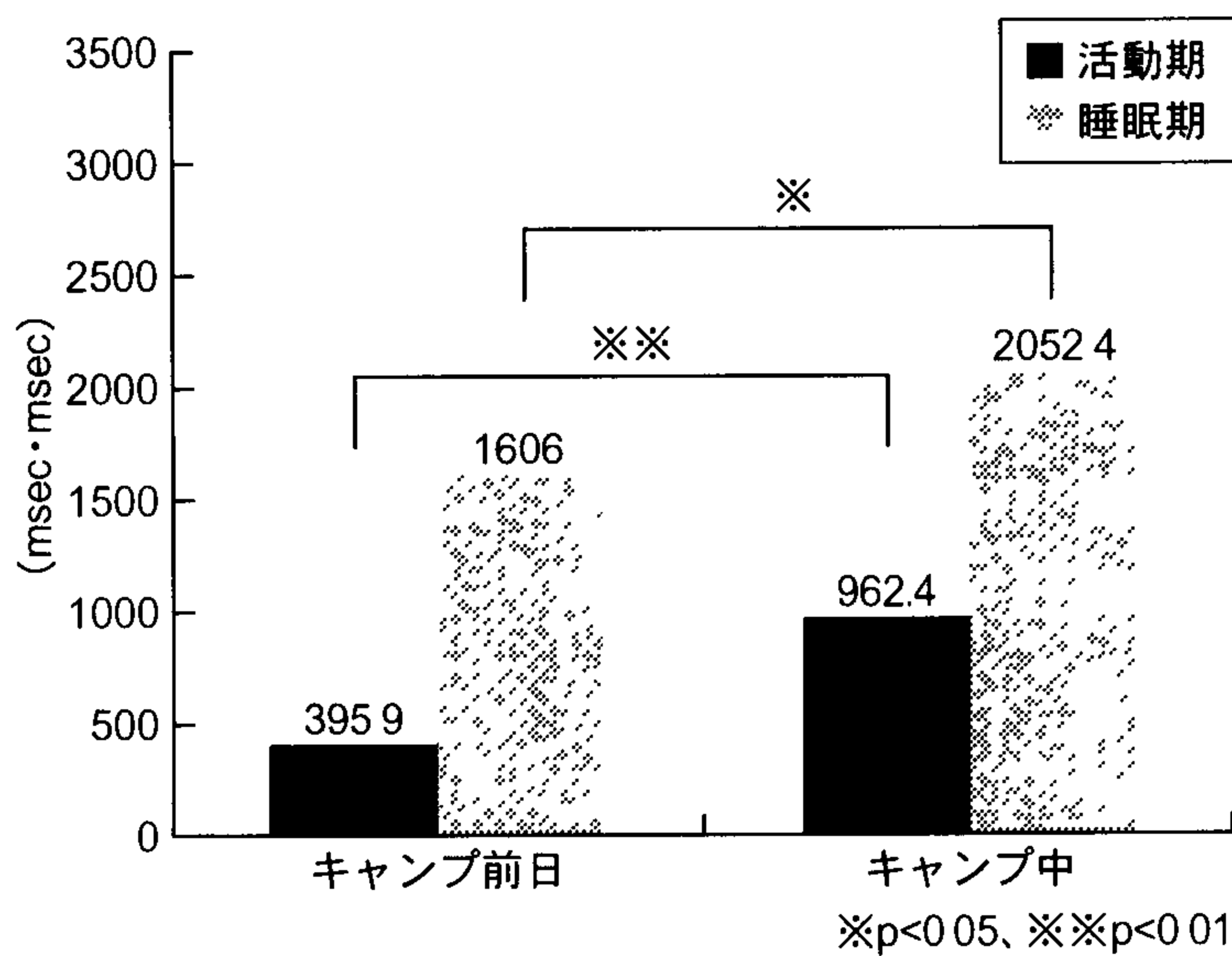


図 II-1 被験者 A のキャンプ前、キャンプ中の HF 値

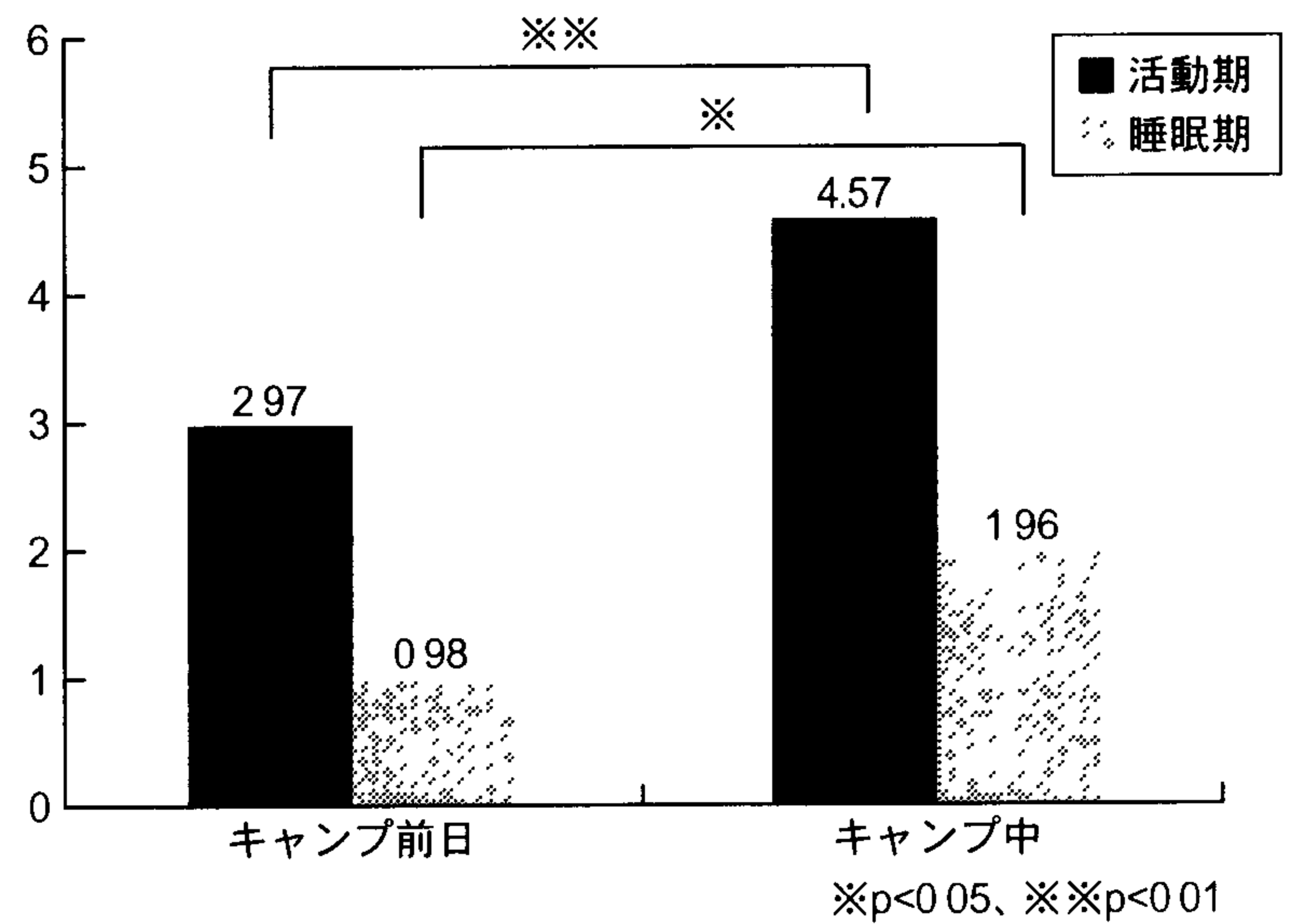


図 II-3 被験者 A のキャンプ前、キャンプ中の平均 LF/HF 値

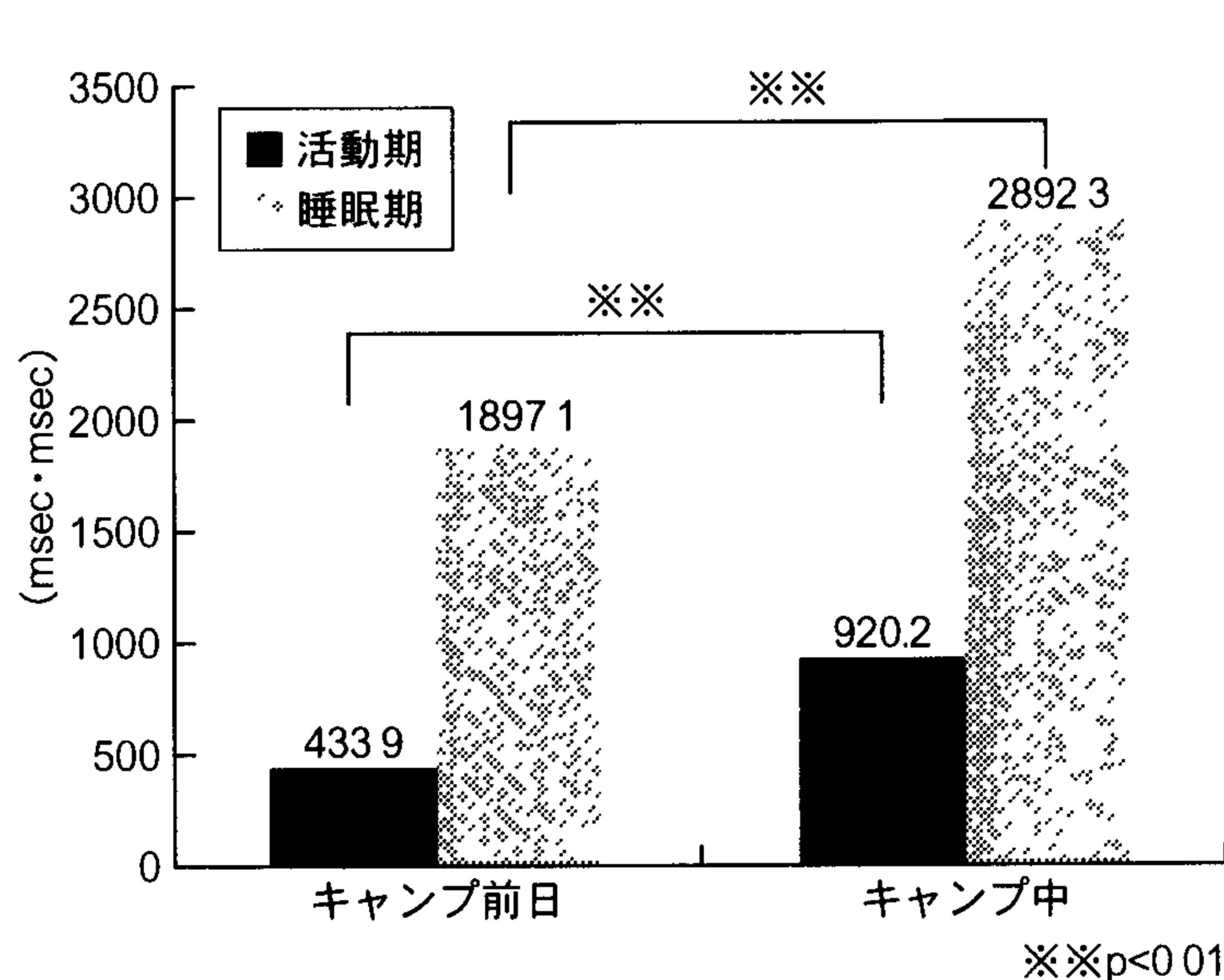


図 II-2 被験者 B のキャンプ前、キャンプ中の平均 HF 値

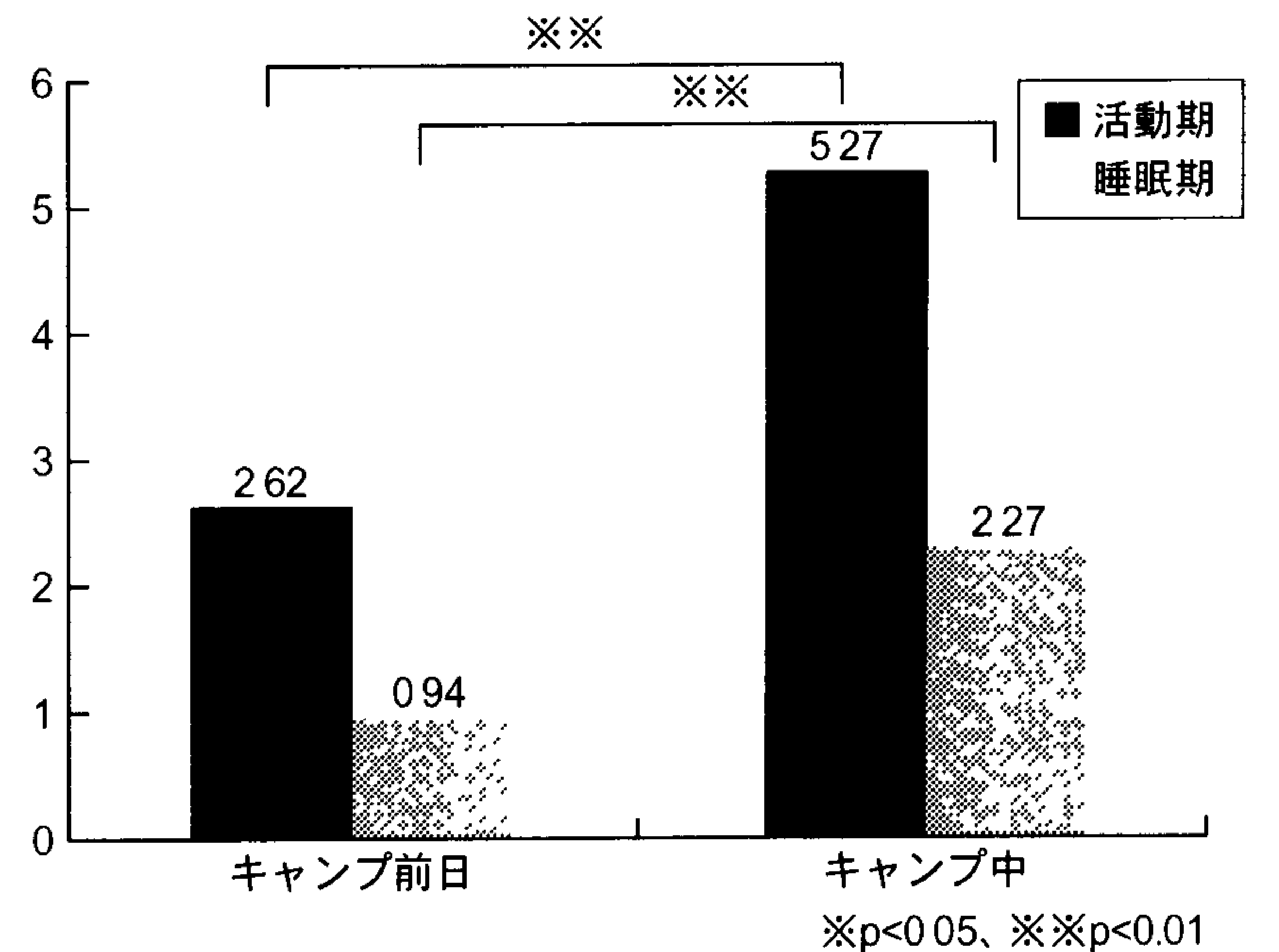


図 II-4 被験者 B のキャンプ前、キャンプ中の平均 LF/HF 値

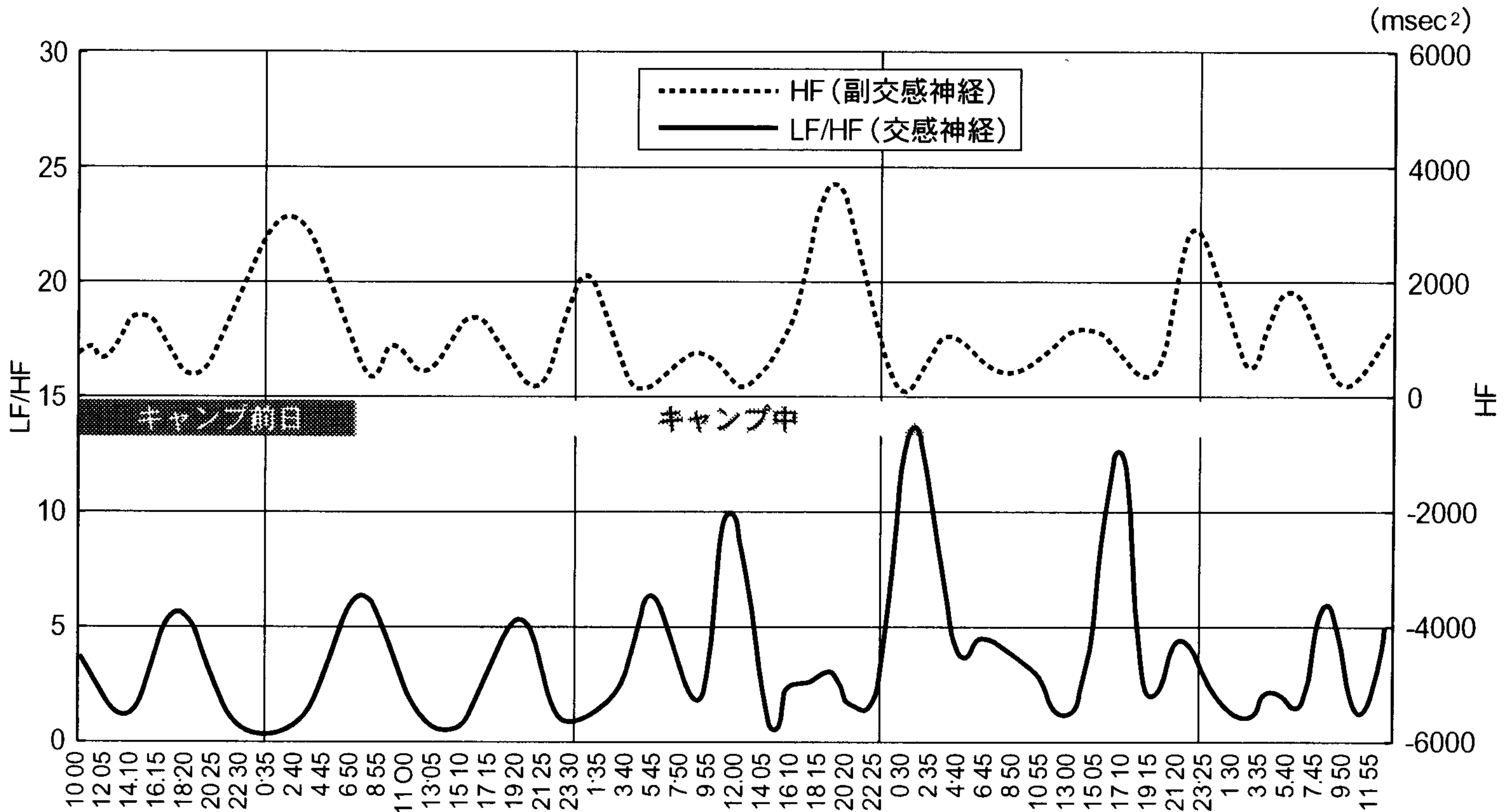
振幅1.155、パワー比16.0%であった。キャンプ中では、周期23.95hour、振幅1.55、パワー比27.7%であった。

3. HF値、LF/HF値のリズム

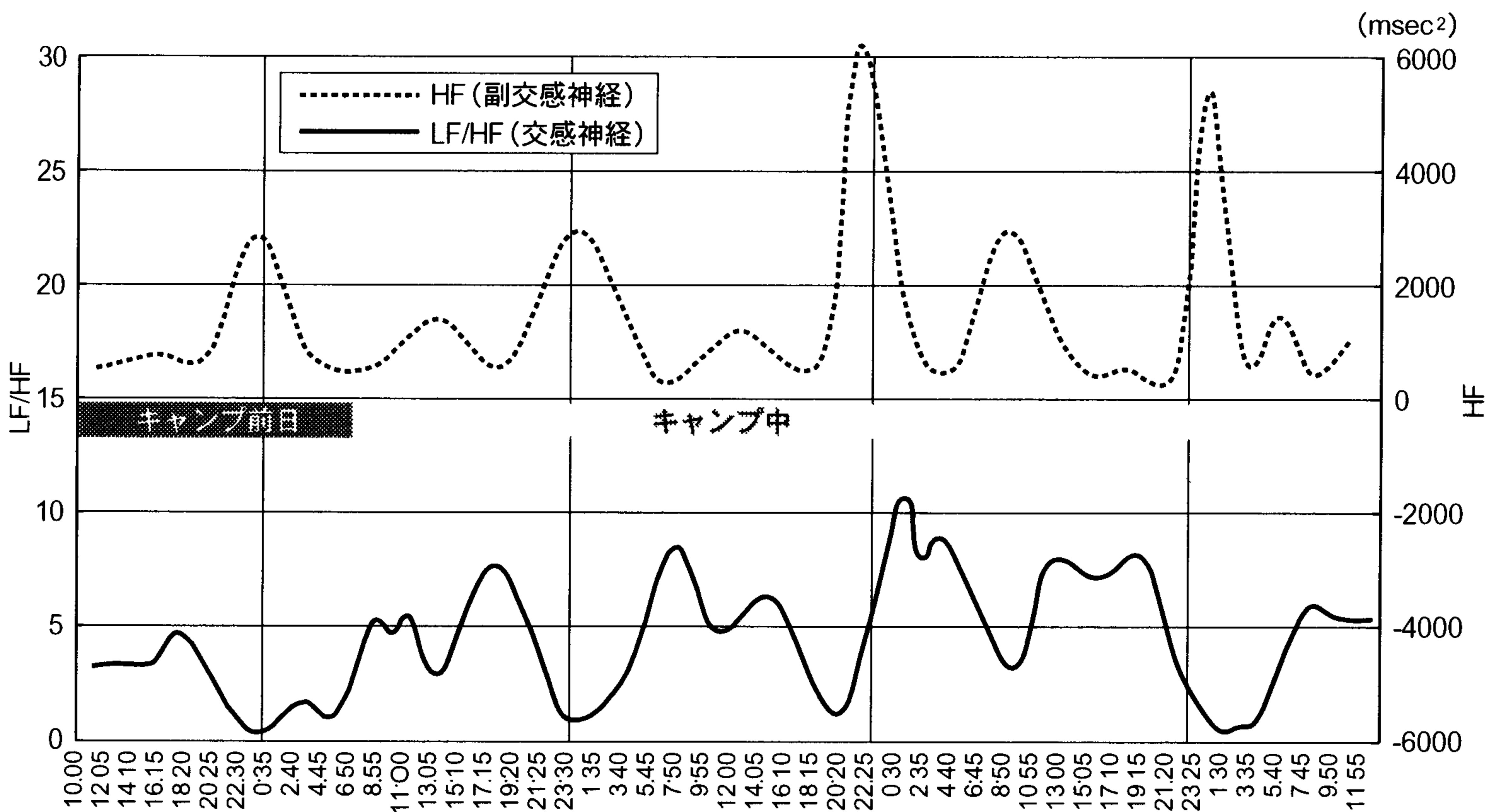
被験者AにおけるHF値、LF/HF値の変動

曲線は、HF値はキャンプ中短い周期と振幅で変動し、LF/HF値はキャンプ2日目から不規則な周期と高低差のある振幅である(図II-5)。

被験者BにおけるHF値、LF/HF値の変動曲線は、HF値はキャンプ前、キャンプ中大きな



図II-5 被験者Aのキャンプ前、キャンプ中の平均HF・LF/HF値



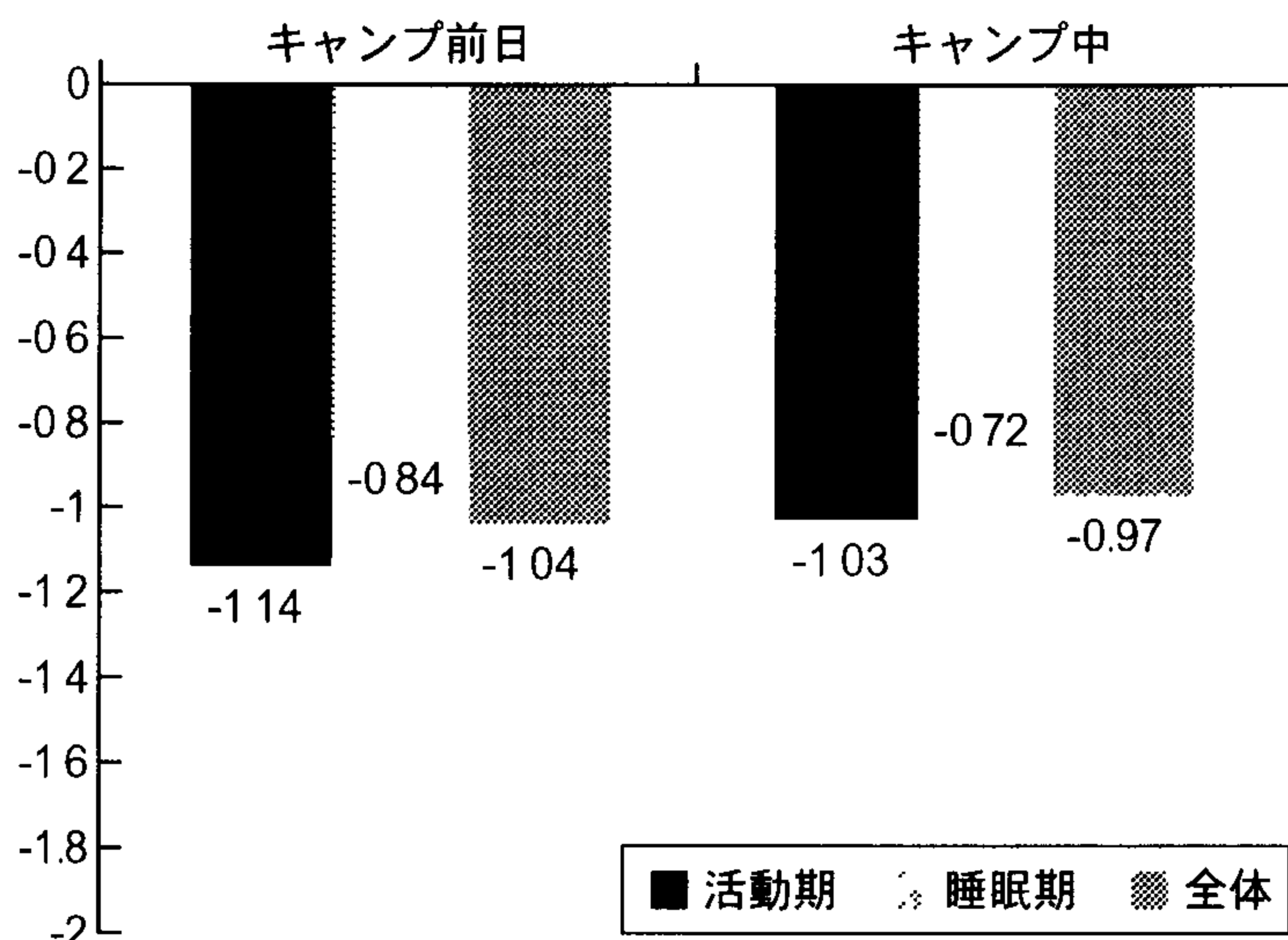
図II-6 被験者Bのキャンプ前、キャンプ中の平均HF・LF/HF値

周期の乱れはないが、キャンプ2日目から3日目にかけて急激なHF値の上昇があり、4日目も同程度の変動があった。LF/HF値はキャンプ2日目から不規則な周期と高低差のある振幅である(図II-6)。

### Ⅲ. 1/f ゆらぎの傾き

被験者Aにおけるキャンプ前日の活動期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-1.14 \pm 0.14$ 、睡眠期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-0.84 \pm 0.09$ 、キャンプ前日全体では、 $-1.04 \pm 0.24$ であった。キャンプ中の活動期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-1.03 \pm 0.74$ 、睡眠期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-0.72 \pm 0.31$ であった。キャンプ中全体では $-0.97 \pm 0.22$ であった。1/f ゆらぎの傾きの変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期25.78hour、振幅0.27、パワー比54.8%であった。キャンプ中では、周期21.03 hour、振幅0.10、パワー比12.2%であった。キャンプ前日とキャンプ中の間には有意な差が認められなかった(図III-1)。

被験者Bにおけるキャンプ前日の活動期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-1.13 \pm 0.28$ 、睡眠期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-0.88$ 、キャンプ前日全体では、 $-1.01 \pm 0.14$ であった。キャンプ中の活動期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-0.92 \pm 0.42$ 、睡眠期の平均1/f ゆらぎの傾きは $-0.90 \pm 0.34$ であった。



図III-1 被験者Aキャンプ前、キャンプ中の平均1/fゆらぎの傾き

キャンプ中全体では $-0.91 \pm 0.19$ であった。キャンプ前日とキャンプ中の間には有意な差が認められなかった(図III-2)。1/f ゆらぎの傾きの変動波形の周期、振幅、パワー比は、キャンプ前日では、周期23.13hour、振幅0.14、パワー比13.5%であった。キャンプ中では、周期14.93hour、振幅0.18、パワー比29.8%であった。

## 考 察

### I. 心拍数からみた身体活動水準

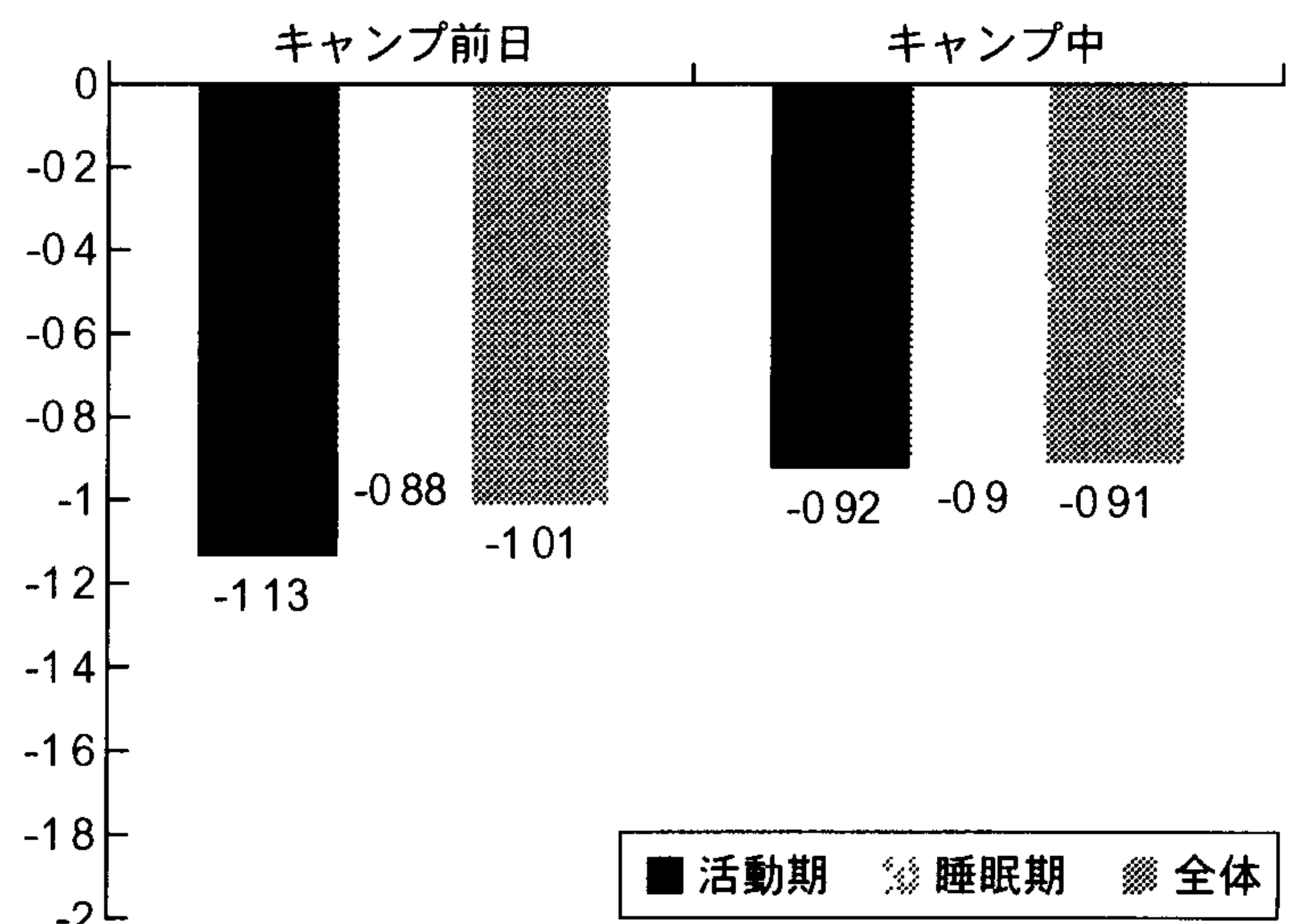
心拍数の結果を見ると、キャンプ前日、キャンプ中の活動期心拍数に有意な差が認められた。ことから、キャンプ中の活動水準が高いと考えられる。

睡眠期において、被験者A、被験者Bの値がともにキャンプ前日より低い傾向であった。キャンプ中の活動期心拍数の上昇と、睡眠期の下降の要因は、副交感神経活動の日内変動による影響と考えられる。

### II. 自律神経機能の変化

#### 1. 副交感神経

HF値は、キャンプ前日とキャンプ中において活動期、睡眠期とも有意な差が認められた。大塚<sup>14)</sup>によると、3歳から6歳までの24時間平均HF



図III-2 被験者Bのキャンプ前、キャンプ中の平均1/fゆらぎの傾き

値は2032 msec<sup>2</sup>、7歳から9歳までは1530 msec<sup>2</sup>と報告している。今回の調査では活動期と睡眠期に分けてHF値を算出したが、被験者A、被験者Bともに、24時間のHF平均値は大塚による年齢ごとの報告と大きな違いはみられない。しかし、HF値の睡眠期と活動期に大きな較差があることから、生活状況に応じて、24時間のHF値は大きく変動することが伺えられた。キャンプでの生活は、非日常的な要素が強く、特にHF値が上昇する夜間においては、キャンプ前日の日常生活と比較するとおおきな違いがある。キャンプ前日、キャンプ中のHF値の差は、心拍数から伺えられる身体活動水準の差と、非日常的な生活による内因性機能調節が交感神経(LF/HF)活動を高めたことにより、睡眠期の副交感神経(HF)活動を高め機能的バランスを維持したと考えられる。

## 2. 交感神経

LF/HF値は、キャンプ前日とキャンプ中において活動期、睡眠期ともに有意な差が認められた。大塚<sup>14)</sup>によると、3歳から6歳までの24時間平均LF/HF値は1.29、7歳から9歳までは1.42と報告している。今回の調査において、キャンプ前日のLF/HF値は被験者A、被験者Bともに平均的な値といえるが、キャンプ中の値は高いといえる。キャンプ前のLF/HF値は、大きな変動周期は見られないが、被験者Aはキャンプ開始とほぼ同時刻、被験者Bはキャンプ2日目から乱れた周期変動がみられる(図II-5、図II-6)。キャンプ中のLF/HF値の周期的な乱れは、キャンププログラムにおける時間的な動的活動状況によるものと、非日常的なキャンプ活動へのストレスなども考えられる。また、2日目の深夜1時から3時の間のLF/HF値の急激な上昇は、キャンププログラムにおいて深夜の登山があった時間帯である。被験者A、被験者Bともに測定中LF/HF値の最大値を示したのが深夜の登山時であったことから、活動周期にあわない時間帯によ

る、急激な身体活動と、恐怖や不安などストレスによる内因性の要因によって急激な上昇が見られたと考えられる。活動周期から大きく外れた時間帯の身体活動において、一般的な機能変化と比較して、急激な変化を起こすことが伺えられる。

## III. 1/f ゆらぎの傾き

心拍変動1/f ゆらぎの傾きは、被験者Aにおいて、キャンプ前日は、活動期-1.14、睡眠期-0.84、全体-1.04、キャンプ中は、活動期-1.03、睡眠期-0.72、全体-0.97であった。キャンプ中の傾きは、キャンプ前と比較して高い値を示している。被験者Bにおいて、キャンプ前は、活動期-1.13、睡眠期-0.88、全体-1.01、キャンプ中は、活動期-0.92、睡眠期-0.90、全体-0.91であった。キャンプ中の傾きは、キャンプ前日と比較して活動期、全体でこ高い値を示している。

被験者A、被験者Bともにキャンプ中の1/f ゆらぎの傾きの値が、キャンプ前日と比較して、傾きが浅い傾向であった。

武者ら<sup>8)</sup>によれば、神経細胞のパルス伝達の間隔のゆらぎの傾きが-1のとき、その細胞の活動はランダム性と規則性との中間に位置し、生体は「心地よさ」を感じているとされている。以上のことから、キャンプ中の活動期の1/f ゆらぎの傾きは、ランダム性傾向があることが示唆される。

## ま と め

被験者A(9歳男児)、被験者B(6歳女児)の2名において、キャンプ前日、キャンプ中の活動期、睡眠期における心拍変動の周波数解析を行い、心拍数と自律神経活動、1/f ゆらぎの傾きの変動について測定・分析をおこない、以下のような結果を得た。

1. 心拍数は被験者A、被験者Bともにキャンプ中の活動期が有意に高く、睡眠期では差がみられなかった。

2. 副交感神経機能は被験者A、被験者Bともに、キャンプ中がキャンプ前日より有意に高いことが認められた。副交感神経機能のキャンプ前日からキャンプ中にかけてのリズムは、被験者A、被験者Bともに大きな乱れはみられなかったが、キャンプ2日目以降、睡眠期の機能的変化が著しかった。
  3. 交感神経機能は、被験者A、被験者Bともに、キャンプ中がキャンプ前日より有意に高いことが認められた。交感神経機能のキャンプ前日からキャンプ中にかけてのリズムは、被験者A、被験者Bともにキャンプ中に乱れ、急激な機能変化が短時間に行われる傾向にあった。
  4.  $1/f$  ゆらぎの傾きは被験者A、被験者Bともに、キャンプ前日とキャンプ中に有意な差がみとめられなかったが、キャンプ中の $1/f$  ゆらぎの傾きにランダム性がある傾向が示唆された。
  5. 以上の結果より、本研究における被験者らの自律神経機能は、キャンプ活動によって、経時的変化を著しくさせることが示唆された。また、心拍変動における $1/f$  ゆらぎの傾きは、キャンプ中の心拍ゆらぎにランダムな性質があることが示唆された。
- 5) Kobayashi,M.,Musha,T.:1/f fluctuation of heartbeat period. IEEE Transactions Biomedical Engineering BME-29:456-457,1982.
  - 6) 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.
  - 7) 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.
  - 8) 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.
  - 9) 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.
  - 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, J. J. Sports Sa, 12(8):489-493, 1993.
  - 11) 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.
  - 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2-3, 生体時系列データ解析研究会, 1993.
  - 13) 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, 東京1993.
  - 14) 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
  - 15) 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.
  - 16) 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, Bull etin of Physical Fitness Research Institute,63:1-13,1986.
  - 17) Sleep as a function of the sleep cycle. Electroencephalography Clinical Neurophysiology3
  - 18) 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.

## 引用・参考文献

- 1) AldredgeJL,WeichAJ : Variotins of heart rate during dynamics to clinical cardiology. Ann N.M.Acad.Sci.504, 1973.
- 3) GoldbergerAL,WestBJ : Applications of nonlinear, 1987.
- 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.