

低血圧者の活動期・睡眠時における自律神経活動の変化
—R-R間隔変動の周波数領域解析と1/f揺らぎの傾き—

Changes of autonomic nervous system activities
during active and sleep periods of hypotensive humans
—power spectral analysis of R-R interval variability
and the slope of 1/f fluctuation—

渡 辺 剛*, 峯 岸 由紀子**, 小 林 敏 生***,
内 藤 祐 子****, 吉 田 久 士*****, 市 川 公 一*****

Tsuyoshi WATANAEBE *, Yukiko MINEGISHI **, Toshio KOBAYASHI ***,
Yuko NAITO ****, Hisashi YOSHIDA ***** and Kouichi ICHIKAWA *****

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the characteristics of autonomic nervous system activities in hypotensive young male humans. 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 as an indicator of well-balanced activity of autonomic nervous systems. The blood samples were obtained just at the beginning of each experiment to determine hormone concentration. HF of the hypotensive group was higher than the control group in both periods significantly. LF/HF of the hypotensive group was lower than the control group in both periods significantly. The slope of 1/f fluctuation in the hypotensive group was steeper than the control group in both periods. The concentration of serum cortisol in the hypotensive group was significantly lower than the control group and the concentration of serum angiotensin II in the hypotensive group was significantly higher than the control group. These results suggested that parasympathetic nervous system in the hypotensive group was enhanced as compared to the control group both during active and sleep periods and that hormonal vasoconstriction factors might have effects on the genesis of hypotension.

*Key words; hypotension, power spectral analysis, R-R interval variability,
slope of 1/f fluctuation, parasympathetic nervous system, cortisol, angiotensin II*

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

** 国士舘大学健康管理室 (Office of Health Administration, Kokushikan University)

*** 東京商船大学保健管理センター (Health Science Center, Tokyo University of Mercantile Marine)

**** 国士舘大学体育学部生化学教室 (Dept.of Biochemistry, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

***** 国士舘大学体育学部ハンドボール研究室 (Lab.of Hand Ball, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

***** 国士舘大学体育学部解剖学教室 (Dept.of Anatomy, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

はじめに

著者ら²⁶⁾は、低血圧者における心血管系の循環調整を支配する自律神経機能と内分泌における特性について報告してきた。

自律神経機能変化を評価する手法として、心血管系の循環調整機能を直接反映している、心拍変動を周波数解析する方法^{1) 3) 9) 13) 14) 28)}を用いた。この特徴は1つの検査で交感神経と副交感神経の機能が同時に評価できることにある。さらに、自律神経機能の評価¹⁷⁾として、1/f揺らぎについても本研究では評価を試みた。

1/f揺らぎは周波数(f)に反比例してスペクトルレベルが増加するかたちをとる揺らぎをさしている¹²⁾。1/f揺らぎは自然界に存在する現象として知られており^{2) 7) 8)}、KobayashiとMusha⁷⁾は1982年、心拍変動に1/f揺らぎが存在することを初めて報告した。

大塚ら¹⁷⁾は、1992年に若年男子および高齢男子を対象にして、起立試験・Valsalva試験・isoproterenol負荷試験などの自律神経機能検査とともに心拍変動の1/f揺らぎを測定する研究を実施した。その結果、加齢に伴い安静時の交感神経系が緊張し副交感神経系が減弱し、また β 受容体感受性と圧受容体感受性のいずれもが減弱しており、心拍変動1/f揺らぎの傾きは浅くなっていることが示された。このことから、心拍変動1/f揺らぎの傾きは、自律神経系の機能を評価する一つの有効な方法であると考えられる。

本研究では低血圧者における活動期と睡眠時の自律神経機能の変化を、心拍変動から得られた、高周波副交感神経機能(HF)と交感神経機能(LF/HF)に加えて1/f揺らぎによって評価し、内分泌との関連性について検討した。

研究方法

I 被検者

被検者は、全員、加速度脈波測定により末梢循

環良好で²⁰⁾、血液学的検査で異常を認めなかった。また、身長、体重にも大きな差異が認められない者であった。被検者には測定前日から激しい運動と欠食および飲酒を禁止し、他は日常生活とかわらないように指示した。実験の趣旨を十分説明して理解させ測定に参加させた。また全員から参加承諾書を得た。

1. 低血圧群：日常の血圧値が収縮期血圧95～100mmHg、拡張期血圧41～58mmHgで貧血その他疾病のない年齢21～30歳、男子9名。
2. 対照群：日常の血圧値が収縮期血圧110～123mmHg、拡張期血圧61～74mmHgで貧血その他疾病のない年齢20～29歳、男子8名。

II 実験の手順

測定は午前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。測定開始前に被検者に30分間座位安静をとらせ、血圧と加速度脈波を測定し、その後座位で採血を行った。翌日の測定も前日と同様の手順で行った。実験実施期間は1996年11月および1997年11月であった。

III 測定項目および分析方法

1. 血圧：日本コーリン社製BP-203NPを用い座位閉眼開口で原則として2回測定し平均したが2回の測定値の差が10mmHg以上の時は再度測定を行った。
2. 加速度脈波：プレソグラフ社製Model500を用い、2回測定し波形を7段階評価^{19) 21) 22)}で行った。
3. 心拍数、心電図R-R間隔の測定：ジー・エム・エス社製アクティブトレーサーAC-3000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間隔を連続記録した。
4. 心拍数の解析：心拍数自動解析システムHRAを用いて解析した。
5. R-R間隔の周波数解析：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最大エントロピー法^{9) 15)}による周波数領域解析を行った。

低周波領域(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^{13) 14) 18) 28)}、自律神経機能の日内変化を測定した。

活動期(10:30~18:00)および睡眠時(生活調査から本人の睡眠時)の各期間内のそれぞれの平均HF値と平均LF/HFを算出し、比較検討した。

6. 心拍変動1/f揺らぎの傾きの解析：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、こ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した。すなわち、この回帰直線の傾きは関数 $y=1/f^x$ のXに相当し、Xが-1に近ければ1/f揺らぎが存在すると解釈できる¹⁷⁾。次にこの900secごとのX値を各人の活動期・睡眠時それぞれの時間帯における平均値を求め、各人の平均値をさらに加算平均して、各群の各時間帯の平均1/f揺らぎの傾きとした。

7. 血液成分分析：血圧測定後に安静座位にて採血し、以下の成分を三菱化学ビー・シー・エルに委託分析した。

(a)血液学検査：白血球数、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、血小板数。

(b)生化学検査：ナトリウム、クロール濃度。

(c)内分泌学検査：

血漿コルチゾール濃度(RIAチューブ固相法)。

血漿アンギオテンシンⅡ濃度(RIA二抗体法)。

血漿アドレナリン・ノルアドレナリン・ド

ーパミン濃度(高速液体クロマトグラフィ法)。

IV 統計的検定法

低血圧群と対照群の、各群内における活動期と睡眠期との比較は対応のあるt検定を行った。群間の比較はF検定と対応のないt検定を行い、何れの検定も $p<0.05$ をもって有意差ありと判定した。

結 果

I 血圧、心拍数、加速度脈波およびR-R間隔変動

1. 血圧

低血圧群の収縮期血圧 97.6 ± 1.8 mmHg拡張期血圧 51.3 ± 5.4 mmHgであった。対照群の収縮期血圧 116.9 ± 4.0 mmHg拡張期 65.5 ± 4.9 mmHgで両群の間に収縮期血圧で 19.3 mmHg($p<0.001$)、拡張期血圧平均で 14.2 mmHgの差($p<0.001$)と有意な差が認められた(図1)。

2. 心拍数

低血圧群の活動期の心拍数平均 68.2 ± 7.8 bpm、睡眠時の心拍数平均 49.1 ± 5.3 bpm、対照群の活動期の心拍数平均 76.3 ± 7.4 bpm、睡眠時の心拍数平均 58.5 ± 8.0 bpm、であった。低血圧群、対照群における活動期心拍数と睡眠時心拍数とのあいだには($p<0.001$)有意

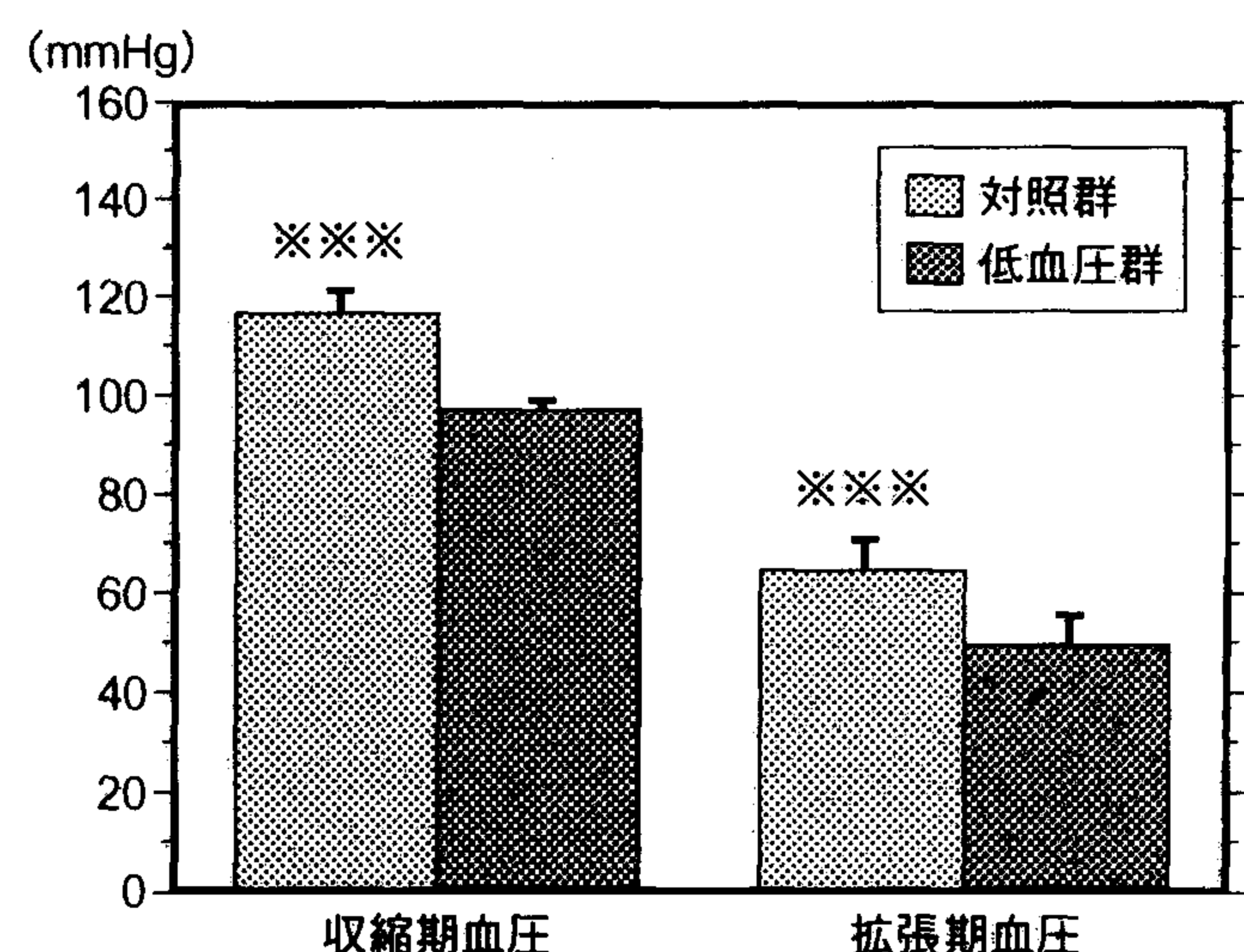


図1 両群の血圧値

*** $p<0.001$

差が認められた (図 2)。

両群の活動期および睡眠時について比較すると、活動期、睡眠時 ($p < 0.05$) それぞれに有意に低血圧群の心拍数が低いことが認められた (図 3)。

3. 加速度脈波波形判定 加速度脈波波形判定は低血圧者群、対照者のいずれの被検者ともに末梢循環が良好とされる A～B 波形であった。

4. R-R 間隔変動

(a) 活動期および睡眠時における両群の HF の変化

低血圧群の活動期の平均 HF $723.7 \pm 318.0 \text{ msec}^2$ 、睡眠時の HF 平均 $1537.7 \pm 807.5 \text{ msec}^2$ 、一方対照群の活動期の平均

HF $337.7 \pm 135.1 \text{ msec}^2$ 、睡眠時の平均 HF $655.5 \pm 242.6 \text{ msec}^2$ であった。低血圧群、対照群ともに活動期と睡眠時とのあいだに ($p < 0.05$, $p < 0.01$)、睡眠時の HF 値が有意に高いことが認められた (図 4)。活動期および睡眠時における両群の HF 値を比較すると、活動期、睡眠時ともに低血圧群が ($p < 0.01$) 有意に高いことが認められた (図 5)。

(b) 活動期および睡眠時における両群の LF/HF の変化

低血圧群の活動期の平均 LF/HF 3.46 ± 1.2 、睡眠時の平均 LF/HF 0.65 ± 0.25 、一方対照群の活動期の平均 LF/HF 5.15 ± 1.14 、

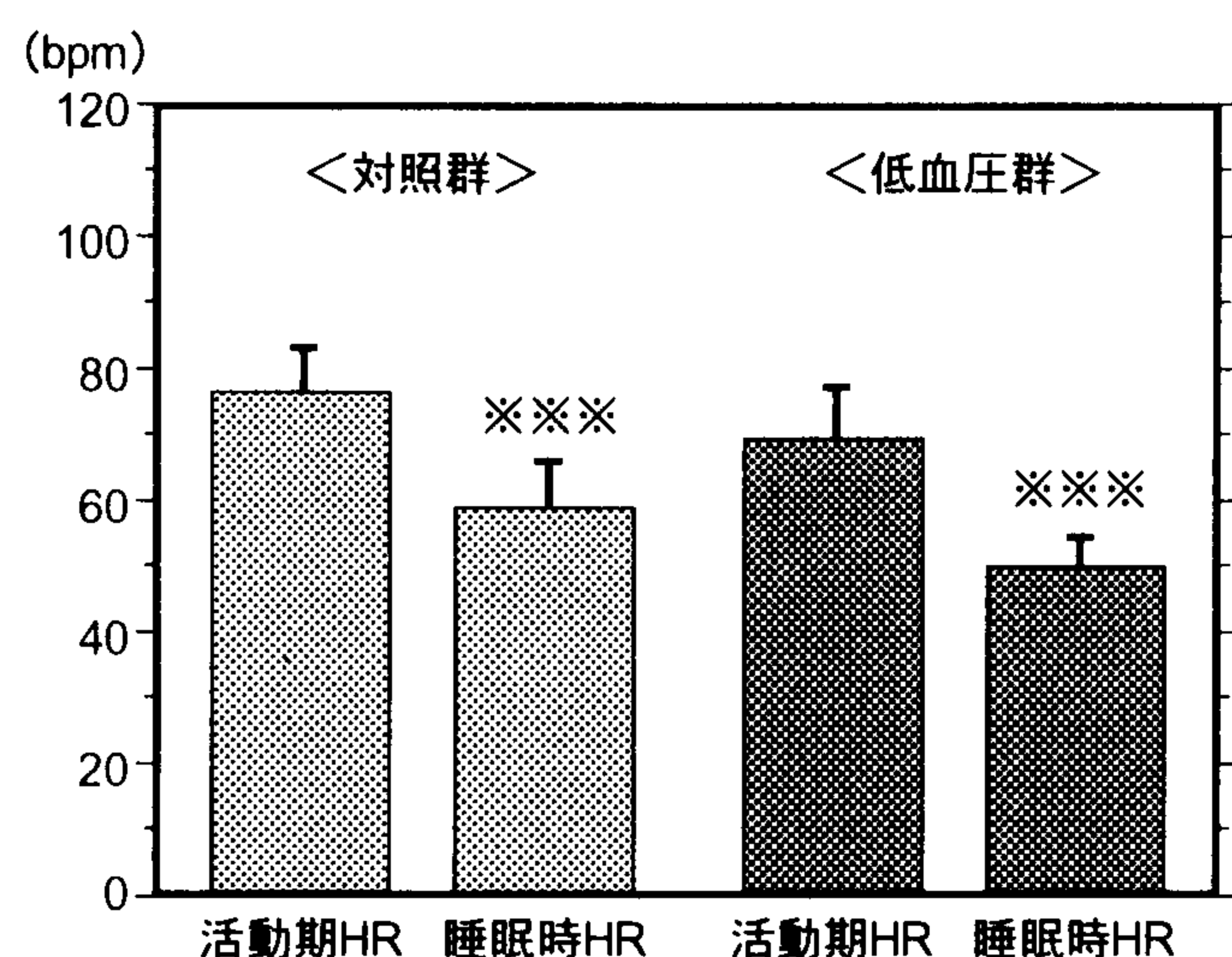


図2 各群における活動期HRと睡眠時HRとの比較
*** $p < 0.001$

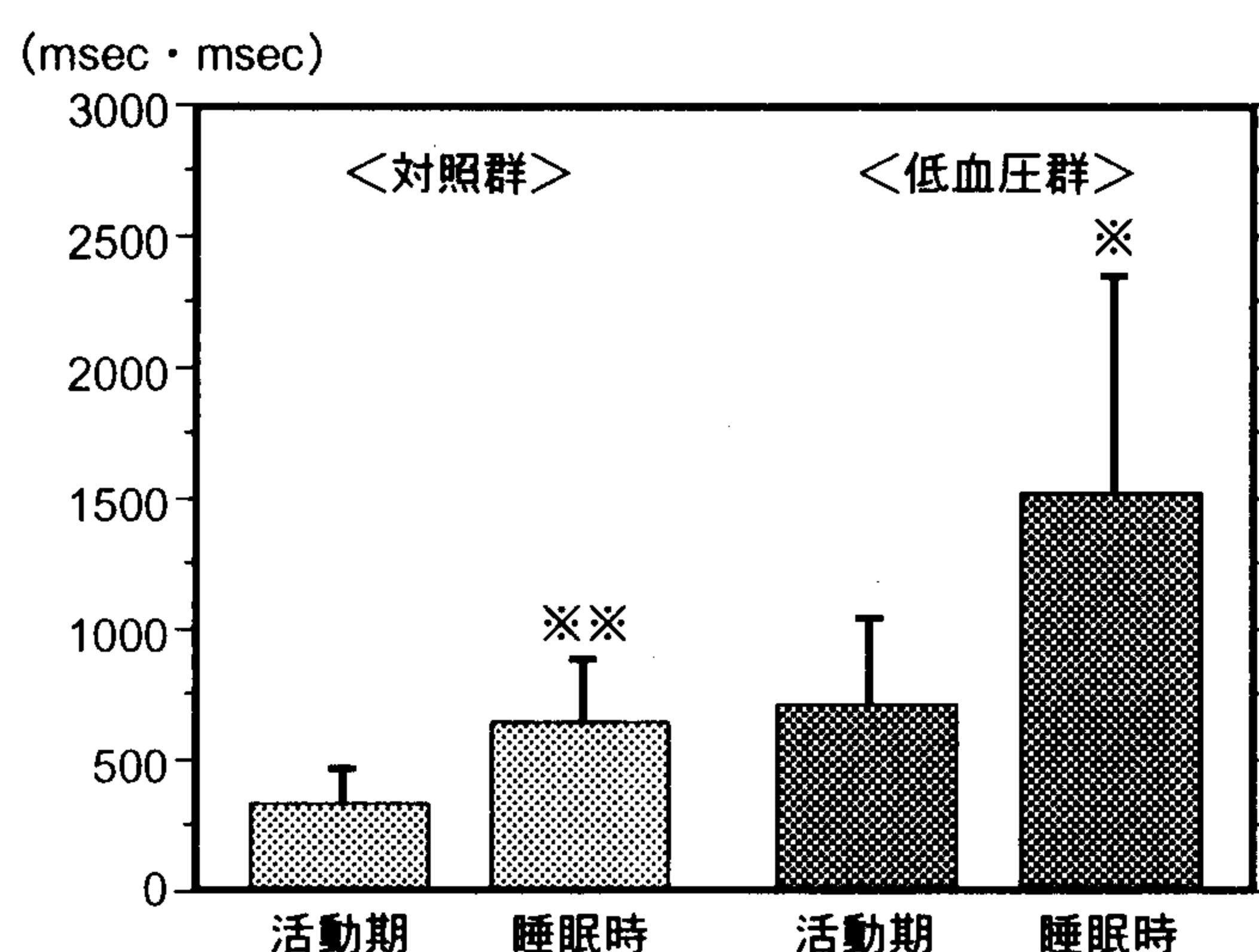


図4 各群における活動期HFと睡眠時HFとの比較
** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

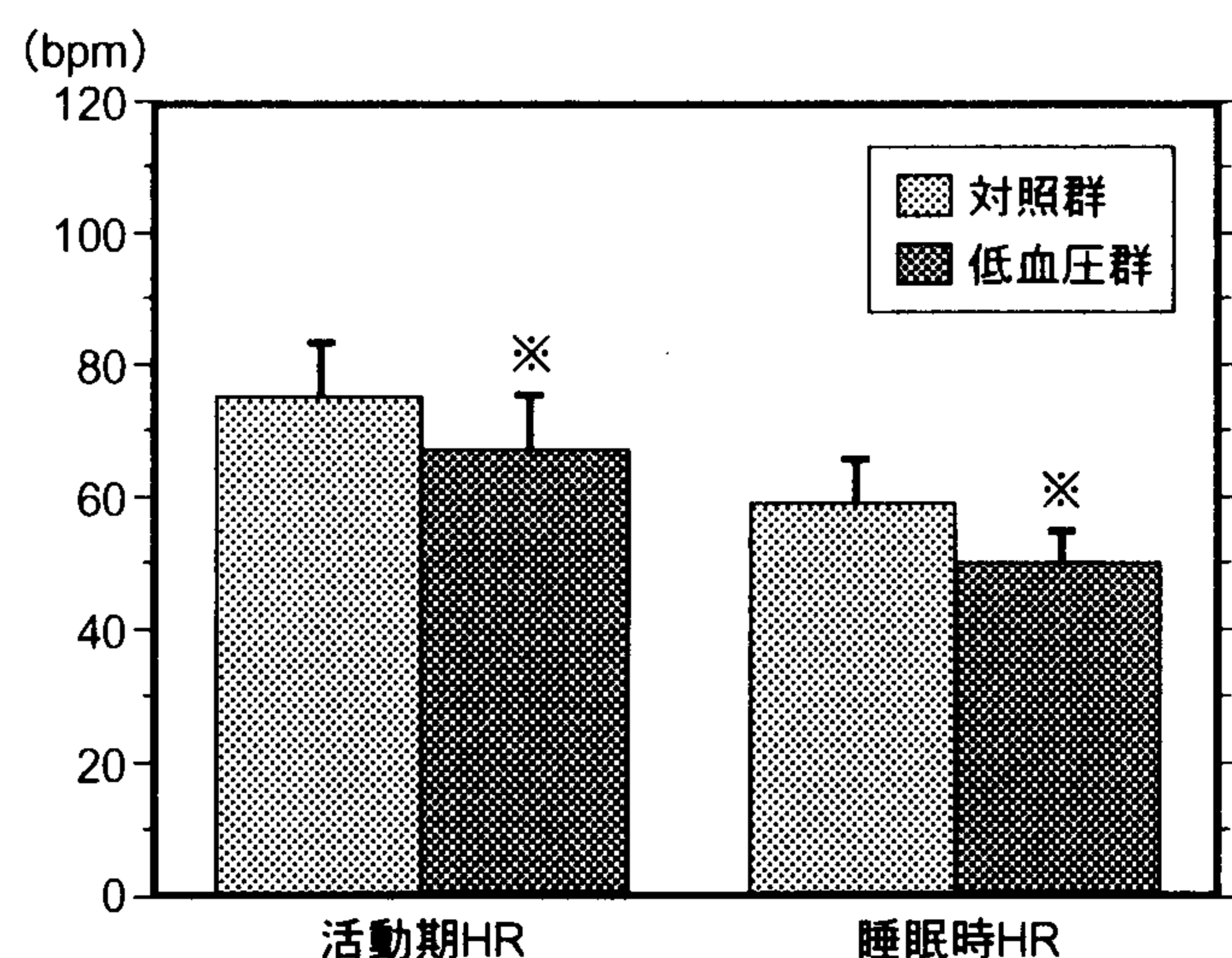


図3 各期間における両群のHRの比較
* $p < 0.05$

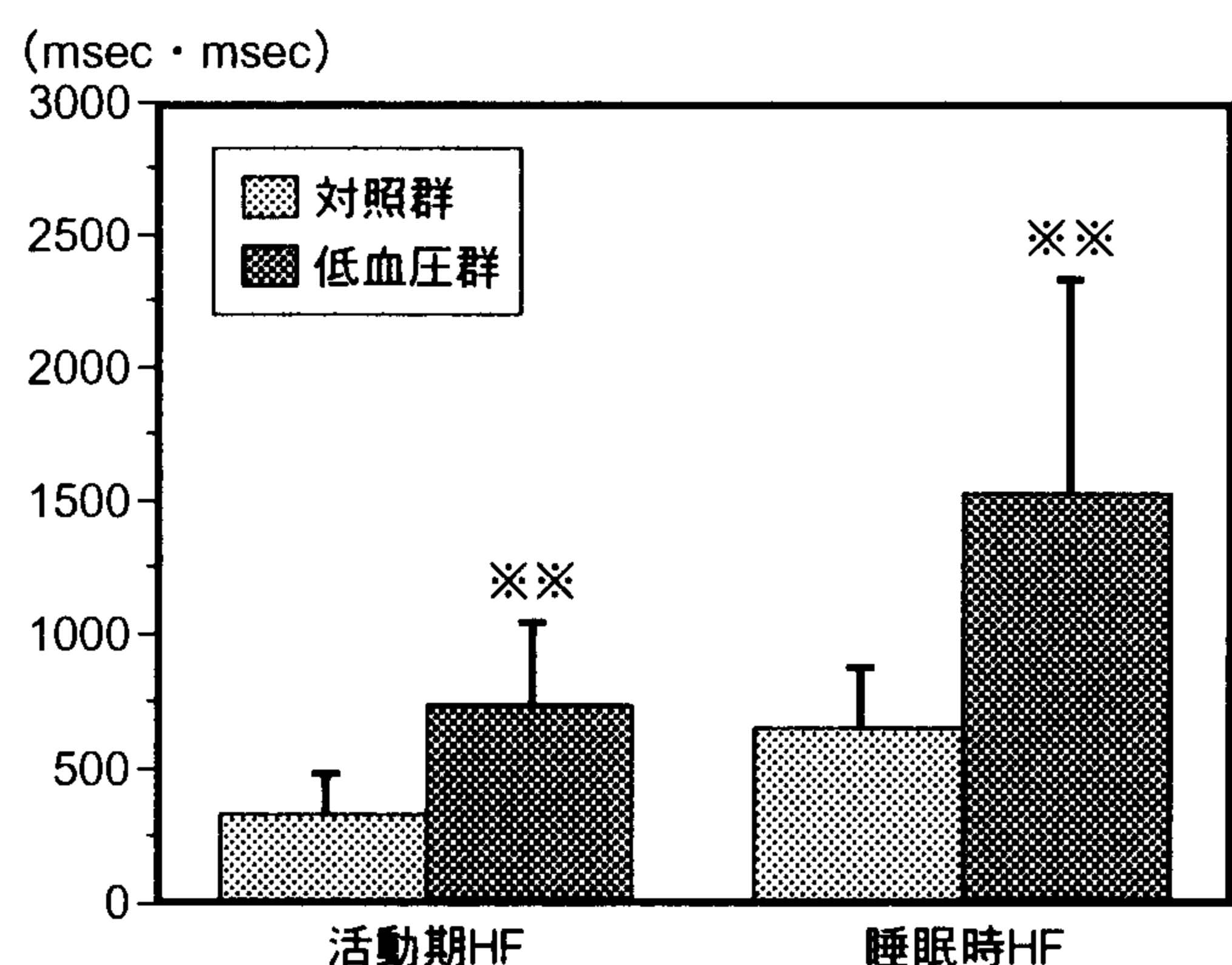


図5 各期間における両群のHFの比較
** $p < 0.01$

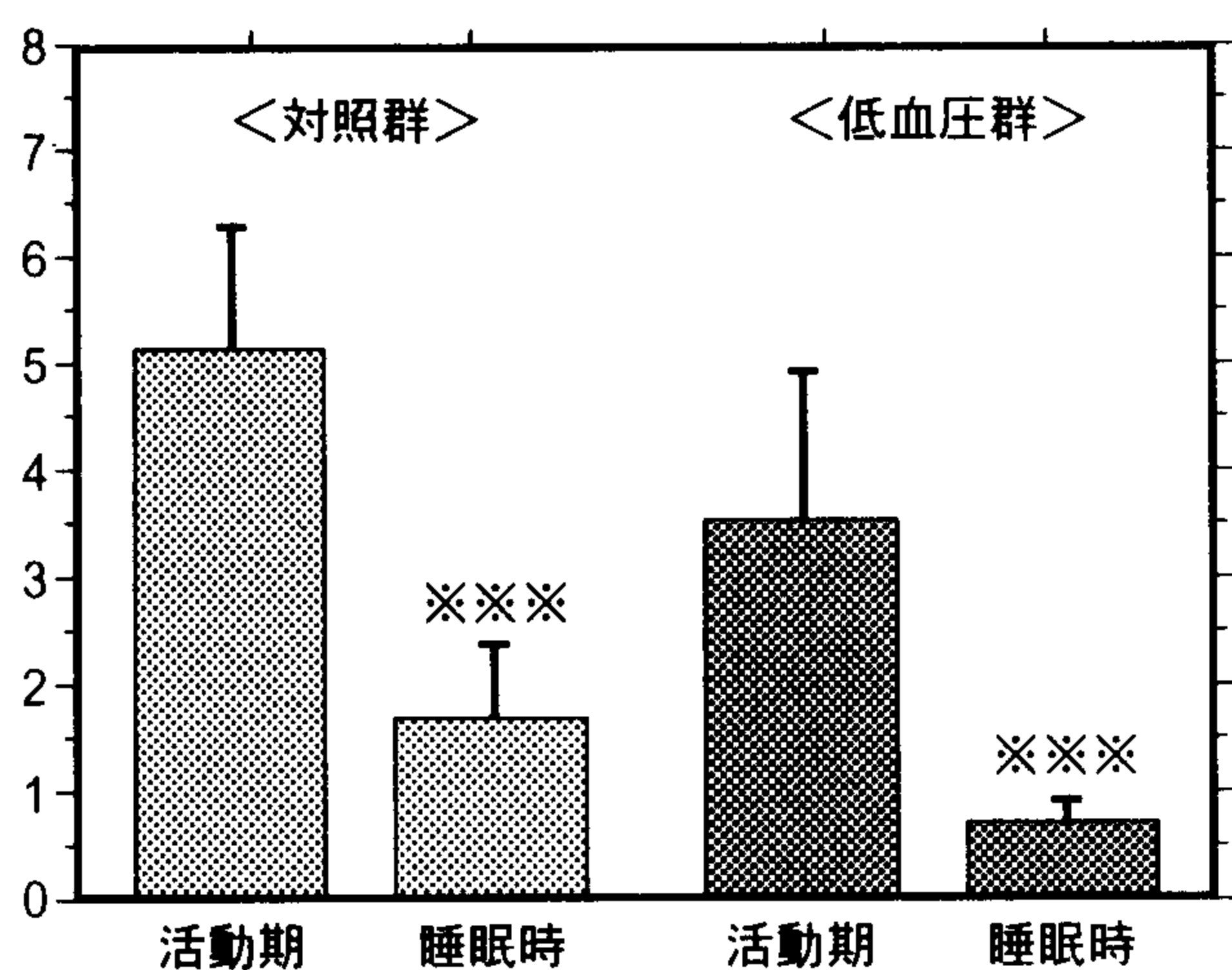


図6 各群における活動期LF/HFと睡眠時LF/HFとの比較
*** $p < 0.001$

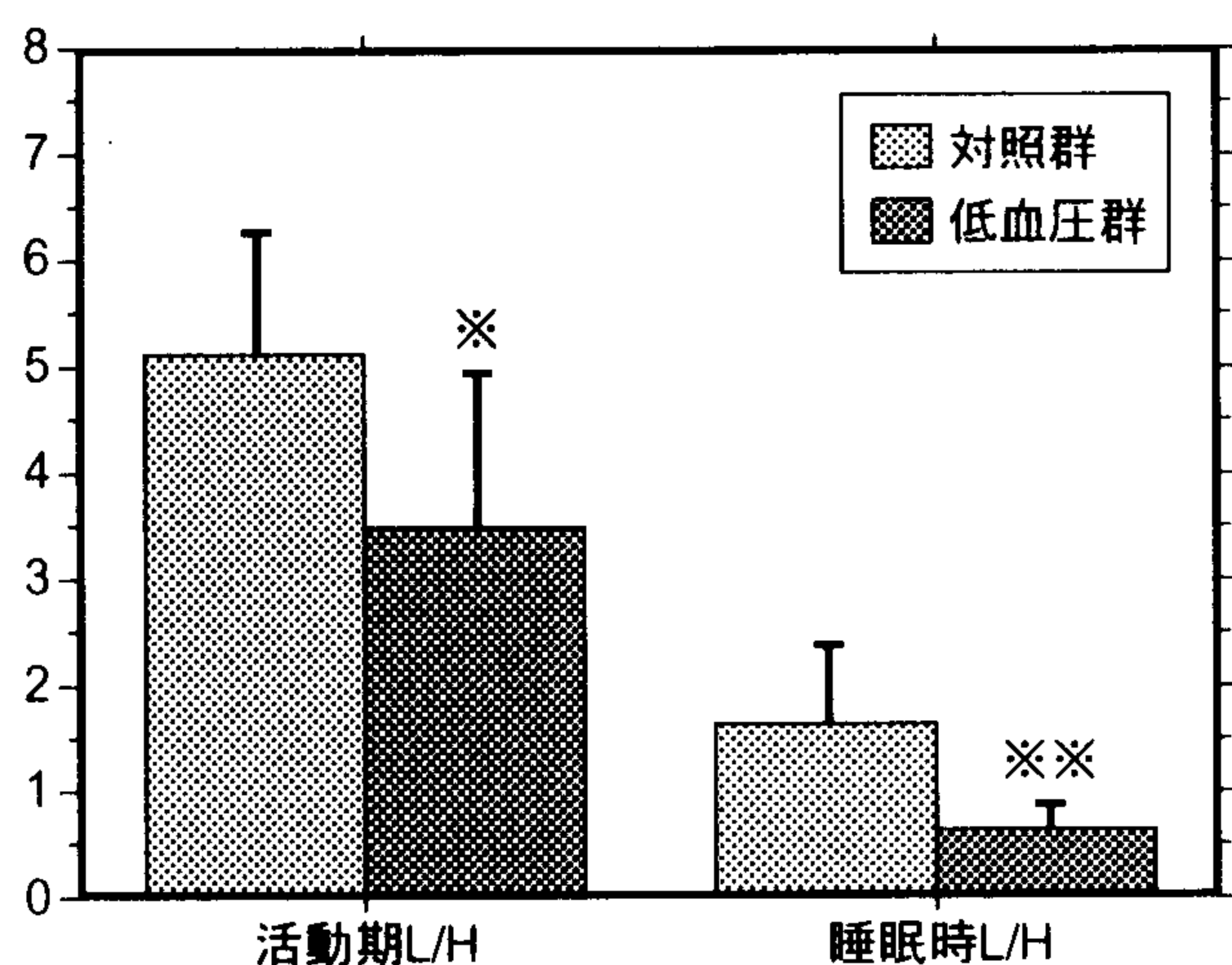


図7 各期間における両群のLF/HFの比較
** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

睡眠時の平均LF/HF 1.65 ± 0.70 であった。

低血圧群、対照群における活動期と睡眠時とのあいだには ($p < 0.001$) 有意に両群とも睡眠時のLF/HF値が低いことが認められた (図6)。

活動期および睡眠時についてLF/HF値を両群で比較すると、活動期 ($p < 0.05$)、睡眠時 ($p < 0.01$) それぞれに有意に低血圧群が低いことが認められた (図7)。

(c)活動期および睡眠時間における両群の1/f揺らぎの傾きの変化 (図8, 9)

低血圧群の活動期の平均1/f揺らぎの傾き -0.854 ± 0.155 、睡眠時の平均1/f揺らぎの傾き -0.927 ± 0.031 、一方対照者の活動

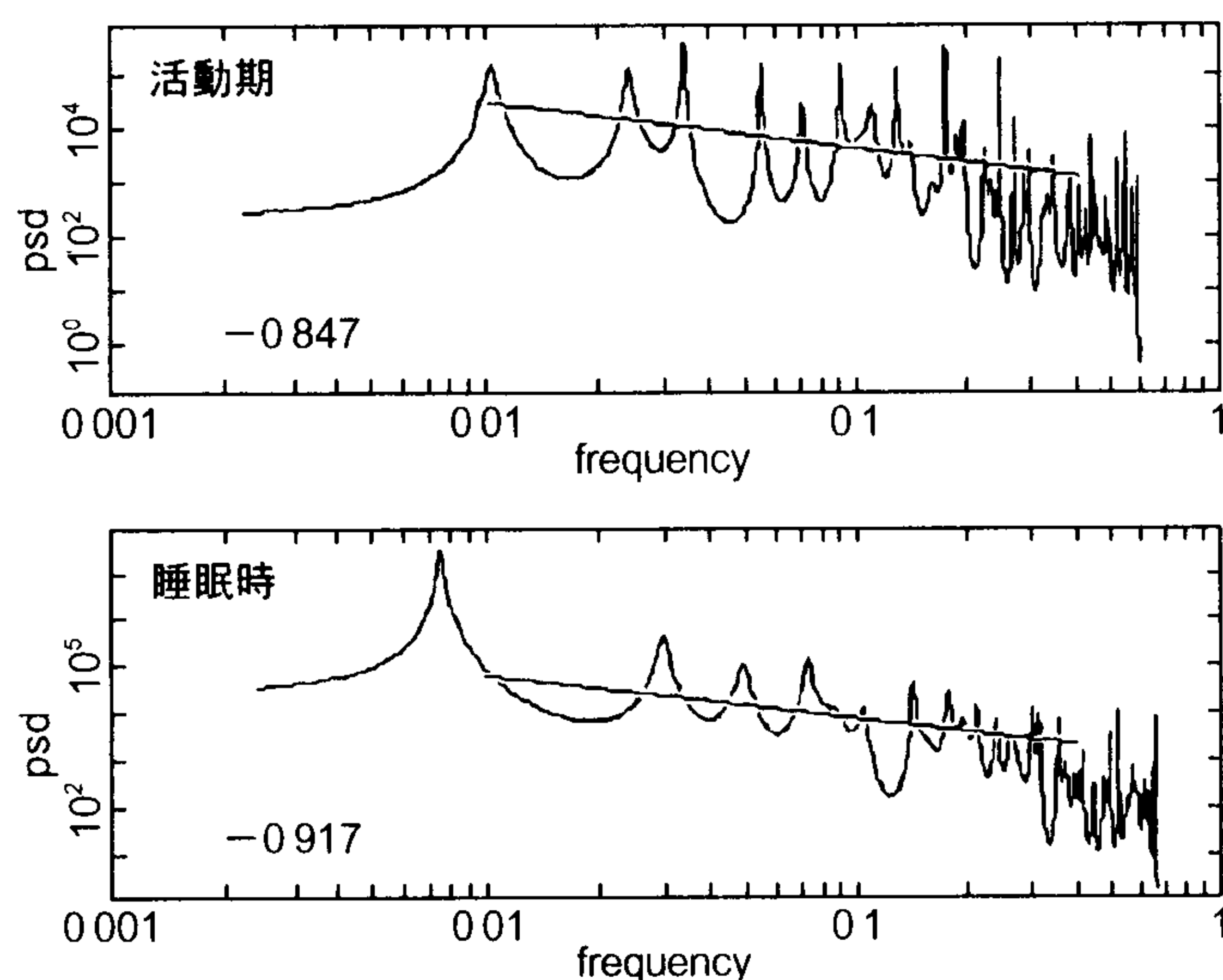


図8 低血圧群の活動期および睡眠時の1/fゆらぎの傾きの一例 (被験者H.O.)

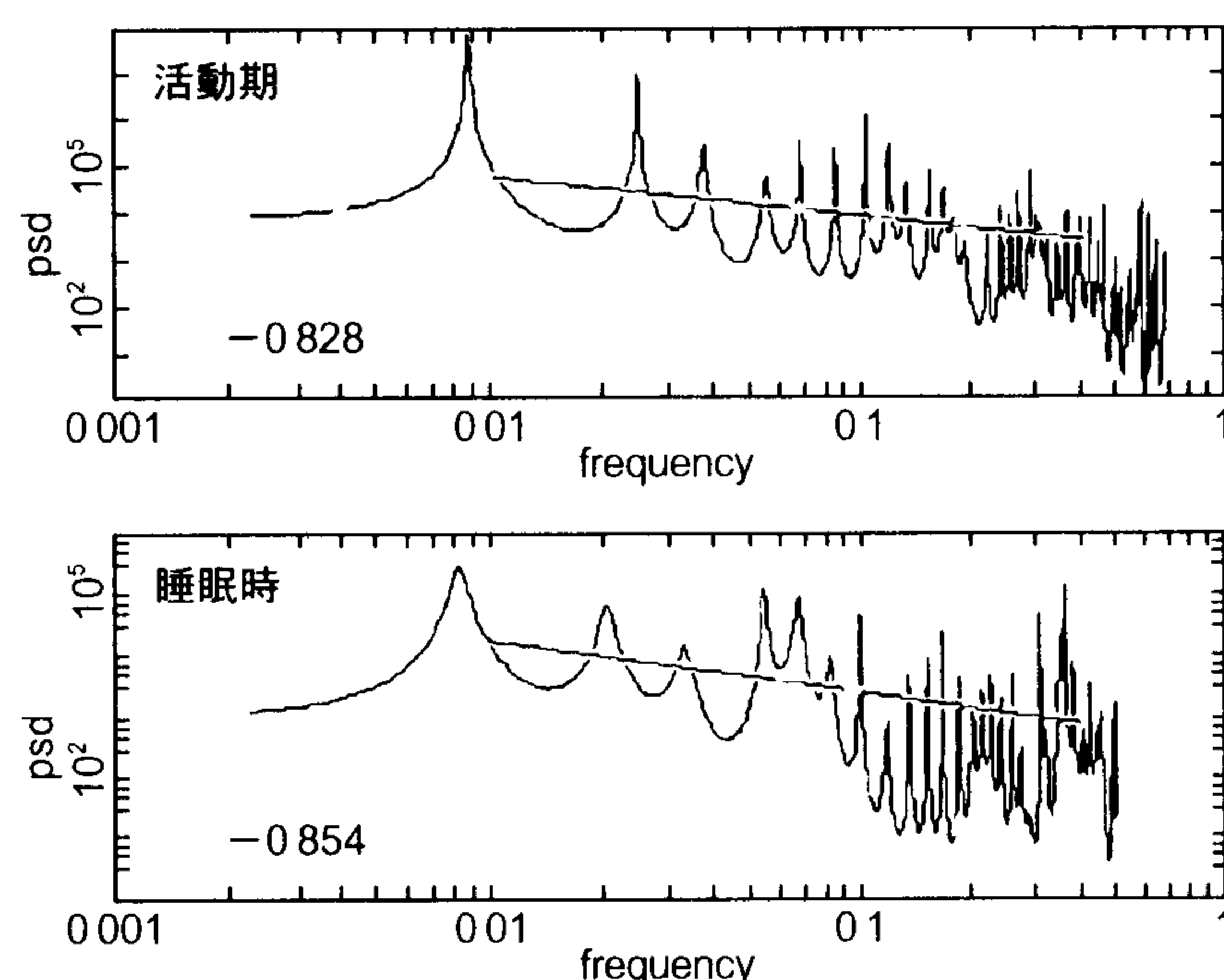


図9 対象群の活動期および睡眠時の1/fゆらぎの傾きの一例 (被験者T.K.)

期の平均1/f揺らぎの傾き -0.765 ± 0.107 、睡眠時の平均1/f揺らぎの傾き -0.852 ± 0.091 であった。低血圧群では活動期と睡眠時とのあいだには有意差は認められなかったが、対照群では活動期よりも睡眠時が傾きが有意に ($p < 0.05$) 深くなることが認められた (図10)。活動期および睡眠時について両群を比較すると、活動期には両群のあいだには有意な差は認められなかったが、睡眠時において低血圧群が有意に ($p < 0.05$) 傾きが深いことが認められた (図11)。

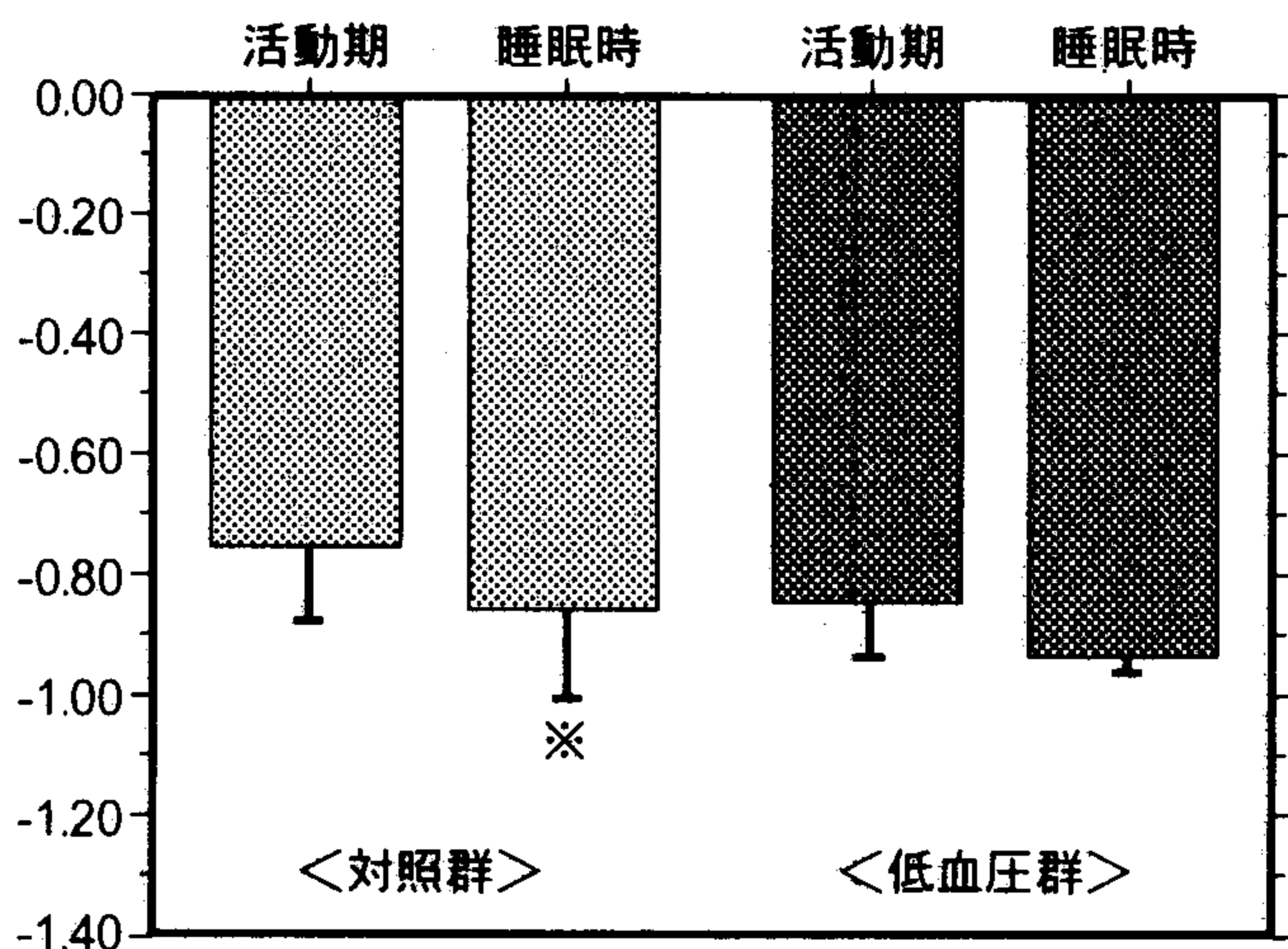


図10 各群における活動期1/f揺らぎの傾きと睡眠時1/f揺らぎの傾きとの比較
※ $p<0.05$

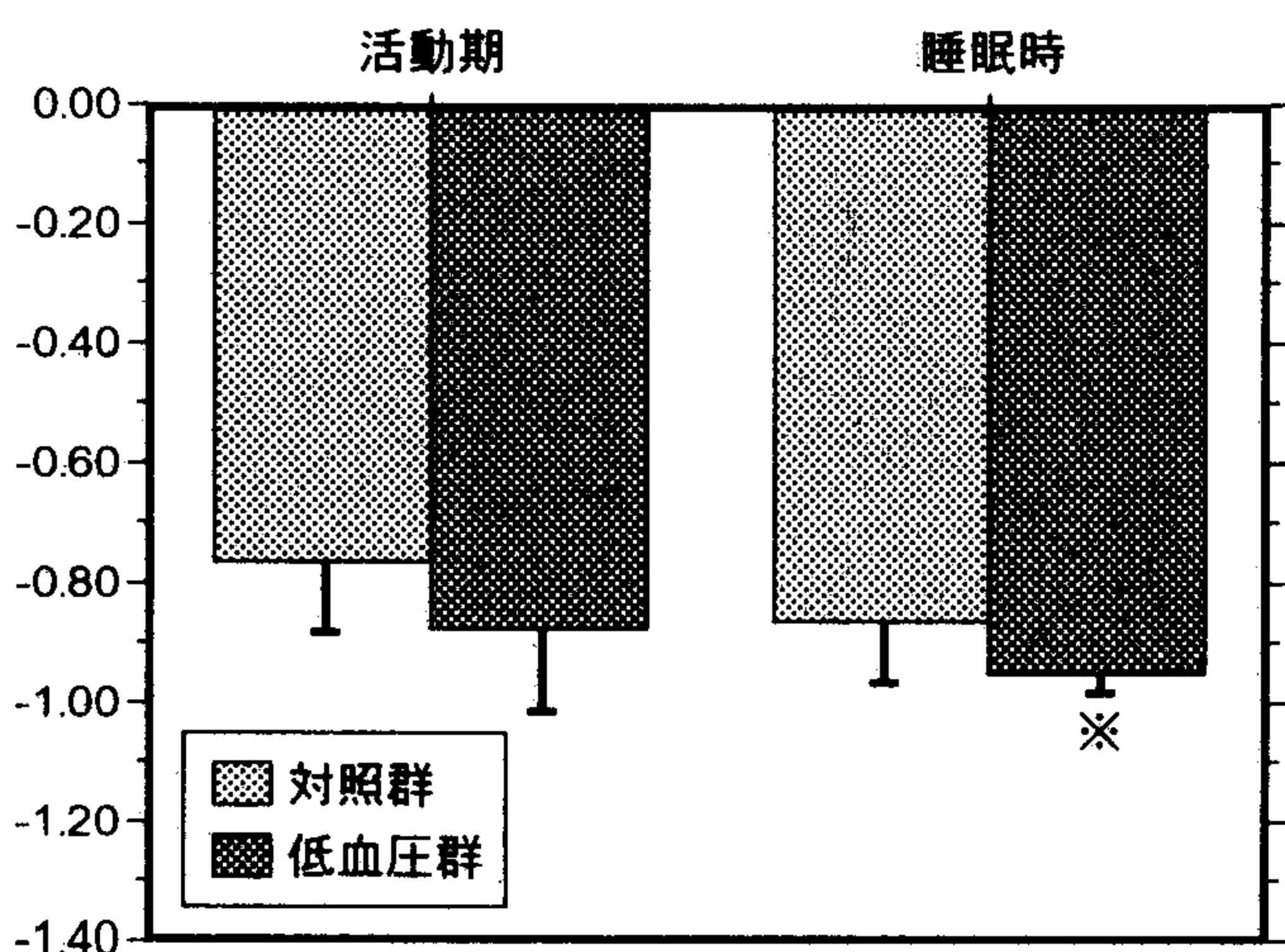


図11 各期間における両群の1/f揺らぎの傾きの比較
※ $p<0.05$

Ⅱ 血液中の成分

1. 血液学検査

白血球数、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、血小板数のいずれの項目とも両群の間に有意差は認められなかった。

2. 生化学検査

ナトリウム、クロール濃度の項目とも両群の間に有意差は認められなかった。

3. 内分泌学検査

(a)コルチゾール濃度（図12）は低血圧群 $12.4 \pm 4.3 \mu\text{g/dl}$ 、対照群 $16.8 \pm 4.18 \mu\text{g/dl}$ と、対照群が有意に高い ($p<0.05$) 値を示した。

(b)アンギオテンシンⅡ濃度（図13）は、低血圧群 $15.8 \pm 7.19\text{pg/dl}$ 、対照群 $13.1 \pm 0.98\text{pg/dl}$ と、低血圧群が有意に高い ($p<0.02$) 値を示した。

(c)アドレナリン・ノルアドレナリン・ドーパミン濃度のいずれの項目とも両群の間に有意差は認められなかった。

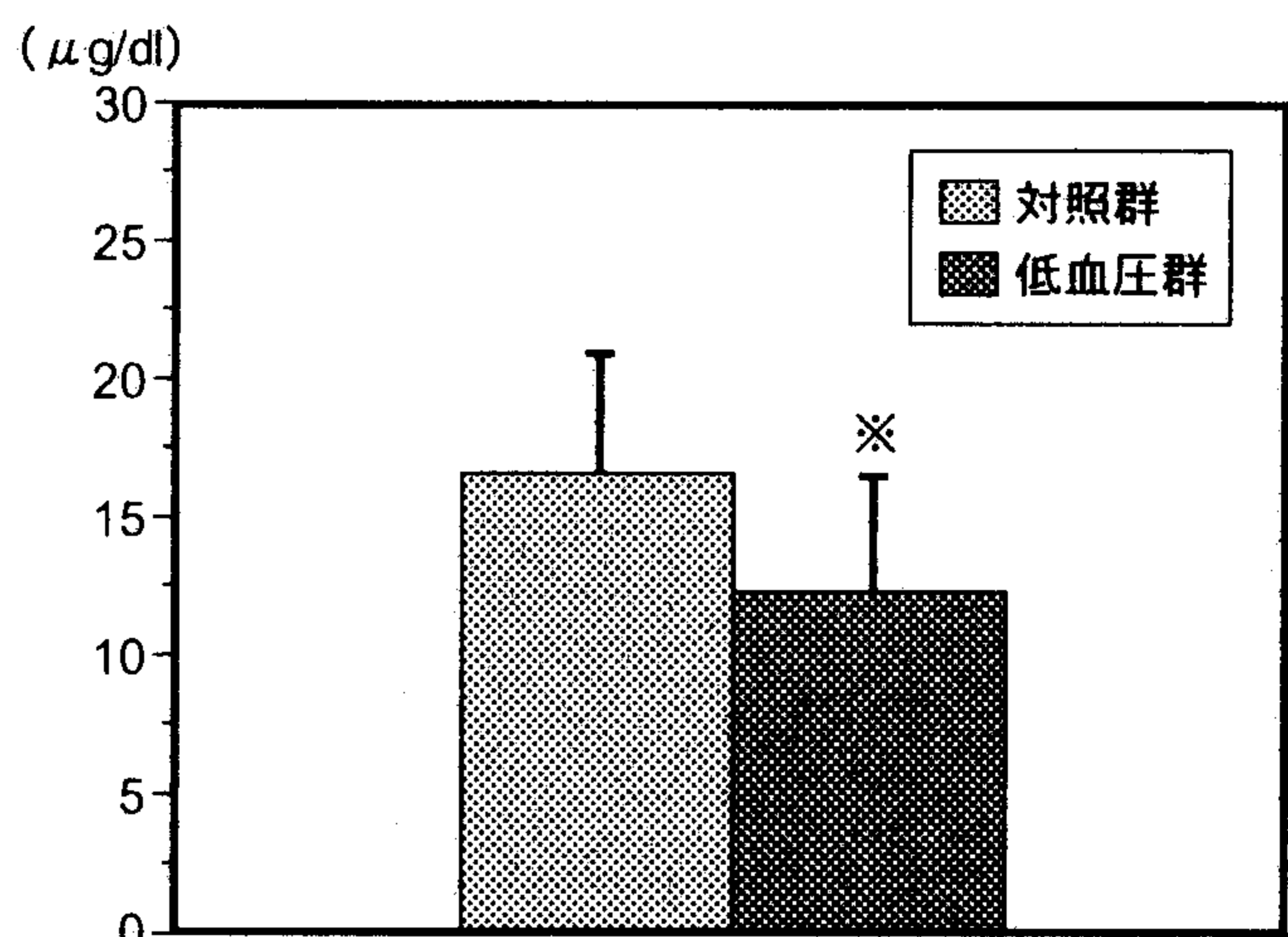


図12 血漿コルチゾール濃度の比較
※ $p<0.05$

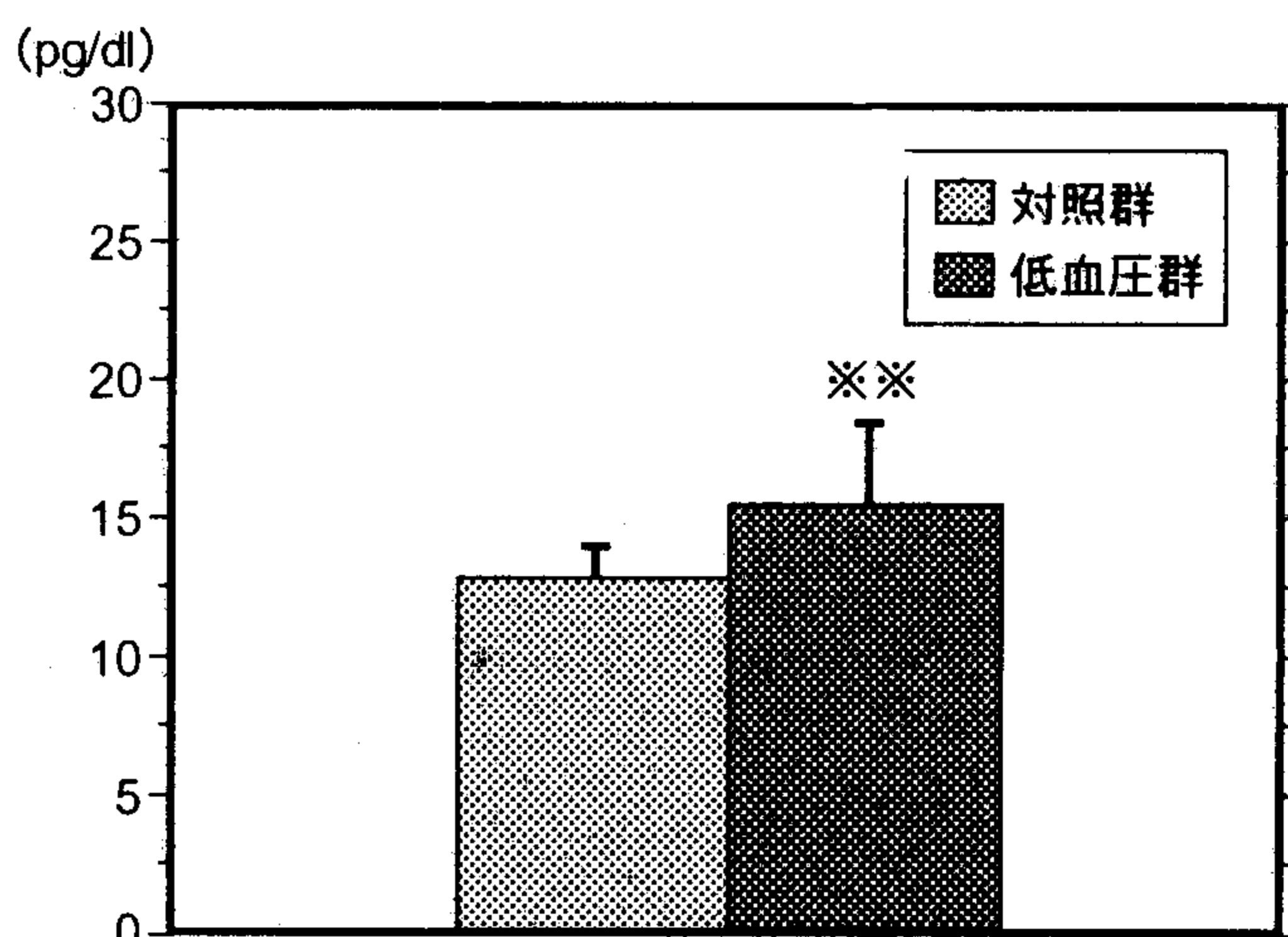


図13 血漿アンギオテンシンⅡ濃度の比較
** $p<0.02$

考 察

Ⅰ 心拍数からみた身体活動水準

心拍数の結果をみると、両群ともに睡眠時よりも活動期が有意に高いことが認められた。

低血圧群では、活動期、睡眠時ともに対照群より、心拍数は有意に低値であった。また、コルチ

ゾール値も低値であることから²⁷⁾、身体的活動水準は低血圧群が低いことが伺われる。

II 自律神経機能の変化

1. 副交感神経系 (HF)

R-R波間隔周波数分析の結果をみると、HF平均値は、各群ごとに両期間を比較すると、睡眠時が高値を示し、副交感神経機能が高まっていることを示している。低血圧群が、活動期・睡眠時のいずれにおいても、対照群より有意に高値を示していること、低血圧群の活動期のHF平均値と対照群の睡眠時におけるHF平均値が近い値であることは、低血圧者が昼間においても、副交感神経機能を高めていることが示唆される。

2. 1/f揺らぎの傾き

心拍変動1/f揺らぎの傾きは、低血圧群では、活動期 -0.854 、睡眠時 -0.927 で、対照群は活動期 -0.765 、睡眠時 -0.852 であり、いずれの群でも、睡眠時に傾きが深くなり -1 に近づいている。武者ら²⁾によれば、神経細胞のパルス伝達の間隔の揺らぎの傾きが -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。このことから、以上の数値は生体を感じるいわゆる「心地よさ」¹⁷⁾の程度を示しているものと考えられる。ここで低血圧群が、活動期と睡眠時の傾きに有意差がなく、対照群で有意差があるのは、低血圧群は昼と夜の自律神経機能の質の相違の程度が、対照群に比べて小さいことを示唆すると考えられる。また、活動期・睡眠時のそれぞれにおいて両群の傾きを比較すると、いずれの時間帯においても低血圧群の傾きが深い。大塚ら¹⁷⁾は若年健康男子の心拍変動の1/f揺らぎの傾きの日内変動を報告しているが、それによると、昼間は傾きが浅く、夜間の傾きが深くなっている。このことから、傾きの深さが副交感神経優位の指標となりうると考えると、本研究における

低血圧群は、昼夜とも、対照群に比較して、副交感神経が相対的に優位にあるものと推察される。

3. 交感神経系 (LF/HFおよびカテコールアミン)

LF/HF平均値は、低血圧群では活動期・睡眠時の値をそれぞれ対照群と比較すると有意に低値であった。これは、低血圧者は交感神経機能の興奮が対照群と比較して弱いことを示唆している。

交感神経系と血管収縮との関係においては、交感神経刺激で遊離されるノルアドレナリンが、血管平滑筋の収縮作用を起こすと言われている¹⁾。従って交感神経機能の興奮が弱いことは、ノルアドレナリンの分泌を低下させる方向に作用していると考えられる。本研究でのノルアドレナリン測定値は、低血圧群が対照群に比べて有意差は認めなかったが低い（低血圧群 $0.573 \pm 0.189 \text{ ng/ml}$ 、対照群 $\pm 0.681 \pm 0.505 \text{ ng/ml}$ ）ことから、低血圧群の交感神経興奮レベルが低いことを示唆する。

4. レニン・アンギオテンシン系

レニン・アンギオテンシン系は、血圧の調整や維持に対し昇圧系として働くことが知られている⁵⁾。腎臓の皮質にある傍糸球体細胞にある圧受容器が血圧の低下や腎血流量の減少を感知して交感神経刺激を行う。

アンギオテンシンⅡ濃度は低血圧群が対照群に比較して有意に高い結果を示した。本研究における低血圧群はいずれも加速度脈波によって末梢循環良好と判定されているので、レニン・アンギオテンシン系の作用が低血圧に伴う末梢循環の悪化を補償していた可能性も考えられる。このことは、低血圧者における血圧低下に対する代償作用としてアンギオテンシンⅡの分泌を亢進させていた可能性をうかがわせる。

5. コルチゾール

コルチゾールは午前8～12時が高く次第に低下し午前0時頃が最低となる日内リズムが

ある。さらにヒトのコルチゾールは活動により高値となり、安静を保つ生活では低値となることが知られている²⁷⁾。

本研究で得られたコルチゾールの濃度は、低血圧群が対照群に比較して有意に低値であった。このことは、低血圧群の心拍数が対照群に比較して、有意に低いことからみても、身体的に非活動要因を持っていることを示している。低血圧群が目覚めが悪いことや、日中に活動的でない者が多く、心拍数が少なく副交感神経の活動の指標のHF値が高く、また1/f揺らぎの傾きが日中でも心地よい揺らぎに近くなることは、副交感神経機能緊張が強くなることを支持する結果であった。

低血圧症は男女とも、加齢に伴い発症頻度が低下すること¹⁶⁾。また低血圧者に3ヶ月間速歩を中心とした運動を実施させると、収縮期血圧・拡張期血圧ともに改善傾向にあることから^{6) 16) 25)}、低血圧は必ずしも先天的に決定された体質とはいえず、その発症に与える因子は、身体機能に与える生活習慣「運動頻度・栄養バランス・休養（睡眠時間、就寝時間）」が後天的因子として作用することも考えられる。心血管系の循環調整を支配する自律神経機能の日内変化が副交感神経機能緊張型の生活リズムに傾くことが低血圧発症の一因子となる可能性もある。今後これらの因子が低血圧発症にどのように関与しているか探ることが重要な課題である。

ま と め

1. 低血圧者の24時間の心電図R-R間隔の周波数分析を行い、HFを副交感神経機能の指標、LF/HFを交感神経機能の指標とし、また心拍変動の1/fの揺らぎの傾きを相対的な副交感神経優位を反映する指標として、それぞれの活動度の程度を評価した。また、自律神経系と関係の深い内分泌（アドレナリン、ノルア

ドレナリン、コルチゾール、アンギオテンシンⅡ）を中心に血中濃度を測定した。

被検者はいずれも血液学的検査で異常がなく、貧血その他の疾病のない年齢20～30歳男子で、低血圧者（9名）は加藤の基準により、対照者（8名）はWHO基準の正常範囲とした。心電図は午前10時から翌日の午前10時まで連続記録し、このなかの活動期（10:30～22:00）と睡眠時（被検者の就寝時間とした）のHF値、1/f揺らぎの傾き、LF/HF値を比較した。採血は心電図測定開始直後に実施した。

2. 心拍数は、活動期・睡眠時において両群のあいだに有意に低血圧群が低かった。
3. 活動期および睡眠時における両群のHFは低血圧群が有意に高いことが認められた。一方、両群とも睡眠時のHFが有意に高いことが認められた。
4. 活動期および睡眠時における両群のLF/HFは低血圧群が有意に低いことが認められた。一方、両群ともに活動期に比較して睡眠時のLF/HFが有意に低いことが認められた。
5. 活動期および睡眠時における両群の1/f揺らぎの傾きの変化は低血圧群では活動期と睡眠時とのあいだには有意差は認められなかった。対照群の睡眠時の傾きは活動期よりも有意に深かった。

両群の活動期については、有意な差は認められなかったが睡眠時において低血圧群は対照群より有意に深いことが認められた。

6. 血中内分泌変化については、コルチゾールにおいて、低血圧群は対照群よりも有意に低い濃度を示した。アンギオテンシンⅡは逆に、低血圧群は対照群より有意に高い濃度であった。アドレナリン・ノルアドレナリンは両群のあいだに有意な差はなかった。
7. 以上の結果より、本研究における低血圧者は対照者に比較して、1日を通して自律神経が副交感神経機能が優位となっていることが示唆された。またその低血圧は、血管収縮調節

機能が関与してひきおこされている可能性が示唆された。

本研究は、体育学部附属体育研究所の1997年度研究助成によって実施した。

引用・参考文献

- 1) Aldredge JL, Weich AJ: Variations of heart rate during sleep as a function of the sleep cycle. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology* **3**: 193, 1973.
- 2) Goldberger, A.L., West, B.J.: Applications of nonlinear dynamics to clinical cardiology. *Ann N.M. Acad. Sci.* **504**: 195-213, 1987.
- 3) 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.
- 4) 伊藤眞次：副腎髄質とカテコールアミン；内分泌学，9-7，理工学社，東京，1986.
- 5) 加藤義一：異常血圧，金原出版，東京，1954.
- 6) 片岡幸雄、佐野裕司、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、小山内博：身体トレーニングが高血圧症の改善に及ぼす効果に関する研究（第2報）－安静水準にみた動脈血圧に及ぼす身体トレーニングの影響－，*体力研究*，**51**: 1-10, 1982.
- 7) Kobayashi, M., Musha, T.: 1/f fluctuation of heartbeat period. *IEEE Transactions Biomedical Engineering BME-29*: 456-457, 1982.
- 8) Lipsitz, L.A., Mietus, J., Moody, G.B. Goldberger, A.L.: Spectral characteristics of heart rate variability before and during postural tilt. Relations to aging and risk of syncope, *Circulation*. **81**: 1803-1810, 1990.
- 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, C Q出版，東京，1986.
- 10) 三浦伸一郎、笹栗 学、荒川規矩男：レニン・アンジオテンシン系，*日本臨床*，**50**: 77-83, 1992.
- 11) 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.
- 12) 武者利光、沢田康次：ゆらぎ，カオス，フラクタル，日本評論社，東京，1992.
- 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) 小山内博、渡辺 剛、川村協平、和田光明、片岡幸雄、生山 匡、今野廣 隆、佐野裕司、西田明子：健康づくりに必要な運動と生活のあり方－健康・体力づくりり理論と実践の成果－，羽村市スポーツセンター，東京，1983.
- 17) 大塚邦明、山中 崇、久保 豊、中島茂子、渡邊晴雄、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*，**19**(10): 613-618, 1992.
- 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) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用（第4報）－トレーニング実施者の波形－，*体力科学*，**32**(6): 468, 1983.
- 20) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用，*労働科学*，**61**(3): 129-143, 1985.
- 21) 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.
- 22) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用（第2報）－波形の定量化－*体力研究*，**63**: 17-25, 1988.
- 23) 筒井末春：低血圧；低血圧症，2，医学図書出版，東京，1979.
- 24) 筒井末春：低血圧；低血圧症，3，医学図書出版，東京，1979.
- 25) 渡辺 剛、堀松英紀、町田 茂、佐野裕司、片岡幸雄：羽村市スポーツセンターにおける健康体力づくり教室への参加が、体組成、血圧および加速度脈波に及ぼす効果，*千葉体育学研究*，**18**: 67-72, 1994.
- 26) 渡辺 剛、峯岸由紀子、小林敏生、内藤祐子、吉田久士、市川公一：低血圧者の活動期・睡眠期における自律神経活動の変化と血中ホルモン濃度，*国士舘大学体育研究所報*，**15**: 15-25, 1996.
- 27) Weizman, E.D., Boyer, R.M., Kapen, S. and Hellman, L.: *Rec. prog. Hormone Res.* **31**, 399, 1975.
- 28) 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.