

中年スポーツ選手の心拍変動 パワースペクトル解析による 自律神経機能評価

——若年スポーツ選手との比較——

田辺晃久 (医学部循環器内科)

岩元智超 (医学部循環器内科)

臼井和胤 (医学部循環器内科)

寺尾保 (医学部生体構造機能系生理科学)

中野昭一 (医学部生体構造機能系生理科学)

Comparison of Sympathovagal Balance between the Middle Aged and Young Athletes

Teruhisa TANABE, Tomooki IWAMOTO,
Kazutane USUI, Tamotsu TERAU,
and Shoichi NAKANO

Abstract

Power spectral analysis of heart rate variability was performed to assess cardiac autonomic function using Holter monitoring method in 6 middle-aged athletes and 6 age-matched middle aged controls. The results of these analyses were compared with those of 6 young athletes and 6 age-matched young controls. Power spectral analysis decomposed the heart rate variability into high frequency power (HF: 0.15-0.40 Hz) and low frequency power (LF: 0.04-0.15 Hz). HF values and LF/HF ratios were used as markers of cardiac vagal and sympathetic modulation, respectively.

The middle-aged athletes group demonstrated significant reduction in HF values during the daytime and nighttime as compared to the young athletes group ($p < 0.01$ in the morning; $p < 0.05$ in the afternoon; $p < 0.01$ at night). The night time HF was significantly higher in the young athletes group than its control group ($p < 0.05$), while no significant difference was found between the middle aged athletes and its control group. The LF/HF was significantly higher during the night in the middle-aged athletes than in the young athletes ($p < 0.05$).

These results suggest sympathovagal balance with lower vagal and higher sympathetic outflow to the heart in the middle aged athletes than in the young athletes.

はじめに

スポーツ選手では不整脈、とりわけ洞徐脈や房室ブロックがしばしば認められる。この機序とし

て心臓迷走神経過緊張、心臓交感神経低緊張、洞結節内因性心拍自動能の低下¹⁾などが考えられている。スポーツ時の心事故が近年関心を集めているが、この誘因の1つに自律神経緊張のアンバランス——不整脈発生が問題とされている。

近年、心拍変動を約4秒周期の速い成分と約10秒周期の遅い成分を高速フーリエ解析(FFT)することにより、交感神経緊張と迷走神経緊張のバランスを定量化することが可能となった。前者の成分は呼吸性変動で、迷走神経緊張の指標として、後者の成分/前者の成分の比は迷走神経活動に修飾された交感神経緊張の指標として利用されている^{2,3,4)}。我々は、本法を利用して、学生スポーツ選手はスポーツ習慣のない同年代の青年に比べ昼夜とも迷走神経活動は有意に増強、交感神経活動は有意に低下していることを報告した⁵⁾。

本研究の目的は、中年スポーツ選手における自律神経機能を、同年代のスポーツ習慣のない中年ならびに若年スポーツ選手と比較することから、自律神経緊張のバランスから考えたスポーツ選手の突然死の問題を考察することにある。

対象と方法

対象は計24名で、スポーツ選手として週4日以上練習ないし試合を行っている中年男性6名(スポーツ中年、年齢42-62歳)、その年代と性をマッチさせたスポーツ習慣のない中年男性6名(コントロール中年、年齢40-58歳)、学生スポーツ選手6名(スポーツ若年、16-20歳)およびスポーツ若年と年齢と性をマッチさせたスポーツ習慣のない学生6名(コントロール若年、16-20歳)であった。

スポーツ中年の運動の種類と人数は、サッカーとテニスが各2名、トライアスロン1名、陸上1名であった。スポーツ若年の運動の種類と人数はサッカー、バレーボール、陸上競技各2名であった。

全例で、まず標準12誘導心電図記録と心エコー法を行った。標準12誘導心電図では不整脈、虚血ST変化など心電図学的基本所見を検討した。心エコーでは心肥大・心拡大の有無を検討するため心室中隔厚、左室壁厚、拡張期の左室内腔径を測定した。

24時間ホルター心電図記録(Del Mar Avionics

社製 Model 459) 後、心拍変動のパワースペクトル解析を行った。午前(覚醒後1、2、3時間後)午後(1、2、3、7時)、睡眠後(1、2、3、4、5時間後と覚醒1時間前)の計13時間帯のノイズのない10分間を選んだ。Del Mar Avionics社製の Model 750A解析器から得られたRR間隔信号をDel Mar Avionics Heart Rate Variability Analysis Systemに転送し、高速フーリエ変換(FFT)することにより周波数解析を行った。RR周波数解析の結果得られた周波数成分のうち、0.04~0.15Hzを低周波成分(LF, msec²/Hz)、0.15~0.40Hzを高周波成分(HF, msec²/Hz)とし、HFを迷走神経緊張の指標、LF/HF比を交感神経緊張の指標とした。

各群のHF値ないしLF/HF比は平均値±標準偏差ないし平均値±標準誤差で表した。対応のない2群の差の検定はt検定ないしマン-ウィットニーu検定で行い、各群の午前、午後、夜間睡眠中間の各値の差の検定には分散分析(ANOVA)を行った。

結 果

標準12誘導心電図は軽度洞徐脈以外スポーツ選手、対照とも異常所見例はなかった。心エコー法では肥大型心筋症や拡張型心筋症を疑わせる所見例はなく、弁膜症など他の心臓疾患の所見例もなかった。ホルター心電図では、スポーツ選手、コントロールとも上室性期外収縮と心室期外収縮出現例が多かった。しかし、各例の1日の出現頻度は少なく、上室期外収縮はスポーツ中年2~40拍/日、コントロール中年3~32拍/分、スポーツ若年1~49拍/分、コントロール若年1~25拍/分、心室期外収縮はスポーツ中年0~8拍/分、コントロール中年0~10拍/分、スポーツ若年0~10拍/分、コントロール若年0~6拍/分であった。スポーツ中年、コントロール中年、スポーツ若年の各1例にそれぞれ1回の第2度房室ブロックを認めた。

図1はスポーツ中年、コントロール中年、スポ

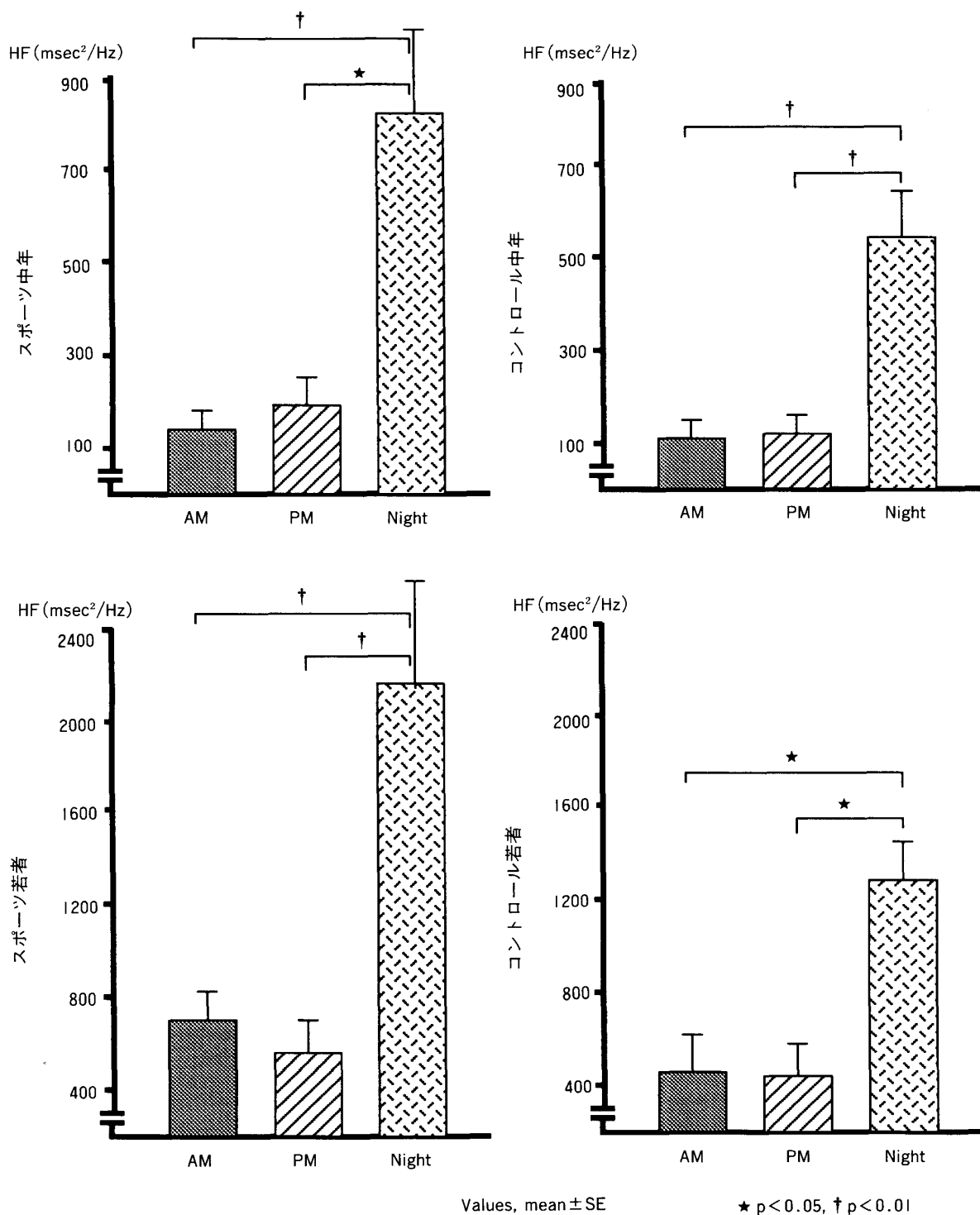


図1 中年スポーツ選手(スポーツ中年)、スポーツ中年の対照(コントロール中年)、若年スポーツ選手(スポーツ若年)およびスポーツ若年の対照(コントロール若年)における心拍変動解析の高周波成分値(HF値)

Fig. 1 High frequency values of the power spectral analysis in heart rate variability in the middle aged athletes, middle aged controls, young athletes and young controls.

一ツ若年、コントロール若年における午前、午後、夜間睡眠時の HF 値の比較、図 2 は LF/HF 比の比較を示す。各値はそれぞれ午前 3 点、午後 4 点、夜間 6 点の平均値と標準誤差である。いずれの群も夜間睡眠中の HF 値は午前ないし午後の HF 値に比べ高値で(図 1)、反対に LF/HF 比は夜間睡眠時が午前、午後と比べ低かった(図 2)。

図 3 は午前(3 点の平均)、午後(4 点の平均)、夜間睡眠時(6 点の平均)の HF 値におけるスポーツ中年、コントロール中年、スポーツ若年、コントロール若年間の比較、図 4 は LF/HF 比の比較を示す。スポーツ中年の HF 値はコントロール中年に比べ午前、午後は差がなかったが、夜間睡眠時は高値の傾向にあった(図 3)。一方、スポーツ若年に比べると昼夜をとおり有意に低値であった(図 3)。スポーツ中年の LF/HF 比はコントロール中年に比べ昼夜をとおり差はなく、スポーツ若年に比べ夜間睡眠時のみ低値であった(図 4)。

考 察

ホルター心電図における不整脈検出ではスポーツ選手、対照とも上室性期外収縮、心室性期外収縮のある例が多かった。しかし、その出現例数、出現頻度は両群で差はなく、また出現頻度もせいぜい 50 拍/未満であった。このことはスポーツ心における日常生活での上室心筋、心室心筋への負担は増大していないことを示唆する。上室性期外収縮は基礎疾患のないいわゆる健常人の 44~88% にみられ、加齢とともに発生例数、発生頻度が増す^{6,7)}。また、数発連発することがあるが基礎疾患がなく発生数の少ないものは臨床的に問題とならない⁸⁾。心室性期外収縮の場合もほぼ同じ臨床的意義であることはよく知られる。

一般に、スポーツ選手はスポーツ習慣のない例に比べ、心拍数が遅い。原因として、副交感神経緊張増強が広く受け入れられているが、ヒトを対象とした場合、その具体的証拠はほとんどない。理由は、従来、生体では瞬時、瞬時の交感神経系

と副交感神経系の緊張の程度を別々に判定する方法がなかったからと考える。

ホルター心電図法は不整脈の検出、虚血心筋虚血の検出⁹⁾、心臓薬病薬の薬効判定¹⁰⁾を目的に使用されている。しかし、近年、ホルター心電図における RR 間隔変動を高速フーリエ解析し、約 4 秒に 1 回の周波数ならびに約 10 秒に 1 回の周波数の成分強度を定量化することから迷走神経緊張と交感神経緊張の程度を別々に定量化する手段としても使われている^{2,3,4)}。本法により、臨床的には心筋梗塞患者の突然死¹¹⁾、心不全¹²⁾では迷走神経緊張が有意に低下していることが明らかにされた。また、我々は進行した肥大型心筋症における迷走神経緊張低下、交感神経緊張増強を明らかにし、そのうちとくに突然死例ではその傾向が強いことを報告した¹³⁾。

ヒト突然死の 4 分の 3 は頻拍性心室性不整脈が引き金となり、他は徐脈性不整脈によるといわれている。動物実験において交感神経刺激により生じた致死性心室性不整脈は迷走神経刺激をしておくと起こりにくくなる^{14,15)}。また、ヒトで、心室性心室頻拍が迷走神経刺激で停止したとの報告もある¹⁶⁾。したがって、前述した心臓患者の突然死は発生した心室性不整脈を迷走神経緊張が低下しているため予防しにくかったとも考えられる。

近年、スポーツ時の突然死が注目されているが、自律神経バランスからみた実態は明らかでない。本研究では、中年スポーツ選手は若年スポーツ選手ないしスポーツ習慣のない若年に比べて迷走神経緊張は低値ないし低値の傾向にあった。また、同年代のスポーツ習慣のない例に比べて迷走神経緊張はやや高値の傾向はあったものの明らかな差はなかった。一方、若年スポーツ選手はスポーツ習慣のない若年に比べ迷走神経緊張は強かった。

以上より、自律神経緊張のバランスから考慮すると、若年スポーツ選手は迷走神経緊張増強、交感神経緊張低下にあることから、基礎疾患がなければ心室性不整脈が直接誘因なる突然死は起こりにくいと考えられる。一方、中年では、スポーツ習慣があっても迷走神経緊張はそれほど強くなく、

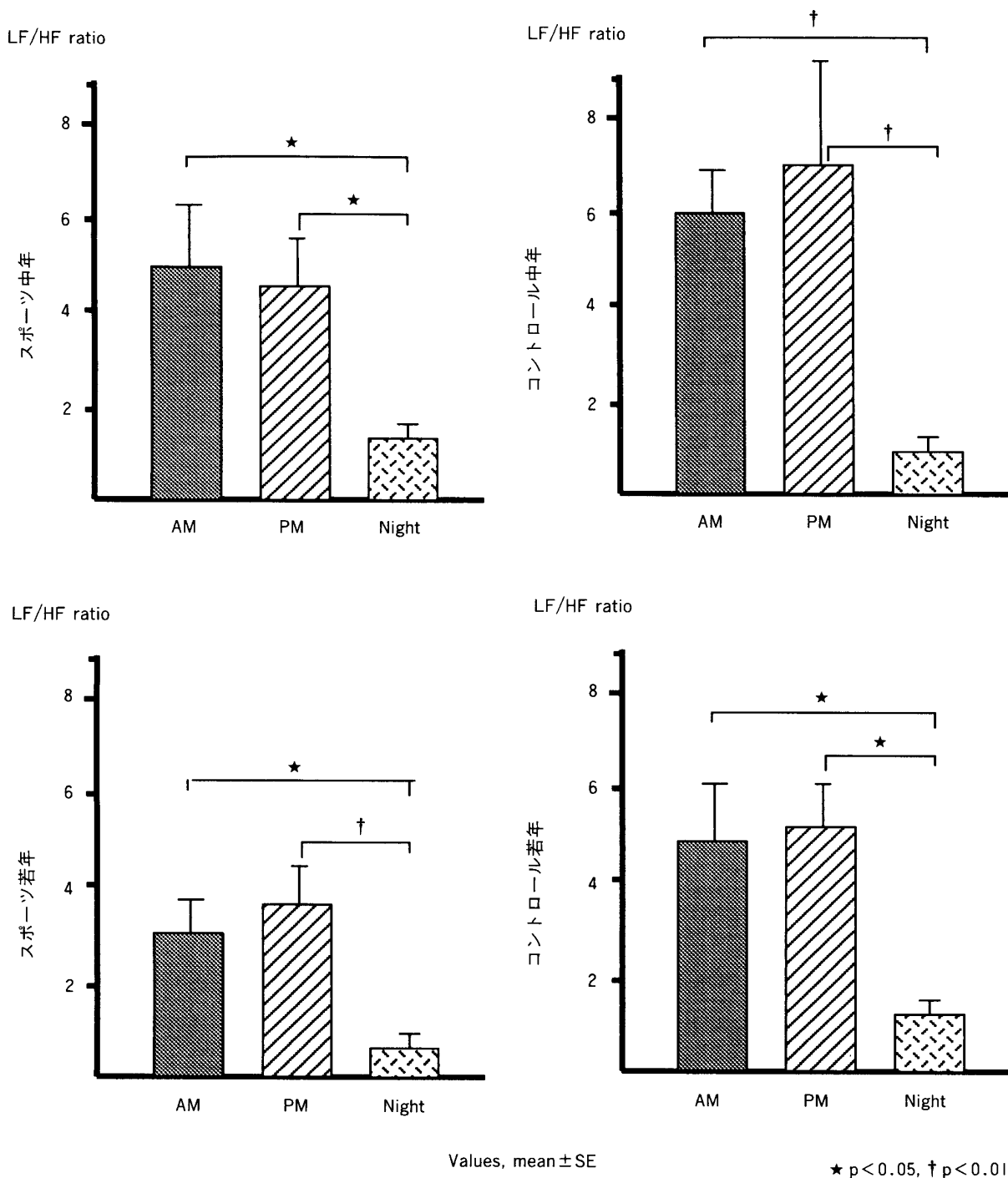


図2 中年スポーツ選手（スポーツ中年）、スポーツ中年の対照（コントロール中年）、若年スポーツ選手（スポーツ若年）およびスポーツ若年の対照（コントロール若年）における心拍変動解析の低周波成分/高周波成分の比（LF/HF ratio）

Fig. 2 Low frequency/high frequency ratios obtained from the power spectral analysis in heart rate variability in the middle aged athletes, middle aged controls, young athletes and young controls.

迷走神経緊張が関与した重症心室性不整脈への移行阻止は若年選手に比べれば起こりにくいと考えられた。

しかし、スポーツ時の突然死は心室性不整脈に起因するのみでなく、迷走神経反射による心停止

や循環虚脱も原因となると考えられている¹⁷⁾。本研究では、ある定常状態での迷走神経緊張、交感神経緊張を評価したものであり、スポーツ選手における迷走神経反射の過緊張を明らかにしたものではない。今後、この面の研究推進も必要である。

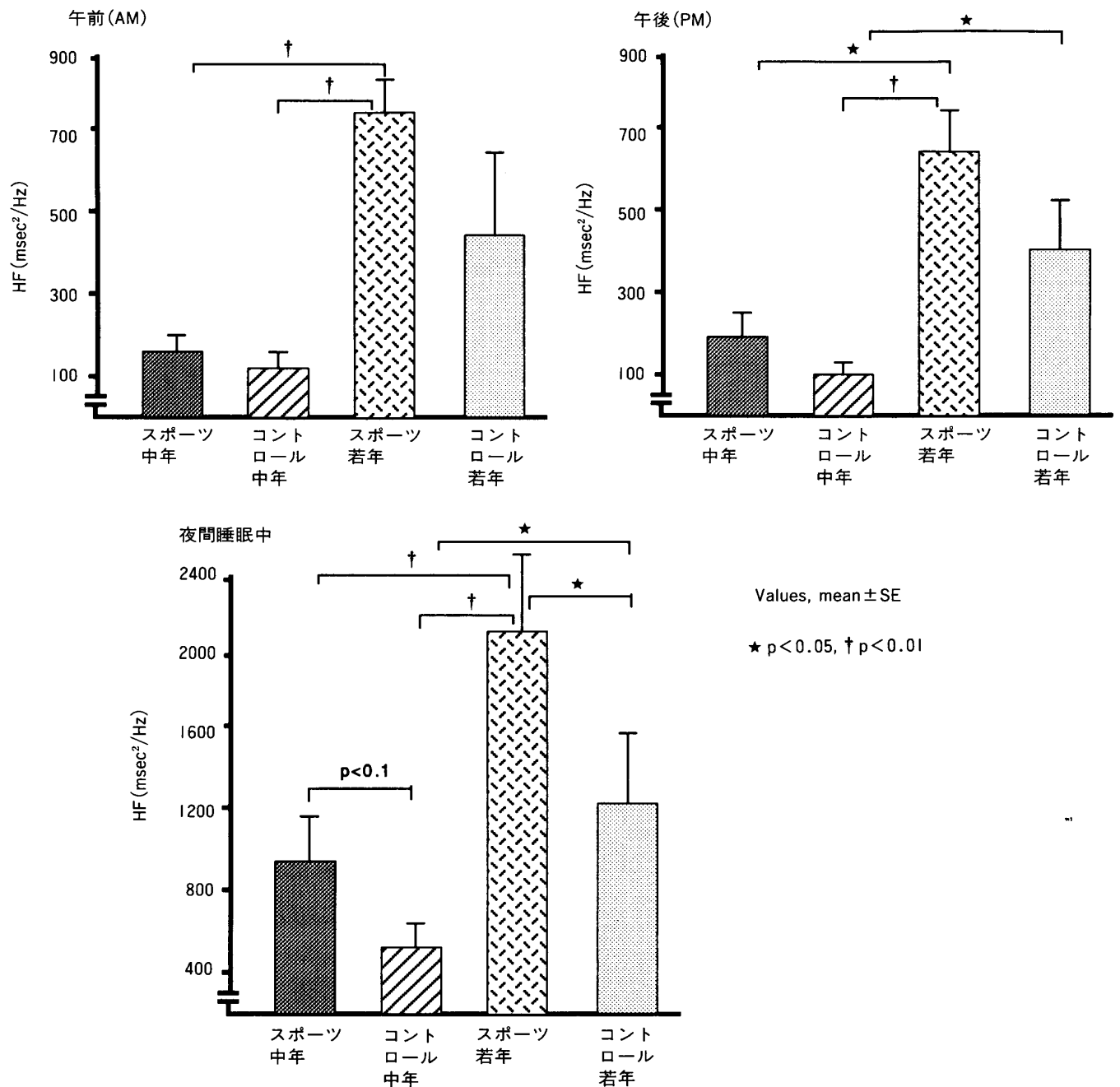


図3 心拍変動における高周波成分 (HF値) —中年スポーツ選手 (スポーツ中年)、スポーツ中年の対照 (コントロール中年)、若年スポーツ選手 (スポーツ若年) およびスポーツ若年の対照 (コントロール若年) の比較

Fig. 3 High frequency values in the power spectral analysis of the heart rate variability—comparison among the middle aged athletes, middle aged controls, young athletes and young controls.

まとめ

中年スポーツ選手は若年スポーツ選手に比べ迷走神経緊張は昼夜をとおし低く(午前、 $p < 0.01$; 午後 $p < 0.05$; 夜間 $p < 0.01$)、反対に、交感神経緊張は夜間高かった。($p < 0.05$)。また、スポーツ習慣のない中年と比べて迷走神経緊張、交感神経

緊張とも有意差はなかった。心臓病患者の突然死例における迷走神経緊張低下、交感神経緊張増強が報告され、また迷走神経緊張増強は重症心室性不整脈による突然死を保護的に作用するとされる。したがって、本成績は、自律神経機能から評価した場合、中年スポーツ選手は若年スポーツ選手に比べ、重症心室不整脈への保護機能は弱い可能性がある。

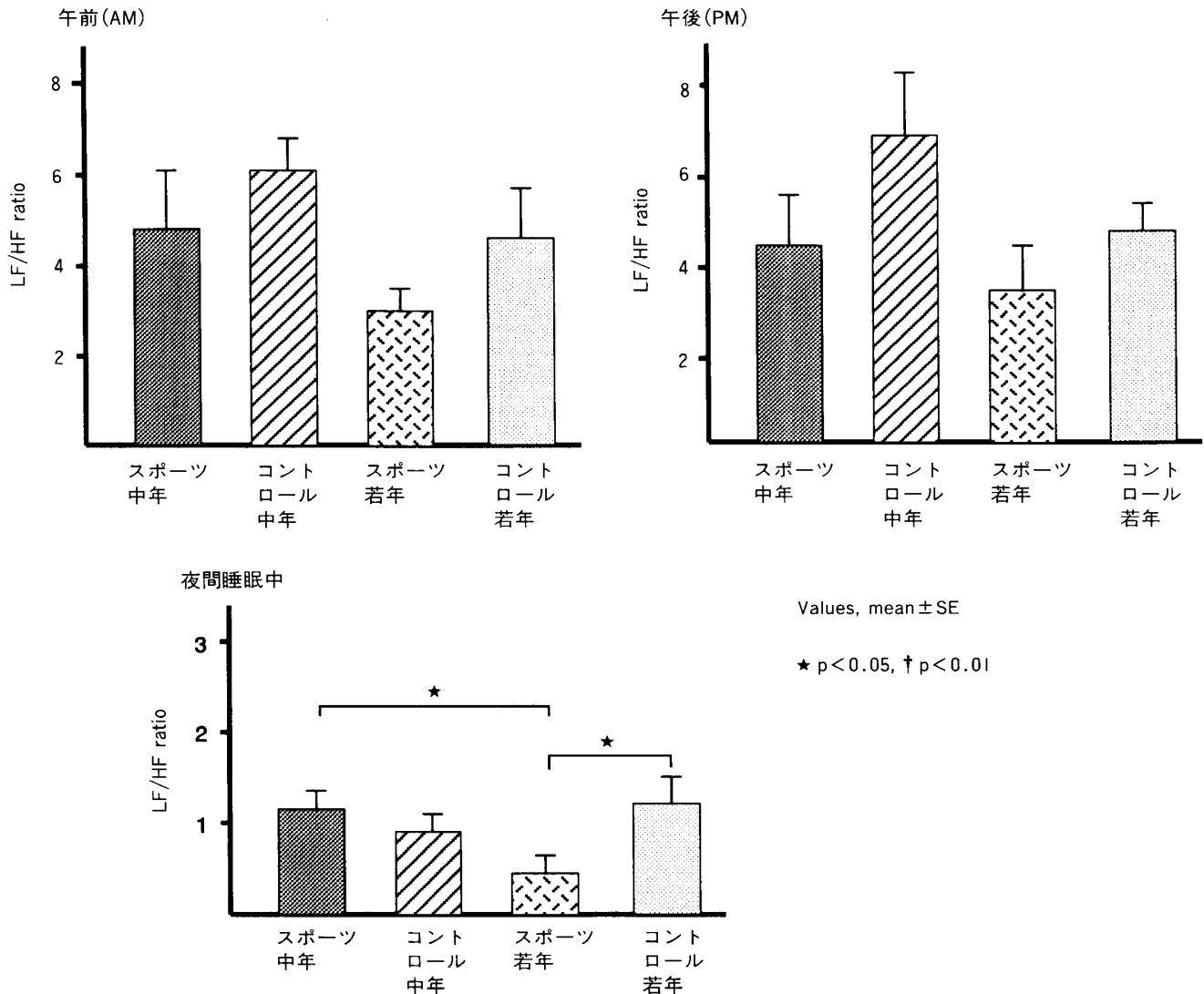


図 4 心拍変動における低周波成分/高周波成分の比 (LF/HF比) — 中年スポーツ選手 (スポーツ中年)、スポーツ中年の対照 (コントロール中年)、若年スポーツ選手 (スポーツ若年) およびスポーツ若年の対照 (コントロール若年) の比較

Fig. 4 Lowfrequency/high frequency ratios obtained from the power spectral analysis of the heart rate variability—comparison among the middle aged athletes, middle aged controls, young athletes and young controls.

参考文献

- 1) 日吉俊紀、田中信行。若年スポーツマンの徐脈の発現機序について。自律神経23: 436-440、1986。
- 2) Sayers B. Analysis of heart rate variability. *Ergonomics* 16: 17-32, 1973.
- 3) Milliani A, Pagani M, Lombardi F, et al.. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 84: 482-492, 1991.
- 4) Hayano J, Sakakibara Y, Yamada M, et al.. Decreased magnitude of heart rate spectral components in coronary artery disease. *Circulation* 81: 1217-1224, 1990.
- 5) 田辺晃久、寺尾保、中野昭一。若年スポーツ選手の心拍変動——Power Spectral Analysisによる自律神経機能の評価。東海大学スポーツ医科学誌 5: 44-49、1993。
- 6) Brodsky M, Wu D, Cenes P, et al.. Arrhythmias documented by 24 hour continuous electrocardiographic monitoring in 50 male medical students without apparent heart disease. *Am J Cardiol* 39: 390-395, 1977.
- 7) Sobotka PA, Mayer JH, Bauernfeind RA et al.. Arrhythmias documented by 24-hour continuous ambulatory electrocardiographic monitoring in young women without apparent heart disease. *Am Heart J* 101: 753-759, 1981.
- 8) 田辺晃久、高橋潔、吉岡公一郎。上室期外収縮。日本臨床49: 65-71、1991。
- 9) Tanabe T, Iga T, Fukushi H, et al.. A new device for detection of postural ST-T changes in ambulatory electrocardiography. *Am Heart J* 109: 187-190, 1985.
- 10) Tanabe T, Takahashi K, Yoshioka K, et al.. Evaluation of disopyramide and mexiletine used alone and in combination for ventricular arrhythmias in patients with and without overt heart disease. *Int J Cardiol* 32: 303-312, 1991.
- 11) Dougherty CM, Burr RL. Comparison of heart rate variability in survivors and nonsurvivors of sudden cardiac arrest. *Am J Cardiol* 70: 441-448, 1992.
- 12) Saul JP, Arai Y, Berger RD, et al.. Assessment of autonomic regulation in chronic congestive heart failure by heart rate spectral analysis. *Am J Cardiol* 61: 1292-1299, 1988.
- 13) Tanabe T, Iwamoto T, Fusegawa Y, et al.. Alterations of sympathovagal balance in patients with hypertrophic and dilated cardiomyopathies assessed by spectral analysis of RR interval variability. *Eur Heart J* in press
- 14) Kolman BS, Verrier RL, Lown B. The effect of vagus nerve stimulation upon vulnerability of the canine ventricle: role of sympathetic-parasympathetic interactions. *Circulation* 52: 578-585, 1975.
- 15) Rabinowitz SH, Verrier RL, Lown B. Muscarinic effects of vagosympathetic trunk stimulation on repetitive extrasystole (RE) threshold. *Circulation* 53: 622-627, 1976.
- 16) Waxman MB, Wald RW. Termination of ventricular tachycardia by an increase in cardiac vagal drive. *Circulation* 56: 385-391, 1977.
- 17) 川原貢、スポーツ選手における突然死の実態。 *Ther Res* 7: 13-16, 1987.